

Capítulo 1: Introdução

Este é o código-fonte de **weaver**, uma *engine* (ou motor) para desenvolvimento de jogos feita em C utilizando-se da técnica de programação literária.

Um motor é um conjunto de bibliotecas e programas utilizado para facilitar e abstrair o desenvolvimento de um jogo. Jogos de computador, especialmente jogos em 3D são programas sofisticados demais e geralmente é inviável começar a desenvolver um jogo do zero. Um motor fornece uma série de funcionalidades genéricas que facilitam o desenvolvimento, tais como gerência de memória, renderização de gráficos bidimensionais e tridimensionais, um simulador de física, detector de colisão, suporte à animações, som, fontes, linguagem de script e muito mais.

Programação literária é uma técnica de desenvolvimento de programas de computador que determina que um programa deve ser especificado primariamente por meio de explicações didáticas de seu funcionamento. Desta forma, escrever um software que realiza determinada tarefa não deveria ser algo diferente de escrever um livro que explica didaticamente como resolver tal tarefa. Tal livro deveria apenas ter um rigor maior combinando explicações informais em prosa com explicações formais em código-fonte. Programas de computador podem então extrair a explicação presente nos arquivos para gerar um livro ou manual (no caso, este PDF) e também extrair apenas o código-fonte presente nele para construir o programa em si. A tarefa de montar o programa na ordem certa é de responsabilidade do programa que extrai o código. Um programa literário deve sempre apresentar as coisas em uma ordem acessível para humanos, não para máquinas.

Por exemplo, para produzir este PDF, utiliza-se um programa chamado **T_EX**, o qual por meio do formato **M_AG_ET_EX** instalado, compreende código escrito em um formato específico de texto e o formata de maneira adequada. O **T_EX** gera um arquivo no formato DVI, o qual é convertido para PDF. Para produzir o motor de desenvolvimento de jogos em si utiliza-se sobre os mesmos arquivos fonte um programa chamado **CTANGLE**, que extrai o código C (além de um punhado de códigos GLSL) para os arquivos certos. Em seguida, utiliza-se um compilador como **GCC** ou **CLANG** para produzir os executáveis. Felizmente, há **Makefiles** para ajudar a cuidar de tais detalhes de construção.

Os pré-requisitos para se compreender este material são ter uma boa base de programação em C e ter experiência no desenvolvimento de programas em C para Linux. Alguma noção do funcionamento de **OpenGL** também ajuda.

1.1 - Copyright e licenciamento

Weaver é desenvolvida pelo programador Thiago “Harry” Leucz Astrizi. Abaixo segue a licença do software:

Copyright (c) Thiago Leucz Astrizi 2015

This program is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU Affero General Public License as published by the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU Affero General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU Affero General Public License along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.

A tradução não-oficial da licença é:

Copyright (c) Thiago Leucz Astrizi 2015

Este programa é um software livre; você pode redistribuí-lo e/ou modificá-lo dentro dos termos da Licença Pública Geral GNU Affero como publicada pela Fundação do Software Livre (FSF); na versão 3 da Licença, ou (na sua opinião) qualquer versão.

Este programa é distribuído na esperança de que possa ser útil, mas SEM NENHUMA GARANTIA; sem uma garantia implícita de ADEQUAÇÃO a qualquer MERCADO ou APLICAÇÃO EM PARTICULAR. Veja a Licença Pública Geral GNU Affero para maiores detalhes.

Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral GNU Affero junto com este programa. Se não, veja [<http://www.gnu.org/licenses/>](http://www.gnu.org/licenses/).

A versão completa da licença pode ser obtida junto ao código-fonte Weaver ou consultada no link mencionado.

1.2 - Filosofia Weaver

Estes são os princípios filosóficos que guiam o desenvolvimento deste software. Qualquer coisa que vá de encontro à eles devem ser tratados como *bugs*.

1- Software é conhecimento sobre como realizar algo escrito em linguagens formais de computadores. O conhecimento deve ser livre para todos. Portanto, Weaver deverá ser um software livre e deverá também ser usada para a criação de jogos livres.

A arte de um jogo pode ter direitos de cópia. Ela deveria ter uma licença permissiva, pois arte é cultura, e portanto, também não deveria ser algo a ser tirado das pessoas. Mas weaver não tem como impedi-lo de licenciar a arte de um jogo da forma que for escolhida. Mas como Weaver funciona injetando estaticamente seu código em seu jogo e Weaver está sob a licença Affero GPL, isso significa que seu jogo também deverá estar sob esta mesma licença (ou alguma outra compatível).

Basicamente isso significa que você pode fazer quase qualquer coisa que quiser com este software. Pode copiá-lo. Usar seu código-fonte para fazer qualquer coisa que queira (assumindo as responsabilidades). Passar para outras pessoas. Modificá-lo. A única coisa não permitida é produzir com ele algo que não dê aos seus usuários exatamente as mesmas liberdades. Se você criar um jogo usando Weaver e distribuí-lo ou colocá-lo em uma página na Internet para outras pessoas jogarem, um link para o download do código-fonte do jogo deve ser fornecido. Mas não é necessário fornecer junto os arquivos de áudio, texturas e outros elementos que constituem a parte artística, sem códigos de programação.

As seguintes quatro liberdades devem estar presentes em Weaver e nos jogos que ele desenvolve:

Liberdade 0: A liberdade para executar o programa, para qualquer propósito.

Liberdade 1: A liberdade de estudar o software.

Liberdade 2: A liberdade de redistribuir cópias do programa de modo que você possa ajudar ao seu próximo.

Liberdade 3: A liberdade de modificar o programa e distribuir estas modificações, de modo que toda a comunidade se beneficie.

2- Weaver deve estar bem-documentado.

As quatro liberdades anteriores não são o suficiente para que as pessoas realmente possam estudar um software. Código ofuscado ou de difícil compreensão dificulta que as pessoas a exerçam. Weaver deve estar completamente documentada. Isso inclui explicação para todo o código-fonte que o projeto possui. O uso de \LaTeX e CWEB é um reflexo desta filosofia.

Algumas pessoas podem estranhar também que toda a documentação do código-fonte esteja em português. Estudei por anos demais em universidade pública e minha educação foi paga com

dinheiro do povo brasileiro. Por isso acho que minhas contribuições devem ser pensadas sempre em como retribuir à isto. Por isso, o português brasileiro será o idioma principal na escrita deste software.

Infelizmente, isso também conflita com o meu desejo de que este projeto seja amplamente usado no mundo todo. Geralmente espera-se que código e documentação esteja em inglês. Para lidar com isso, pretendo que a documentação on-line e guia de referência das funções esteja em inglês. Os nomes de funções e de variáveis estarão em inglês. Mas as explicações aqui serão em português.

Com isso tento conciliar as duas coisas, por mais difícil que isso seja.

3- Weaver deve ter muitas opções de configuração para que possa atender à diferentes necessidades.

É terrível quando você tem que lidar com abominações como:

Arquivo: /tmp/dummy.c:

```
CreateWindow("nome da classe", "nome da janela", WS_BORDER | WS_CAPTION |  
WS_MAXIMIZE, 20, 20, 800, 600, handle1, handle2, handle3, NULL);
```

Cada projeto deve ter um arquivo de configuração e muito da funcionalidade pode ser escolhida lá. Escolhas padrão sãs devem ser escolhidas e estar lá, de modo que um projeto funcione bem mesmo que seu autor não mude nada nas configurações. E concentrando configurações em um arquivo, retiramos complexidade das funções. As funções não precisam então receber mais de 10 argumentos diferentes e não é necessário também ficar encapsulando os 10 argumentos em um objeto de configuração, o qual é mais uma distração que solução para a complexidade.

Em todo projeto Weaver haverá um arquivo de configuração `conf/conf.h`, que modifica o funcionamento do motor. Como pode ser deduzido pela extensão do nome do arquivo, ele é basicamente um arquivo de cabeçalho C onde poderão ter vários `#define` s que modificarão o funcionamento de seu jogo.

4- Weaver não deve tentar resolver problemas sem solução. Ao invés disso, é melhor propor um acordo mútuo entre usuários.

Computadores tornam-se coisas complexas porque pessoas tentam resolver neles problemas insolúveis. É como tapar o sol com a peneira. Você na verdade consegue fazer isso. Junte um número suficientemente grande de peneiras, coloque uma sobre a outra e você consegue gerar uma sombra o quão escura se queira. Assim são os sistemas modernos que usamos nos computadores.

Como exemplo de tais tentativas de solucionar problemas insolúveis, temos a tentativa de fazer com que Sistemas Operacionais proprietários sejam seguros e livres de vírus, garantir privacidade, autenticação e segurança sobre HTTP e até mesmo coisas como o gerenciamento de memória. Pode-se resolver tais coisas apenas adicionando camadas e mais camadas de complexidade, e mesmo assim, não funcionará em realmente 100% dos casos.

Quando um problema não tem uma solução satisfatória, isso jamais deve ser escondido por meio de complexidades que tentam amenizar ou sufocar o problema. Ao invés disso, a limitação natural da tarefa deve ficar clara para o usuário, e deve-se trabalhar em algum tipo de comportamento que deve ser seguido pela engine e pelo usuário para que se possa lidar com o problema combinando os esforços de humanos e máquinas naquilo que cada um dos dois é melhor em fazer.

5- Um jogo feito usando Weaver deve poder ser instalado em um computador simplesmente distribuindo-se um instalador, sem necessidade de ir atrás de dependências.

Este é um exemplo de problema insolúvel mencionado anteriormente. Para isso a API Weaver é inserida estaticamente em cada projeto Weaver ao invés de ser na forma de bibliotecas compartilhadas. Mesmo assim ainda haverão dependências externas. Iremos então tentar minimizar elas e garantir que as duas maiores distribuições Linux no DistroWatch sejam capazes de rodar os jogos sem dependências adicionais além daquelas que já vem instaladas por padrão.

6- Weaver deve ser fácil de usar. Mais fácil que a maioria das ferramentas já existentes.

Isso é obtido mantendo as funções o mais simples possíveis e fazendo-as funcionar seguindo padrões que são bons o bastante para a maioria dos casos. E caso um programador saiba o que está fazendo, ele deve poder configurar tais padrões sem problemas por meio do arquivo `conf/conf.h`.

Desta forma, uma função de inicialização poderia se chamar `Winit()` e não precisar de nenhum argumento. Coisas como gerenciar a projeção das imagens na tela devem ser transparentessem precisar de uma função específica após os objetos que compõe o ambiente serem definidos.

1.3 - Instalando Weaver

Para instalar Weaver em um computador, assumindo que você está fazendo isso à partir do código-fonte, basta usar o comando **make** e **make install** (o segundo comando como *root*).

Atualmente, os seguintes programas são necessários para se compilar Weaver:

ctangle ou **notangle**: Extrai o código C dos arquivos de **cweb**/.

clang ou **gcc**: Um compilador C que gera executáveis a partir de código C.

make: Interpreta e executa comandos do Makefile.

Os dois primeiros programas podem vir em pacotes chamados de **cweb** ou **noweb**. Adicionalmente, os seguintes programas são necessários para se gerar a documentação:

T_EX e **M_AG_IT_EX**: Usado para ler o código-fonte CWEB e gerar um arquivo DVI.

dvipdf: Usado para converter um arquivo **.dvi** em um **.pdf**.

graphviz: Gera representações gráficas de grafos.

Além disso, para que você possa efetivamente usar Weaver criando seus próprios projetos, você também poderá precisar de:

emscripten: Compila código C para Javascript e assim rodar em um navegador.

opengl: Permite gerar executáveis nativos com gráficos em 3D.

xlib: Permite gerar executáveis nativos gráficos.

xxd: Gera representação hexadecimal de arquivos. Insere o código dos shaders no programa.

Por motivos obscuros, algumas distribuições trazem este último programa no mesmo pacote do **vim**.

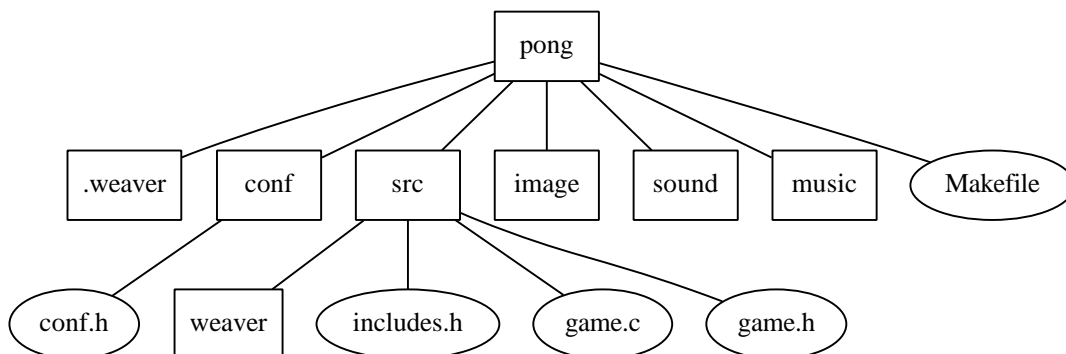
1.4 - O programa **weaver**

Weaver é uma engine para desenvolvimento de jogos que na verdade é formada por várias coisas diferentes. Quando falamos em código do Weaver, podemos estar nos referindo ao código de algum dos programas executáveis usados para se gerenciar a criação de seus jogos, podemos estar nos referindo ao código da API Weaver que é inserida em cada um de seus jogos ou então podemos estar nos referindo ao código de algum de seus jogos.

Para evitar ambigüidades, quando nos referimos ao programa executável, nos referiremos ao **programa Weaver**. Seu código-fonte será apresentado inteiramente neste capítulo. O programa é usado simplesmente para criar um novo projeto Weaver. E um projeto é um diretório com vários arquivos de desenvolvimento contendo código-fonte e multimídia. Por exemplo, o comando abaixo cria um novo projeto de um jogo chamado **pong**:

```
weaver pong
```

A árvore de diretórios exibida parcialmente abaixo é o que é criado pelo comando acima (diretórios são retângulos e arquivos são círculos):



Quando nos referimos ao código que é inserido em seus projetos, falamos do código da **API Weaver**. Seu código é sempre inserido dentro de cada projeto no diretório **src/weaver/**. Você terá acesso a uma cópia de seu código em cada novo jogo que criar, já que tal código é inserido estaticamente em seus projetos.

Já o código de jogos feitos com Weaver são tratados por **projetos Weaver**. É você quem escreve o seu código, ainda que a engine forneça como um ponto de partida o código inicial de inicialização, criação de uma janela e leitura de eventos do teclado e mouse.

1.4.1- Casos de Uso do Programa Weaver

Além de criar um projeto Weaver novo, o programa Weaver tem outros casos de uso. Eis a lista deles:

Caso de Uso 1: Mostrar mensagem de ajuda de criação de novo projeto: Isso deve ser feito toda vez que o usuário estiver fora do diretório de um Projeto Weaver e ele pedir ajuda explicitamente passando o parâmetro `--help` ou quando ele chama o programa sem argumentos (caso em que assumiremos que ele não sabe o que fazer e precisa de ajuda).

Caso de Uso 2: Mostrar mensagem de ajuda do gerenciamento de projeto: Isso deve ser feito quando o usuário estiver dentro de um projeto Weaver e pedir ajuda explicitamente com o argumento `--help` ou se invocar o programa sem argumentos (caso em que assumimos que ele não sabe o que está fazendo e precisa de ajuda).

Caso de Uso 3: Mostrar a versão de Weaver instalada no sistema: Isso deve ser feito toda vez que Weaver for invocada com o argumento `--version`.

Caso de Uso 4: Atualizar um projeto Weaver existente: Para o caso de um projeto ter sido criado com a versão 0.4 e tenha-se instalado no computador a versão 0.5, por exemplo. Para atualizar, basta passar como argumento o caminho absoluto ou relativo de um projeto Weaver. Independente de estarmos ou não dentro de um diretório de projeto Weaver. Atualizar um projeto significa mudar os arquivos com a API Weaver para que reflitam versões mais recentes.

Caso de Uso 5: Criar novo módulo em projeto Weaver: Para isso, devemos estar dentro do diretório de um projeto Weaver e devemos passar como argumento um nome para o módulo que não deve começar com pontos, traços, nem ter o mesmo nome de qualquer arquivo de extensão `.c` presente em `src/` (pois para um módulo de nome XXX, serão criados arquivos `src/XXX.c` e `src/XXX.h`).

Caso de Uso 6: Criar um novo projeto Weaver: Para isso ele deve estar fora de um diretório Weaver e deve passar como primeiro argumento um nome válido e não-reservado para seu novo projeto. Um nome válido deve ser qualquer um que não comece com ponto, nem traço, que não tenha efeitos negativos no terminal (tais como mudar a cor de fundo) e cujo nome não pode conflitar com qualquer arquivo necessário para o desenvolvimento (por exemplo, não deve-se poder criar um projeto chamado `Makefile`).

Caso de Uso 7: Criar um novo plugin: Para isso devemos estar no diretório Weaver e devemos receber dois argumentos. O primeiro deve ser `--plugin` e o segundo deve ser o nome do plugin, o qual deve ser um nome válido seguindo as mesmas regras dos módulos.

Caso de Uso 8: Criar um novo Shader: Para isso devemos estar no diretório Weaver e devemos receber dois argumentos. O primeiro deve ser `--shader` e o segundo deve ser o nome do shader, o qual deve ser um nome válido seguindo as mesmas regras dos módulos.

Caso de Uso 9: Criar um Novo Loop Principal: Para isso devemos estar em um diretório Weaver e devemos receber dois argumentos. O primeiro deve ser `--loop` e o segundo deve ser o nome do novo loop principal, que também deve ter um nome válido segundo nossas regras e também as regras de identificadores da linguagem C.

1.4.2- Variáveis do Programa Weaver

O comportamento de Weaver deve depender das seguintes variáveis:

`inside_weaver_directory` : Indicará se o programa está sendo invocado de dentro de um projeto Weaver.

`argument` : O primeiro argumento, ou NULL se ele não existir

`argument2` : O segundo argumento, ou NULL se não existir.

`project_version_major` : Se estamos em um projeto Weaver, qual o maior número da versão do Weaver usada para gerar o projeto. Exemplo: se a versão for 0.5, o número maior é 0. Em versões de teste, o valor é sempre 0.

`project_version_minor` : Se estamos em um projeto Weaver, o valor do menor número da

versão do Weaver usada para gerar o projeto. Exemplo, se a versão for 0.5, o número menor é 5. Em versões de teste o valor é sempre 0.

weaver_version_major : O número maior da versão do Weaver sendo usada no momento.
weaver_version_minor : O número menor da versão do Weaver sendo usada no momento.
arg_is_path : Se o primeiro argumento é ou não um caminho absoluto ou relativo para um projeto Weaver.
arg_is_valid_project : Se o argumento passado seria válido como nome de projeto Weaver.
arg_is_valid_module : Se o argumento passado seria válido como um novo módulo no projeto Weaver atual.
arg_is_valid_plugin : Se o segundo argumento existe e se ele é um nome válido para um novo plugin.
arg_is_valid_function : Se o segundo argumento existe e se ele seria um nome válido para um loop principal e também para um arquivo.
project_path : Se estamos dentro de um diretório de projeto Weaver, qual o caminho para a sua base (onde há o Makefile)
have_arg : Se o programa é invocado com argumento.
shared_dir : Deverá armazenar o caminho para o diretório onde estão os arquivos compartilhados da instalação de Weaver. Por padrão, será igual à `"/usr/share/weaver"`, mas caso exista a variável de ambiente `WEAVER_DIR`, então este será considerado o endereço dos arquivos compartilhados.
author_name , **project_name** e **year** : Conterão respectivamente o nome do usuário que está invocando Weaver, o nome do projeto atual (se estivermos no diretório de um) e o ano atual. Isso será importante para gerar as mensagens de Copyright em novos projetos Weaver.
return_value : Que valor o programa deve retornar caso o programa seja interrompido no momento atual.

1.4.3- Estrutura Geral do Programa Weaver

Todas estas variáveis serão inicializadas no começo, e se precisar serão desalocadas no fim do programa, que terá a seguinte estrutura:

Arquivo: src/weaver.c:

<Seção a ser Inserida: Cabeçalhos Incluídos no Programa Weaver >
<Seção a ser Inserida: Macros do Programa Weaver >
<Seção a ser Inserida: Funções auxiliares Weaver >
<code>int main(int argc, char **argv){</code>
<code>int return_value = 0; /* Valor de retorno. */</code>
<code>bool inside_weaver_directory = false, arg_is_path = false,</code>
<code>arg_is_valid_project = false, arg_is_valid_module = false,</code>
<code>have_arg = false, arg_is_valid_plugin = false,</code>
<code>arg_is_valid_function = false; /* Variáveis booleanas. */</code>
<code>unsigned int project_version_major = 0, project_version_minor = 0,</code>
<code>weaver_version_major = 0, weaver_version_minor = 0,</code>
<code>year = 0;</code>
<code>/* Strings UTF-8: */</code>
<code>char *argument = NULL, *project_path = NULL, *shared_dir = NULL,</code>
<code>*author_name = NULL, *project_name = NULL, *argument2 = NULL;</code>
<Seção a ser Inserida: Inicialização >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 1: Imprimir ajuda de criação de projeto >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 2: Imprimir ajuda de gerenciamento >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 3: Mostrar versão >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 4: Atualizar projeto Weaver >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 5: Criar novo módulo >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 6: Criar novo projeto >

<Seção a ser Inserida: Caso de uso 7: Criar novo plugin >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 8: Criar novo shader >
<Seção a ser Inserida: Caso de uso 9: Criar novo loop principal >
END_OF_PROGRAM:
<Seção a ser Inserida: Finalização >
<code>return return_value;</code>
<code>}</code>

1.4.4- Macros do Programa Weaver

O programa precisará de algumas macros. A primeira delas deverá conter uma string com a versão do programa. A versão pode ser formada só por letras (no caso de versões de teste) ou por um número seguido de um ponto e de outro número (sem espaços) no caso de uma versão final do programa.

Para a segunda macro, observe que na estrutura geral do programa vista acima existe um rótulo chamado `END_OF_PROGRAM` logo na parte de finalização. Uma das formas de chegarmos lá é por meio da execução normal do programa, caso nada dê errado. Entretanto, no caso de um erro, nós podemos também chegar lá por meio de um desvio incondicional após imprimirmos a mensagem de erro e ajustarmos o valor de retorno do programa. A responsabilidade de fazer isso será da segunda macro.

Por outro lado, podemos também querer encerrar o programa previamente, mas sem que tenha havido um erro. A responsabilidade disso é da terceira macro que definimos.

Seção: Macros do Programa Weaver:

```
#define VERSION "Alpha"
#define ERROR() {perror(NULL); return_value = 1; goto END_OF_PROGRAM;}
#define END() goto END_OF_PROGRAM;
```

1.4.5- Cabeçalhos do Programa Weaver

Seção: Cabeçalhos Incluídos no Programa Weaver:

```
#include <sys/types.h> // stat, getuid, getpwuid, mkdir
#include <sys/stat.h> // stat, mkdir
#include <stdbool.h> // bool, true, false
#include <unistd.h> // get_current_dir_name, getcwd, stat, chdir, getuid
#include <string.h> // strcmp, strcat, strcpy, strncmp
#include <stdlib.h> // free, exit, getenv
#include <dirent.h> // readdir, opendir, closedir
#include <libgen.h> // basename
#include <stdarg.h> // va_start, va_arg
#include <stdio.h> // printf, fprintf, fopen, fclose, fgets, fgetc, perror
#include <ctype.h> // isalnum
#include <time.h> // localtime, time
#include <pwd.h> // getpwuid
```

1.4.6- Inicialização e Finalização do Programa Weaver

Inicializar Weaver significa inicializar as 14 variáveis que serão usadas para definir o seu comportamento.

1.4.6.1- Inicializando Variáveis `inside_weaver_directory` e `project_path`

A primeira das variáveis é `inside_weaver_directory`, que deve valer `false` se o programa foi invocado de fora de um diretório de projeto Weaver e `true` caso contrário.

Como definir se estamos em um diretório que pertence à um projeto Weaver? Simples. São diretórios que contém dentro de si ou em um diretório ancestral um diretório oculto chamado `.weaver`. Caso encontremos este diretório oculto, também podemos aproveitar e ajustar a variável `project_path` para apontar para o local onde ele está. Se não o encontrarmos, estaremos fora de um diretório Weaver e não precisamos mudar nenhum valor das duas variáveis, pois elas deverão permanecer com o valor padrão `NULL`.

Em suma, o que precisamos é de um loop com as seguintes características:

Invariantes: A variável `complete_path` deve sempre possuir o caminho completo do diretório `.weaver` se ele existisse no diretório atual.

Inicialização: Inicializamos tanto o `complete_path` para serem válidos de acordo com o diretório em que o programa é invocado.

Manutenção: Em cada iteração do loop nós verificamos se encontramos uma condição de finalização. Caso contrário, subimos para o diretório pai do qual estamos, sempre atualizando as variáveis para que o invariante continue válido.

Finalização: Interrompemos a execução do loop se uma das duas condições ocorrerem:

a) `complete_path == "/.weaver"`: Neste caso não podemos subir mais na árvore de diretórios, pois estamos na raiz do sistema de arquivos. Não encontramos um diretório `.weaver`. Isso significa que não estamos dentro de um projeto Weaver.

b) `complete_path == ".weaver"`: Neste caso encontramos um diretório `.weaver` e descobrimos que estamos dentro de um projeto Weaver. Podemos então atualizar a variável `project_path` para o diretório em que paramos.

Para manipularmos o caminho da árvore de diretórios, usaremos uma função auxiliar que recebe como entrada uma string com um caminho na árvore de diretórios e apaga todos os últimos caracteres até apagar dois `/`. Assim em `"/home/alice/projeto/diretorio/"` ele retornaria `"/home/alice/projeto"` efetivamente subindo um nível na árvore de diretórios:

Seção: Funções auxiliares Weaver:

```
void path_up(char *path){
    int erased = 0;
    char *p = path;
    while(*p != '\0') p++; // Vai até o fim
    while(erased < 2 && p != path){
        p--;
        if(*p == '/') erased++;
        *p = '\0'; // Apaga
    }
}
```

Note que caso a função receba uma string que não possua dois `/` em seu nome, obtemos um “buffer overflow” onde percorreríamos regiões de memória indevidas preenchendo-as com zero. Esta função é bastante perigosa, mas se limitarmos as strings que passamos para somente arquivos que não estão na raiz e diretórios diferentes da própria raiz que terminam sempre com `/`, então não teremos problemas pois a restrição do número de barras será cumprida. Ex: `“/etc/”` e `“/tmp/file.txt”`.

Para checar se o diretório `.weaver` existe, definimos `directory_exist(x)` como uma função que recebe uma string correspondente à localização de um arquivo e que deve retornar 1 se `x` for um diretório existente, -1 se `x` for um arquivo existente e 0 caso contrário. Primeiro criamos as macros para não nos esquecermos do que significa cada número de retorno:

Seção: Macros do Programa Weaver (continuação):

```
#define NAO_EXISTE          0
#define EXISTE_E_EH_DIRETORIO 1
#define EXISTE_E_EH_ARQUIVO -1
```

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```
int directory_exist(char *dir){
    struct stat s; // Armazena status se um diretório existe ou não.
    int err; // Checagem de erros
    err = stat(dir, &s); // .weaver existe?
    if(err == -1) return NAO_EXISTE;
    if(S_ISDIR(s.st_mode)) return EXISTE_E_EH_DIRETORIO;
    return EXISTE_E_EH_ARQUIVO;
}
```

A última função auxiliar da qual precisaremos é uma função para concatenar strings. Ela deve receber um número arbitrário de strings como argumento, mas a última string deve ser uma string vazia. E irá retornar a concatenação de todas as strings passadas como argumento.

A função irá alocar sempre uma nova string, a qual deverá ser desalocada antes do programa terminar. Como exemplo, `concatenate("tes", " ", "te", "")` retorna `"tes te"`.

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```
char *concatenate(char *string, ...){
    va_list arguments;
    char *new_string, *current_string = string;
    size_t current_size = strlen(string) + 1;
    char *realloc_return;
    va_start(arguments, string);
    new_string = (char *) malloc(current_size);
    if(new_string == NULL) return NULL;
    strcpy(new_string, string); // Copia primeira string
    while(current_string[0] != '\0'){ // Pára quando copiamos o ""
        current_string = va_arg(arguments, char *);
        current_size += strlen(current_string);
        realloc_return = (char *) realloc(new_string, current_size);
        if(realloc_return == NULL){
            free(new_string);
            return NULL;
        }
        new_string = realloc_return;
        strcat(new_string, current_string); // Copia próxima string
    }
    return new_string;
}
```

É importante lembrarmos que a função `concatenate` sempre deve receber como último argumento uma string vazia ou teremos um *buffer overflow*. Esta função também é perigosa e deve ser usada sempre tomando-se este cuidado.

Por fim, podemos escrever agora o código de inicialização. Começamos primeiro fazendo `complete_path` ser igual à `./.weaver/`:

Seção: Inicialização:

```
char *path = NULL, *complete_path = NULL;
path = getcwd(NULL, 0);
if(path == NULL) ERROR();
complete_path = concatenate(path, "./.weaver", "");
free(path);
if(complete_path == NULL) ERROR();
```

Agora iniciamos um loop que terminará quando `complete_path` for igual à `/.weaver` (chegamos no fim da árvore de diretórios e não encontramos nada) ou quando realmente existir o diretório `.weaver/` no diretório examinado. E no fim do loop, sempre vamos para o diretório-pai do qual estamos:

Seção: Inicialização (continuação):

```
while(strcmp(complete_path, "/.weaver")){ // Testa se chegamos ao fim
    if(directory_exist(complete_path) == EXISTE_E_EH_DIRETORIO){
        inside_weaver_directory = true;
        complete_path[strlen(complete_path)-7] = '\0'; // Apaga o '.weaver'
        project_path = concatenate(complete_path, "");
        if(project_path == NULL){ free(complete_path); ERROR(); }
        break;
    }
    else{
        path_up(complete_path);
        strcat(complete_path, "/.weaver");
    }
}
free(complete_path);
```

Como alocamos memória para `project_path` armazenar o endereço do projeto atual se estamos em um projeto Weaver, no final do programa teremos que desalocar a memória:

Seção: Finalização:

```
if(project_path != NULL) free(project_path);
```

1.4.6.2- Inicializando variáveis `weaver_version_major` e `weaver_version_minor`

Para descobrirmos a versão atual do Weaver que temos, basta consultar o valor presente na macro `VERSION`. Então, obtemos o número de versão maior e menor que estão separados por um ponto (se existirem). Note que se não houver um ponto no nome da versão, então ela é uma versão de testes. Mesmo neste caso o código abaixo vai funcionar, pois a função `atoi` iria retornar 0 nas duas invocações por encontrar respectivamente uma string sem dígito algum e um fim de string sem conteúdo:

Seção: Inicialização (continuação):

```
{
    char *p = VERSION;
    while(*p != '.' && *p != '\0') p++;
    if(*p == '.') p++;
    weaver_version_major = atoi(VERSION);
    weaver_version_minor = atoi(p);
}
```

1.4.6.3- Inicializando variáveis `project_version_major` e `project_version_minor`

Se estamos dentro de um projeto Weaver, temos que inicializar informação sobre qual versão do Weaver foi usada para atualizá-lo pela última vez. Isso pode ser obtido lendo o arquivo `.wea-`

ver/version localizado dentro do diretório Weaver. Se não estamos em um diretório Weaver, não precisamos inicializar tais valores. O número de versão maior e menor é separado por um ponto.

Seção: Inicialização (continuação):

```
if(inside_weaver_directory){
    FILE *fp;
    char *p, version[10];
    char *file_path = concatenate(project_path, ".weaver/version", "");
    if(file_path == NULL) ERROR();
    fp = fopen(file_path, "r");
    free(file_path);
    if(fp == NULL) ERROR();
    p = fgets(version, 10, fp);
    if(p == NULL){ fclose(fp); ERROR(); }
    while(*p != '.' && *p != '\0') p++;
    if(*p == '.') p++;
    project_version_major = atoi(version);
    project_version_minor = atoi(p);
    fclose(fp);
}
```

1.4.6.4- Inicializando `have_arg`, `argument` e `argument2`

Uma das variáveis mais fáceis e triviais de se inicializar. Basta consultar `argc` e `argv`.

Seção: Inicialização (continuação):

```
have_arg = (argc > 1);
if(have_arg) argument = argv[1];
if(argc > 2) argument2 = argv[2];
```

1.4.6.5- Inicializando `arg_is_path`

Agora temos que verificar se no caso de termos um argumento, se ele é um caminho para um projeto Weaver existente ou não. Para isso, checamos se ao concatenarmos `/.weaver` no argumento encontramos o caminho de um diretório existente ou não.

Seção: Inicialização (continuação):

```
if(have_arg){
    char *buffer = concatenate(argument, "/.weaver", "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    if(directory_exist(buffer) == EXISTE_E_EH_DIRETORIO){
        arg_is_path = 1;
    }
    free(buffer);
}
```

1.4.6.6- Inicializando `shared_dir`

A variável `shared_dir` deverá conter onde estão os arquivos compartilhados da instalação de Weaver. Se existir a variável de ambiente `WEAVER.DIR`, este será o caminho. Caso contrário, assumiremos o valor padrão de `/usr/share/weaver`.

Seção: Inicialização (continuação):

```

{
    char *weaver_dir = getenv("WEAVER_DIR");
    if(weaver_dir == NULL){
        shared_dir = concatenate("/usr/share/weaver/", "");
        if(shared_dir == NULL) ERROR();
    }
    else{
        shared_dir = concatenate(weaver_dir, "");
        if(shared_dir == NULL) ERROR();
    }
}

```

E isso requer que tenhamos que no fim do programa desalocar a memória alocada para `shared_dir`:

Seção: Finalização (continuação):

```

if(shared_dir != NULL) free(shared_dir);

```

1.4.6.7- Inicializando `arg_is_valid_project`

A próxima questão que deve ser averiguada é se o que recebemos como argumento, caso haja argumento, pode ser o nome de um projeto Weaver válido ou não. Para isso, três condições precisam ser satisfeitas:

- 1) O nome base do projeto deve ser formado somente por caracteres alfanuméricos e underline (embora uma barra possa aparecer para passar o caminho completo de um projeto).
- 2) Não pode existir um arquivo com o mesmo nome do projeto no local indicado para a criação.
- 3) O projeto não pode ter o nome de nenhum arquivo que costuma ficar no diretório base de um projeto Weaver (como "Makefile"). Do contrário, na hora da compilação comandos como "`gcc game.c -o Makefile`" poderiam ser executados e sobrescreveriam arquivos importantes.

Para isso, usamos o seguinte código:

Seção: Inicialização (continuação):

```

if(have_arg && !arg_is_path){
    char *buffer;
    char *base = basename(argument);
    int size = strlen(base);
    int i;
    // Checando caracteres inválidos no nome:
    for(i = 0; i < size; i++){
        if(!isalnum(base[i]) && base[i] != '_'){
            goto NOT_VALID;
        }
    }
    // Checando se arquivo existe:
    if(directory_exist(argument) != NAO_EXISTE){
        goto NOT_VALID;
    }
    // Checando se conflita com arquivos de compilação:
    buffer = concatenate(shared_dir, "project/", base, "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){

```

```

    free(buffer);
    goto NOT_VALID;
}
free(buffer);
arg_is_valid_project = true;
}
NOT_VALID:

```

1.4.6.8- Inicializando `arg_is_valid_module`

Checar se o argumento que recebemos pode ser um nome válido para um módulo só faz sentido se estivermos dentro de um diretório Weaver e se um argumento estiver sendo passado. Neste caso, o argumento é um nome válido se ele contiver apenas caracteres alfanuméricos, underline e se não existir no projeto um arquivo `.c` ou `.h` em `src/` que tenha o mesmo nome do argumento passado:

Seção: Inicialização (continuação):

```

if(have_arg && inside_weaver_directory){
    char *buffer;
    int i, size;
    size = strlen(argument);
    // Checando caracteres inválidos no nome:
    for(i = 0; i < size; i++){
        if(!isalnum(argument[i]) && argument[i] != '_'){
            goto NOT_VALID_MODULE;
        }
    }
    // Checando por conflito de nomes:
    buffer = concatenate(project_path, "src/", argument, ".c", "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){
        free(buffer);
        goto NOT_VALID_MODULE;
    }
    buffer[strlen(buffer) - 1] = 'h';
    if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){
        free(buffer);
        goto NOT_VALID_MODULE;
    }
    free(buffer);
    arg_is_valid_module = true;
}
NOT_VALID_MODULE:

```

1.4.6.9- Inicializando `arg_is_valid_plugin`

Para que um argumento seja um nome válido para plugin, ele deve ser composto só por caracteres alfanuméricos ou underline e não existir no diretório `plugin` um arquivo com a extensão `.c` de mesmo nome. Também precisamos estar naturalmente, em um diretório Weaver.

Seção: Inicialização (continuação):

```

if(argument2 != NULL && inside_weaver_directory){

```

```

int i, size;
char *buffer;
size = strlen(argument2);
// Checando caracteres inválidos no nome:
for(i = 0; i < size; i++){
    if(!isalnum(argument2[i]) && argument2[i] != '_'){
        goto NOT_VALID_PLUGIN;
    }
}
// Checando se já existe plugin com mesmo nome:
buffer = concatenate(project_path, "plugins/", argument2, ".c", "");
if(buffer == NULL) ERROR();
if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){
    free(buffer);
    goto NOT_VALID_PLUGIN;
}
free(buffer);
arg_is_valid_plugin = true;
}
NOT_VALID_PLUGIN:

```

1.4.6.10- Inicializando arg_is_valid_function

Para que essa variável seja verdadeira, é preciso existir um segundo argumento e ele deve ser formado somente por caracteres alfanuméricos ou underline. Além disso, o primeiro caractere precisa ser uma letra e ele não pode ter o mesmo nome de alguma palavra reservada em C.

Seção: Inicialização (continuação):

```

if(argument2 != NULL && inside_weaver_directory && !strcmp(argument, "--loop")){
    int i, size;
    char *buffer;
    // Primeiro caractere não pode ser dígito
    if(isdigit(argument2[0]))
        goto NOT_VALID_FUNCTION;
    size = strlen(argument2);
    // Checando caracteres inválidos no nome:
    for(i = 0; i < size; i++){
        if(!isalnum(argument2[i]) && argument2[i] != '_'){
            goto NOT_VALID_PLUGIN;
        }
    }
    // Checando se existem arquivos com o nome indicado:
    buffer = concatenate(project_path, "src/", argument2, ".c", "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){
        free(buffer);
        goto NOT_VALID_FUNCTION;
    }
    buffer[strlen(buffer)-1] = 'h';
    if(directory_exist(buffer) != NAO_EXISTE){
        free(buffer);
    }
}

```

```

    goto NOT_VALID_FUNCTION;
}
free(buffer);
// Checando se recebemos como argumento uma palavra reservada em C:
if(!strcmp(argument2, "auto") || !strcmp(argument2, "break") ||
    !strcmp(argument2, "case") || !strcmp(argument2, "char") ||
    !strcmp(argument2, "const") || !strcmp(argument2, "continue") ||
    !strcmp(argument2, "default") || !strcmp(argument2, "do") ||
    !strcmp(argument2, "int") || !strcmp(argument2, "long") ||
    !strcmp(argument2, "register") || !strcmp(argument2, "return") ||
    !strcmp(argument2, "short") || !strcmp(argument2, "signed") ||
    !strcmp(argument2, "sizeof") || !strcmp(argument2, "static") ||
    !strcmp(argument2, "struct") || !strcmp(argument2, "switch") ||
    !strcmp(argument2, "typedef") || !strcmp(argument2, "union") ||
    !strcmp(argument2, "unsigned") || !strcmp(argument2, "void") ||
    !strcmp(argument2, "volatile") || !strcmp(argument2, "while") ||
    !strcmp(argument2, "double") || !strcmp(argument2, "else") ||
    !strcmp(argument2, "enum") || !strcmp(argument2, "extern") ||
    !strcmp(argument2, "float") || !strcmp(argument2, "for") ||
    !strcmp(argument2, "goto") || !strcmp(argument2, "if"))
    goto NOT_VALID_FUNCTION;
arg_is_valid_function = true;
}
NOT_VALID_FUNCTION:

```

1.4.6.11- Inicializando `author_name`

A variável `author_name` deve conter o nome do usuário que está invocando o programa. Esta informação é útil para gerar uma mensagem de Copyright nos arquivos de código fonte de novos módulos.

Para obter o nome do usuário, começamos obtendo o seu UID. De posse dele, obtemos todas as informações de login com um `getpwuid`. Se o usuário tiver registrado um nome em `/etc/passwd`, obtemos tal nome na estrutura retornada pela função. Caso contrário, assumiremos o login como sendo o nome:

Seção: Inicialização (continuação):

```

{
    struct passwd *login;
    int size;
    char *string_to_copy;
    login = getpwuid(getuid()); // Obtém dados de usuário
    if(login == NULL) ERROR();
    size = strlen(login -> pw_gecos);
    if(size > 0)
        string_to_copy = login -> pw_gecos;
    else
        string_to_copy = login -> pw_name;
    size = strlen(string_to_copy);
    author_name = (char *) malloc(size + 1);
    if(author_name == NULL) ERROR();
    strcpy(author_name, string_to_copy);
}

```

}

Depois, precisaremos desalocar a memória ocupada por `author_name` :

Seção: Finalização (continuação):

```
if(author_name != NULL) free(author_name);
```

1.4.6.12- Inicializando `project_name`

Só faz sentido falarmos no nome do projeto se estivermos dentro de um projeto Weaver. Neste caso, o nome do projeto pode ser encontrado em um dos arquivos do diretório base de tal projeto em `.weaver/name`:

Seção: Inicialização (continuação):

```
if(inside_weaver_directory){
    FILE *fp;
    char *c, *filename = concatenate(project_path, ".weaver/name", "");
    if(filename == NULL) ERROR();
    project_name = (char *) malloc(256);
    if(project_name == NULL){
        free(filename);
        ERROR();
    }
    fp = fopen(filename, "r");
    if(fp == NULL){
        free(filename);
        ERROR();
    }
    c = fgets(project_name, 256, fp);
    fclose(fp);
    free(filename);
    if(c == NULL) ERROR();
    project_name[strlen(project_name)-1] = '\0';
    project_name = realloc(project_name, strlen(project_name) + 1);
    if(project_name == NULL) ERROR();
}
```

Depois, precisaremos desalocar a memória ocupada por `project_name`:

Seção: Finalização (continuação):

```
if(project_name != NULL) free(project_name);
```

1.4.6.13- Inicializando `year`

O ano atual é trivial de descobrir usando a função `localtime`:

Seção: Inicialização (continuação):

```
{
    time_t current_time;
    struct tm *date;
    time(&current_time);
    date = localtime(&current_time);
    year = date -> tm_year + 1900;
}
```

1.4.7- Caso de uso 1: Imprimir ajuda de criação de projeto

O primeiro caso de uso sempre ocorre quando Weaver é invocado fora de um diretório de projeto e a invocação é sem argumentos ou com argumento `--help`. Nesse caso assumimos que o usuário não sabe bem como usar o programa e imprimimos uma mensagem de ajuda. A mensagem de ajuda terá uma forma semelhante a esta:

```

. . You are outside a Weaver Directory.
./ \. The following command uses are available:
\\ //
\\()// weaver
.{}= Print this message and exits.
/ /'\ \
' \ / ' weaver PROJECT_NAME
' ' Creates a new Weaver Directory with a new
project.
```

O que é feito com o código abaixo:

Seção: Caso de uso 1: Imprimir ajuda de criação de projeto:

```

if(!inside_weaver_directory && (!have_arg || !strcmp(argument, "--help"))){
    printf(" . . You are outside a Weaver Directory.\n"
" .| |. The following command uses are available:\n"
" || ||\n"
" \\\()\// weaver\n"
" .{}= Print this message and exits.\n"
" / /'\ \ \\\n"
" ' \ / ' weaver PROJECT_NAME\n"
" ' ' Creates a new Weaver Directory with a new\n"
" project.\n");
    END();
}
```

1.4.8- Caso de uso 2: Imprimir ajuda de gerenciamento

O segundo caso de uso também é bastante simples. Ele é invocado quando já estamos dentro de um projeto Weaver e invocamos Weaver sem argumentos ou com um `--help`. Assumimos neste caso que o usuário quer instruções sobre a criação de um novo módulo. A mensagem que imprimiremos é semelhante à esta:

```

\ You are inside a Weaver Directory.
 \-----/ The following command uses are available:
 /\-----/\
 / \_ \_ \_ \ weaver
--/_/_/_/_/_/_/_ Prints this message and exits.
 \ \ \ \ \ / /
 \ \_ \_ \_ / weaver NAME
 \ /-----\ Creates NAME.c and NAME.h, updating
 / the Makefile and headers
 /
 weaver --loop NAME
 Creates a new main loop in a new file src/NAME.c

 weaver --plugin NAME
 Creates new plugin in plugin/NAME.c

 weaver --shader NAME
```

Creates a new shader directory in shaders/

O que é obtido com o código:

Seção: Caso de uso 2: Imprimir ajuda de gerenciamento:

```
if(inside_weaver_directory && (!have_arg || !strcmp(argument, "--help"))){
    printf("    \\                You are inside a Weaver Directory.\n"
"        \\_____/        The following command uses are available:\n"
"        /\_____\n"
"        / /\_____\n        weaver\n"
"    _/_/_/_/_/_/_/_/_/_ Prints this message and exits.\n"
"    \\ \\ \\\\ / / \n"
"    \\ \\/_\\_\\ /        weaver NAME\n"
"    \\/_\\_\\_\\_\\_        Creates NAME.c and NAME.h, updating\n"
"        /        \\        the Makefile and headers\n"
"        /\n"
"                                weaver --loop NAME\n"
"                                Creates a new main loop in a new file src/NAME.c\n"
"                                weaver --plugin NAME\n"
"                                Creates a new plugin in plugin/NAME.c\n"
"                                weaver --shader NAME\n"
"                                Creates a new shader directory in shaders\n");
    END();
}
```

1.4.9- Caso de uso 3: Mostrar versão instalada de Weaver

Um caso de uso ainda mais simples. Ocorrerá toda vez que o usuário invocar Weaver com o argumento `--version`:

Seção: Caso de uso 3: Mostrar versão:

```
if(have_arg && !strcmp(argument, "--version")){
    printf("Weaver\t%s\n", VERSION);
    END();
}
```

1.4.10- Caso de Uso 4: Atualizar projetos Weaver já existentes

Este caso de uso ocorre quando o usuário passar como argumento para Weaver um caminho absoluto ou relativo para um diretório Weaver existente. Assumimos então que ele deseja atualizar o projeto passado como argumento. Talvez o projeto tenha sido feito com uma versão muito antiga do motor e ele deseja que ele passe a usar uma versão mais nova da API.

Naturalmente, isso só será feito caso a versão de Weaver instalada seja superior à versão do projeto ou se a versão de Weaver instalada for uma versão instável para testes. Entende-se neste caso que o usuário deseja testar a versão experimental de Weaver no projeto. Fora isso, não é possível fazer *downgrades* de projetos, passando da versão 0.2 para 0.1, por exemplo.

Versões experimentais sempre são identificadas como tendo um nome formado somente por caracteres alfabéticos. Versões estáveis serão sempre formadas por um ou mais dígitos, um ponto e um ou mais dígitos (o número de versão maior e menor). Como o número de versão é interpretado com um `atoi`, isso significa que se estamos usando uma versão experimental, então o número de versão maior e menor serão sempre identificados como zero.

Pela definição que fizemos até agora, isso significa também que projetos em versões experimentais de Weaver sempre serão atualizados, independente da versão ser mais antiga ou mais nova.

Uma atualização consiste em copiar todos os arquivos que estão no diretório de arquivos compartilhados Weaver dentro de `project/src/weaver` para o diretório `src/weaver` do projeto em questão.

Mas para copiarmos os arquivos precisamos primeiro de uma função capaz de copiar um único arquivo. A função `copy_single_file` tenta copiar o arquivo cujo caminho é o primeiro argumento para o diretório cujo caminho é o segundo argumento. Se ela conseguir, retorna 1 e retorna 0 caso contrário.

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```
int copy_single_file(char *file, char *directory){
    int block_size, bytes_read;
    char *buffer, *file_dst;
    FILE *orig, *dst;
    // Inicializa 'block_size':
    <Seção a ser Inserida: Descubra tamanho do bloco do sistema de arquivos>
    buffer = (char *) malloc(block_size); // Aloca buffer de cópia
    if(buffer == NULL) return 0;
    file_dst = concatenate(directory, "/", basename(file), "");
    if(file_dst == NULL) return 0;
    orig = fopen(file, "r"); // Abre arquivo de origem
    if(orig == NULL){
        free(buffer);
        free(file_dst);
        return 0;
    }
    dst = fopen(file_dst, "w"); // Abre arquivo de destino
    if(dst == NULL){
        fclose(orig);
        free(buffer);
        free(file_dst);
        return 0;
    }
    while((bytes_read = fread(buffer, 1, block_size, orig)) > 0){
        fwrite(buffer, 1, bytes_read, dst); // Copia origem -> buffer -> destino
    }
    fclose(orig);
    fclose(dst);
    free(file_dst);
    free(buffer);
    return 1;
}
```

O mais eficiente é que o buffer usado para copiar arquivos tenha o mesmo tamanho do bloco do sistema de arquivos. Para obter o valor correto deste tamanho, usamos o seguinte trecho de código:

Seção: Descubra tamanho do bloco do sistema de arquivos:

```
{
    struct stat s;
    stat(directory, &s);
}
```

```

    block_size = s.st_blksize;
    if(block_size <= 0){
        block_size = 4096;
    }
}

```

De posse da função que copia um só arquivo, definimos uma função que copia todo o conteúdo de um diretório para outro diretório:

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```

int copy_files(char *orig, char *dst){
    DIR *d = NULL;
    struct dirent *dir;
    d = opendir(orig);
    if(d){
        while((dir = readdir(d)) != NULL){ // Loop para ler cada arquivo
            char *file;
            file = concatenate(orig, "/", dir -> d_name, "");
            if(file == NULL){
                return 0;
            }
            #if (defined(__linux__) || defined(_BSD_SOURCE)) && defined(DT_DIR)
                // Se suportamos DT_DIR, não precisamos chamar a função 'stat':
                if(dir -> d_type == DT_DIR){
            #else
                struct stat s;
                int err;
                err = stat(file, &s);
                if(err == -1) return 0;
                if(S_ISDIR(s.st_mode)){
            #endif
                // Se concluirmos estar lidando com subdiretório via 'stat' ou 'DT_DIR':
                char *new_dst;
                new_dst = concatenate(dst, "/", dir -> d_name, "");
                if(new_dst == NULL){
                    return 0;
                }
                if(strcmp(dir -> d_name, ".") && strcmp(dir -> d_name, "..")){
                    if(directory_exist(new_dst) == NAO_EXISTE) mkdir(new_dst, 0755);
                    if(copy_files(file, new_dst) == 0){
                        free(new_dst);
                        free(file);
                        closedir(d);
                        return 0; // Não fazemos nada para diretórios '.' e '..'
                    }
                }
                free(new_dst);
            }
            else{
                // Se concluimos estar diante de um arquivo usual:
                if(copy_single_file(file, dst) == 0){

```

```

        free(file);
        closedir(d);
        return 0;
    }
}
free(file);
} // Fim do loop para ler cada arquivo
closedir(d);
}
return 1;
}

```

A função acima presumiu que o diretório de destino tem a mesma estrutura de diretórios que a origem.

De posse de todas as funções podemos escrever o código do caso de uso em que iremos realizar a atualização:

Seção: Caso de uso 4: Atualizar projeto Weaver:

```

if(arg_is_path){
    if((weaver_version_major == 0 && weaver_version_minor == 0) ||
        (weaver_version_major > project_version_major) ||
        (weaver_version_major == project_version_major &&
            weaver_version_minor > project_version_minor)){
        char *buffer, *buffer2;
        // |buffer| passa a valer SHARED_DIR/project/src/weaver
        buffer = concatenate(shared_dir, "project/src/weaver/", "");
        if(buffer == NULL) ERROR();
        // |buffer2| passa a valer PROJECT_DIR/src/weaver/
        buffer2 = concatenate(argument, "/src/weaver/", "");
        if(buffer2 == NULL){
            free(buffer);
            ERROR();
        }
        if(copy_files(buffer, buffer2) == 0){
            free(buffer);
            free(buffer2);
            ERROR();
        }
        free(buffer);
        free(buffer2);
    }
    END();
}

```

1.4.11- Caso de Uso 5: Adicionando um módulo ao projeto Weaver

Se estamos dentro de um diretório de projeto Weaver, e o programa recebeu um argumento, então estamos inserindo um novo módulo no nosso jogo. Se o argumento é um nome válido, podemos fazer isso. Caso contrário, devemos imprimir uma mensagem de erro e sair.

Criar um módulo basicamente envolve:

- a) Criar arquivos `.c` e `.h` base, deixando seus nomes iguais ao nome do módulo criado.

b) Adicionar em ambos um código com copyright e licenciamento com o nome do autor, do projeto e ano.

c) Adicionar no .h código de macro simples para evitar que o cabeçalho seja inserido mais de uma vez e fazer com que o .c inclua o .h dentro de si.

d) Fazer com que o .h gerado seja inserido em src/includes.h e assim suas estruturas sejam acessíveis de todos os outros módulos do jogo.

A parte de imprimir um código de copyright será feita usando a nova função abaixo:

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```
void write_copyright(FILE *fp, char *author_name, char *project_name, int year){
    char license[] = "/*\nCopyright (c) %s, %d\nThis file is part of %s.\n%s\
is free software: you can redistribute it and/or modify\nit under the terms of\
the GNU Affero General Public License as published by\nthe Free Software\
Foundation, either version 3 of the License, or\n(at your option) any later\
version.\n\n\
%s is distributed in the hope that it will be useful,\nbut WITHOUT ANY\
WARRANTY; without even the implied warranty of\nMERCHANTABILITY or FITNESS\
FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the\nGNU Affero General Public License for more\
details.\n\nYou should have received a copy of the GNU Affero General Public\
License\
\nalong with %s. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.\n*/\n\n";
    fprintf(fp, license, author_name, year, project_name, project_name,
            project_name, project_name);
}
```

Já o código de criação de novo módulo passa a ser:

Seção: Caso de uso 5: Criar novo módulo:

```
if(inside_weaver_directory && have_arg &&
    strcmp(argument, "--plugin") && strcmp(argument, "--shader") &&
    strcmp(argument, "--loop")){
    if(arg_is_valid_module){
        char *filename;
        FILE *fp;
        // Criando modulo.c
        filename = concatenate(project_path, "src/", argument, ".c", "");
        if(filename == NULL) ERROR();
        fp = fopen(filename, "w");
        if(fp == NULL){
            free(filename);
            ERROR();
        }
        write_copyright(fp, author_name, project_name, year);
        fprintf(fp, "#include \"%s.h\"", argument);
        fclose(fp);
        filename[strlen(filename)-1] = 'h'; // Criando modulo.h
        fp = fopen(filename, "w");
        if(fp == NULL){
            free(filename);
            ERROR();
        }
        write_copyright(fp, author_name, project_name, year);
        fprintf(fp, "#ifndef _%s_h_\n", argument);
```

```

fprintf(fp, "#define _%s_h_\\n\\n#include \"weaver/weaver.h\"\\n",
        argument);
fprintf(fp, "#include \"includes.h\"\\n\\n#endif");
fclose(fp);
free(filename);

// Atualizando src/includes.h para inserir modulo.h:
fp = fopen("src/includes.h", "a");
fprintf(fp, "#include \"%s.h\"\\n", argument);
fclose(fp);
}
else{
    fprintf(stderr, "ERROR: This module name is invalid.\\n");
    return_value = 1;
}
END();
}

```

1.4.12- Caso de Uso 6: Criando um novo projeto Weaver

Criar um novo projeto Weaver consiste em criar um novo diretório com o nome do projeto, copiar para lá tudo o que está no diretório `project` do diretório de arquivos compartilhados e criar um diretório `.weaver` com os dados do projeto. Além disso, criamos um `src/game.c` e `src/game.h` adicionando o comentário de Copyright neles e copiando a estrutura básica dos arquivos do diretório compartilhado `basefile.c` e `basefile.h`. Também criamos um `src/includes.h` que por hora estará vazio, mas será modificado na criação de futuros módulos.

A permissão dos diretórios criados será `drwxr-xr-x` (`0755` em octal).

Seção: Caso de uso 6: Criar novo projeto:

```

if(! inside_weaver_directory && have_arg){
    if(arg_is_valid_project){
        int err;
        char *dir_name;
        FILE *fp;
        err = mkdir(argument, S_IRWXU | S_IRWXG | S_IROTH);
        if(err == -1) ERROR();
        err = chdir(argument);
        if(err == -1) ERROR();
        mkdir(".weaver", 0755); mkdir("conf", 0755); mkdir("tex", 0755);
        mkdir("src", 0755); mkdir("src/weaver", 0755); mkdir ("fonts", 0755);
        mkdir("image", 0755); mkdir("sound", 0755); mkdir ("models", 0755);
        mkdir("music", 0755); mkdir("plugins", 0755); mkdir("src/misc/", 0755);
        mkdir("src/misc/sqlite", 0755); mkdir(".misc", 0755);
        mkdir("compiled_plugins", 0755);
        mkdir("shaders", 0755);
        dir_name = concatenate(shared_dir, "project", "");
        if(dir_name == NULL) ERROR();
        if(copy_files(dir_name, ".") == 0){
            free(dir_name);
            ERROR();
        }
        free(dir_name); //Criando arquivo com número de versão:
    }
}

```



```

fp = fopen(".weaver/version", "w");
fprintf(fp, "%s\n", VERSION);
fclose(fp); // Criando arquivo com nome de projeto:
fp = fopen(".weaver/name", "w");
fprintf(fp, "%s\n", basename(argv[1]));
fclose(fp);
fp = fopen("src/game.c", "w");
if(fp == NULL) ERROR();
write_copyright(fp, author_name, argument, year);
if(append_basefile(fp, shared_dir, "basefile.c") == 0) ERROR();
fclose(fp);
fp = fopen("src/game.h", "w");
if(fp == NULL) ERROR();
write_copyright(fp, author_name, argument, year);
if(append_basefile(fp, shared_dir, "basefile.h") == 0) ERROR();
fclose(fp);
fp = fopen("src/includes.h", "w");
write_copyright(fp, author_name, argument, year);
fprintf(fp, "\n#include \"weaver/weaver.h\"\n");
fprintf(fp, "\n#include \"game.h\"\n");
fclose(fp);
}
else{
    fprintf(stderr, "ERROR: %s is not a valid project name.", argument);
    return_value = 1;
}
END();
}

```

A única coisa ainda não-definida é a função usada acima `append_basefile`. Esta é uma função bastante específica para concatenar o conteúdo de um arquivo para o outro dentro deste trecho de código. Não é uma função geral, pois ela recebe como argumento um ponteiro para o arquivo de destino aberto e recebe como argumento o diretório em que está a origem e o nome do arquivo de origem ao invés de ter a forma mais intuitiva `cat(origem, destino)`.

Definimos abaixo a forma da `append_basefile`:

Seção: Funções auxiliares Weaver (continuação):

```

int append_basefile(FILE *fp, char *dir, char *file){
    int block_size, bytes_read;
    char *buffer, *directory = ".";
    char *path = concatenate(dir, file, "");
    if(path == NULL) return 0;
    FILE *origin;
    <Seção a ser Inserida: Descubra tamanho do bloco do sistema de arquivos>
    buffer = (char *) malloc(block_size);
    if(buffer == NULL){
        free(path);
        return 0;
    }
    origin = fopen(path, "r");
    if(origin == NULL){

```

```

    free(buffer);
    free(path);
    return 0;
}
while((bytes_read = fread(buffer, 1, block_size, origin)) > 0){
    fwrite(buffer, 1, bytes_read, fp);
}
fclose(origin);
free(buffer);
free(path);
return 1;
}

```

E isso conclui todo o código do Programa Weaver. Todo o resto de código que será apresentado à seguir, não pertence mais ao programa Weaver, mas à Projetos Weaver e à API Weaver.

1.4.13- Caso de uso 7: Criar novo plugin

Este caso de uso é invocado quando temos dois argumentos, o primeiro é `--plugin` e o segundo é o nome de um novo plugin, o qual deve ser um nome único, sem conflitar com qualquer outro dentro de `plugins/`. Devemos estar em um diretório Weaver para fazer isso.

Seção: Caso de uso 7: Criar novo plugin:

```

if(inside_weaver_directory && have_arg && !strcmp(argument, "--plugin") &&
    arg_is_valid_plugin){
    char *buffer;
    FILE *fp;
    /* Criando o arquivo: */
    buffer = concatenate("plugins/", argument2, ".c", "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    fp = fopen(buffer, "w");
    if(fp == NULL) ERROR();
    write_copyright(fp, author_name, project_name, year);
    fprintf(fp, "#include \"../src/weaver/weaver.h\"\n\n");
    fprintf(fp, "void _init_plugin_%s(W_PLUGIN){\n\n}\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "void _fini_plugin_%s(W_PLUGIN){\n\n}\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "void _run_plugin_%s(W_PLUGIN){\n\n}\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "void _enable_plugin_%s(W_PLUGIN){\n\n}\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "void _disable_plugin_%s(W_PLUGIN){\n\n}\n\n", argument2);
    fclose(fp);
    free(buffer);
    END();
}

```

1.4.14- Caso de uso 8: Criar novo shader

Este caso de uso é similar ao anterior, mas possui algumas diferenças. Todo shader que criamos na verdade é um diretório com dois shaders: o de vértice e o de fragmento. O diretório precisa sempre ter um nome no estilo `DD-XXXXXXX` onde `DD` é um número de um ou mais dígitos que ao ser interpretado por um `atoi` deve resultar em um número único, não usado pelos outros shaders diferente de zero e de modo que todos os shaders possuam números sequenciais: `1-primeiro_shader`, `2-segundo_shader`, ...

Depois do número do shader virá um traço e depois virá o seu nome para ser facilmente identificado por humanos.

Então neste caso de uso, que será invocado somente quando o nosso primeiro argumento for `--shader` e o segundo for um nome qualquer. Não precisamos realmente forçar uma restrição nos nomes dos shaders, pois sua convenção numérica garante que cada um terá um nome único e não-conflitante.

O código deste caso de uso é então:

Seção: Caso de uso 8: Criar novo shader:

```
if(inside_weaver_directory && have_arg && !strcmp(argument, "--shader") &&
argument2 != NULL){
    FILE *fp;
    DIR *shader_dir;
    struct dirent *dp;
    int i, number, number_of_files = 0, err;
    char *buffer, *buffer2;
    bool *exists;

    // Primeiro vamos iterar dentro do diretório de shaders apenas
    // para contar o número de diretórios:
    shader_dir = opendir("shaders/");
    if(shader_dir == NULL)
        ERROR();
    while((dp = readdir(shader_dir)) != NULL){
        if(dp -> d_name == NULL) continue;
        if(dp -> d_name[0] == '.') continue;
        if(dp -> d_name[0] == '\0') continue;
        buffer = concatenate("shaders/", dp -> d_name, "");
        if(buffer == NULL) ERROR();
        if(directory_exist(buffer) != EXISTE_E_EH_DIRETORIO){
            free(buffer);
            continue;
        }
        free(buffer);
        number_of_files ++;
    }
    closedir(shader_dir);
    // Agora que sabemos o número de arquivos existentes, precisamos
    // de um número 1 unidade maior para conter todos os arquivos mais
    // o próximo. Alocamos um vetor booleano para indicar se o shader
    // cujo número corresponde à tal posição existe ou não.
    exists = (bool *) malloc(sizeof(bool) * number_of_files + 1);
    if(exists == NULL) ERROR();
    for(i = 0; i < number_of_files + 1; i ++){
        exists[i] = false;
    }
    // Iteramos novamente sobre os arquivos para saber quais números
    // já estão preenchidos e assim saber qual deve ser o número do
    // próximo shader. Provavelmente será o último. Mas vamos
    // considerar a possibilidade de haver um shader 1, um shader 3 e
    // não existir um 2, por exemplo. Neste caso, buscaremos tapar os
    // buracos.
    shader_dir = opendir("shaders/");
```

```

if(shader_dir == NULL)
    ERROR();
while((dp = readdir(shader_dir)) != NULL){
    if(dp -> d_name == NULL) continue;
    if(dp -> d_name[0] == '.') continue;
    if(dp -> d_name[0] == '\\0') continue;
    buffer = concatenate("shaders/", dp -> d_name, "");
    if(buffer == NULL) ERROR();
    if(directory_exist(buffer) != EXISTE_EH_DIRETORIO){
        free(buffer);
        continue;
    }
    free(buffer);
    number = atoi(dp -> d_name);
    exists[number - 1] = true;
}
closedir(shader_dir);
for(i = 0; exists[i] && i < number_of_files + 1; i ++);
if(i == number_of_files + 1){
    fprintf(stderr, "ERROR: Shader directory changed during execution.\n");
    ERROR();
}
number = i + 1; // Este é o número do novo shader
// Criando diretório do shader:
buffer = (char *) malloc(strlen("shaders/") +
                        number / 10 + 2 + strlen(argument2));
if(buffer == NULL) ERROR();
buffer[0] = '\\0';
sprintf(buffer, "shaders/%d-%s", number, argument2);
err = mkdir(buffer, S_IRWXU | S_IRWXG | S_IROTH);
if(err == -1) ERROR();
// Escrevendo o shader de vértice:
buffer2 = concatenate(buffer, "/vertex.glsl", "");
if(buffer2 == NULL) ERROR();
fp = fopen(buffer2, "w");
if(fp == NULL){
    free(buffer);
    free(buffer2);
    ERROR();
}
fprintf(fp, "#version 100\n\n");
fprintf(fp, "#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1\n");
fprintf(fp, "    precision highp float;\n    precision highp int;\n");
fprintf(fp, "#else\n");
fprintf(fp, "    precision mediump float;\n    precision mediump int;\n");
fprintf(fp, "#endif\n");
fprintf(fp, "    precision lowp sampler2D;\n    precision lowp samplerCube;\n");
fprintf(fp, "\n\nattribute vec3 vertex_position;\n\n");
fprintf(fp, "uniform vec4 object_color;\nuniform mat4 model_view_matrix;");

```

```

fprintf(fp, "\nuniform float time;\nuniform vec2 object_size;\n");
fprintf(fp, "uniform int integer;\n\n");
fprintf(fp, "varying mediump vec2 texture_coordinate;\n\n");
fprintf(fp, "void main(){\n  gl_Position = model_view_matrix * ");
fprintf(fp, "vec4(vertex_position, 1.0);\n");
fprintf(fp, "texture_coordinate = vec2(vertex_position[0] + 0.5, "
        "vertex_position[1] + 0.5);\n}\n");
free(buffer2);
fclose(fp);
// Escrevendo o shader de fragmento:
buffer2 = concatenate(buffer, "/fragment.glsl", "");
if(buffer2 == NULL) ERROR();
fp = fopen(buffer2, "w");
if(fp == NULL){
    free(buffer);
    free(buffer2);
    ERROR();
}
fprintf(fp, "#version 100\n\n");
fprintf(fp, "#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1\n");
fprintf(fp, "  precision highp float;\n  precision highp int;\n");
fprintf(fp, "#else\n");
fprintf(fp, "  precision mediump float;\n  precision mediump int;\n");
fprintf(fp, "#endif\n");
fprintf(fp, "  precision lowp sampler2D;\n  precision lowp samplerCube;\n");
fprintf(fp, "\nuniform vec4 object_color;\n");
fprintf(fp, "\nuniform float time;\nuniform vec2 object_size;\n");
fprintf(fp, "uniform int integer;\n");
fprintf(fp, "\nuniform sampler2D texture1;\n");
fprintf(fp, "varying mediump vec2 texture_coordinate;\n\n");
fprintf(fp, "void main(){\n  ");
fprintf(fp, "vec4 texture = texture2D(texture1, texture_coordinate);\n");
fprintf(fp, "  float final_alpha = texture.a + object_color.a * "
        "(1.0 - texture.a);\n");
fprintf(fp, "  gl_FragData[0] = vec4((texture.a * texture.rgb +\n");
fprintf(fp, "        object_color.rgb * object_color.a * "
        "\n");
fprintf(fp, "        (1.0 - texture.a)) /");
fprintf(fp, "        final_alpha, final_alpha);\n}\n");
// Finalizando
free(buffer);
free(buffer2);
END();
}

```

1.4.15- Caso de uso 9: Criar novo loop principal

Este caso de uso ocorre quando o segundo argumento é `--loop` e quando o próximo argumento for um nome válido para uma função. Se não for, imprimimos uma mensagem de erro para avisar:

Seção: Caso de uso 9: Criar novo loop principal:

```

if(inside_weaver_directory && !strcmp(argument, "--loop")){
    if(!arg_is_valid_function){
        if(argument2 == NULL)
            fprintf(stderr, "ERROR: You should pass a name for your new loop.\n");
        else
            fprintf(stderr, "ERROR: %s not a valid loop name.\n", argument2);
        ERROR();
    }
    char *filename;
    FILE *fp;
    // Criando LOOP_NAME.c
    filename = concatenate(project_path, "src/", argument2, ".c", "");
    if(filename == NULL) ERROR();
    fp = fopen(filename, "w");
    if(fp == NULL){
        free(filename);
        ERROR();
    }
    write_copyright(fp, author_name, project_name, year);
    fprintf(fp, "#include \"%s.h\"\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "MAIN_LOOP %s(void){\n", argument2);
    fprintf(fp, "    LOOP_INIT:\n\n");
    fprintf(fp, "    LOOP_BODY:\n");
    fprintf(fp, "    if(W.keyboard[W_ANY])\n");
    fprintf(fp, "        Wexit_loop();\n");
    fprintf(fp, "    LOOP_END:\n");
    fprintf(fp, "    return;\n");
    fprintf(fp, "}\n");
    fclose(fp);
    // Criando LOOP_NAME.h
    filename[strlen(filename)-1] = 'h';
    fp = fopen(filename, "w");
    if(fp == NULL){
        free(filename);
        ERROR();
    }
    write_copyright(fp, author_name, project_name, year);
    fprintf(fp, "#ifndef _%s_h_\n", argument2);
    fprintf(fp, "#define _%s_h_\n#include \"weaver/weaver.h\"\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "#include \"includes.h\"\n\n");
    fprintf(fp, "MAIN_LOOP %s(void);\n\n", argument2);
    fprintf(fp, "#endif\n");
    fclose(fp);
    free(filename);
    // Atualizando src/includes.h
    fp = fopen("src/includes.h", "a");
    fprintf(fp, "#include \"%s.h\"\n", argument2);
    fclose(fp);
}

```

1.5 - O arquivo `conf.h`

Em toda árvore de diretórios de um projeto Weaver, deve existir um arquivo cabeçalho C chamado `conf/conf.h`. Este cabeçalho será incluído em todos os outros arquivos de código do Weaver no projeto e que permitirá que o comportamento da Engine seja modificado naquele projeto específico.

O arquivo deverá ter as seguintes macros (dentre outras):

- `W_DEBUG_LEVEL` : Indica o que deve ser impresso na saída padrão durante a execução. Seu valor pode ser:
 - 0) Nenhuma mensagem de depuração é impressa durante a execução do programa. Ideal para compilar a versão final de seu jogo.
 - 1) Mensagens de aviso que provavelmente indicam erros são impressas durante a execução. Por exemplo, um vazamento de memória foi detectado, um arquivo de textura não foi encontrado, etc.
 - 2) Mensagens que talvez possam indicar erros ou problemas, mas que talvez sejam inofensivas são impressas.
 - 3) Mensagens informativas com dados sobre a execução, mas que não representam problemas são impressas.
 - 4) Código de teste adicional é executado apenas para garantir que condições que tornem o código incorreto não estão presentes. Use só se você está depurando ou desenvolvendo a própria API Weaver, não o projeto de um jogo que a usa.
- `W_SOURCE` : Indica a linguagem que usaremos em nosso projeto. As opções são:
 - `W_C`) Nosso projeto é um programa em C.
 - `W_CPP`) Nosso projeto é um programa em C++.
- `W_TARGET` : Indica que tipo de formato deve ter o jogo de saída. As opções são:
 - `W_ELF`) O jogo deverá rodar nativamente em Linux. Após a compilação, deverá ser criado um arquivo executável que poderá ser instalado com `make install`.
 - `W_WEB`) O jogo deverá executar em um navegador de Internet. Após a compilação deverá ser criado um diretório chamado `web` que conterá o jogo na forma de uma página HTML com Javascript. Não faz sentido instalar um jogo assim. Ele deverá ser copiado para algum servidor Web para que possa ser jogado na Internet. Isso é feito usando Emscripten.

Opcionalmente as seguintes macros podem ser definidas também (dentre outras):

- `W_MULTITHREAD` : Se a macro for definida, Weaver é compilado com suporte à múltiplas threads acionadas pelo usuário. Note que de qualquer forma vai existir mais de uma thread rodando no programa para que música e efeitos sonoros sejam tocados. Mas esta macro garante que mutexes e código adicional sejam executados para que o desenvolvedor possa executar qualquer função da API concorrentemente.

Ao longo das demais seções deste documento, outras macros que devem estar presentes ou que são opcionais serão apresentadas. Mudar os seus valores, adicionar ou removê-las é a forma de configurar o funcionamento do Weaver.

Junto ao código-fonte de Weaver deve vir também um arquivo `conf/conf.h` que apresenta todas as macros possíveis em um só lugar. Apesar de ser formado por código C, tal arquivo não será apresentado neste PDF, pois é importante que ele tenha comentários e `CWEB` iria remover os comentários ao gerar o código C.

O modo pelo qual este arquivo é inserido em todos os outros cabeçalhos de arquivos da API Weaver é:

Seção: Inclui Cabeçalho de Configuração:

```
#include "conf_begin.h"
#include "../conf/conf.h"
#include "conf_end.h"
```

Note que haverão também cabeçalhos `conf_begin.h` que cuidarão de toda declaração de inicialização que forem necessárias. E um `conf_end.h` para tratar de qualquer pós-processamento necessário. Para começar, criaremos o `conf_begin.h` para inicializar as macros `W_WEB` e `W_ELF`:

Arquivo: `project/src/weaver/conf_begin.h`:

```
#define W_ELF 0
#define W_WEB 1
```

E vamos começar usando o `conf_end.h` para impedir que suportemos threads se estivermos compilando para Emscripten, já que as threads não funcionam neste ambiente. E também determinamos que se o `W_DEBUG_LEVEL` não estiver definido, ele deve ser tratado como zero como valor padrão. Criamos os valores padrão para as demais macros também, mas algumas devem imprimir avisos se não estiverem presentes.

Arquivo: `project/src/weaver/conf_end.h`:

```
#ifndef W_DEBUG_LEVEL
#define W_DEBUG_LEVEL 0
#endif
#if W_TARGET == W_WEB && defined(W_MULTITHREAD)
#undef W_MULTITHREAD
#warning "Threads won't be used when compiling the game to a web browser."
#endif
#ifndef W_SOURCE
#warning "Not W_SOURCE defined at conf/conf.h. Assuming W_C (C)."
```

```
#define W_SOURCE W_C
#endif
#ifndef W_TARGET
#warning "Not W_TARGET defined at conf/conf.h. Assuming W_ELF (linux
executable)."
```

```
#define W_TARGET W_ELF
#endif
```

1.6 - Funções básicas Weaver

E agora começaremos a definir o começo do código para a API Weaver.

Primeiro criamos um `weaver.h` que irá incluir automaticamente todos os cabeçalhos Weaver necessários:

Arquivo: `project/src/weaver/weaver.h`:

```
#ifndef _weaver_h_
#define _weaver_h_
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>
#if W_TARGET == W_WEB
#include <emscripten.h>
#endif
    <Seção a ser Inserida: Cabeçalhos Weaver>
// Todas as variáveis e funções globais ficarão no struct abaixo:
    <Seção a ser Inserida: Estrutura Global>
    <Seção a ser Inserida: Cabeçalhos Gerais Dependentes da Estrutura Global>
    <Seção a ser Inserida: Declaração de Cabeçalhos Finais>
#ifdef __cplusplus
}
#endif
```



```
#endif
```

Neste cabeçalho, iremos também declarar quatro funções.

A primeira função servirá para inicializar a API Weaver. Seus parâmetros devem ser o nome do arquivo em que ela é invocada e o número de linha. Esta informação será útil para imprimir mensagens de erro úteis em caso de erro.

A segunda função deve ser a última coisa invocada no programa. Ela encerra a API Weaver.

As duas outras funções são executadas dentro do loop principal. Uma delas executará no mesmo ritmo da engine de física e a outra executará durante a renderização do jogo na tela.

Nenhuma destas funções foi feita para ser chamada por mais de uma thread. Todas elas só devem ser usadas pela thread principal. Mesmo que você defina a macro `W_MULTITHREAD`, todas as outras funções serão seguras para threads, menos estas três.

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _awake_the_weaver(void);
void _may_the_weaver_sleep(void) __attribute__((noreturn));
void _update(void);
void _render(void);
#define Winit() _awake_the_weaver()
#define Wexit() _may_the_weaver_sleep()
```

Definiremos melhor a responsabilidade destas funções ao longo dos demais capítulos. A única função que começaremos a definir já será a função de renderização.

Ela limpa os buffers OpenGL (`glClear`),troca os buffers de desenho na tela (`glXSwapBuffers` , somente se formos um programa executável, não algo compilado para Javascript) e pede que todos os comandos OpenGL pendentes sejam executados (`glFlush`).

Arquivo: project/src/weaver/weaver.c:

```
#include "weaver.h"

<Seção a ser Inserida: API Weaver: Definições>
void _awake_the_weaver(void){
    <Seção a ser Inserida: API Weaver: Inicialização>
    <Seção a ser Inserida: API Weaver: Últimas Inicializações>
}

void _may_the_weaver_sleep(void){
    <Seção a ser Inserida: API Weaver: Finalização>
    exit(0);
}

void _update(void){
    <Seção a ser Inserida: Código a executar todo loop>
}

void _render(void){
    // Limpando todos os buffers.
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
    <Seção a ser Inserida: Antes da Renderização>
    // TODO: Renderizar os objetos que fazem parte do jogo
    <Seção a ser Inserida: Renderizar Interface>
    <Seção a ser Inserida: Depois da Renderização>
    #if W_TARGET == W_ELF
        glXSwapBuffers(_dpy, _window);
    #else
        glFlush();
    #endif
}
```

```
}
```

Mas isso é só uma amostra inicial e uma inicialização dos arquivos. Estas funções todas serão mais ricamente definidas a cada capítulo à medida que definimos novas responsabilidades para o nosso motor de jogo. Embora a estrutura do loop principal seja vista logo mais.

Seção: API Weaver: Finalização:

```
// A definir...
```

1.7 - A estrutura W

As funções que definimos acima são atípicas. A maioria das variáveis e funções que criaremos ao longo do projeto não serão definidas globalmente, mas serão atribuídas à uma estrutura. Na prática estamos aplicando técnica de orientação à objetos, criando o Objeto “Weaver API” e definindo seus próprios atributos e métodos ao invés de termos que definir variáveis globais.

O objeto terá a forma:

Seção: Estrutura Global:

```
// Esta estrutura conterá todas as variáveis e funções definidas pela
// API Weaver:
extern struct _weaver_struct{
    <Seção a ser Inserida: Variáveis Weaver>
    <Seção a ser Inserida: Funções Weaver>
} W;
```

Seção: API Weaver: Definições:

```
struct _weaver_struct W;
```

A vantagem de fazermos isso é evitarmos a poluição do espaço de nomes. Fazendo isso diminuímos muito a chance de existir algum conflito entre o nome que damos a uma variável global e um nome exportado por alguma biblioteca. As únicas funções com as quais não nos preocuparemos serão aquelas que começam com um “_”, pois elas serão internas à API. Nenhum usuário deve criar funções que começam com o “_”.

Uma vantagem ainda maior de fazermos isso é que passamos a ser capazes de passar a estrutura W para *plugins*, que normalmente não teriam como acessar coisas que estão como variáveis globais. Mas os *plugins* podem definir funções que recebem como argumento W e assim eles podem ler informações e manipular a API.

1.8 - O Tempo

Como exemplo de variável útil que pode ser colocada na estrutura, temos o tempo t . Usaremos como unidade de medida de tempo o microsegundo (10^{-6} s). Quando nosso programa é inicializado, a variável W.t será inicializada como zero. Depois, em cada iteração de loop principal, será atualizada para o valor que corresponde quantos microsegundos se passaram desde o começo do programa. Sendo assim, precisamos saber também o tempo do sistema de cada última iteração (que deve ficar em uma variável interna, que portanto não irá para dentro de W) e cuidar com *overflows*. É preciso que W.t tenha pelo menos 32 bits e seja sem sinal para garantir que ele nunca irá sofrer *overflow*, a menos que ocorra o absurdo do programa se manter em execução sem ser fechado por mais de dois anos.

Por fim, iremos armazenar também uma variável dt , a qual mede a diferença de tempo entre uma iteração e outra do loop principal (do ponto de vista da engine de física).

O nosso valor de tempo e o tempo de sistema medido ficarão nestas variáveis:

Seção: Variáveis Weaver:

```
// Isso fica dentro da estrutura W:
unsigned long long t;
unsigned long dt;
```

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
struct timeval _last_time;
```

Ambas as variáveis são inicializadas assim:

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.t = 0;
```

```
gettimeofday(&_last_time, NULL);
```

Elas terão seus valores atualizados em vários momentos como veremos mais adiante. Mas para nos ajudar, projetaremos agora uma função para atualizar o valor de `W.t` e que retorna o número de microsegundos que se passaram desde a última vez que atualizamos a variável:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
unsigned long _update_time(void);
```

Seção: API Weaver: Definições:

```
unsigned long _update_time(void){
    int nsec;
    unsigned long result;
    struct timeval _current_time;
    gettimeofday(&_current_time, NULL);
    // Aqui temos algo equivalente ao "vai um" do algoritmo da subtração:
    if(_current_time.tv_usec < _last_time.tv_usec){
        nsec = (_last_time.tv_usec - _current_time.tv_usec) / 1000000 + 1;
        _last_time.tv_usec -= 1000000 * nsec;
        _last_time.tv_sec += nsec;
    }
    if(_current_time.tv_usec - _last_time.tv_usec > 1000000){
        nsec = (_current_time.tv_usec - _last_time.tv_usec) / 1000000;
        _last_time.tv_usec += 1000000 * nsec;
        _last_time.tv_sec -= nsec;
    }
    if(_current_time.tv_sec < _last_time.tv_sec){
        // Overflow
        result = (_current_time.tv_sec - _last_time.tv_sec) * (-1000000);
        result += (_current_time.tv_usec - _last_time.tv_usec); // Sempre positivo
    }
    else{
        result = (_current_time.tv_sec - _last_time.tv_sec) * 1000000;
        result += (_current_time.tv_usec - _last_time.tv_usec);
    }
    _last_time.tv_sec = _current_time.tv_sec;
    _last_time.tv_usec = _current_time.tv_usec;
    return result;
}
```

1.9 - As Variáveis do Jogo

Todo projeto Weaver define uma estrutura localizada em `src/game.h` que pode ter qualquer tipo de variáveis e estruturas de dados características do jogo. O nome de tal estrutura é sempre `_game`.

É importante que esta estrutura possa ser acessada de dentro da estrutura `W`. Para isso, colocamos a seguinte declaração:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
extern struct _game_struct _game;
```

Seção: Variáveis Weaver:

```
// Isso fica dentro da estrutura W:  
struct _game_struct *game;
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.game = &_amp;game;
```

1.10 - Sumário das Variáveis e Funções da Introdução

Terminaremos todo capítulo deste livro/programa com um sumário de todas as funções e variáveis definidas ao longo do capítulo que estejam disponíveis na API Weaver. As funções do programa Weaver, bem como variáveis e funções estáticas serão omitidas. O sumário conterá uma descrição rápida e poderá ter algum código adicional que possa ser necessário para inicializá-lo e defini-lo.

- Este capítulo apresentou 2 novas variáveis da API Weaver:

`W` : Uma estrutura que irá armazenar todas as variáveis globais da API Weaver, bem como as suas funções globais. Exceto as três outras funções definidas neste capítulo.

`W.t\` : O tempo em microsegundos que se passou desde que o programa se inicializou. Valor somente para leitura.

`W.dt` : O intervalo de tempo que passa entre uma iteração e outra no loop principal.

- Este capítulo apresentou 2 novas funções da API Weaver:

`void Winit(void)` : Inicializa a API Weaver. Deve ser a primeira função invocada pelo programa antes de usar qualquer coisa da API Weaver.

`void Wexit(void)` : Finaliza a API Weaver. Deve ser chamada antes de encerrar o programa.

Capítulo 2: Gerenciamento de memória

Alocar memória dinamicamente é uma operação cujo tempo nem sempre pode ser previsto. Depende da quantidade de blocos contínuos de memória presentes na heap que o gerenciador organiza. E isso depende muito do padrão de uso das funções `malloc` e `free`.

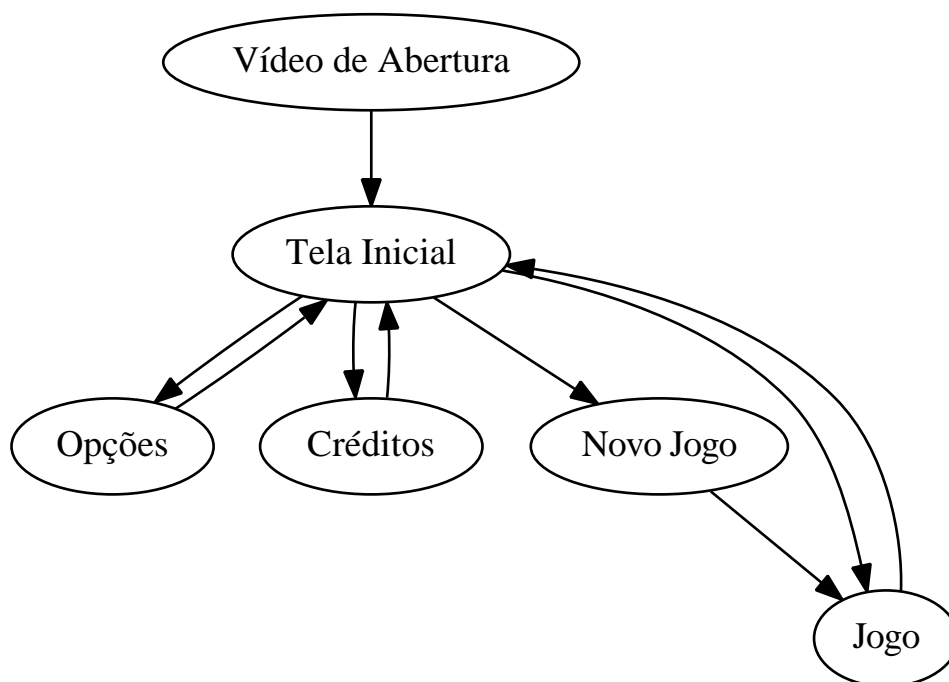
Jogos de computador tradicionalmente evitam o uso contínuo de `malloc` e `free` por causa disso. Tipicamente jogos programados para ter um alto desempenho alocam toda (ou a maior parte) da memória de que vão precisar logo no início da execução gerando um *pool* de memória e gerenciando ele ao longo da execução. De fato, esta preocupação direta com a memória é o principal motivo de linguagens sem *garbage collectors* como C++ serem tão preferidas no desenvolvimento de grandes jogos comerciais.

Um dos motivos para isso é que também nem sempre o `malloc` disponível pela biblioteca padrão de algum sistema é muito eficiente para o que está sendo feito. Como um exemplo, será mostrado posteriormente gráficos de benchmarks que mostram que após ser compilado para Javascript usando Emscripten, a função `malloc` da biblioteca padrão do Linux torna-se terrivelmente lenta. Mas mesmo que não estejamos lidando com uma implementação rápida, ainda assim há benefícios em ter um alocador de memória próprio. Pelo menos a prática de alocar toda a memória necessária logo no começo e depois gerenciar ela ajuda a termos um programa mais rápido.

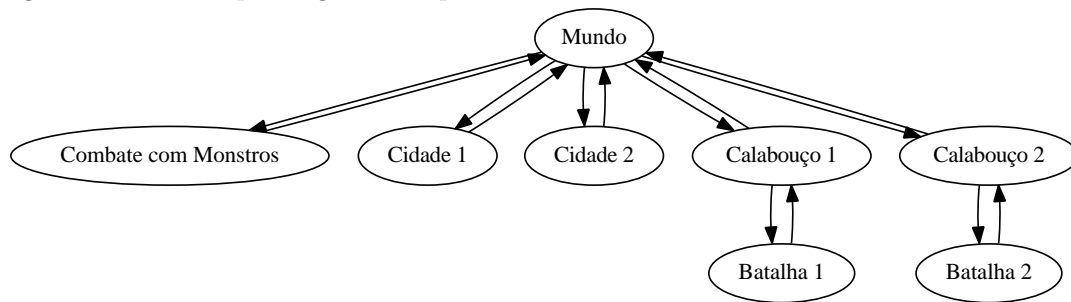
Por causa disso, Weaver exige que você informe anteriormente quanto de memória você irá usar e cuida de toda a alocação durante a inicialização. Sabendo a quantidade máxima de memória que você vai usar, isso também permite que vazamentos de memória sejam detectados mais cedo e permitem garantir que o seu jogo está dentro dos requisitos de memória esperados.

Weaver de fato aloca mais de uma região contínua de memória onde pode-se alocar coisas. Uma das regiões contínuas será alocada e usada pela própria API Weaver à medida que for necessário. A segunda região de memória contínua, cujo tamanho deve ser declarada em `conf/conf.h` é a região dedicada para que o usuário possa alocar por meio de `Walloc` (que funciona como o `malloc`). Além disso, o usuário deve poder criar novas regiões contínuas de memória dentro das quais pode-se fazer novas alocações. O nome que tais regiões recebem é **arena**.

Além de um `Walloc`, também existe um `Wfree`. Entretanto, o jeito recomendável de desalocar na maioria das vezes é usando uma outra função chamada `Wtrash`. Para explicar a ideia de seu funcionamento, repare que tipicamente um jogo funciona como uma máquina de estados onde mudamos várias vezes de estado. Por exemplo, em um jogo de RPG clássico como Final Fantasy, podemos encontrar os seguintes estados:



E cada um dos estados pode também ter os seus próprios sub-estados. Por exemplo, o estado “Jogo” seria formado pela seguinte máquina de estados interna:



Cada estado precisará fazer as suas próprias alocações de memória. Algumas vezes, ao passar de um estado pro outro, não precisamos lembrar do quê havia no estado anterior. Por exemplo, quando passamos da tela inicial para o jogo em si, não precisamos mais manter na memória a imagem de fundo da tela inicial. Outras vezes, podemos precisar memorizar coisas. Se estamos andando pelo mundo e somos atacados por monstros, passamos para o estado de combate. Mas uma vez que os monstros sejam derrotados, devemos voltar ao estado anterior, sem esquecer de informações como as coordenadas em que estávamos. Mas quando formos esquecer um estado, iremos querer sempre desalocar toda a memória relacionada à ele.

Por causa disso, um jogo pode ter um gerenciador de memória que funcione como uma pilha. Primeiro alocamos dados globais que serão úteis ao longo de todo o jogo. Todos estes dados só serão desalocados ao término do jogo. Em seguida, podemos criar um **breakpoint** e alocamos todos os dados referentes à tela inicial. Quando passarmos da tela inicial para o jogo em si, podemos desalocar de uma vez tudo o que foi alocado desde o último *breakpoint* e removê-lo. Ao entrar no jogo em si, criamos um novo *breakpoint* e alocamos tudo o que precisamos. Se entramos em tela de combate, criamos outro *breakpoint* (sem desalocar nada e sem remover o *breakpoint* anterior) e alocamos os dados referentes à batalha. Depois que ela termina, desalocamos tudo até o último *breakpoint* para apagarmos os dados relacionados ao combate e voltamos assim ao estado anterior de caminhar pelo mundo. Ao longo destes passos, nossa memória terá aproximadamente a seguinte estrutura:

				Combate
	Tela Inicial		Jogo	Jogo
Globais	Globais	Globais	Globais	Globais

Sendo assim, nosso gerenciador de memória torna-se capaz de evitar completamente fragmentação tratando a memória alocada na heap como uma pilha. O desenvolvedor só precisa desalocar a memória na ordem inversa da alocação (se não o fizer, então haverá fragmentação). Entretanto, a desalocação pode ser um processo totalmente automatizado. Toda vez que encerramos um estado, podemos ter uma função que desaloca tudo o que foi alocado até o último *breakpoint* na ordem correta e elimina aquele *breakpoint* (exceto o último na base da pilha que não pode ser eliminado). Fazendo isso, o gerenciamento de memória fica mais simples de ser usado, pois o próprio gerenciador poderá desalocar tudo que for necessário, sem esquecer e sem deixar vazamentos de memória. O que a função `Wtrash` faz então é desalocar na ordem certa toda a memória alocada até o último *breakpoint* e destrói o *breakpoint* (exceto o primeiro que nunca é removido). Para criar um novo *breakpoint*, usamos a função `Wbreakpoint`.

Tudo isso sempre é feito na arena padrão. Mas pode-se criar uma nova arena (`Wcreate_arena`) bem como destruir uma arena (`Wdestroy_arena`). E pode-se então alocar memória na arena personalizada criada (`Walloc_arena`) e desalocar (`Wfree_arena`). Da mesma forma, pode-se também criar um *breakpoint* na arena personalizada (`Wbreakpoint_arena`) e descartar tudo que foi alocado nela até o último *breakpoint* (`Wtrash_arena`).

Para garantir a inclusão da definição de todas estas funções e estruturas, usamos o seguinte código:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#include "memory.h"
```

E também criamos o cabeçalho de memória. À partir de agora, cada novo módulo de Weaver terá um nome associado à ele. O deste é “Memória”. E todo cabeçalho `.h` dele conterá, além das macros comuns para impedir que ele seja inserido mais de uma vez e para que ele possa ser usado em C++, uma parte na qual será inserido o cabeçalho de configuração (visto no fim do capítulo anterior) e a parte de declarações, com o nome **Declarações de NOME_DO_MODULO**.

Arquivo: `project/src/weaver/memory.h:`

```
#ifndef _memory_h_
#define _memory_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
```

<Seção a ser Inserida: **Inclui Cabeçalho de Configuração**>

<Seção a ser Inserida: **Declarações de Memória**>

```
#ifdef __cplusplus
}
#endif
#endif
```

Arquivo: `project/src/weaver/memory.c:`

```
#include "memory.h"
```

No caso, as Declarações de Memória que usaremos aqui começam com os cabeçalhos que serão usados, e posteriormente passarão para as declarações das funções e estruturas de dado a serem usadas nele:

Seção: Declarações de Memória:

```
#include <sys/mman.h> // |mmap|, |munmap|
#include <pthread.h> // |pthread_mutex_init|, |pthread_mutex_destroy|
#include <string.h> // |memcpy|
#include <unistd.h> // |sysconf|
#include <stdlib.h> // |size_t|
#include <stdio.h> // |perror|
#include <math.h> // |ceil|
#include <stdbool.h>
```

Outra coisa relevante a mencionar é que à partir de agora assumiremos que as seguintes macros são definidas em `conf/conf.h`:

- **W_MAX_MEMORY** : O valor máximo em bytes de memória que iremos alocar por meio da função `Walloc` de alocação de memória na arena padrão.
- **W_INTERNAL_MEMORY** : Quantidade de memória que será alocada apenas para operações internas da engine.
- **W_WEB_MEMORY** : A quantidade de memória adicional em bytes que reservaremos para uso caso compilemos o nosso jogo para a Web ao invés de gerar um programa executável. O Emscripten precisará de memória adicional e a quantidade pode depender do quanto outras funções como `malloc` e `Walloc_arena` são usadas. Este valor deve ser aumentado se forem encontrados problemas de falta de memória na web. Esta macro será consultada na verdade por um dos `Makefiles`, não por código que definiremos neste PDF.
- **W_MAX_SUBLOOP** : O tamanho máximo da pilha de loops principais que o jogo pode ter. No exemplo dado acima do Final Fantasy, precisamos de um tamanho de pelo menos 3 para conter os estados “Tela Inicial”, “Jogo” e “Combate”.

Vamos agora definir os valores padrão para tais macros se elas não estiverem definidas. Vamos criar um valor padrão para `W_INTERNAL_MEMORY` como sendo 1/10000 de `W_MAX_MEMORY`, but not less than 16 KB:

Arquivo: `project/src/weaver/conf_end.h` (continuação):

```
#ifndef W_MAX_MEMORY
#warning "W_MAX_MEMORY not defined at conf/conf.h. Assuming the smallest value possible"
#define W_MAX_MEMORY 1
#endif
#ifndef W_INTERNAL_MEMORY
#define W_INTERNAL_MEMORY \
    (((W_MAX_MEMORY)/10000>16384)?((W_MAX_MEMORY)/10000):(16384))
#endif
#if !defined(W_WEB_MEMORY) && W_TARGET == W_ELF
#warning "W_WEB_MEMORY not defined at conf/conf.h."
#endif
#ifndef W_MAX_SUBLOOP
#warning "W_MAX_SUBLOOP not defined at conf/conf.h. Assuming 1."
#define W_MAX_SUBLOOP 1
#endif
```

2.1 - Estruturas de Dados Usadas

Vamos considerar primeiro uma **arena**. Toda **arena** terá a seguinte estrutura:

```
+-----+-----+-----+-----+
| Cabeçalho | Breakpoint | Breakpoints e alocações | Não alocado |
+-----+-----+-----+-----+
```

A terceira região é onde toda a ação de alocação e liberação de memória ocorrerá. No começo estará vazia e a área não-alocada será a maioria. À medida que alocações e desalocações ocorrerem, a região de alocação e *breakpoints* crescerá e diminuirá, sempre substituindo o espaço não-alocado ao crescer. O cabeçalho e *breakpoint* inicial sempre existirão e não poderão ser removidos. O primeiro *breakpoint* é útil para que o comando `Wtrash` sempre funcione e seja definido, pois sempre existirá um último *breakpoint*.

A memória pode ser vista de três formas diferentes:

1) Como uma pilha que cresce da última alocação até a região não-alocada. Sempre que uma nova alocação é feita, ela será colocada imediatamente após a última alocação feita. Se memória for desalocada, caso a memória em questão esteja no fim da pilha, ela será efetivamente liberada. Caso contrário, será marcada para ser removida depois, o que infelizmente pode gerar fragmentação se o usuário não tomar cuidado.

2) Como uma lista duplamente encadeada. Cada *breakpoint* e região alocada terá ponteiros para a próxima região e para a região anterior (ou para `NULL`). Desta forma, pode-se percorrer rapidamente em uma iteração todos os elementos da memória.

3) Como uma árvore. Cada elemento terá um ponteiro para o último *breakpoint*. Desta forma, caso queiramos descartar a memória alocada até encontrarmos o último *breakpoint*, podemos consultar este ponteiro.

2.1.1- Cabeçalho da Arena

O cabeçalho conterá todas as informações que precisamos para usar a arena. Chamaremos sua estrutura de dados de `struct arena_header`.

O tamanho total da arena nunca muda. O cabeçalho e primeiro breakpoint também tem tamanho constante. A região de breakpoint e alocações pode crescer e diminuir, mas isso sempre implica que a região não-alocada respectivamente diminui e cresce na mesma proporção.

As informações encontradas no cabeçalho são:

- Total:** A quantidade total em bytes de memória que a arena possui. Como precisamos garantir que ele tenha um tamanho suficientemente grande para que alcance qualquer posição que possa ser alcançada por um endereço, ele precisa ser um `size_t`. Pelo padrão ISO isso será no mínimo 2 bytes, mas em computadores pessoais atualmente está chegando a 8 bytes. Esta informação será preenchida na inicialização da arena e nunca mais será mudada.
- Usado:** A quantidade de memória que já está em uso nesta arena. Isso nos permite verificar se temos espaço disponível ou não para cada alocação. Pelo mesmo motivo do anterior, precisa ser um `size_t`. Esta informação precisará ser atualizada toda vez que mais memória for alocada ou desalocada. Ou quando um *breakpoint* for criado ou destruído.
- Último Breakpoint:** Armazenar isso nos permite saber à partir de qual posição podemos começar a desalocar memória em caso de um `Wtrash`. Outro `size_t`. Esta informação precisa ser atualizada toda vez que um *breakpoint* for criado ou destruído. Um último breakpoint sempre existirá, pois o primeiro breakpoint nunca pode ser removido.
- Último Elemento:** Endereço do último elemento que foi armazenado. É útil guardar esta informação porque quando criamos um novo elemento com `Walloc` ou `Wbreakpoint`, o novo elemento precisa apontar para o último que havia antes dele. Esta informação precisa ser atualizada após qualquer operação de alocação, desalocação ou *breakpoint*. Sempre existirá um último elemento na arena, pois se nada foi alocado um primeiro breakpoint sempre estará posicionado após o cabeçalho e este será nosso último elemento.
- Posição Vazia:** Um ponteiro para a próxima região contínua de memória não-alocada. É preciso saber disso para podermos criar novas estruturas e retornar um espaço ainda não-utilizado em caso de `Walloc`. Outro `size_t`. Novamente é algo que precisa ser atualizado após qualquer uma das operações de memória sobre a arena. É possível que não hajam mais regiões vazias caso tudo já tenha sido alocado. Neste caso, o ponteiro deverá ser `NULL`.
- Mutex:** Opcional. Só precisamos definir isso se estivermos usando mais de uma thread. Neste caso, o mutex servirá para prevenir que duas threads tentem modificar qualquer um destes valores ao mesmo tempo. Caso seja usado, o mutex precisa ser usado em qualquer operação de memória, pois todas elas precisam modificar elementos da arena. Em máquinas testadas, isso gasta cerca de 40 bytes se usado.
- Uso Máximo:** Opcional. Só precisamos definir isso se estamos rodando o programa em um nível alto de depuração e por isso queremos saber ao fim do uso da arena qual a quantidade máxima de memória que alocamos nela ao longo da execução do programa. Desta forma, se nosso programa sempre disser que usamos uma quantidade pequena demais de memória, podemos ajustar o valor para alocar menos memória. Ou se chegarmos perto demais do valor máximo de alocação, podemos mudar o valor ou depurar o programa para gastarmos menos memória. Se estivermos monitorando o valor, precisamos verificar se ele precisa ser atualizado após qualquer alocação ou criação de **breakpoint**.
- Nome de Arquivo:** Opcional. Nome do arquivo onde a arena é criada para podermos imprimir mensagens úteis para depuração.
- Linha:** Opcional. Número da linha em que a arena é criada. Informação usada apenas para imprimir mensagens de depuração.

Caso usemos todos estes dados, nosso cabeçalho de memória ficará com cerca de 124 bytes em máquinas típicas. Nosso cabeçalho de arena terá então a seguinte definição na linguagem C:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
struct _arena_header{
    size_t total, used;
    struct _breakpoint *last_breakpoint;
    void *empty_position, *last_element;
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    char file[32];
```

```

    unsigned long line;
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_t mutex;
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    size_t max_used;
#endif
};

```

Pela definição, existem algumas restrições sobre os valores presentes em cabeçalhos de arena. Vamos criar um código de depuração para testar que qualquer uma destas restrições não é violada:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
void _assert__arena_header(struct _arena_header *);
#endif

```

Arquivo: project/src/weaver/memory.c:

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
void _assert__arena_header(struct _arena_header *header){
    // O espaço máximo disponível na arena sempre deve ser maior ou
    // igual ao máximo que já armazenamos nela.
    if(header -> total < header -> max_used){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (4): MEMORY: Arena header used more memory than allowed!\n");
        exit(1);
    }
    // Já o máximo que já armazenamos deve ser maior ou igual ao que
    // estamos armazenando no instante atual (pela definição de
    // 'máximo')
    if(header -> max_used < header -> used){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (4): MEMORY: Arena header not registering max usage!\n");
        exit(1);
    }
    // O último breakpoint é o último elemento ou está antes do último
    // elemento. Já que breakpoints são elementos, mas há outros
    // elementos além de breakpoints.
    if((void *) header -> last_element < (void *) header -> last_breakpoint){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (4): MEMORY: Arena header storing in wrong location!\n");
        exit(1);
    }
    // O espaço não-alocado não existe ou fica depois do último elemento
    // alocado.
    if(!(header -> empty_position == NULL ||
        (void *) header -> empty_position > (void *) header -> last_element)){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (4): MEMORY: Arena header confused about empty position!\n");
        exit(1);
    }
}

```

```

}
// Toda arena ocupa algum espaço, nem que sejam os bytes gastos pelo
// cabeçalho.
if(header -> used <= 0){
    fprintf(stderr,
        "ERROR (4): MEMORY: Arena header not occupying space!\n");
    exit(1);
}
}
#endif

```

Quando criamos a arena e desejamos inicializar o valor de seu cabeçalho, tudo o que precisamos saber é o tamanho total que a arena tem, o nome do arquivo e número de linha. Os demais valores podem ser deduzidos. Portanto, podemos usar esta função interna para a tarefa:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```

static bool _initialize_arena_header(struct _arena_header *header,
                                     size_t total
                                     , char *filename, unsigned long line
                                     ){
    header -> total = total;
    header -> used = sizeof(struct _arena_header) - sizeof(struct _breakpoint);
    header -> last_breakpoint = (struct _breakpoint *) (header + 1);
    header -> last_element = (void *) header -> last_breakpoint;
    header -> empty_position = (void *) (header -> last_breakpoint + 1);
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&(header -> mutex), NULL) != 0){
        return false;
    }
#endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        header -> line = line;
    memcpy(header -> file, filename, 32);
    header -> file[31] = '\0';
#endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 3
        header -> max_used = header -> used;
#endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 4
        _assert__arena_header(header);
    return true;
}

```

É importante notar que tal função de inicialização só pode falhar se ocorrer algum erro ao inicializar o mutex. Por isso podemos representar o seu sucesso ou fracasso fazendo-a retornar um valor booleano.

2.1.2- Breakpoints

A função primária de um breakpoint é interagir com as funções `Wbreakpoint` e `Wtrash`. As informações que devem estar presentes nele são:

- **Tipo:** Um número mágico que corresponde sempre a um valor que identifica o elemento como sendo um *breakpoint*, e não um fragmento alocado de memória. Se o elemento realmente for um breakpoint e não possuir um número mágico correspondente, então ocorreu um *buffer overflow* em memória alocada e podemos acusar isso. Definiremos tal número como `0x11010101`.
 - **Último breakpoint:** No caso do primeiro breakpoint, isso deve apontar para ele próprio (e assim o primeiro breakpoint pode ser identificado diante dos demais). nos demais casos, ele irá apontar para o breakpoint anterior. Desta forma, em caso de `Wtrash`, poderemos restaurar o cabeçalho da arena para apontar para o breakpoint anterior, já que o atual está sendo apagado.
 - **Último Elemento:** Para que a lista de elementos de uma arena possa ser percorrida, cada elemento deve ser capaz de apontar para o elemento anterior. Desta forma, se o breakpoint for removido, podemos restaurar o último elemento da arena para o elemento antes dele (assumindo que não tenha sido marcado para remoção como será visto adiante). O último elemento do primeiro breakpoint é ele próprio.
 - **Arena:** Um ponteiro para a arena à qual pertence a memória.
 - **Tamanho:** A quantidade de memória alocada até o breakpoint em questão. Quando o breakpoint for removido, a quantidade de memória usada pela arena passa a ser o valor presente aqui.
 - **Arquivo:** Opcional para depuração. O nome do arquivo onde esta região da memória foi alocada.
 - **Linha:** Opcional para depuração. O número da linha onde esta região da memória foi alocada.
- Sendo assim, a nossa definição de breakpoint é:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
struct _breakpoint{
    unsigned long type;
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    char file[32];
    unsigned long line;
#endif
    void *last_element;
    struct _arena_header *arena;
    // Todo elemento dentro da memória (breakpoints e cabeçalhos de
    // memória) terão os 5 campos anteriores no mesmo local. Desta
    // forma, independente deles serem breakpoints ou regiões alocadas,
    // sempre será seguro usar um casting para qualquer um dos tipos e
    // consultar qualquer um dos 5 campos anteriores. O campo abaixo,
    // 'last_breakpoint', por outro lado, só pode ser consultado por
    // breakpoints.
    struct _breakpoint *last_breakpoint;
    size_t size;
};
```

Se todos os elementos estiverem presentes, espera-se que um *breakpoint* tenha por volta de 72 bytes. Naturalmente, isso pode variar dependendo da máquina.

As seguintes restrições sempre devem valer para tais dados:

- a) `type = 0x11010101`. Mas é melhor declarar uma macro para não esquecer o valor:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#define _BREAKPOINT_T 0x11010101
```

- b) $last_breakpoint \leq last_element$.

Vamos criar uma função de depuração que nos ajude a checar por tais erros. O caso do tipo de um *breakpoint* não casar com o valor esperado é algo possível de acontecer principalmente devido a *buffer overflows* causados devido a erros do programador que usa a API. Por causa disso, teremos

que ficar de olho em tais erros quando `W_DEBUG_LEVEL >= 1`, não apenas quando `W_DEBUG_LEVEL >= 4`. Esta é a função que checa um *breakpoint* por erros:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert__breakpoint(struct _breakpoint *);
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert__breakpoint(struct _breakpoint *breakpoint){
    if(breakpoint -> type != _BREAKPOINT_T){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (1): Probable buffer overflow. We can't guarantee a "
            "reliable error message in this case. But the "
            "data where the buffer overflow happened may be "
            "the place allocated at %s:%lu or before.\n",
            ((struct _breakpoint *)
             breakpoint -> last_element) -> file,
            ((struct _breakpoint *)
             breakpoint -> last_element) -> line);
        exit(1);
    }
}
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
if((void *) breakpoint -> last_breakpoint >
    (void *) breakpoint -> last_element){
    fprintf(stderr, "ERROR (4): MEMORY: Breakpoint's previous breakpoint "
        "found after breakpoint's last element.\n");
    exit(1);
}
}
#endif
```

Vamos agora cuidar de uma função para inicializar os valores de um breakpoint. Para isso vamos precisar saber o valor de todos os elementos, exceto o `type` e o tamanho que pode ser deduzido pela arena:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
static void _initialize_breakpoint(struct _breakpoint *self,
                                   void *last_element,
                                   struct _arena_header *arena,
                                   struct _breakpoint *last_breakpoint
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
                                   , char *file, unsigned long line
#endif
                                   ){
    self -> type = _BREAKPOINT_T;
    self -> last_element = last_element;
    self -> arena = arena;
    self -> last_breakpoint = last_breakpoint;
    self -> size = arena -> used - sizeof(struct _breakpoint);
```

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    memcpy(self -> file, file, 32);
    self -> file[31] = '\0';
    self -> line = line;
    _assert__breakpoint(self);
#endif
}

```

Notar que assumimos que quando vamos inicializar um breakpoint, todos os dados do cabeçalho da arena já foram atualizados como tendo o breakpoint já existente. E como consultamos tais dados, o mutex da arena precisa estar bloqueado para que coisas como o tamanho da arena não mudem.

O primeiro dos breakpoints é especial e pode ser inicializado como abaixo. Para ele não precisamos nos preocupar em armazenar o nome de arquivo e número de linha em que é definido.

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```

static void _initialize_first_breakpoint(struct _breakpoint *self,
                                         struct _arena_header *arena){
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    _initialize_breakpoint(self, self, arena, self, "", 0);
#else
    _initialize_breakpoint(self, self, arena, self);
#endif
}

```

2.1.3- Memória alocada

Por fim, vamos à definição da memória alocada. Ela é formada basicamente por um cabeçalho, o espaço alocado em si e uma finalização. No caso do cabeçalho, precisamos dos seguintes elementos:

- Tipo:** Um número que identifica o elemento como um cabeçalho de dados, não um breakpoint. No caso, usaremos o número mágico 0x10101010. Para não esquecer, é melhor definir uma macro para se referir à ele:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#define _DATA_T      0x10101010

```

- Tamanho Real:** Quantos bytes tem a região alocada para dados. É igual ao tamanho pedido mais alguma quantidade adicional de bytes de preenchimento para podermos manter o alinhamento da memória.
- Tamanho Pedido:** Quantos bytes foram pedidos na alocação, ignorando o preenchimento.
- Último Elemento:** A posição do elemento anterior da arena. Pode ser outro cabeçalho de dado alocado ou um breakpoint. Este ponteiro nos permite acessar os dados como uma lista encadeada.
- Arena:** Um ponteiro para a arena à qual pertence a memória. **Flags:** Permite que coloquemos informações adicionais. o último bit é usado para definir se a memória foi marcada para ser apagada ou não.
- Arquivo:** Opcional para depuração. O nome do arquivo onde esta região da memória foi alocada.
- Linha:** Opcional para depuração. O número da linha onde esta região da memória foi alocada.

A definição de nosso cabeçalho de dados é:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

struct _memory_header{
    unsigned long type;
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    char file[32];
    unsigned long line;

```

```

#endif
void *last_element;
struct _arena_header *arena;
// Os campos acima devem ser idênticos aos 5 primeiros do 'breakpoint'
size_t real_size, requested_size;
unsigned long flags;
};

```

Notar que as seguintes restrições sempre devem ser verdadeiras para este cabeçalho de região alocada:

- a) $type = 0 \times 10101010$. Ou significa que ocorreu um *buffer overflow*.
- b) $real_size \geq requested_size$. A quantidade de bytes de preenchimento é no mínimo zero. Não iremos alocar um valor menor que o pedido.

A função que irá checar a integridade de nosso cabeçalho de memória é:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert__memory_header(struct _memory_header *);
#endif

```

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert__memory_header(struct _memory_header *mem){
    if(mem -> type != _DATA_T){
        fprintf(stderr,
            "ERROR (1): Probable buffer overflow. We can't guarantee a "
            "reliable error message in this case. But the "
            "data where the buffer overflow happened may be "
            "the place allocated at %s:%lu or before.\n",
            ((struct _memory_header *)
             mem -> last_element) -> file,
            ((struct _memory_header *)
             mem -> last_element) -> line);
        exit(1);
    }
}

#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
if(mem -> real_size < mem -> requested_size){
    fprintf(stderr,
        "ERROR (4): MEMORY: Allocated less memory than requested in "
        "data allocated in %s:%lu.\n", mem -> file, mem -> line);
    exit(1);
}
}

#endif
}

#endif

```

Não criaremos uma função de inicialização para este cabeçalho. Ele será inicializado dentro da função que aloca mais espaço na memória. Ao contrário de outros cabeçalhos, não há nenhuma facilidade em criar um inicializador para este, pois todos os dados a serem inicializados precisam ser passados explicitamente. Nada pode ser meramente deduzido, exceto o `real_size`. Mas de qualquer forma o `real_size` precisa ser calculado antes do preenchimento do cabeçalho, para atualizar o cabeçalho da própria arena.

2.2 - Criando e destruindo arenas

Criar uma nova arena envolve basicamente alocar memória usando `mmap` e tomando o cuidado para alocarmos sempre um número múltiplo do tamanho de uma página (isso garante alinhamento de memória e também nos dá um tamanho ótimo para paginarmos). Em seguida preenchemos o cabeçalho da arena e colocamos o primeiro breakpoint nela.

A função que cria novas arenas deve receber como argumento o tamanho mínimo que ela deve ter em bytes. Já destruir uma arena requer um ponteiro para ela:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    // Se estamos em modo de depuração, a função precisa estar ciente do
    // nome do arquivo e linha em que é invocada:
void *_Wcreate_arena(size_t size, char *filename, unsigned long line);
#else
void *_Wcreate_arena(size_t size);
#endif
int Wdestroy_arena(void *);
```

2.2.1- Criando uma arena

O processo de criar a arena funciona alocando todo o espaço de que precisamos e em seguida preenchendo o cabeçalho inicial e breakpoint:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
// Os argumentos que a função recebe são diferentes no modo de
// depuração e no modo final:
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *_Wcreate_arena(size_t size, char *filename, unsigned long line){
#else
void *_Wcreate_arena(size_t size){
#endif
    void *arena;
    size_t real_size = 0;
    struct _breakpoint *breakpoint;
    // Aloca arena calculando seu tamanho verdadeiro à partir do tamanho pedido:
    long page_size = sysconf(_SC_PAGESIZE);
    real_size = ((int) ceil((double) size / (double) page_size)) * page_size;
    arena = mmap(0, real_size, PROT_READ|PROT_WRITE, MAP_PRIVATE|MAP_ANONYMOUS,
                 -1, 0);
    if(arena == MAP_FAILED)
        arena = NULL; // Se algo falha, retornamos NULL
    if(arena != NULL){
        if(!_initialize_arena_header((struct _arena_header *) arena, real_size
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        ,filename, line // Dois argumentos a mais em modo de depuração
#endif
        )){
            // Se não conseguimos inicializar o cabeçalho da arena,
            // desalocamos ela com munmap:
            munmap(arena, ((struct _arena_header *) arena) -> total);
```



```

    // O munmap pode falhar, mas não podemos fazer nada à este
    // respeito.
    return NULL;
}

// Preenchendo o primeiro breakpoint
breakpoint = ((struct _arena_header *) arena) -> last_breakpoint;
_initialize_first_breakpoint(breakpoint, (struct _arena_header *) arena);
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(arena);
#endif
}

return arena;
}

```

Então usar esta função nos dá como retorno `NULL` ou um ponteiro para uma nova arena cujo tamanho total é no mínimo o pedido como argumento, mas talvez seja maior por motivos de alinhamento e paginação. Partes desta região contínua serão gastos com cabeçalhos da arena, das regiões alocadas e *breakpoints*. Então pode ser que obtenhamos como retorno uma arena onde caibam menos coisas do que caberia no tamanho especificado como argumento.

O tamanho final que a arena terá para colocar todas as coisas será o menor múltiplo de uma página do sistema que pode conter o tamanho pedido.

Usamos `sysconf` para saber o tamanho da página e `mmap` para obter a memória. Outra opção seria o `brk`, mas usar tal chamada de sistema criaria conflito caso o usuário tentasse usar o `malloc` da biblioteca padrão ou usasse uma função de biblioteca que usa internamente o `malloc`. Como até um simples `sprintf` usa `malloc`, não é prático usar o `brk`, pois isso criaria muitos conflitos com outras bibliotecas.

Agora vamos declarar e inicializar a função de criar arenas dentro da variável `W` que conterá nossas variáveis e funções globais:

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *(*create_arena)(size_t, char *, unsigned long);
#else
void *(*create_arena)(size_t);
#endif

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.create_arena = &_Wcreate_arena;
```

Mas na prática, teremos que usar sempre a seguinte macro para criar arenas, pois o número de argumentos de `W.create_arena` pode variar de acordo com o nível de depuração:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    // Se estamos em modo de depuração, a função precisa estar ciente do
    // nome do arquivo e linha em que é invocada:
#define Wcreate_arena(a) W.create_arena(a, __FILE__, __LINE__)
#else
#define Wcreate_arena(a) W.create_arena(a)
#endif

```

2.2.2- Checando vazamento de memória em uma arena

Uma das grandes vantagens de estarmos cuidando do gerenciamento de memória é podermos checar a existência de vazamentos de memória no fim do programa. Recapitulando, uma arena de memória ao ser alocada conterá um cabeçalho de arena, um *breakpoint* inicial e por fim, tudo aquilo que foi alocada nela (que podem ser dados de memória ou outros *breakpoints*). Sendo assim, se depois de alocar tudo com o nosso `Walloc` (que ainda iremos definir) nós desalocarmos com o nosso `Wfree` ou `Wtrash` (que também iremos definir), no fim a arena ficará vazia sem nada após o primeiro *breakpoint*. Exatamente como quando a arena é recém-criada.

Então podemos inserir código que checa para nós se isso realmente é verdade e que pode ser invocado sempre antes de destruímos uma arena. Se encontrarmos coisas na memória, isso significa que o usuário alocou memória e não desalocou. Caberá ao nosso código então imprimir uma mensagem de depuração informando do vazamento de memória e dizendo em qual arquivo e número de linha ocorreu a tal alocação.

A função que fará isso para nós será:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert_no_memory_leak(void *);
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void _assert_no_memory_leak(void *arena){
    struct _arena_header *header = (struct _arena_header *) arena;
    // Primeiro vamos para o último elemento da arena
    struct _memory_header *p = (struct _memory_header *) header -> last_element;
    // E vamos percorrendo os elementos de trás pra frente imprimindo
    // mensagem de depuração até chegarmos no breakpoint inicial (que
    // aponta para ele mesmo como último breakpoint):
    while(p -> type != _BREAKPOINT_T ||
        ((struct _breakpoint *) p) -> last_breakpoint !=
        (struct _breakpoint *) p){
        if(p -> type == _DATA_T && p -> flags % 2){
            fprintf(stderr, "WARNING (1): Memory leak in data allocated in %s:%lu\n",
                p -> file, p -> line);
        }
        p = (struct _memory_header *) p -> last_element;
    }
}
#endif
```

Esta função será usada automaticamente desde que estejamos compilando uma versão de desenvolvimento do jogo. Entretanto, não há nenhum modo de realmente garantirmos que toda arena criada será destruída. Se ela não for, independente dela conter ou não coisas ainda alocadas, isso será um vazamento não-detectado.

2.2.3- Destrindo uma arena

Destruir uma arena é uma simples questão de finalizar o seu mutex caso estejamos criando um programa com muitas threads e usar um `munmap`. Também é quando invocamos a checagem por vazamento de memória e dependendo do nível da depuração, podemos imprimir também a quantidade máxima de memória usada:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
int Wdestroy_arena(void *arena){
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
```

```

    _assert_no_memory_leak(arena);
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(arena);
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    fprintf(stderr,
        "WARNING (3): Max memory used in arena %s:%lu: %lu/%lu\n",
        ((struct _arena_header *) arena) -> file,
        ((struct _arena_header *) arena) -> line,
        (unsigned long) ((struct _arena_header *) arena) -> max_used,
        (unsigned long) ((struct _arena_header *) arena) -> total);
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
{
    struct _arena_header *header = (struct _arena_header *) arena;
    if(pthread_mutex_destroy(&(header -> mutex)) != 0)
        return 0;
}
#endif
//Desaloca 'arena'
if(munmap(arena, ((struct _arena_header *) arena) -> total) == -1)
    arena = NULL;
if(arena == NULL) return 0;
else return 1;
}

```

Assim como fizemos com a função de criar arenas, vamos colocar a função de destruição de arenas na estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
int (*destroy_arena)(void *);

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```

W.destroy_arena = &Wdestroy_arena;

```

2.3 - Alocação e desalocação de memória

Agora chegamos à parte mais usada de um gerenciador de memórias: alocação e desalocação. A função de alocação deve receber um ponteiro para a arena onde iremos alocar e qual o tamanho a ser alocado. A função de desalocação só precisa receber o ponteiro da região a ser desalocada, pois informações sobre a arena serão encontradas em seu cabeçalho imediatamente antes da região de uso da memória. Dependendo do nível de depuração, ambas as funções precisam também saber de que arquivo e número de linha estão sendo invocadas e isso justifica o forte uso de macros abaixo:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    void *_alloc(void *arena, size_t size, char *filename, unsigned long line);
#else
    void *_alloc(void *arena, size_t size);
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 2 && !defined(W_MULTITHREAD)

```

```

    void _free(void *mem, char *filename, unsigned long line);
#else
    void _free(void *mem);
#endif

```

Ao alocar memória, precisamos ter a preocupação de manter um alinhamento de bytes para não prejudicar o desempenho. Por causa disso, às vezes precisamos alocar mais que o pedido. Por exemplo, se o usuário pede para alocar somente 1 byte, podemos precisar alocar 3 bytes adicionais além dele só para manter o alinhamento de 4 bytes de dados. O tamanho que usamos como referência para o alinhamento é o tamanho de um `long`. Sempre alocamos valores múltiplos de um `long` que sejam suficientes para conter a quantidade de bytes pedida.

Se estamos trabalhando com múltiplas threads, precisamos também garantir que o mutex da arena em que estamos seja bloqueado, pois temos que mudar valores da arena para indicar que estamos ocupando mais espaço nela.

Por fim, se tudo deu certo basta preencheremos o cabeçalho da região de dados da arena que estamos criando. E ao retornar, retornaremos um ponteiro para o início da região que o usuário pode usar para armazenamento (e não da região que contém o cabeçalho). Se alguma coisa falhar (pode não haver mais espaço suficiente na arena) precisamos retornar `NULL` e dependendo do nível de depuração, imprimimos uma mensagem de aviso.

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```

#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *_alloc(void *arena, size_t size, char *filename, unsigned long line){
#else
void *_alloc(void *arena, size_t size){
#endif
    struct _arena_header *header = arena;
    struct _memory_header *mem_header;
    void *mem = NULL, *old_last_element;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(header -> mutex));
#endif
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(arena);
#endif
    mem_header = header -> empty_position;
    old_last_element = header -> last_element;
    // Calcular o verdadeiro tamanho múltiplo de 'long' a se alocar:
    size_t real_size = (size_t) (ceil((float) size / (float) sizeof(long)) *
                                sizeof(long));
    if(header -> used + real_size + sizeof(struct _memory_header) >
        header -> total){
        // Chegamos aqui neste 'if' se não há memória suficiente
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): No memory enough to allocate in %s:%lu.\n",
            filename, line);
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_unlock(&(header -> mutex));
#endif
        return NULL;
    }
}

```

```

// Atualizando o cabeçalho da arena
header -> used += real_size + sizeof(struct _memory_header);
mem = (void *) ((char *) header -> empty_position +
               sizeof(struct _memory_header));
header -> last_element = header -> empty_position;
header -> empty_position = (void *) ((char *) mem + real_size);
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    // Se estamos tomando nota do máximo de memória que usamos:
    if(header -> used > header -> max_used)
        header -> max_used = header -> used;
#endif

// Preenchendo o cabeçalho do dado a ser alocado. Este cabeçalho
// fica imediatamente antes do local cujo ponteiro retornamos para o
// usuário usar:
mem_header -> type = _DATA_T;
mem_header -> last_element = old_last_element;
mem_header -> real_size = real_size;
mem_header -> requested_size = size;
mem_header -> flags = 0x1;
mem_header -> arena = arena;
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    memcpy(mem_header -> file, filename, 32);
    mem_header -> file[31] = '\0';
    mem_header -> line = line;
    _assert__memory_header(mem_header);
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(header -> mutex));
#endif
return mem;
}

```

Para terminar o processo de alocação de memória, vamos coocar a função de alocação em `W :`

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *(*alloc_arena)(void *, size_t, char *, unsigned long);
#else
void *(*alloc_arena)(void *, size_t);
#endif

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.alloc_arena = &_alloc;
```

Na prática usaremos a função na forma da seguinte macro, já que o número de argumentos de `W.alloc_arena` pode variar com o nível de depuração:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
#define Walloc_arena(a, b) W.alloc_arena(a, b, __FILE__, __LINE__)
#else
#define Walloc_arena(a, b) W.alloc_arena(a, b)

```

`#endif`

Para desalocar a memória, existem duas possibilidades. Podemos estar desalocando a última memória alocada ou não. No primeiro caso, tudo é uma questão de atualizar o cabeçalho da arena modificando o valor do último elemento armazenado e também um ponteiro pra o próximo espaço vazio. No segundo caso, tudo o que fazemos é marcar o elemento para ser desalocado no futuro sem desalocá-lo de verdade no momento.

Não podemos desalocar sempre porque nosso espaço de memória é uma pilha. Os elementos só podem ser desalocados de verdade na ordem inversa em que são alocados. Quando isso não ocorre, a memória começa a se fragmentar ficando com buracos internos que não podem ser usados até que os elementos que vem depois não sejam também desalocados.

Isso pode parecer ruim, mas se a memória do projeto for bem-gerenciada pelo programador, não chegará a ser um problema e ficamos com um gerenciamento mais rápido. Se o programador preferir, ele também pode usar o `malloc` da biblioteca padrão para não ter que se preocupar com a ordem de desalocações. Uma discussão sobre as consequências de cada caso pode ser encontrada ao fim deste capítulo.

Se nós realmente desalocamos a memória, pode ser que antes dela encontremos regiões que já foram marcadas para ser desalocadas, mas ainda não foram. É neste momento em que realmente as desalocamos eliminando a fragmentação naquela parte.

Arquivo: `project/src/weaver/memory.c` (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 2 && !defined(W_MULTITHREAD)
void _free(void *mem, char *filename, unsigned long line){
#else
void _free(void *mem){
#endif

    struct _memory_header *mem_header = ((struct _memory_header *) mem) - 1;
    struct _arena_header *arena = mem_header -> arena;
    void *last_freed_element;
    size_t memory_freed = 0;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(arena -> mutex));
#endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 4
        _assert__arena_header(arena);
    endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        _assert__memory_header(mem_header);
    endif
    // Primeiro checamos se não estamos desalocando a ultima memória. Se
    // não é a ultima memória, não precisamos manter o mutex ativo e
    // apenas marcamos o dado presente para ser desalocado no futuro.
    if((struct _memory_header *) arena -> last_element != mem_header){
#ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_unlock(&(arena -> mutex));
#endif
        mem_header -> flags = 0x0;
    }
    if W_DEBUG_LEVEL >= 3 && !defined(W_MULTITHREAD)
        // Pode ser que tenhamos que imprimir um aviso de depuração acusando
        // desalocação na ordem errada:
        fprintf(stderr,
            "WARNING (2): %s:%lu: Memory allocated in %s:%lu should be"
            " freed first to prevent fragmentation.\n", filename, line,
```

```

        ((struct _memory_header *) (arena -> last_element)) -> file,
        ((struct _memory_header *) (arena -> last_element)) -> line);
#endif
    return;
}

// Se estamos aqui, esta é uma desalocação verdadeira. Calculamos
// quanto espaço iremos liberar:
memory_freed = mem_header -> real_size + sizeof(struct _memory_header);
last_freed_element = mem_header;
mem_header = mem_header -> last_element;
// E também levamos em conta que podemos desalocar outras coisas que
// tinham sido marcadas para ser desalocadas:
while(mem_header -> type != _BREAKPOINT_T && mem_header -> flags == 0x0){
    memory_freed += mem_header -> real_size + sizeof(struct _memory_header);
    last_freed_element = mem_header;
    mem_header = mem_header -> last_element;
}

// Terminando de obter o tamanho total a ser desalocado e obter
// novos valores para ponteiros, atualizamos o cabeçalho da arena:
arena -> last_element = mem_header;
arena -> empty_position = last_freed_element;
arena -> used -= memory_freed;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(arena -> mutex));
#endif
}

```

E por fim, colocamos a nova função definida dentro da estrutura `W` :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

// Esta declaração fica dentro de 'struct _weaver_struct{(...)} W;':
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 2 && !defined(W_MULTITHREAD)
void (*free)(void *, char *, unsigned long);
#else
void (*free)(void *);
#endif

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.free = &_free;
```

Na prática usaremos sempre a seguinte macro, já que o número de argumentos de `W.free` pode mudar:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 2 && !defined(W_MULTITHREAD)
#define Wfree(a) W.free(a, __FILE__, __LINE__)
#else
#define Wfree(a) W.free(a)
#endif

```

2.4 - Usando a heap descartável

Graças ao conceito de *breakpoints*, pode-se desalocar ao mesmo tempo todos os elementos alocados desde o último *breakpoint* por meio do `Wtrash`. A criação de um *breakpoint* e descarte de memória até ele se dá por meio das funções declaradas abaixo:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int _new_breakpoint(void *arena, char *filename, unsigned long line);
#else
int _new_breakpoint(void *arena);
#endif
void Wtrash_arena(void *arena);
```

As funções precisam receber como argumento apenas um ponteiro para a arena na qual realizar a operação. Além disso, dependendo do nível de depuração, elas recebem também o nome de arquivo e número de linha como nos casos anteriores para que isso ajude na depuração:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int _new_breakpoint(void *arena, char *filename, unsigned long line){
#else
int _new_breakpoint(void *arena){
#endif
    struct _arena_header *header = (struct _arena_header *) arena;
    struct _breakpoint *breakpoint, *old_breakpoint;
    void *old_last_element;
    size_t old_size;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(header -> mutex));
#endif
    if W_DEBUG_LEVEL >= 4
        _assert__arena_header(arena);
    #endif
    if(header -> used + sizeof(struct _breakpoint) > header -> total){
        // Se estamos aqui, não temos espaço para um breakpoint
    }
    if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): No memory enough to allocate in %s:%lu.\n",
            filename, line);
    #endif
    #ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_unlock(&(header -> mutex));
    #endif
    return 0;
}

// Atualizando o cabeçalho da arena e salvando valores relevantes
old_breakpoint = header -> last_breakpoint;
old_last_element = header -> last_element;
old_size = header -> used;
header -> used += sizeof(struct _breakpoint);
breakpoint = (struct _breakpoint *) header -> empty_position;
header -> last_breakpoint = breakpoint;
header -> empty_position = ((struct _breakpoint *) header -> empty_position) +
    1;
```



```

    header -> last_element = header -> last_breakpoint;
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    if(header -> used > header -> max_used){ // Batemos récorde de uso?
        header -> max_used = header -> used;
    }
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(header -> mutex));
#endif
    breakpoint -> type = _BREAKPOINT_T; // Preenchendo cabeçalho do breakpoint
    breakpoint -> last_element = old_last_element;
    breakpoint -> arena = arena;
    breakpoint -> last_breakpoint = (void *) old_breakpoint;
    breakpoint -> size = old_size;
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    memcpy(breakpoint -> file, filename, 32);
    breakpoint -> file[31] = '\0';
    breakpoint -> line = line;
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__breakpoint(breakpoint);
#endif
    return 1;
}

```

Esta função de criação de *breakpoints* em uma arena precis ser colocada em `W` :

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int (*breakpoint_arena)(void *, char *, unsigned long);
#else
int (*breakpoint_arena)(void *);
#endif

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.breakpoint_arena = &_new_breakpoint;
```

Para sempre usarmos o número correto de argumentos, na prática usaremos sempre a função acima na forma da macro:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
#define Wbreakpoint_arena(a) W.breakpoint_arena(a, __FILE__, __LINE__)
#else
#define Wbreakpoint_arena(a) W.breakpoint_arena(a)
#endif

```

E a função para descartar toda a memória presente na heap até o último breakpoint é definida como:

Arquivo: `project/src/weaver/memory.c` (continuação):

```

void Wtrash_arena(void *arena){
    struct _arena_header *header = (struct _arena_header *) arena;
    struct _breakpoint *previous_breakpoint =

```

```

    ((struct _breakpoint *) header -> last_breakpoint) -> last_breakpoint;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(header -> mutex));
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(arena);
    _assert__breakpoint(header -> last_breakpoint);
#endif
    if(header -> last_breakpoint == previous_breakpoint){
        // Chegamos aqui se existe apenas 1 breakpoint
        header -> last_element = previous_breakpoint;
        header -> empty_position = (void *) (previous_breakpoint + 1);
        header -> used = previous_breakpoint -> size + sizeof(struct _breakpoint);
    }
    else{
        // Chegamos aqui se há 2 ou mais breakpoints
        struct _breakpoint *last = (struct _breakpoint *) header -> last_breakpoint;
        header -> used = last -> size;
        header -> empty_position = last;
        header -> last_element = last -> last_element;
        header -> last_breakpoint = previous_breakpoint;
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(header -> mutex));
#endif
}

```

A função acima é totalmente inócua se não existem dados a serem desalocados até o último *breakpoint*. Neste caso ela simplesmente apaga o *breakpoint* se ele não for o único, e não faz nada se existe apenas o *breakpoint* inicial.

Vamos agora colocá-ladentro de `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
void (*trash_arena)(void *);

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```

W.trash_arena = &Wtrash_arena;

```

2.5 - Usando as arenas de memória padrão

Ter que se preocupar com arenas geralmente é desnecessário. O usuário pode querer simplesmente usar uma função `Walloc` sem ter que se preocupar com qual arena usar. Weaver simplesmente assumirá a existência de uma arena padrão e associada à ela as novas funções `Wfree`, `Wbreakpoint` e `Wtrash`.

Primeiro precisaremos declarar duas variáveis globais. Uma delas será uma arena padrão do usuário, a outra deverá ser uma arena usada pelas funções internas da própria API. Ambas as variáveis devem ficar restritas ao módulo de memória, então serão declaradas como estáticas:

Arquivo: `project/src/weaver/memory.c` (continuação):

```

static void *_user_arena, *_internal_arena;

```

Noe que elas serão variáveis estáticas. Isso garantirá que somente as funções que definiremos aqui poderão manipulá-las. Será impossível mudá-las ou usá-las sem que seja usando as funções

relacionadas ao gerenciador de memória. Vamos precisar inicializar e finalizar estas arenas com as seguintes funções:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
void _initialize_memory();  
void _finalize_memory();
```

Que são definidas como:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
void _initialize_memory(void){  
    _user_arena = Wcreate_arena(W_MAX_MEMORY);  
    if(_user_arena == NULL){  
        fprintf(stderr, "ERROR: This system have no enough memory to "  
            "run this program.\n");  
        exit(1);  
    }  
    _internal_arena = Wcreate_arena(W_INTERNAL_MEMORY);  
    if(_internal_arena == NULL){  
        fprintf(stderr, "ERROR: This system have no enough memory to "  
            "run this program.\n");  
        exit(1);  
    }  
}  
void _finalize_memory(){  
    Wdestroy_arena(_user_arena);  
    Wtrash_arena(_internal_arena);  
    Wdestroy_arena(_internal_arena);  
}
```

Passamos adiante o número de linha e nome do arquivo para a função de criar as arenas. Isso ocorre porque um usuário nunca invocará diretamente estas funções. Quem vai chamar tal função é a função de inicialização da API. Se uma mensagem de erro for escrita, ela deve conter o nome de arquivo e número de linha onde está a própria função de inicialização da API. Não onde tais funções estão definidas.

A invocação destas funções se dá na inicialização da API, a qual é mencionada na Introdução. Da mesma forma, na finalização da API, chamamos a função de finalização:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
_initialize_memory();
```

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
// Primeiro a finalização das coisas antes de desalocar memória:  
    <Seção a ser Inserida: API Weaver: Encerramento>  
    <Seção a ser Inserida: API Weaver: Som: Encerramento>  
// Só então podemos finalizar o gerenciador de memória:
```

```
_finalize_memory();
```

Agora para podermos alocar e desalocar memória da arena padrão e da arena interna, criaremos a seguinte funções:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
```

```

void *_Walloc(size_t size, char *filename, unsigned long line);
void *_Winternal_alloc(size_t size, char *filename, unsigned long line);
#define _iWalloc(n) _Winternal_alloc(n, __FILE__, __LINE__)
#else
void *_Walloc(size_t size);
void *_Winternal_alloc(size_t size);
#define _iWalloc(n) _Winternal_alloc(n)
#endif

```

Destas o usuário irá usar mesmo a `Walloc`. A `_iWalloc` será usada apenas internamente para usarmos a arena de alocações internas da API. E precisamos que elas sejam definidas como funções, não como macros para poderem manipular as arenas, que são variáveis estáticas à este capítulo.

Arquivo: `project/src/weaver/memory.c` (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *_Walloc(size_t size, char *filename, unsigned long line){
    return _alloc(_user_arena, size, filename, line);
}
void *_Winternal_alloc(size_t size, char *filename, unsigned long line){
    return _alloc(_internal_arena, size, filename, line);
}
#else
void *_Walloc(size_t size){
    return _alloc(_user_arena, size);
}
void *_Winternal_alloc(size_t size){
    return _alloc(_internal_arena, size);
}
#endif

```

Adicionando alocação à variável `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
void *(*alloc)(size_t, char *, unsigned long);
#else
void *(*alloc)(size_t);
#endif

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.alloc = &_Walloc;
```

Embora na prática usaremos a função dentro da seguinte macro que cuida do número de argumentos:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
#define Walloc(a) W.alloc(a, __FILE__, __LINE__)
#else
#define Walloc(a) W.alloc(a)
#endif

```

O `Wfree` já foi definido e irá funcionar sem problemas, independente da arena à qual pertence o trecho de memória alocado. Sendo assim, resta declarar apenas o `Wbreakpoint` e `Wtrash`:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int _Wbreakpoint(char *filename, unsigned long line);
int _iWbreakpoint_(char *filename, unsigned long line);
#else
int _Wbreakpoint(void);
int _iWbreakpoint_(void);
#endif
void _Wtrash(void);
void _iWtrash(void);
```

A definição das funções segue abaixo:

Arquivo: project/src/weaver/memory.c (continuação):

```
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int _Wbreakpoint(char *filename, unsigned long line){
    return _new_breakpoint(_user_arena, filename, line);
}
int _iWbreakpoint_(char *filename, unsigned long line){
    return _new_breakpoint(_internal_arena, filename, line);
}
#else
int _Wbreakpoint(void){
    return _new_breakpoint(_user_arena);
}
int _iWbreakpoint_(void){
    return _new_breakpoint(_internal_arena);
}
#endif
void _Wtrash(void){
    Wtrash_arena(_user_arena);
}
void _iWtrash(void){
    Wtrash_arena(_internal_arena);
}
```

E por fim as adicionamos à W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
int (*breakpoint)(char *, unsigned long);
#else
int (*breakpoint)(void);
#endif
void (*trash)(void);
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.breakpoint = &_Wbreakpoint;
W.trash = &_Wtrash;
```

E as macros que nos ajudam a cuidar do número de argumentos:

Seção: Declarações de Memória (continuação):

```

#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
#define Wbreakpoint() W.breakpoint(__FILE__, __LINE__)
#define _iWbreakpoint() _iWbreakpoint(__FILE__, __LINE__)
#else
#define Wbreakpoint() W.breakpoint()
#define _iWbreakpoint() _iWbreakpoint()
#endif
#define Wtrash() W.trash()

```

2.6 - Medindo o desempenho

Existem duas macros que são úteis de serem definidas que podem ser usadas para avaliar o desempenho do gerenciador de memória definido aqui. Elas são:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#include <stdio.h>
#include <sys/time.h>

#define W_TIMER_BEGIN() { struct timeval _begin, _end; \
gettimeofday(&_begin, NULL);
#define W_TIMER_END() gettimeofday(&_end, NULL); \
printf("%ld us\n", (1000000 * (_end.tv_sec - _begin.tv_sec) + \
_end.tv_usec - _begin.tv_usec)); \
}

```

Como a primeira macro inicia um bloco e a segunda termina, ambas devem ser sempre usadas dentro de um mesmo bloco de código, ou um erro ocorrerá. O que elas fazem nada mais é do que usar `gettimeofday` e usar a estrutura retornada para calcular quantos microssegundos se passaram entre uma invocação e outra. Em seguida, escreve-se na saída padrão quantos microssegundos se passaram.

Como exemplo de uso das macros, podemos usar a seguinte função `main` para obtermos uma medida de performance das funções `Walloc` e `Wfree`:

Arquivo: /tmp/dummy.c:

```

// Só um exemplo, não faz parte de Weaver
#include "game.h"
#define T 1000000

int main(int argc, char **argv){
    long i;
    void *m[T];
    Winit();
    W_TIMER_BEGIN();
    for(i = 0; i < T; i++){
        m[i] = Walloc(1);
    }
    for(i = T-1; i >=0; i--){
        Wfree(m[i]);
    }
    Wtrash();
    W_TIMER_END();
    Wexit();
}

```

```

return 0;
}

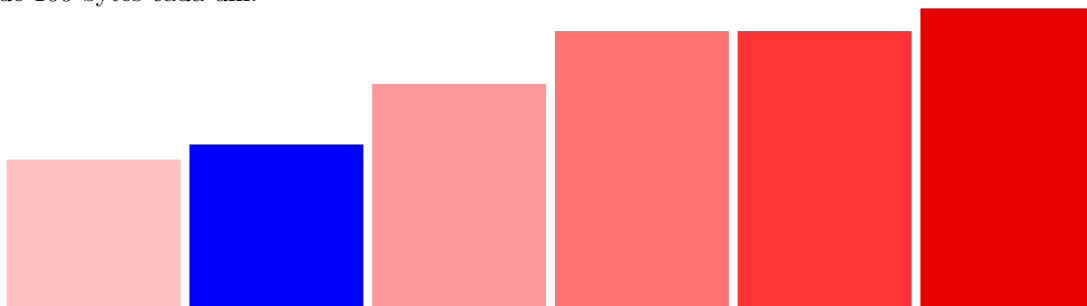
```

Rodando este código em um Pentium B980 2.40GHz Dual Core, este é o gráfico que representa o teste de desempenho. As barras vermelhas representam o uso de `Walloc` / `free` em diferentes níveis de depuração (0 é o mais claro e 4 é o mais escuro). Para comparar, em azul podemos ver o tempo gasto pelo `malloc` / `free` da biblioteca C GNU versão 2.20.



Isso nos mostra que se compilarmos nosso código sem nenhum recurso de depuração (como o que é feito ao compilarmos a versão final), obtemos um desempenho duas vezes mais rápido que do `malloc`.

E se alocássemos quantidades maiores que 1 byte? O próximo gráfico mostra este caso usando exatamente a mesma escala utilizada no gráfico anterior. nele alocamos um milhão de fragmentos de 100 bytes cada um:



A diferença não é explicada somente pela diminuição da localidade espacial dos dados acessados. Se diminuirmos o número de alocações para somente dez mil, mantendo um total alocado de 1 MB, ainda assim o `malloc` ficaria na mesma posição se comparado ao `Walloc`. O que significa que alocando quantias maiores, o `malloc` é apenas ligeiramente pior que o `Walloc` sem recursos de depuração. Mas a diferença é apenas marginal.

E se ao invés de desalocarmos memória com `Wfree`, usássemos o `Wtrash` para desalocar tudo de uma só vez? Presume-se que esta é uma vantagem de nosso gerenciador, pois ele permite desalocar coisas em massa por meio de um recurso de “heap descartável”. O gráfico abaixo mostra este caso para quando alocamos 1 milhão de espaços de 1 byte usando a mesma escala do gráfico anterior:



O alto desempenho de nosso gerenciador de memória neste caso é compreensível. Podemos substituir um milhão de chamadas para uma função por uma só. Enquanto isso o `malloc` não tem esta opção e precisa chamar uma função de desalocação para cada função de alocação usada. E se usarmos isto para alocar 1 milhão de fragmentos de 100 bytes, o teste em que o `malloc` teve um desempenho semelhante ao nosso? A resposta é o gráfico:



Via de regra podemos dizer que o desempenho do `malloc` é semelhante ao do `Walloc` quando `W_DEBUG_MODE` é igual à 1. Mas quando o `W_DEBUG_MODE` é zero, obtemos sempre um desempenho melhor (embora em alguns casos a diferença possa ser marginal). Para analisar um caso em que o `Walloc` realmente se sobressai, vamos observar o comportamento quando

compilamos o nosso teste de alocar 1 byte um milhão de vezes para Javascript via Emscripten (versão 1.34). O gráfico à seguir mostra este caso, mas usando uma escala diferente. Nele, as barras estão dez vezes menores do que estariam se usássemos a mesma escala:



Enquanto o `Walloc` tem uma velocidade 1,8 vezes menor compilado com Emscripten, o `malloc` tem uma velocidade 20 vezes menor. Se tentarmos fazer no Emscripten o teste em que alocamos 100 bytes ao invés de 1 byte, o resultado reduzido em dez vezes fica praticamente igual ao gráfico acima.

Este é um caso no qual o `Walloc` se sobressai. Mas há também um caso em que o `Walloc` é muito pior: quando usamos várias threads. Considere o código abaixo:

Arquivo: /tmp/dummy.c:

```
// Só um exemplo, não faz parte de Weaver
#define NUM_THREADS 10
#define T (1000000 / NUM_THREADS)

void *test(void *a){
    long *m[T];
    long i;
    for(i = 0; i < T; i ++){
        m[i] = (long *) Walloc(1);
        *m[i] = (long) m[i];
    }
    for(i = T-1; i >=0; i --){
        Wfree(m[i]);
    }
}

int main(void){
    pthread_t threads[NUM_THREADS];
    int i;
    Winit();
    for(i = 0; i < NUM_THREADS; i ++){
        pthread_create(&threads[i], NULL, test, (void *) NULL);
    }
    W_TIMER_BEGIN();
    for (i = 0; i < NUM_THREADS; i++){
        pthread_join(threads[i], NULL);
    }
    W_TIMER_END();
    Wexit();
    pthread_exit(NULL);
    return 0;
}
```

Neste caso, assumindo que estejamos compilando com a macro `W_MULTITHREAD` no arquivo `conf/conf.h`, as threads estarão sempre competindo pela arena e passarão boa parte do tempo bloqueando umas às outras. O desempenho do `Walloc` e `malloc` neste caso será:



Para `W_DEBUG_MODE` valendo dois e três, a barra torna-se vinte vezes maior do que a vista ao lado.

Para o nível quatro de depuração, a barra torna-se quarenta vezes maior que a vista ao lado.

Neste caso, o correto seria criar uma arena para cada thread com `Wcreate_arena`, sempre fazer cada thread alocar dentro de sua arena com `Walloc_arena`, criar *breakpoints* com `Wbreakpoint_arena`, desalocar com `Wfree_arena` e descartar a heap até o último *breakpoint* com `Wtrash_arena`. Por fim, cada thread deveria finalizar sua arena com `Wdestroy_arena`. Assim poderia-se usar o desempenho maior do `Walloc` aproveitando-o melhor entre todas as threads. Pode nem ser necessário definir `W_MULTITHREAD` se as threads forem bem especializadas e não disputarem recursos.

A nova função de teste que usamos passa a ser:

Arquivo: `/tmp/dummy.c`:

```
// Só um exemplo, não faz parte de Weaver
void *test(void *a){
    long *m[T];
    long i;
    void *arena = Wcreate_arena(10000000);
    for(i = 0; i < T; i ++){
        m[i] = (long *) Walloc_arena(arena, 1);
        *m[i] = (long) m[i];
    }
    for(i = T-1; i >= 0; i --){
        Wfree(m[i]);
    }
    Wtrash_arena(arena);
    Wdestroy_arena(arena);
    return NULL;
}
```

Neste caso, o gráfico de desempenho em um computador com dois processadores é:



Infelizmente não poderemos fazer os testes de threads na compilação via Emscripten. Até o momento, este é um recurso disponível somente no Firefox Nightly.

Os testes nos mostram que embora o `malloc` da biblioteca C GNU seja bem otimizado, é possível obter melhoras significativas em código compilado via Emscripten e código feito para várias threads tendo um gerenciador de memórias mais simples e personalizado. Isto e a habilidade de detectar vazamentos de memória em modo de depuração é o que justifica a criação de um gerenciador próprio para Weaver. Como a prioridade em nosso gerenciador é a velocidade, o seu uso correto para evitar fragmentação excessiva depende de conhecimento e cuidados maiores por parte do programador. Por isso espera-se que programadores menos experientes continuem usando o `malloc` enquanto o `Walloc` será usado internamente pela nossa engine e estará à disposição daqueles que querem pagar o preço por ter um desempenho maior, especialmente em certos casos específicos.

2.7 - O Coletor de Lixo

O benefício de termos criado o nosso próprio gerenciador de memórias é que podemos implementar um coletor de lixo para que o usuário não precise usar manualmente as funções `Wfree` e `Wtrash`.

Usaremos um gerenciamento de memória baseada em regiões. Como exemplificamos no começo deste capítulo, um jogo pode ser separado em vários momentos. O vídeo de abertura, a tela inicial, bem como diferentes regiões e momentos de jogo. Cada fase de um jogo de plataforma seria também um momento. Bem como cada batalha e parte do mapa em um RPG por turnos.

Em cada um destes momentos o jogo está em um loop principal. Alguns momentos substituem os momentos anteriores. Como quando você sai da tela de abertura para o jogo principal. Ou quando sai de uma fase para a outra. Quando isso ocorre, podemos descartar toda a memória alocada no momento anterior. Outros momentos apenas interrompem temporariamente o momento que havia antes. Como as batalhas de um jogo de RPG por turnos clássico. Quando a batalha começa não podemos jogar fora a memória alocada no momento anterior, pois após a batalha precisamos manter na memória todo o estado que havia antes. Por outro lado, a memória alocada para a batalha pode ser jogada fora assim que ela termina.

A Engine Weaver implementa isso por meio de funções `Wloop` e `Wsubloop`. Ambas as funções recebem como argumento uma função que não recebe argumentos do tipo `MAIN_LOOP`. Uma função deste tipo tem sempre a seguinte forma:

Arquivo: `/tmp/dummy.c:`

```
// Exemplo. Não faz parte do Weaver.
MAIN_LOOP main_loop(void){
    LOOP_INIT:
    // Código a ser executado só na 1a iteração do loop principal
    LOOP_BODY:
    // Código a ser executado em toda iteração do loop principal
    LOOP_END:
    // Código a ser executado quando o loop se encerrar
}
```

O tipo `MAIN_LOOP` serve para explicitar que uma determinada função é um loop principal e também nos dá a opção de implementar o valor de retorno deste tipo de função de diferentes formas. Provavelmente ele será sempre `void`, mas em futuras arquiteturas pode ser útil fazer que tal função retorne um valor passando informações adicionais para a *engine*. Abaixo segue também como poderíamos implementar os rótulos que delimitam a região de inicialização:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
typedef void MAIN_LOOP;
/*#define LOOP_INIT if(!_running_loop) _exit_loop(); if(!_running_loop)\
    goto _LOOP_FINALIZATION; if(!_loop_begin) goto _END_LOOP_INITIALIZATION;\
    _BEGIN_LOOP_INITIALIZATION
#define LOOP_BODY _loop_begin = false; if(_loop_begin)\
    goto _BEGIN_LOOP_INITIALIZATION; _END_LOOP_INITIALIZATION
#define LOOP_END _render(); if(_running_loop) return;\
    _LOOP_FINALIZATION: */
bool _loop_begin, _running_loop;
```

O código acima está comentado porque ele na verdade será mais complexo que isso. Por hora mostraremos só a parte que cuida do controle de fluxo. Note que o código tem redundâncias inofensivas. Algumas condicionais nunca são verdadeiras e portanto seu desvio nunca ocorrerão. Mas elas estão lá apenas para evitarmos mensagens de aviso de compilação envolvendo rótulo não usados e para garantir que ocorra um erro de compilação caso um dos rótulos seja usado sem o outro em uma função de loop principal.

Note que depois do corpo do loop chamamos `_render`, a função que renderiza as coisas de nosso jogo na tela.

As funções `Wloop` e `Wsubloop` tem a seguinte declaração:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _Wloop(MAIN_LOOP (*f)(void)) __attribute__((noreturn));
void Wsubloop(MAIN_LOOP (*f)(void)) __attribute__((noreturn));
#define Wloop(a) ((W.pending_files)?(false):(_Wloop(a)))
```

Note que estas funções nunca retornam. O modo de sair de um loop é passar para o outro por meio de alguma condição dentro dele. Colocar loops em sequência um após o outro não funcionará, pois o primeiro não retornará e nunca passará para o segundo. Isso ocorre para nos mantermos dentro das restrições trazidas pelo Emscripten cujo modelo de loop principal não prevê um retorno. Mas a restrição também torna mais explícita a sequência de loops pela qual um jogo passa.

O `Wloop` também é ignorado quando a variável `W.pending_files` tem um valor diferente de zero. Esta é uma variável que definiremos depois, mas basicamente irá armazenar quantos arquivos ainda estão pendentes para terminar de ser processados. Nos recusaremos a mudar o loop vigente se há arquivos pendentes, pois enquanto eles estão sendo lidos, podem estar sendo copiados para uma região de memória que será desalocada quando sairmos do loop. Então é bom ter em mente que a função `Wloop` pode ser ignorada caso ainda não tenhamos terminado de carregar todos os arquivos do loop atual. O mesmo não precisa ser feito para o `Wsubloop`, pois ele não desaloca a memória que estamos usando.

Um jogo sempre começa com um `Wloop`. O primeiro loop é um caso especial. Não podemos descartar a memória prévia, ou acabaremos nos livrando de alocações globais. Então vamos usar uma pequena variável para sabermos se já iniciamos o primeiro loop ou não. Outra coisa que precisamos é de um vetor que armazene as funções de loop que estamos executado. Embora um `Wloop` não retorne, precisamos simular um retorno no caso de sairmos explicitamente de um `Wsubloop`. Por isso, precisamos de uma pilha com todos os dados de cada loop para o qual podemos voltar:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
bool _first_loop;
// A pilha de loops principais:
int _number_of_loops;
MAIN_LOOP (*_loop_stack[W_MAX_SUBLOOP]) (void);
```

E a inicializaremos as variáveis. O primeiro loop logo deverá mudar seus valores de inicialização e cada loop saberá como deve tratar eles após a execução baseando-se em como recebeu tais valores:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
_first_loop = true;
_running_loop = false;
_number_of_loops = 0;
```

Eis que o código de Wloop é:

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
void _Wloop(void (*f)(void)){
    if(_first_loop)
        _first_loop = false;
    else{
#ifdef W_TARGET == W_WEB
        emscripten_cancel_main_loop();
#endif
        Wtrash();
    }
    Wbreakpoint();
    _loop_begin = 1;
    <Seção a ser Inserida: Código Imediatamente antes de Loop Principal>
    <Seção a ser Inserida: Código antes de Loop, mas não de Subloop>
    _loop_stack[_number_of_loops] = f;
    _running_loop = true;
    _update_time();
#ifdef W_TARGET == W_WEB
    while(1)
        emscripten_set_main_loop(f, 0, 1);
#else
    while(1)
        f();
#endif
}
```

Mas se um Wloop nunca retorna, como sair dele? Para sair do programa como um todo, pode-se usar Wexit . Mas pode ser que estejamos dentro de um subloop e queremos encerrá-lo voltando assim para o loop que o gerou. Para isso iremos definir a função _exit_loop . Se nunca criamos nenhum subloop, a função é essencialmente idêntica à Wexit . Podemos definir então o _exit_loop como:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _exit_loop(void) __attribute__((noreturn));
```

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
void _exit_loop(void){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    if(_first_loop){
        fprintf(stderr, "ERROR (1): Using Wexit_loop outside a game loop.\n");
        Wexit();
    }
#endif
    Wtrash();
    if(_number_of_loops == 0)
        Wexit();
    else{
```

<p style="text-align: center;"><Seção a ser Inserida: Código após sairmos de Subloop></p> <pre> _number_of_loops --; <Seção a ser Inserida: Código Imediatamente antes de Loop Principal> _running_loop = true; _update_time(); #if W_TARGET == W_WEB emscripten_cancel_main_loop(); while(1) emscripten_set_main_loop(_loop_stack[_number_of_loops], 0, 1); #else while(1) _loop_stack[_number_of_loops](); #endif } } </pre>
--

Conforme visto no código das macros que tem a forma de rótulos dentro de funções de loop principal, a função `_exit_loop` é chamada automaticamente na próxima iteração quando a variável `_running_loop` torna-se falsa dentro da função. Para que isso possa ocorrer, definiremos a seguinte função de macro que é o que o usuário deverá chamar dentro de funções assim para encerrar o loop:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

<pre>#define Wexit_loop() (_running_loop = false)</pre>

Agora vamos implementar a variação: `Wsubloop`. Ele funciona de forma semelhante invocando um novo loop principal. Mas esta função não irá descartar o loop que a invocou, e assim que ela se encerrar (o que pode acontecer também depois que um `Wloop` foi chamado dentro dela e se encerrar), o loop anterior será restaurado. Desta forma, pode-se voltar ao mapa anterior após uma batalha que o interrompeu em um jogo de RPG clássico ou pode-se voltar rapidamente ao jogo após uma tela de inventário ser fechada sem a necessidade de ter-se que carregar tudo novamente.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

<pre> void Wsubloop(void (*f)(void)){ #if W_TARGET == W_WEB emscripten_cancel_main_loop(); #endif Wbreakpoint(); _loop_begin = 1; _number_of_loops ++; <Seção a ser Inserida: Código Imediatamente antes de Loop Principal> <Seção a ser Inserida: Código antes de Subloop> #if W_DEBUG_LEVEL >= 1 if(_number_of_loops >= W_MAX_SUBLOOP){ fprintf(stderr, "Error (1): Max number of subloops achieved.\n"); fprintf(stderr, "Please, increase W_MAX_SUBLOOP in conf/conf.h.\n"); } #endif _loop_stack[_number_of_loops] = f; _running_loop = true; _update_time(); #if W_TARGET == W_WEB while(1) </pre>
--

```

    emscripten_set_main_loop(f, 0, 1);
#else
    while(1)
        f();
#endif
}

```

2.8 - Estrutura de um Loop Principal

No loop principal de um jogo, temos que lidar com algumas questões. O jogo precisa rodar de forma semelhante, tanto em máquinas rápidas como lentas. Do ponto de vista da física não devem haver diferenças, cada iteração da engine de física deve ocorrer em intervalos fixos de tempo, para que assim o jogo torne-se determinístico e não acumule mais erros em máquinas rápidas que rodariam um loop mais rápido. Do ponto de vista da renderização, queremos realizá-la o mais rápido possível.

Para isso precisamos manter separadas a física e a renderização. A física e a lógica do jogo devem rodar em intervalos fixos e conhecidos, tais como a 25 frames por segundo (pode parecer pouco, mas é mais rápido que imagens de um filme de cinema). Para coisas como obter a entrada de usuário e rodar simulação física, isso é o bastante. Já a renderização pode acontecer o mais rápido que podemos para que a imagem rode com atualização maior.

Para isso cada loop principal na verdade tem 2 loops. Um mais interno que atualiza a física e outro que renderiza. Nem sempre iremos entrar no mais interno. Mas devemos sempre ter em mente que como a física se atualiza em unidades de tempo discretas, o tempo real em que estamos é sempre ligeiramente no futuro disso. Sendo assim, na hora de renderizarmos, precisamos extrapolar um pouco a posição de todas as coisas sabendo a sua velocidade e sua posição. Essa extrapolação ocasionalmente pode falhar, por não levar em conta colisões e coisas características da engine de física. Mas mesmo quando ela falha, isso é corrigido na próxima iteração e não é tão perceptível.

Existem 2 valores que precisamos levar em conta. Primeiro quanto tempo deve durar cada iteração da engine de física e controle de jogo. É o valor de `W.dt` mencionado no capítulo anterior e que precisa ser inicializado. E segundo, quanto tempo se passou desde a última invocação de nossa engine de física (`_lag`).

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
long _lag;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.dt = 40000; // 40000 microssegundos é 25 fps para a engine de física
_lag = 0;
```

Seção: Código Imediatamente antes de Loop Principal:

```
_lag = 0;
```

Ocorre que a parte de nosso loop principal dentro dos rótulos `LOOP_BODY` e `LOOP_END` é a parte que assumiremos fazer parte da física e do controle de jogo, e que portanto executará em intervalos de tempo fixos. Para construirmos então este controle, usaremos as seguintes definições de macro:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#define LOOP_INIT if(!_running_loop && !W.pending_files) _exit_loop();\
    if(!_running_loop) \
        goto _LOOP_FINALIZATION; if(!_loop_begin) goto _END_LOOP_INITIALIZATION;\
    _BEGIN_LOOP_INITIALIZATION
#define LOOP_BODY _loop_begin = false; if(_loop_begin)\
    goto _BEGIN_LOOP_INITIALIZATION; _END_LOOP_INITIALIZATION:\
    _lag += _update_time(); while(_lag >= 40000){ _update(); _LABEL_0

```

```
#define LOOP_END _lag -= 40000; W.t += 40000; } \
_render(); if(_running_loop || W.pending_files) return; \
if(W.t == 0) goto _LABEL_0;\
_LOOP_FINALIZATION
```

Pode parecer confuso o que todas estas macros disfarçadas de rótulos fazem. Mas se expandirmos e ignorarmos o código inócuo que está lá só para prevenir avisos do compilador e traduzirmos alguns `goto` para uma forma estruturada, o que temos é:

Arquivo: /tmp/dummy.c:

```
MAIN_LOOP main_loop(void){
    if(!_running_loop)
        _exit_loop();
    if(initializing){
        /* Código de usuário da inicialização */
    }
    initializing = false;
    // Código executado toda iteração:
    _lag += _update_time();
    while(_lag >= 40000){
        _update();
        /* Código do usuário executado toda iteração */
        _lag -= 40000;
        W.t += 40000;
    }
    _render();
    if(!_running_loop && !W.pending_file){
        /* Código de usuário para finalização */
    }
}
```

Note que para sairmos de um loop não basta não querermos mais executá-lo. É preciso não ter nenhum arquivo pendente a ser tratado neste loop. Seria catastrófico se sairmos de um subloop e voltássemos a um loop enquanto ainda estivessemos carregando um arquivo a ser copiado para a memória. A memória que estava reservada já foi recolhida pelo nosso coletor de lixo, então o arquivo pendente que pode estar sendo processado por uma thread poderá sobrescrever nossa memória.

Testando a existência de arquivos pendentes, nós apenas adiamos a nossa saída do loop para quando todos já tiverem sido processados.

2.9 - Sumário das Variáveis e Funções de Memória

- Ao longo deste capítulo, definimos 9 novas funções:

`void *Wcreate_arena(size_t size)` : Cria uma nova região contínua de memória, de onde podemos alocar e desalocar regiões e retorna ponteiro para ela.

`int Wdestroy_arena(void *arena)` : Destroi uma região contínua de memória criada com a função acima. Retorna 1 em caso de sucesso e 0 se o pedido falhar.

`void *Walloc_arena(void *arena, size_t size)` : Aloca `size` bytes em uma dada região de memória contínua e retorna endereço da região alocada.

`void Wfree(void *mem)` : Desaloca região de memória alocada.

`int Wbreakpoint_arena(void *arena)` : Cria marcação em região de memória contínua. Ver `Wtrash_arena`. Retorna 1 em caso de sucesso e 0 em caso de falha.

`void Wtrash_arena(void *arena)` : Desaloca automaticamente toda a memória alocada após última marcação em região contínua de memória e remove a marcação. Se não

houverem marcações adicionadas, desaloca tudo o que já foi alocado na região contínua de memória.

`void *Walloc(size_t size)` : Aloca `size` bytes de memória de uma região de memória padrão e retorna ponteiro para região alocada.

`int Wbreakpoint(void)` : Cria marcação em região de memória padrão. Retorna 1 em caso de sucesso e 0 em caso de falha.

`void Wtrash(void)` : Remove tudo o que foi alocado em região de memória padrão desde a última marcação. Remove a marcação. Na ausência de marcação, desaloca tudo o que já foi alocado com `walloc`.

`void Wloop(void (*f)(void))` : Troca o loop principal atual por um loop novo representado pela função passada como argumento. Ou inicia o primeiro loop principal.

`void Wsubloop(void (*f)(void))` : Inicia um novo loop principal que deve rodar dentro do atual. Quando ele se encerrar, o loop atual deve retomar sua execução.

`void Wexit_loop(void)` : Sai do loop principal atual. Retomamos o último loop interrompido com um `Wsubloop`. Se não existe, encerramos o programa.

Capítulo 3: Funções e Operações Numéricas

Neste capítulo iremos construir funções numéricas e matemáticas diversas que serão úteis mais tarde. À partir deste capítulo já poderemos ser capazes de aproveitar o gerenciador de memória construído no capítulo anterior.

Começamos declarando nosso arquivo de cabeçalho.

Arquivo: project/src/weaver/numeric.h:

```
#ifndef _numeric_h_
#define _numeric_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
        <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
        <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Declarações>
#ifdef __cplusplus
    }
#endif
#endif
```

E agora o nosso arquivo com as funções C em si:

Arquivo: project/src/weaver/numeric.c:

```
#ifdef W_MULTITHREAD
#include <pthread.h>
#endif
#include <stdint.h>
#include <stdbool.h>
#include <sys/timeb.h> // ftime
#include <string.h> // memcpy
#include "numeric.h"
#if W_TARGET == W_ELF
#include <unistd.h> // read
#include <sys/stat.h> // open
#include <fcntl.h> // open
#endif
        <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Variáveis Estáticas>
        <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Funções Estáticas>
        <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Definições>
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include "numeric.h"
```

3.1 - Geração de Números Pseudo-Randômicos: SFMT

Um dos algoritmos geradores de números pseudo-randômicos mais usados e de melhor qualidade é o Mersenne Twister (MT). O Playstation 3 é o exemplo mais canônico de hardware cujo kit de desenvolvimento usa tal algoritmo. Mas ele não usa o Mersenne Twister original. Ele usa uma variação conhecida por ter desempenho melhor: o SIMBD Fast Mersenne Twister (SFMT). Além de ser mais rápido, ele tem uma melhor equidistribuição numérica e se recupera mais rápido caso fique preso na geração de sequências patologicamente ruins. O único algoritmo conhecido que supera esta versão do Mersenne Twister na qualidade é o WELL (Well Equidistributed Long-Period

Linear). Mas como ele é muito mais lento, tanto o Mersenne Twister como o SFMT na prática são muito mais usados.

Um gerador de números pseudo-aleatórios típico gera sequência de números a partir de um valor inicial conhecido como “semente” (s). Para gerar o primeiro número pseudo-aleatório, uma função f retornaria $f(s)$. O segundo número gerado é $f(f(s))$ e assim por diante. Então, bastaria sempre armazenarmos o último número gerado e por meio dele deduzimos o próximo com a nossa função f .

Tanto o MT como o SFMT são um pouco mais complexos. Não iremos demonstrar suas propriedades, iremos apenas descrevê-las. Ambos os algoritmos garantem que são capazes de gerar novos números sem repetir periodicamente a sequência um número de vezes igual a um primo de Mersenne. Ou seja, um número na forma $2^n - 1$ que também é primo. Em tese podemos escolher qualquer primo de Mersenne, mas iremos escolher o $2^{19937} - 1$. Este é o número escolhido nas implementações mais comuns do algoritmo. Se usássemos outro primo de Mersenne teríamos que derivar e descobrir parâmetros específicos para ele. Ao invés disso, é melhor obter um número cujos parâmetros já foram calculados e já foi bastante testado.

Como o nosso número no expoente é 19937, o nosso algoritmo irá precisar armazenar na memória um total de $\lfloor \frac{19937}{128} \rfloor + 1 = 156$ sequências de números de 128 bits. Ou seja, 19968 bits. Esta sequência representa o estado atual do nosso gerador de números pseudo-aleatórios. Iremos gerá-la no começo do programa e com ela teremos a resposta para os próximos 624 números pseudo-aleatórios. Se precisarmos de mais, geramos um novo estado representado pela sequência de novos 154 números de 128 bits.

Seção: Funções Numéricas: Variáveis Estáticas:

```
// A sequência de números:
static uint32_t _sfmt_sequence[624];
// O índice que determina qual o próximo número a ser retornado:
static int _sfmt_index;
#ifdef W_MULTITHREAD
// Um mutex para que possamos usar o gerador em threads:
static pthread_mutex_t _sfmt_mutex;
#endif
```

Vamos inicializar tudo nesta função:

Seção: Funções Numéricas: Declarações:

```
void _initialize_numeric_functions(void);
void _finalize_numeric_functions(void);
```

Seção: Funções Numéricas: Definições:

```
void _initialize_numeric_functions(void){
    uint32_t seed;
    <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Inicialização>
}
void _finalize_numeric_functions(void){
    <Seção a ser Inserida: Funções Numéricas: Finalização>
}
```

E isso será inicializado na inicialização do programa:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
_initialize_numeric_functions();
```

E finalizado no fim do programa:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
_finalize_numeric_functions();
```

A primeira coisa a ser inicializada e finalizada é o nosso mutex, que não tem nenhum mistério:

Seção: Funções Numéricas: Inicialização:

```

#if defined(W_MULTITHREAD)
if(pthread_mutex_init(&_sfmt_mutex, NULL) != 0){
    fprintf(stderr, "ERROR (0): Can't initialize mutex for random numbers.\n");
    exit(1);
}
#endif

```

Seção: Funções Numéricas: Finalização:

```

#if defined(W_MULTITHREAD)
    pthread_mutex_destroy(&_sfmt_mutex);
#endif

```

A primeira coisa a fazer é escolher uma semente, um valor inicial para o nosso gerador de números pseudo-aleatórios. Apesar de na teoria nosso algoritmo só tratar números como seqüências de 128 bits, a semente que passaremos sempre terá 32 bits. Se o usuário definiu a macro `W_SEED` em `conf/conf.h`, usaremos este valor. Caso contrário usaremos como valor o número lido de `/dev/urandom` ou um valor baseado no número de milissegundos.

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```

{
#ifndef W_SEED
#if W_TARGET == W_ELF
    bool got_seed = false;
    int file = open("/dev/urandom", O_RDONLY);
    if(file != -1){
        if(read(file, &seed, sizeof(seed)) != -1)
            got_seed = true;
        close(file);
    }
    if(!got_seed){
        struct timeb t;
        ftime(&t);
        seed = (uint32_t) t.time + (uint32_t) (t.millitm << 2);
    }
#else
    {
        struct timeb t;
        ftime(&t);
        seed = (uint32_t) t.time + (uint32_t) (t.millitm << 2);
    }
#endif

    // Colocamos a semente como primeiro valor na nossa seqüência aleatória:
    _sfmt_sequence[0] = seed;
#else
    _sfmt_sequence[0] = seed = (uint32_t) W_SEED; // Se W_SEED é definida, use ela
#endif
}

```

Vamos assumir que a seqüência de números que iremos gerar são números de 32 bits (apesar de que mais adiante o algoritmo tratará a seqüência como sendo de números de 128 bits). Acabamos de gerar o primeiro N_0 , cujo valor é a semente. A fórmula para gerar todos os outros é:

$$N_i = 1812433253(N_{i-1} \oplus \lfloor N_{i-1}/2^{30} \rfloor) + i$$

Onde o operador \oplus é o XOR bit-a-bit. Sabendo disso, podemos começar a implementar a inicialização de nosso vetor:

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```
{
    int i;
    for(i = 1; i < 624; i++){
        _sfmt_sequence[i] = 1812433253ul *
            (_sfmt_sequence[i-1]^(_sfmt_sequence[i-1] >> 30)) + i;
    }
    // Marcamos o último valor gerado como a semente. Os próximos são os
    // que vem depois dela:
    _sfmt_index = 0;
}
```

Mas ainda não acabou. Sabemos que existem configurações iniciais problemáticas para o Mersenne Twister. Se nós tivemos azar ao obter a nossa semente, podemos ter gerado uma sequência ruim, que vai começar a se repetir muito antes da nossa previsão mínima de $2^{19937} - 1$. Felizmente sabemos como prever se nós geramos uma sequência inicial ruim e é fácil corrigir se isso aconteceu.

Fazemos isso checando os 4 primeiros números de 32 bits gerados: N_0, N_1, N_2 e N_3 . Basicamente calculamos então:

$$(1 \otimes N_0) \oplus (0 \otimes N_1) \oplus (0 \otimes N_2) \oplus (331998852 \otimes N_3)$$

E em seguida pegamos este resultado e calculamos o XOR bit-a-bit de todos os valores. Se o resultado final for falso, então estamos diante de um valor inicial ruim. O que faremos então é apenas inverter o bit menos significativo da semente e isso corrige a imperfeição para o caso específico dos valores que usamos.

Estes valores usados nas operações de AND bit-a-bit (\otimes) são derivados especialmente para o nosso caso em que o primo de Mersenne é $2^{19937} - 1$. Se o primo fosse diferente, teríamos que obter valores diferentes. E poderíamos ter que inverter algum bit diferente para corrigir entradas ruins.

Claro, na prática usaremos nosso conhecimento de que calcular o AND bit-a-bit com o número zero sempre resulta em um zero. E assim, precisamos apenas conferir os valores do primeiro e quarto número:

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```
{
    int i;
    uint32_t r = (1 & _sfmt_sequence[0]) ^ (331998852ul & _sfmt_sequence[3]);
    for(i = 16; i >= 1; i /= 2)
        r ^= (r >> i);
    if(!(r % 2)){
        // Sequência problemática. Corrigindo um bit.
        if(_sfmt_sequence[0] % 2)
            _sfmt_sequence[0]--;
        else
            _sfmt_sequence[0]++;
    }
}
```

Agora podemos até definir a nossa função responsável por gerar números pseudo-aleatórios:

Seção: Funções Numéricas: Declarações (continuação):

```
unsigned long _random(void);
```

Seção: Funções Numéricas: Definições (continuação):

```

unsigned long _random(void){
    unsigned long number;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_sfmt_mutex);
#endif
    if(_sfmt_index < 623){
        _sfmt_index ++;
    }
    else{
        _sfmt_index = 0;
        // Acabaram os números, vamos produzir mais:
        _regenerate_sequence();
    }
    number = (unsigned long) _sfmt_sequence[_sfmt_index];
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_sfmt_mutex);
#endif
    return number;
}

```

A última coisa que precisa ser definida é a função `regenerate_sequence`, a qual gerará a próxima leva de números pseudo-aleatórios após já termos usado todos os 616 gerados previamente. Neste momento o SFMT diverge do MT clássico e também começa a sempre tratar os seus valores como números de 128 bits ao invés de 32 bits. A fórmula para obter um novo número de 128 bits de agora em diante será:

$$N_i = N_{i-154} \oplus (N_{i-154} \ll 8) \oplus ((N_{i-8} \gg 11) \otimes X) \oplus (N_{i-2} \ll 8) \oplus (N_{i-1} \ll 18)$$

Onde X é uma constante que depende do primo de Mersenne que usamos no algoritmo e as operações \ll e \gg representam as operações de shift aplicadas sobre cada sequência individual de 32 bits que formam o número, não uma operação de shift sobre todo o número de 128 bits.

A implementação da função é então:

Seção: Funções Numéricas: Funções Estáticas:

```

static void _regenerate_sequence(void){
    int i;
    // A primeira coisa que fazemos é usar os últimos 256 bits gerados
    // de maneira pseudo-aleatória e tratar como dois números: r1 e r2:
    uint32_t r1[4], r2[4];
    // A ideia agora é iterarmos sobre o vetor de números gerados
    // previamente e ir gerando novos números. Mas vamos tratar o vetor
    // como um vetor de números de 128 bits, não como 32 bits. Então, r2
    // sempre irá representar a última sequência de 128 bits gerada e r1
    // representará a penúltima. Inicialmente temos:
    memcpy(r2, &_sfmt_sequence[620]), 16);
    memcpy(r1, &_sfmt_sequence[616]), 16);
    // Gerando cada número de 128 bits:
    for(i = 0; i < 156; i++){
        // Primeiro fazemos um shift à esquerda de 1 byte no valor de 128
        // bits que temos na posição atual de nosso vetor de sequências e
        // armazenamos em x:
        uint32_t x[4], y[4];

```

```

uint64_t n1, n2, aux1, aux2;
int j;
n1 = ((uint64_t) _sfmt_sequence[i * 4 + 3] << 32) |
      ((uint64_t) _sfmt_sequence[i * 4 + 2]);
n2 = ((uint64_t) _sfmt_sequence[i * 4 + 1] << 32) |
      ((uint64_t) _sfmt_sequence[i * 4]);
aux1 = n1 << 8;
aux2 = n2 << 8;
aux1 |= n2 >> 56;
x[1] = (uint32_t) (aux2 >> 32);
x[0] = (uint32_t) aux2;
x[3] = (uint32_t) (aux1 >> 32);
x[2] = (uint32_t) aux1;
// Agora fazemos um shift de 1 byte à direita de r1 e armazenamos
// em y:
n1 = ((uint64_t) r1[3] << 32) | ((uint64_t) r1[2]);
n2 = ((uint64_t) r1[1] << 32) | ((uint64_t) r1[0]);
aux1 = n1 >> 8;
aux2 = n2 >> 8;
aux2 |= n1 << 56;
y[1] = (uint32_t) (aux2 >> 32);
y[0] = (uint32_t) aux2;
y[3] = (uint32_t) (aux1 >> 32);
y[2] = (uint32_t) aux1;
// 0 j armazenará a posição do número de 128 bits 8 posições atrás:
if(i < 34)
    j = i + 122;
else
    j = i - 34;
// E agora preenchemos um novo valor de 128 bits no nosso vetor de
// números pseudo-aleatórios:
_sfmt_sequence[i * 4] = _sfmt_sequence[i * 4] ^ x[0] ^
      ((_sfmt_sequence[j * 4] >> 11) & 3758096367ul) ^ y[0] ^ (r2[0] << 18);
_sfmt_sequence[i * 4 + 1] = _sfmt_sequence[i * 4 + 1] ^ x[1] ^
      ((_sfmt_sequence[4 * j + 1] >> 11) & 3724462975ul) ^ y[1] ^ (r2[1] << 18);
_sfmt_sequence[i * 4 + 2] = _sfmt_sequence[i * 4 + 2] ^ x[2] ^
      ((_sfmt_sequence[4 * j + 2] >> 11) & 3220897791ul) ^ y[2] ^ (r2[2] << 18);
_sfmt_sequence[i * 4 + 3] = _sfmt_sequence[i * 4 + 3] ^ x[3] ^
      ((_sfmt_sequence[4 * j + 3] >> 11) & 3221225462ul) ^ y[3] ^ (r2[3] << 18);
// E por fim atualizamos os valores de r1 e r2 para a próxima iteração
memcpy(r1, r2, 16);
memcpy(r2, &(_sfmt_sequence[4 * i]), 16);
}
}

```

E tendo terminado a nossa implementação do SFMT, resta apenas declararmos e inicializarmos um ponteiro para a função geradora de números pseudo-aleatórios na estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
unsigned long (*random)(void);

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.random = &_random;
```

Recapitulando, o primeiro número de 128 bits gerado pelo nosso Mersenne Twister depende da semente. Os primeiros 32 bits são idênticos à semente e os demais envolvem operações envolvendo a semente. Em seguida, os próximos 155 são preenchidos na inicialização e cada um deles depende inteiramente do número anterior. Somente depois que 156 números de 128 bits são gerados na inicialização envolvendo operações mais simples, aplicamos o algoritmo do Mersenne Twister em toda a sua glória, onde a geração de cada número envolve embaralhar os seus bits com uma constante, com o número anterior, com o anterior do anterior, com o número 8 posições atrás e com o número de 156 posições atrás.

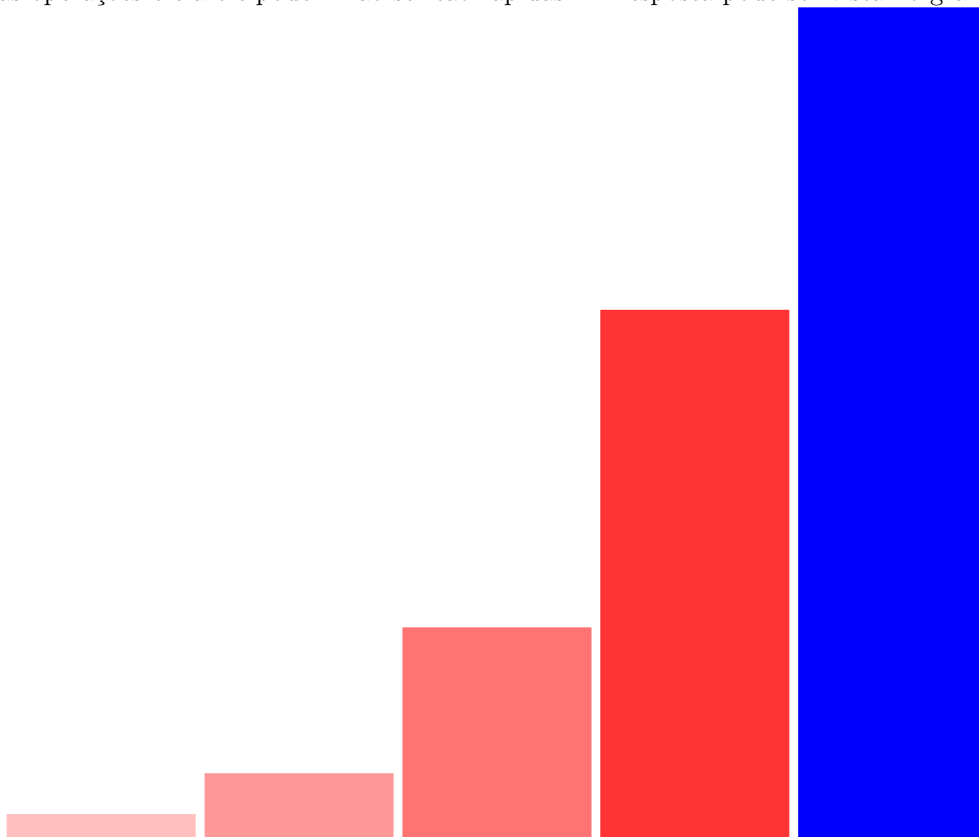
A geração de números com a qualidade esperada só ocorre então depois dos 156 iniciais. Por causa disso, é importante que na inicialização nós descartemos os números iniciais para gerar os próximos 156 que virão com uma qualidade maior após a preparação inicial:

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```
{  
  _sfmt_index = -1;  
  _regenerate_sequence();  
}
```

Feito isso, terminamos toda a preparação e nosso gerador de números pseudo-aleatórios está pronto.

Tudo isso é interessante, mas a pergunta que deve ser feita é: o quão rápido é? Realmente vale à pena usar um algoritmo como o Mersenne Twister em jogos que precisam de um bom desempenho? Como esta versão do Mersenne Twister se dá ao ser compilada para Javascript, onde as operações bit-a-bit podem não ser tão rápidas? A resposta pode ser vista no gráfico abaixo:



Nele cada milímetro corresponde a 100 microssegundos no computador usado nos testes. A primeira e menor coluna corresponde ao tempo que a implementação de referência criada por Mutsuo Saito e Makoto Matsumoto leva para gerar 100 mil números pseudo-aleatórios. A segunda coluna é o tempo gasto pela implementação usada no Weaver, a qual foi descrita acima. A terceira

coluna é o tempo gasto pela função `rand()` da biblioteca padrão do C. A quarta coluna é o tempo gasto pela `rand()` quando compilada usando Emscripten. E a última coluna é a nossa implementação do Mersenne Twister quando compilada usando o Mersenne Twister.

Isso nos permite concluir que mesmo não tendo no momento otimizado tanto a implementação do algoritmo como conseguiram seus criadores, mesmo assim o Mersenne Twister consegue um desempenho muito melhor que a função usada pela biblioteca padrão C. Então mesmo ainda tendo muito espaço para melhorias, ainda é melhor ficarmos com esta implementação que com a implementação padrão da Glibc.

No caso do Emscripten, lidamos com uma questão mais complicada. Se usarmos `rand()` diretamente, o desempenho é muito melhor que usando nossa implementação de Mersenne Twister (neste caso, o Emscripten usa uma implementação própria de gerador de números pseudo-aleatórios em Javascript). Mas se nós fizermos com que a nossa função `W.random` passe a apontar para `rand`, todo o benefício de velocidade se perde e o desempenho torna-se cerca de 50% pior do que se usarmos nossa implementação de Mersenne Twister. Aparentemente, para gerar números pseudo-aleatórios de forma rápida no Emscripten, deve-se chamar `rand` diretamente sem “wrappers”.

Mas como Weaver precisa por consistência de sua API fornecer suas funções por meio da estrutura `W`, só nos resta então fornecer `W.random` como implementando o Mersenne Twister, que ainda é o que fornece o melhor desempenho neste caso. Mas devemos avisar na documentação que o uso da função `rand` sem “wrappers” fornece um desempenho melhor, ao menos quando medido no Emscripten 1.34.0.

3.2 - Sumário das Variáveis e Funções Numéricas

- Ao longo deste capítulo, definimos a seguinte função:

`unsigned long W.random(void)` : Gera um número inteiro pseudo-aleatório de até 32 bits.

Capítulo 4: Criando uma Janela

Para que tenhamos um jogo, precisamos de gráficos. E também precisamos de um local onde desenharmos os gráficos. Em um jogo compilado para Desktop, tipicamente criaremos uma janela na qual invocaremos funções OpenGL. Em um jogo compilado para a Web, tudo será mais fácil, pois não precisaremos de uma janela especial. Por padrão já teremos um *canvas* para manipular com WebGL. Portanto, o código para estes dois cenários irá diferir bastante neste capítulo. De qualquer forma, ambos usarão OpenGL:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include <GL/glew.h>
```

Outra coisa que sempre iremos precisar ter de informação é a resolução taxa de atualização. A resolução máxima ficará armazenada em `max_resolution_x` e `max_resolution_y` e será a resolução do monitor ou do navegador Web se compilado com Emscripten.

Seção: Variáveis Weaver (continuação):

```
/* Isso fica dentro da estrutura W: */  
int resolution_x, resolution_y, framerate;
```

Para criar uma janela, usaremos o Xlib ao invés de bibliotecas de mais alto nível. Primeiro porque muitas bibliotecas de alto nível como SDL parecem ter problemas em ambientes gráficos mais excêntricos como o *ratpoison* e *xmonad*, as quais eu uso. Particularmente recursos como tela cheia em alguns ambientes não funcionam. Ao mesmo tempo, o Xlib é uma biblioteca bastante universal. Se um sistema não tem o X, é porque ele não tem interface gráfica e não iria rodar um jogo mesmo.

O nosso arquivo `conf/conf.h` precisará de duas macros novas para estabelecermos o tamanho de nossa janela (ou do “canvas” para a Web):

- `W_DEFAULT_COLOR` : A cor padrão da janela, a ser exibida na ausência de qualquer outra coisa para desenhar. Representada como três números em ponto flutuante separados por vírgulas.
- `W_HEIGHT` : A altura da janela ou do “canvas”. Se for definido como zero, será o maior tamanho possível.
- `W_WIDTH` : A largura da janela ou do “canvas”. Se for definido como zero, será o maior tamanho possível.

Começaremos definindo os valores padrão para tais macros:

Arquivo: `project/src/weaver/conf_end.h` (continuação):

```
#ifndef W_DEFAULT_COLOR  
#define W_DEFAULT_COLOR 0.0, 0.0, 0.0  
#endif  
#ifndef W_HEIGHT  
#define W_HEIGHT 0  
#endif  
#ifndef W_WIDTH  
#define W_WIDTH 0  
#endif
```

Definir por padrão a altura e largura como zero tem o efeito de deixar o jogo em tela cheia.

Vamos precisar definir também variáveis globais que armazenarão o tamanho da janela e sua posição. Se estivermos rodando o jogo em um navegador, seus valores nunca mudarão, e serão os que forem indicados por tais macros. Mas se o jogo estiver rodando em uma janela, um usuário ou o próprio programa pode querer modificar seu tamanho.

Saber a altura e largura da janela em que estamos tem importância central para podermos desenhar na tela uma interface. Saber a posição da janela é muito menos útil. Entretanto, podemos pensar em conceitos experimentais de jogos que podem levar em conta tal informação. Talvez possa-se criar uma janela que tente evitar ser fechada movendo-se caso o mouse aproxime-se dela para

fechá-la. Ou um jogo que crie uma janela que ao ser movida pela Área de trabalho possa revelar imagens diferentes, como se funcionasse como um raio-x da tela.

As variáveis globais de que falamos estarão disponíveis dentro da estrutura `W` :

Seção: Variáveis Weaver:

```
// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
int width, height, x, y;
```

Além destas variáveis globais, será importante também criarmos um mutex a ser bloqueado sempre que elas forem modificadas em jogos com mais de uma thread:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#ifndef W_MULTITHREAD
extern pthread_mutex_t _window_mutex;
#endif
```

Estas variáveis precisarão ser atualizadas caso o tamanho da janela mude e caso a janela seja movida. E não são variáveis que o programador deva mudar. Não atribua nada à elas, são variáveis somente para leitura.

4.1 - Criar janelas

O código de criar janelas só será usado se estivermos compilando um programa nativo. Por isso, só iremos definir e declarar suas funções se a macro `W_TARGET` for igual à `W_ELF`.

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#if W_TARGET == W_ELF
#include "window.h"
#endif
```

E o cabeçalho em si terá a forma:

Arquivo: project/src/weaver/window.h:

```
#ifndef _window_h_
#define _window_h_
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>

#include "weaver.h"
#include "memory.h"
#include <signal.h>
#include <stdio.h> // fprintf
#include <stdlib.h> // exit
#include <X11/Xlib.h> // XOpenDisplay, XCloseDisplay, DefaultScreen,
                    // DisplayPlanes, XFree, XCreateSimpleWindow,
                    // XDestroyWindow, XChangeWindowAttributes,
                    // XSelectInput, XMapWindow, XNextEvent,
                    // XSetInputFocus, XStoreName,
#include <GL/gl.h>
#include <GL/glx.h> // glXChooseVisual, glXCreateContext, glXMakeCurrent
#include <X11/extensions/Xrandr.h> // XRRSizes, XRRRates, XRRGetScreenInfo,
                    // XRRConfigCurrentRate,
                    // XRRConfigCurrentConfiguration,
                    // XRRFreeScreenConfigInfo,
                    // XRRSetScreenConfigAndRate
```

```
#include <X11/XKBlib.h> // XkbKeyCodeToKeysym
```

```
void _initialize_window(void);
```

```
void _finalize_window(void);
```

<Seção a ser Inserida: **Janela: Declaração**>

```
#ifdef __cplusplus
```

```
}
```

```
#endif
```

```
#endif
```

Enquanto o próprio arquivo de definição de funções as definirá apenas condicionalmente:

Arquivo: project/src/weaver/window.c:

<Seção a ser Inserida: **Inclui Cabeçalho de Configuração**>

```
// Se W_TARGET != W_ELF, então este arquivo não terá conteúdo nenhum
```

```
// para o compilador, o que é proibido pelo padrão ISO. A variável a
```

```
// seguir que nunca será usada e nem declarada propriamente previne
```

```
// isso.
```

```
extern int make_iso_compilers_happy;
```

```
#if W_TARGET == W_ELF
```

```
#include "window.h"
```

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
pthread_mutex_t _window_mutex;
```

```
#endif
```

<Seção a ser Inserida: **Variáveis de Janela**>

```
void _initialize_window(void){
```

<Seção a ser Inserida: **Janela: Inicialização**>

```
}
```

```
void _finalize_window(void){
```

<Seção a ser Inserida: **Janela: Finalização**>

```
}
```

<Seção a ser Inserida: **Janela: Definição**>

```
#endif
```

Desta forma, nada disso será incluído desnecessariamente quando compilarmos para a Web. Mas caso seja incluso, precisamos invocar uma função de inicialização e finalização na inicialização e finalização da API:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
if(pthread_mutex_init(&_window_mutex, NULL) != 0){ // Inicializa mutex
```

```
perror(NULL);
```

```
exit(1);
```

```
}
```

```
#endif
```

```
#if W_TARGET == W_ELF
```

```
_initialize_window();
```

```
#endif
```

Seção: API Weaver: Encerramento (continuação):

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
if(pthread_mutex_destroy(&_window_mutex) != 0){ // Finaliza mutex
```

```
perror(NULL);
```

```
exit(1);
```

```

}
#endif
#if W_TARGET == W_ELF
_finalize_window();
#endif

```

Para que possamos criar uma janela, como o Xlib funciona segundo um modelo cliente-servidor, precisaremos de uma conexão com tal servidor. Tipicamente, tal conexão é chamada de “Display”. Na verdade, além de ser uma conexão, um Display também armazena informações sobre o servidor com o qual nos conectamos. Como ter acesso à conexão é necessário para fazer muitas coisas diferentes, tais como obter entrada e saída, teremos que definir o nosso display como variável global para que esteja acessível para outros módulos.

Seção: Variáveis de Janela:

```
Display *_dpy;
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
#include <X11/Xlib.h>
extern Display *_dpy;
#endif

```

Ao inicializar uma conexão, o que pode dar errado é que podemos fracassar, talvez por o servidor não estar ativo. Como iremos abrir uma conexão com o servidor na própria máquina em que estamos executando, então não é necessário passar qualquer argumento para a função `XOpenDisplay`:

Seção: Janela: Inicialização:

```

_dpy = XOpenDisplay(NULL);
if(_dpy == NULL){
    fprintf(stderr,
            "ERROR: Couldn't connect with the X Server. Are you running a "
            "graphical interface?\n");
    exit(1);
}

```

Nosso próximo passo será obter o número da tela na qual a janela estará. Teoricamente um dispositivo pode ter várias telas diferentes. Na prática provavelmente só encontraremos uma. Caso uma pessoa tenha duas ou mais, ela provavelmente ativa a extensão Xinerama, que faz com que suas duas telas sejam tratadas como uma só (tipicamente com uma largura bem grande). De qualquer forma, obter o ID desta tela será importante para obtermos alguns dados como a resolução máxima e quantidade de bits usado em cores.

Seção: Variáveis de Janela:

```
int _screen;
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
extern int _screen;
#endif

```

Para inicializar o valor, usamos a seguinte macro, a qual nunca falhará:

Seção: Janela: Inicialização:

```
_screen = DefaultScreen(_dpy);
```

Como a tela é um inteiro, não há nada que precisemos desalocar depois. E de posse do ID da tela, podemos obter algumas informações à mais como a profundidade dela. Ou seja, quantos bits são usados para representar as cores.

Seção: Variáveis de Janela (continuação):

```
static int depth;
```

No momento da escrita deste texto, o valor típico da profundidade de bits é de 24. Assim, as cores vermelho, verde e azul ficam cada uma com 8 bits (totalizando 24) e 8 bits restantes ficam representando um valor alpha que armazena informação de transparência.

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
depth = DisplayPlanes(_dpy, _screen);
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 3
printf("WARNING (3): Color depth: %d\n", depth);
#endif
```

De posse destas informações, já podemos criar a nossa janela. Ela é declarada assim:

Seção: Variáveis de Janela:

```
Window _window;
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
#include <X11/Xlib.h>
extern Window _window;
#endif
```

E é inicializada com os seguintes dados:

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
// Obtemos a resolução da tela
W.resolution_x = DisplayWidth(_dpy, _screen);
W.resolution_y = DisplayHeight(_dpy, _screen);
#ifdef W_WIDTH > 0
W.width = W_WIDTH; // Obtendo largura da janela
#else
W.width = W.resolution_x;
#endif
#ifdef W_HEIGHT > 0 // Obtendo altura da janela
W.height = W_HEIGHT;
#else
W.height = W.resolution_y;
#endif

// Iremos criar nossa janela no canto superior esquerdo da tela:
W.x = W.width / 2;
W.y = W.resolution_y - W.height / 2;
{ /* Obtendo a taxa de atualização da tela: */
XRRScreenConfiguration *conf = XRRGetScreenInfo(_dpy, RootWindow(_dpy, 0));
W.framerate = XRRConfigCurrentRate(conf);
XRRFreeScreenConfigInfo(conf);
}

_window = XCreateSimpleWindow(_dpy, // Conexão com o servidor X
                             DefaultRootWindow(_dpy), // A janela-mãe
                             // Coordenadas da janela nas coordenadas Xlib:
                             W.x - W.width / 2,
                             W.resolution_y - W.y - W.height / 2,
                             W.width, // Largura da janela
                             W.height, // Altura da janela
```

```
0, 0, // Borda (espessura e cor)
0); // Cor padrão
```

Isso cria a janela. Mas isso não quer dizer que a janela será exibida. Ainda temos que fazer algumas coisas como mudar alguns atributos da sua configuração. Só depois disso poderemos pedir para que o servidor mostre a janela visualmente.

Vamos nos concentrar agora nos atributos da janela. Primeiro nós queremos que nossas escolhas de configuração sejam as mais soberanas possíveis. Devemos pedir que o gerenciador de janelas faça todo o possível para cumpri-las. Por isso, começamos ajustando a flag “Override Redirect”, o que propagandeia nossa janela como uma janela de “pop-up”. Isso faz com que nossos pedidos de entrar em tela cheia sejam atendidos, mesmo quando estamos em ambientes como o XMonad. Mas só precisaremos de uma configuração tão agressiva se nos arquivos de configuração for pedido para que entremos em tela cheia.

A próxima coisa que fazemos é informar quais eventos devem ser notificados para nossa janela. No caso, queremos ser avisados quando um botão é pressionado, liberado, bem como botões do mouse, quando a janela é revelada ou tem o seu tamanho mudado e quando por algum motivo nossa janela perder o foco estando em tela cheia (o usuário talvez tenha pressionado um botão usado como tecla de atalho pelo gerenciador de janela, mas como o jogo estará rodando em tela cheia, não podemos deixar que isso ocorra).

E por fim, mudamos tais atributos na janela e fazemos o pedido para começarmos a ser notificados de quando houverem eventos de entrada:

Seção: Variáveis de Janela (continuação):

```
static XSetWindowAttributes at;
```

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
{
# if W_WIDTH == 0 && W_HEIGHT == 0
    at.override_redirect = True;
# endif

    // Eventos que nos interessam: pressionar e soltar botão do
    // teclado, pressionar e soltar botão do mouse, movimento do mouse,
    // quando a janela é exposta e quando ela muda de tamanho.
    at.event_mask = ButtonPressMask | ButtonReleaseMask | KeyPressMask |
        KeyReleaseMask | PointerMotionMask | ExposureMask | StructureNotifyMask |
        FocusChangeMask;
    XChangeWindowAttributes(_dpy, _window, CWOverrideRedirect, &at);
    XSelectInput(_dpy, _window, StructureNotifyMask | KeyPressMask |
        KeyReleaseMask | ButtonPressMask | ButtonReleaseMask |
        PointerMotionMask | ExposureMask | StructureNotifyMask |
        FocusChangeMask);
}
```

Agora o que enfim podemos fazer é pedir para que a janela seja desenhada na tela. Primeiro pedimos sua criação e depois aguardamos o evento de sua criação. Quando formos notificados do evento, pedimos para que a janela receba foco, mas que devolva o foco para a janela-mãe quando terminar de executar. Ajustamos o nome que aparecerá na barra de título do programa. E se nosso programa tiver várias threads, avisamos o Xlib disso. por fim, podemos verificar com qual tamanho a nossa janela foi criada (o gerenciador de janelas pode ter desobedecido o nosso pedido de criar uma janela com um tamanho específico).

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
XMapWindow(_dpy, _window);
{
    XEvent e;
```

```

XNextEvent(_dpy, &e);
while(e.type != MapNotify){
    XNextEvent(_dpy, &e);
}
}
XSetInputFocus(_dpy, _window, RevertToParent, CurrentTime);
{ // Obtendo características verdadeiras da janela, que podem ser
  // diferentes daquelas que pedimos para ela ter
  int x_return, y_return;
  unsigned int width_return, height_return, dummy_border, dummy_depth;
  Window dummy_window;
  XGetGeometry(_dpy, _window, &dummy_window, &x_return, &y_return,
&width_return,
                &height_return, &dummy_border, &dummy_depth);
  W.width = width_return;
  W.height = height_return;
  W.x = x_return + W.width / 2;
  W.y = W.resolution_y - y_return - W.height / 2;
}
#ifdef W_PROGRAM_NAME
  XStoreName(_dpy, _window, W_PROGRAM_NAME);
#else
  XStoreName(_dpy, _window, W_PROG);
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
  XInitThreads();
#endif

```

Adicionamos também código para pedir para que o gerenciador de janelas não permita o redimensionamento da janela. Devemos ter em mente, porém, que haverá gerenciadores de janela que não obedecerão o pedido:

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```

{
  XSizeHints *hints = XAllocSizeHints();
  hints -> flags = PMinSize | PMaxSize;
  hints -> min_width = hints -> max_width = W.width;
  hints -> min_height = hints -> max_height = W.height;
  XSetWMNormalHints(_dpy, _window, hints);
  XFree(hints);
}

```

Antes de inicializarmos o código para OpenGL, precisamos garantir que tenhamos uma versão do GLX de pelo menos 1.3. Antes disso, não poderíamos ajustar as configurações do contexto OpenGL como queremos. Sendo assim, primeiro precisamos checar se estamos com uma versão compatível:

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```

{
  int glx_major, glx_minor, gl_major = 0, gl_minor = 0;
  Bool ret;
  glGetIntegerv(GL_MAJOR_VERSION, &gl_major);
  glGetIntegerv(GL_MINOR_VERSION, &gl_minor);
}

```

```

ret = glXQueryVersion(_dpy, &glx_major, &glx_minor);
if(!ret || (( glx_major == 1 ) && ( glx_minor < 3 )) || glx_major < 1){
    fprintf(stderr,
        "ERROR: GLX is version %d.%d, but should be at least 1.3.\n",
        glx_major, glx_minor);
    exit(1);
}
#endif W_DEBUG_LEVEL >= 3
printf("WARNING (3): GLX Version: %d.%d\n", glx_major, glx_minor);
#endif
}

```

A última coisa que precisamos fazer agora na inicialização é criar um contexto OpenGL e associá-lo à nossa recém-criada janela para que possamos usar OpenGL nela:

Seção: Variáveis de Janela:

```
GLXContext _context;
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
#include <GL/glx.h>
extern GLXContext _context;
#endif

```

Também vamos precisar de configurações válidas para o nosso contexto:

Seção: Variáveis de Janela:

```
static GLXFBConfig *fbConfigs;
```

Estas são as configurações que queremos para termos uma janela colorida que pode ser desenhada e com buffer duplo.

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```

{
    int return_value;
    int doubleBufferAttributes[] = {
        GLX_DRAWABLE_TYPE, GLX_WINDOW_BIT, // Desenharemos na tela, não em 'pixmap'
        GLX_RENDER_TYPE, GLX_RGBA_BIT, // Definimos as cores via RGBA, não paleta
        GLX_DOUBLEBUFFER, True, // Usamos buffers duplos para evitar 'flickering'
        GLX_RED_SIZE, 1, // Devemos ter ao menos 1 bit de vermelho
        GLX_GREEN_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit de verde
        GLX_BLUE_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit de azul
        GLX_ALPHA_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit para o canal alfa
        GLX_DEPTH_SIZE, 1, // E ao menos 1 bit de profundidade
        None
    };
    fbConfigs = glXChooseFBConfig(_dpy, _screen, doubleBufferAttributes,
                                &return_value);
    if (fbConfigs == NULL){
        fprintf(stderr,
            "ERROR: Not possible to choose our minimal OpenGL configuration.\n");
        exit(1);
    }
}
}

```


Agora iremos precisar usar uma função chamada `glXCreateContextAttribsARB` para criar um contexto OpenGL 2.0 ES. O problema é que nem todas as placas de vídeo possuem ela. Algumas podem não ter suporte às versões mais novas do OpenGL. Por causa disso, a API não sabe se esta função existe ou não e ela não está sequer declarada. Nós mesmos precisamos declará-la e obter o seu valor dinamicamente verificando se ela existe:

Seção: Janela: Declaração (continuação):

```
typedef GLXContext
(*glXCreateContextAttribsARBProc)(Display*, GLXFBConfig, GLXContext, Bool,
                                const int*);
```

Tendo declarado o novo tipo, tentamos obter a função e usá-la para criar o contexto:

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
{
    int context_attribs[] =
    { // Iremos usar e exigir OpenGL 2.0 ES
      GLX_CONTEXT_MAJOR_VERSION_ARB, 2,
      GLX_CONTEXT_MINOR_VERSION_ARB, 0,
      None
    };
    glXCreateContextAttribsARBProc glXCreateContextAttribsARB = 0;
    { // Verificando se a 'glXCreateContextAttribsARB' existe:
      // Usamos 'glXQueryExtensionsString' para obter lista de extensões
      const char *glxExts = glXQueryExtensionsString(_dpy, _screen);
      if(strstr(glxExts, "GLX_ARB_create_context") == NULL){
        fprintf(stderr, "ERROR: Can't create an OpenGL 2.0 ES context.\n");
        exit(1);
      }
    }
    // Se estamos aqui, a função existe. Obtemos seu endereço e a usamos
    // para criar o contexto OpenGL.
    glXCreateContextAttribsARB = (glXCreateContextAttribsARBProc)
      glXGetProcAddressARB((const GLubyte *) "glXCreateContextAttribsARB");
    _context = glXCreateContextAttribsARB(_dpy, *fbConfigs, NULL, GL_TRUE,
                                          context_attribs);
    if(_context == NULL){
      fprintf(stderr, "ERROR: Couldn't create an OpenGL 2.0 ES context.\n");
      exit(1);
    }
    // Aqui pode ocorrer um erro aparentemente não-detectável, quando o
    // kernel é recompilado e o driver não o reconhece mais como
    // compatível. para mim ele imprime dentro desta função: "Gen6+
    // requires Kernel 3.6 or later." e uma falha de segmentação ocorre
    // aqui.
    glXMakeCurrent(_dpy, _window, _context);
}
```

À partir de agora, se tudo deu certo e suportamos todos os pré-requisitos, já criamos a nossa janela e ela está pronta para receber comandos OpenGL. Agora é só na finalização destruímos o contexto que criamos. Colocamos logo em seguida o código para destruir a janela e encerrar a conexão, já que estas coisas precisam ser feitas nesta ordem:

Seção: Janela: Finalização (continuação):

```
glXMakeCurrent(_dpy, None, NULL);
glXDestroyContext(_dpy, _context);
XDestroyWindow(_dpy, _window);
XCLOSEDisplay(_dpy);
```

4.2 - Definir tamanho do canvas

Agora é hora de definirmos também o espaço na qual poderemos desenhar na tela quando compilamos o programa para a Web. Felizmente, isso é mais fácil que criar uma janela no Xlib. Basta usarmos o suporte que Emscripten tem para as funções SDL. Então adicionamos como cabeçalho da API:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#if W_TARGET == W_WEB
#include "canvas.h"
#endif
```

Agora definimos o nosso cabeçalho do módulo de “canvas”:

Arquivo: project/src/weaver/canvas.h:

```
#ifndef _canvas_H_
#define _canvas_h_
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif

<Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>

#include "weaver.h"
#include <stdio.h> // |fprintf|
#include <stdlib.h> // |exit|
#include <SDL/SDL.h> // |SDL_Init|, |SDL_CreateWindow|, |SDL_DestroyWindow|,
// |SDL_Quit|

void _initialize_canvas(void);
void _finalize_canvas(void);

<Seção a ser Inserida: Canvas: Declaração>

#ifdef __cplusplus
}
#endif
#endif
```

E por fim, o nosso canvas.c que definirá as funções que criarão nosso espaço de desenho pode ser definido. Como ele é bem mais simples, será inteiramente definido abaixo:

Arquivo: project/src/weaver/canvas.c:

```
<Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>

extern int make_iso_compilers_happy;

#if W_TARGET == W_WEB
#include <emscripten.h> // emscripten_run_script_init
#include "canvas.h"
static SDL_Surface *window;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_t _window_mutex;
#endif

void _initialize_canvas(void){
```

```

SDL_Init(SDL_INIT_VIDEO); // Inicializando SDL com OpenGL 2.0 ES
SDL_GL_SetAttribute(SDL_GL_CONTEXT_MAJOR_VERSION, 2);
SDL_GL_SetAttribute(SDL_GL_CONTEXT_MINOR_VERSION, 0);
W.resolution_x = emscripten_run_script_int("window.innerWidth");
W.resolution_y = emscripten_run_script_int("window.innerHeight");
if(W.resolution_x < 800)
    W.resolution_x = 800;
if(W.resolution_y < 600)
    W.resolution_y = 600;
/* A taxa de atualização da tela não pode ser obtida no ambiente
   Emscripten. Vamos usar um valor fictício. Um valor igualmente
   fictício *é usado para W.x e W.y. */
W.framerate = 60;
W.x = W.resolution_x / 2;
W.y = W.resolution_y / 2;
window = SDL_SetVideoMode(// Definindo informações de tamanho do canvas
#if W_WIDTH > 0
    W.width = W_WIDTH, // Largura da janela
#else
    W.width = W.resolution_x,
#endif
#if W_HEIGHT > 0
    W.height = W_HEIGHT, // Altura da janela
#else
    W.height = W.resolution_y,
#endif
    0, // Bits por pixel, usar o padrão
    SDL_OPENGL // Inicializar o contexto OpenGL
#if W_WIDTH == 0 && W_HEIGHT == 0
    | SDL_WINDOW_FULLSCREEN
#endif
    );
if (window == NULL) {
    fprintf(stderr, "ERROR: Could not create window: %s\n", SDL_GetError());
    exit(1);
}
// Ajustando a aparência no navegador:
EM_ASM(
    var el = document.getElementById("canvas");
    el.style.position = "absolute";
    el.style.top = "0px";
    el.style.left = "0px";
    el = document.getElementById("output");
    el.style.display = "none";
    el = document.getElementsByTagName("BODY")[0];
    el.style.overflow = "hidden";
);
}
void _finalize_canvas(void){// Desalocando a nossa superfície de canvas

```

```

    SDL_FreeSurface(window);
}

```

<Seção a ser Inserida: **Canvas: Definição**>

```

#endif

```

Note que o que estamos chamando de "janela" na verdade é uma superfície SDL. E que não é necessário chamar `SDL_Quit`, tal função seria ignorada se usada.

Por fim, basta agora apenas invocarmos tais funções na inicialização e finalização da API:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
_initialize_canvas();
#endif

```

Seção: API Weaver: Encerramento (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
_finalize_canvas();
#endif

```

4.3 - Mudanças no Tamanho e Posição da Janela

Em Xlib, quando uma janela tem o seu tamanho mudado, ela recebe um evento do tipo `ConfigureNotify`. Além dele, também existirão novos eventos se o usuário apertar uma tecla, mover o mouse e assim por diante. Por isso, precisamos adicionar código para tratarmos de eventos no loop principal:

Seção: Código a executar todo loop:

<Seção a ser Inserida: **API Weaver: Imediatamente antes de tratar eventos**>

```

#if W_TARGET == W_ELF
{
    XEvent event;
    while(XPending(_dpy)){
        XNextEvent(_dpy, &event);
        // A variável 'event' terá todas as informações do evento
        <Seção a ser Inserida: API Weaver: Trata Evento Xlib>
    }
}
#endif

```

```

#if W_TARGET == W_WEB
{
    SDL_Event event;
    while(SDL_PollEvent(&event)){
        // A variável 'event' terá todas as informações do evento
        <Seção a ser Inserida: API Weaver: Trata Evento SDL>
    }
}
#endif

```

<Seção a ser Inserida: **API Weaver: Imediatamente após tratar eventos**>

Por hora definiremos só o tratamento do evento de mudança de tamanho e posição da janela em Xlib. Outros eventos terão seus tratamentos definidos mais tarde, assim como os eventos SDL caso estejamos rodando em um navegador web.

Tudo o que temos que fazer no caso deste evento é atualizar as variáveis globais `W.width`, `W.height`, `W.x` e `W.y`. Nem sempre o evento `ConfigureNotify` significa que a janela mudou de tamanho ou foi movida. Talvez ela apenas tenha se movido para frente ou para trás em relação às outras janelas empilhadas sobre ela. Ou algo mudou o tamanho de sua borda. Mas mesmo assim, não custa quase nada atualizarmos tais dados. Se eles não mudaram, de qualquer forma o código será inócuo:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```
if(event.type == ConfigureNotify){
    XConfigureEvent config = event.xconfigure;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_window_mutex);
#endif
    W.width = config.width;
    W.height = config.height;
    W.x = config.x + W.width / 2;
    W.y = W.resolution_y - config.y - W.height / 2;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_window_mutex);
#endif
    continue;
}
```

Não é necessário criar um código análogo para a Web pra nada disso, pois lá será impossível mover a nossa “janela”. Afinal, ela não será uma janela verdadeira, mas um “*canvas*”.

Mas e se nós quisermos mudar o tamanho ou a posição de uma janela diretamente? Para mudar o tamanho, precisamos definir separadamente o código tanto para o caso de termos uma janela como para o caso de termos um *canvas* web para o jogo. No caso da janela, usamos uma função XLib para isso:

Seção: Janela: Declaração:

```
void _Wresize_window(int width, int height);
```

Seção: Janela: Definição:

```
void _Wresize_window(int width, int height){
    int old_width, old_height;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_window_mutex);
#endif
    XResizeWindow(_dpy, _window, width, height);
    old_width = W.width;
    old_height = W.height;
    W.width = width;
    W.height = height;
    glViewport(0, 0, W.width, W.height);
    <Seção a ser Inserida: Ações após Redimensionar Janela>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_window_mutex);
#endif
}
```

No caso de termos um “*canvas*” web, então usamos SDL para obtermos o mesmo efeito. Basta pedirmos para criar uma nova janela e isso funciona como se mudássemos o tamanho da anterior:

Seção: Canvas: Declaração:

```
void _Wresize_window(int width, int height);
```

Seção: Canvas: Definição:

```
void _Wresize_window(int width, int height){
    int old_width, old_height;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_window_mutex);
#endif
    window = SDL_SetVideoMode(width, height,
                                0, // Bits por pixel, usar o padrão
                                SDL_OPENGL // Inicializar o contexto OpenGL
                                );
    old_width = W.width;
    old_height = W.height;
    W.width = width;
    W.height = height;
    glViewport(0, 0, W.width, W.height);
    <Seção a ser Inserida: Ações após Redimensionar Janela>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_window_mutex);
#endif
}
```

Independente de como foi definida a opção de mudar tamanho da janela, vamos atribuí-la à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*resize_window)(int, int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.resize_window = &_Wresize_window;
```

Mudar a posição da janela é algo diferente. Isso só faz sentido se realmente tivermos uma janela Xlib, e não um “canvas” web. De qualquer forma, precisaremos definir esta função em ambos os casos.

Seção: Janela: Declaração:

```
void _Wmove_window(int x, int y);
```

Seção: Janela: Definição:

```
void _Wmove_window(int x, int y){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_window_mutex);
#endif
    XMoveWindow(_dpy, _window, x - W.width / 2, W.resolution_y - y - W.height / 2);
    W.x = x;
    W.y = y;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_window_mutex);
#endif
}
```

Esta mesma função será definida, mas será ignorada se um usuário a invocar em um programa compilado para a Web:

Seção: Canvas: Declaração:

```
void _Wmove_window(int x, int y);
```

Seção: Canvas: Definição:

```
void _Wmove_window(int width, int height){  
    return;  
}
```

E precisamos depois colocar a função em W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*move_window)(int, int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.move_window = &_Wmove_window;
```

4.4 - Lidando com perda de foco

Agora vamos lidar com um problema específico do Xlib.

E se a nossa janela perder o foco quando estivermos em tela cheia? Um gerenciador de janelas pode ter uma operação associada com algumas sequências de teclas tais como Alt+Tab ou com alguma tecla específica como a tecla Super (vulgo Tecla do Windows). Se o usuário aperta alguma destas combinações ou teclas especiais, o controle passa a ser do gerenciador de janelas. Mas se a nossa janela está em tela-cheia, ela continua neste estado, mas sem receber mais qualquer resposta do *mouse* e teclado. Então o usuário fica preso, vendo a tela do jogo, mas sem poder interagir de modo a continuar o jogo ou encerrá-lo.

Esta linha de código irá prevenir este problema no caso de estarmos em tela cheia:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```
#if W_WIDTH == 0 && W_HEIGHT == 0  
if(event.type == FocusOut){  
    XSetInputFocus(_dpy, _window, RevertToParent, CurrentTime);  
    continue;  
}  
#endif
```

4.5 - Configurações Básicas OpenGL

A única configuração que temos no momento é a cor de fundo de nossa janela, a qual será exibida na ausência de qualquer coisa a ser mostrada. Também ativamos o buffer de profundidade para que OpenGL leve em conta a distância de cada pixel de um polígono para saber se ele deve ser desenhado ou não (não deve ser desenhado se tiver algo na sua frente). E por fim, também impedimos que as faces internas de um polígono precisem ser desenhadas. É uma otimização extremamente necessária para garantirmos um bom desempenho. Por fim, ativamos suporte à transparência.

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
// Com que cor limpamos a tela:  
glClearColor(W_DEFAULT_COLOR, 1.0f);  
// Ativamos o buffer de profundidade:  
glEnable(GL_DEPTH_TEST);  
glDepthFunc(GL_LEQUAL);  
// Descartamos a face interna de qualquer triângulo (otimização necessária)  
glEnable(GL_CULL_FACE);  
// Ativamos transparência  
glEnable(GL_BLEND);
```

```
glBlendFunc (GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA);
```

Seção: Código a executar todo loop (continuação):

```
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
```

4.6 - Sumário das Variáveis e Funções Janela

- As seguintes 7 novas variáveis foram definidas:

- `int W.x` : Armazena a posição x da janela. Somente para leitura, não mude o valor.
- `int W.y` : Armazena a posição y da janela. Somente para a leitura, não mude o valor.
- `int W.width` : Armazena a nossa resolução vertical. Somente para leitura, não mude o valor.
- `int W.height` : Armazena a resolução horizontal em pixels. Somente para leitura, não mude o valor.
- `int W.resolution_x` : A resolução horizontal da tela.
- `int W.resolution_y` : A resolução vertical da tela.
- `int W.framerate` : A taxa de atualização do monitor.

- As seguintes 2 novas funções foram definidas:

- `void W.resize_window(int width, int height)` : Muda o tamanho da janela para os valores passados como argumento.
- `void W.move_window(int x, int y)` : Move a janela para a posição indicada como argumento.

Capítulo 5: Teclado e Mouse

Uma vez que tenhamos uma janela, podemos começar a acompanhar os eventos associados à ela. Um usuário pode apertar qualquer botão no seu teclado ou mouse e isso gerará um evento. Devemos tratar tais eventos no mesmo local em que já estamos tratando coisas como o mover e o mudar tamanho da janela (algo que também é um evento). Mas devemos criar uma interface mais simples para que um usuário possa acompanhar quando certas teclas são pressionadas, quando são soltas, por quanto tempo elas estão sendo pressionadas e por quanto tempo foram pressionadas antes de terem sido soltas.

Nossa proposta é que exista um vetor de inteiros chamado `W.keyboard`, por exemplo, e que cada posição dele represente uma tecla diferente. Se o valor dentro de uma posição do vetor é 0, então tal tecla não está sendo pressionada. Caso o seu valor seja um número positivo, então a tecla está sendo pressionada e o número representa por quantos microssegundos a tecla vem sendo pressionada. Caso o valor seja um número negativo, significa que a tecla acabou de ser solta e o inverso deste número representa por quantos microssegundos a tecla ficou pressionada. E caso o valor seja 1, isso significa que a tecla começou a ser pressionada exatamente neste *frame*.

Acompanhar o tempo no qual uma tecla é pressionada é tão importante quanto saber se ela está sendo pressionada ou não. Por meio do tempo, podemos ser capazes de programar personagens que pulam mais alto ou mais baixo, dependendo do quanto um jogador apertou uma tecla, ou fazer com que jogadores possam escolher entre dar um soco rápido e fraco ou lento e forte em outros tipos de jogo. Tudo depende da intensidade com a qual eles pressionam os botões.

Entretanto, tanto o Xlib como SDL funcionam reportando apenas o momento no qual uma tecla é pressionada e o momento na qual ela é solta. Então, em cada iteração, precisamos memorizar quais teclas estão sendo pressionadas. Se duas pessoas estiverem compartilhando um mesmo teclado, teoricamente, o número máximo de teclas que podem ser pressionadas é 20 (se cada dedo da mão de cada uma delas estiver sobre uma tecla). Então, vamos usar um vetor de 20 posições para armazenar o número de cada tecla sendo pressionada. Isso é apenas para podermos atualizar em cada iteração do loop principal o tempo em que cada tecla é pressionada. Se hipoteticamente mais de 20 teclas forem pressionadas, o fato de perdermos uma delas não é algo muito grave e não deve causar qualquer problema.

Até agora estamos falando do teclado, mas o mesmo pode ser implementado nos botões do mouse. Mas no caso do mouse, além dos botões, temos o seu movimento. Então será importante armazenarmos a sua posição (x, y) , mas também um vetor representando a sua velocidade. Tal vetor deve considerar como se a posição atual do ponteiro do mouse fosse a $(0, 0)$ e deve conter qual a sua posição no próximo segundo caso o seu deslocamento continue constante na mesma direção e sentido em que vem sendo desde a última iteração. Desta forma, tal vetor também será útil para verificar se o mouse está em movimento ou não. E saber a intensidade e direção do movimento do mouse pode permitir interações mais ricas com o usuário. Por fim, armazenaremos também a aceleração do mouse, que talvez possa ter alguma utilidade.

5.1 - O Teclado

Para o teclado precisaremos de uma variável local que armazenará as teclas que já estão sendo pressionadas e uma variável global que será um vetor de números representando a quanto tempo cada tecla é pressionada. Adicionalmente, também precisamos tomar nota das teclas que acabaram de ser soltas para que na iteração seguinte possamos zerar os seus valores no vetor de por quanto tempo estão pressionadas.

Mas a primeira questão que temos a responder é que tamanho deve ter tal vetor? E como associar cada posição à uma tecla?

Um teclado típico tem entre 80 e 100 teclas diferentes. Entretanto, diferentes teclados apresentam em cada uma destas teclas diferentes símbolos e caracteres. Alguns teclados possuem “Ç”, outros possuem o símbolo do Euro, e outros podem possuir símbolos bem mais exóticos. Há também teclas modificadoras que transformam determinadas teclas em outras. O Xlib reconhece diferentes teclas associando à elas um número chamado de **KeySym**, que são inteiros de 29 bits.

Entretanto, não podemos criar um vetor de 2^{29} números para representar se uma das diferentes

teclas possíveis está pressionada. Se cada inteiro tiver 4 bytes, vamos precisar de 2GB de memória para conter tal vetor. Por isso, precisamos nos ater à uma quantidade menor de símbolos.

A vasta maioria das teclas possíveis é representada por números entre 0 e 0xffff. Isso inclui até mesmo caracteres em japonês, “Q”, todas as teclas do tipo Shift, Esc, Caps Lock, Ctrl e o “N” com um til do espanhol. Mas algumas coisas ficam de fora, como cirílico, símbolos árabes, vietnamitas e símbolos matemáticos especiais. Contudo, isso não será algo grave, pois podemos fornecer uma função capaz de redefinir alguns destes símbolos para valores dentro de tal intervalo. O que significa que vamos precisar também de espaço em memória para armazenar tais traduções de uma tecla para outra. Um número de 100 delas pode ser estabelecido como máximo, pois a maioria dos teclados tem menos teclas que isso.

Note que este é um problema do XLib. O SDL de qualquer forma já se atém somente à 16 bytes para representar suas teclas. Então, podemos ignorar com segurança tais traduções quando estivermos programando para a Web.

Sabendo disso, o nosso vetor de teclas `W.keyboard` e vetor de traduções pode ser declarado, bem como o vetor de teclas pressionadas. Além das teclas pressionadas do teclado, vamos dar o mesmo tratamento para os botões pressionados no *mouse*:

Seção: Variáveis Weaver:

```
// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
long keyboard[0xffff];
```

Seção: API Weaver: Definições:

```
#if W_TARGET == W_ELF
static struct _k_translate{ // Traduz uma tecla em outra
    unsigned original_symbol, new_symbol;
} _key_translate[100];
#endif

// Lista de teclas do teclado que estão sendo pressionadas e que estão
// sendo soltas:
static unsigned _pressed_keys[20];
static unsigned _released_keys[20];
// List de botões do mouse que estão sendo pressionados e soltos:
static unsigned _pressed_buttons[5];
static unsigned _released_buttons[5];
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#ifndef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_t _input_mutex;
#endif
```

A inicialização de tais valores consiste em deixar todos contendo zero como valor:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    int i;
    for(i = 0; i < 0xffff; i ++){
        W.keyboard[i] = 0;
    }
    #if W_TARGET == W_ELF
    for(i = 0; i < 100; i ++){
        _key_translate[i].original_symbol = 0;
        _key_translate[i].new_symbol = 0;
    }
    #endif
    for(i = 0; i < 20; i ++){
```

```

    _pressed_keys[i] = 0;
    _released_keys[i] = 0;
}
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_input_mutex, NULL) != 0){ // Inicializa mutex
        perror(NULL);
        exit(1);
    }
#endif
}

```

Assim como inicializamos valores, ao término do programa, podemos precisar finalizá-los:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_destroy(&_input_mutex) != 0){ // Finaliza mutex
        perror(NULL);
        exit(1);
    }
#endif

```

Inicializar a lista de teclas pressionadas com zero funciona porque nem o SDL e nem o XLib associa qualquer tecla ao número zero. Então podemos usá-lo para representar a ausência de qualquer tecla sendo. De fato, o XLib ignora os primeiros 31 valores e o SDL ignora os primeiros 7. Desta forma, podemos usar tais espaços com segurança para representar conjuntos de teclas ao invés de uma tecla individual. Por exemplo, podemos associar a posição 6 como sendo o de todas as teclas. Qualquer tecla pressionada faz com que ativemos o seu valor. Outra posição pode ser associada ao Shift, que faria com que fosse ativada toda vez que o Shift esquerdo ou direito fosse pressionado. O mesmo para o Ctrl e Alt. Já o valor zero deve continuar sem uso para que possamos reservá-lo para valores inicializados, mas vazios ou indefinidos. Os demais valores nos indicam que uma tecla específica está sendo pressionada.

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```

#define W_SHIFT 2 // Shift esquerdo ou direito
#define W_CTRL 3 // Ctrl esquerdo ou direito
#define W_ALT 4 // Alt esquerdo ou direito
#define W_ANY 6 // Qualquer botão

```

A função que nos permite traduzir uma tecla para outra consiste em percorrer o vetor de traduções e verificar se temos uma tradução registrada para o símbolo que estamos procurando:

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
static unsigned _translate_key(unsigned symbol){
    int i;
    for(i = 0; i < 100; i++){
        if(_key_translate[i].original_symbol == 0)
            return symbol % 0xffff; // Sem mais traduções. Nada encontrado.
        if(_key_translate[i].original_symbol == symbol)
            return _key_translate[i].new_symbol % 0xffff; // Retorna tradução
    }
}
#if W_DEBUG_LEVEL >= 2
    if(symbol >= 0xffff)
        fprintf(stderr, "WARNING (2): Key with unknown code pressed: %lu",
            (unsigned long) symbol);

```

```

#endif
    return symbol % 0xffff; // Vetor percorrido e nenhuma tradução encontrada
}
#endif

```

Agora respectivamente a tarefa de adicionar uma nova tradução de tecla e a tarefa de limpar todas as traduções existentes. O que pode dar errado aí é que pode não haver espaço para novas traduções quando vamos adicionar mais uma. Neste caso, a função sinaliza isso retornando 0 ao invés de 1.

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```

int _Wkey_translate(unsigned old_value, unsigned new_value);
void _Werase_key_translations(void);

```

Seção: API Weaver: Definições:

```

int _Wkey_translate(unsigned old_value, unsigned new_value){
#if W_TARGET == W_ELF
    int i;
#ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_lock(&_input_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < 100; i++){
        if(_key_translate[i].original_symbol == 0 ||
           _key_translate[i].original_symbol == old_value){
            _key_translate[i].original_symbol = old_value;
            _key_translate[i].new_symbol = new_value;
#ifdef W_MULTITHREAD
                pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif
            return 1;
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif
#else
    // Isso previne aviso de que os argumentos da função não foram
    // usados se W_TARGET != W_ELF:
    old_value = new_value;
    new_value = old_value;
#endif
    return 0;
}

```

```

void _Werase_key_translations(void){
#if W_TARGET == W_ELF
    int i;
#ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_lock(&_input_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < 100; i++){
        _key_translate[i].original_symbol = 0;
    }
}

```

```

    _key_translate[i].new_symbol = 0;
}
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif
#endif
}

```

Iremos atribuir tanto a função de adicionar nova tradução como a função de remover todas as traduções à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

int (*key_translate)(unsigned, unsigned);
void (*erase_key_translations)(void);

```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```

W.key_translate = &_Wkey_translate;
W.erase_key_translations = &_Werase_key_translations;

```

Uma vez que tenhamos preparado as traduções, podemos enfim ir até o loop principal e acompanhar o surgimento de eventos para saber quando o usuário pressiona ou solta uma tecla. No caso de estarmos usando XLib e uma tecla é pressionada, o código abaixo é executado. A coisa mais críptica abaixo é o uso da função `XkbKeycodeToKeysym`. Mas basicamente o que esta função faz é traduzir o valor da variável `event.xkey.keycode` de uma representação inicial, que representa a posição da tecla em um teclado para o símbolo específico associado àquela tecla, algo que muda em diferentes teclados.

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```

if(event.type == KeyPress){
    unsigned int code = _translate_key(XkbKeycodeToKeysym(_dpy,
                                                         event.xkey.keycode, 0,
                                                         0));

    int i;
    // Adiciona na lista de teclas pressionadas:
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(!_pressed_keys[i] == 0 || _pressed_keys[i] == code){
            _pressed_keys[i] = code;
            break;
        }
    }
}

// Apesar de estarmos aqui, pode ser que esta tecla já estava sendo
// pressionada antes. O evento de 'tecla pressionada' pode ser
// gerado mais de uma vez se uma tecla for segurada por muito
// tempo. Mas só podemos marcar a quantidade de tempo que ela é
// pressionada como 1 se ela realmente começou a ser pressionada
// agora. E caso contrário, também verificamos se o valor é
// negativo. Se for, isso significa que a tecla foi solta e
// pressionada ao mesmo tempo no mesmo frame. Esta sequência de
// eventos também pode ser gerada incorretamente se a tecla for
// pressionada por muito tempo e precisamos corrigir se isso
// ocorrer.
if(W.keyboard[code] == 0)
    W.keyboard[code] = 1;
else if(W.keyboard[code] < 0)

```

```

W.keyboard[code] *= -1;
continue;
}

```

Já se uma tecla é solta, precisamos removê-la da lista de teclas pressionadas e adicioná-la na lista de teclas que acabaram de ser soltas:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```

if(event.type == KeyRelease){
    unsigned int code = _translate_key(XkbKeycodeToKeysym(_dpy,
                                                         event.xkey.keycode,
                                                         0, 0));

    int i;
    // Remove da lista de teclas pressionadas
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(_pressed_keys[i] == code){
            _pressed_keys[i] = 0;
            break;
        }
    }
    for(; i < 19; i++){// Preenche o buraco que ficou na lista após a remoção
        _pressed_keys[i] = _pressed_keys[i + 1];
    }
    _pressed_keys[19] = 0;
    // Adiciona na lista de teclas soltas:
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(_released_keys[i] == 0 || _released_keys[i] == code){
            _released_keys[i] = code;
            break;
        }
    }
    // Atualiza vetor de teclado
    W.keyboard[code] *= -1;
    continue;
}

```

O evento de pressionar uma tecla faz com que ela vá para a lista de teclas pressionadas. O evento de soltar uma tecla remove ela desta lista e faz ela ir para a lista de teclas soltas. Mas a cada *frame* temos que também limpar a lista de teclas que foram soltas no *frame* anterior. E incrementar os valores no vetor que mede o tempo em que cada tecla está sendo pressionada para cada tecla que está na lista de teclas pressionadas. Isso precisa ser feito imediatamente antes de lermos os eventos pendentes. Somente imediatamente antes de obtermos os eventos deste *frame* devemos terminar de processar todas as ocorrências do *frame* anterior. Caso contrário, ocorreriam valores errôneos e nunca conseguiríamos manter em 1 o valor de tempo para uma tecla que acabou de ser pressionada neste *frame*.

Seção: API Weaver: Imediatamente antes de tratar eventos:

```

{
    int i, key;
    // Limpar o vetor de teclas soltas e zerar seus valores no vetor de teclado:
    for(i = 0; i < 20; i++){
        key = _released_keys[i];
        // Se a tecla está com um valor positivo, isso significa que os
        // eventos de soltar a tecla e apertar ela de novo foram gerados
    }
}

```

```

// juntos. Isso geralmente acontece quando um usuário pressiona uma
// tecla por muito tempo. Depois de algum tempo, o servidor passa a
// interpretar isso como se o usuário estivesse apertando e
// soltando a tecla sem parar. Isso é útil em editores de texto
// quando você segura uma tecla e a letra que ela representa começa
// a ser inserida sem parar após um tempo. Mas aqui isso deixa o
// ato de medir o tempo cheio de detalhes incômodos. Temos que
// remover da lista de teclas soltas esta tecla, que provavelmente
// não foi solta de verdade:
while(W.keyboard[key] > 0){
    int j;
    for(j = i; j < 19; j++){
        _released_keys[j] = _released_keys[j+1];
    }
    _released_keys[19] = 0;
    key = _released_keys[i];
}
if(key == 0) break; // Chegamos ao fim da lista de teclas pressionadas
// Tratando casos especiais de valores que representam mais de uma tecla:
if(key == W_LEFT_CTRL || key == W_RIGHT_CTRL) W.keyboard[W_CTRL] = 0;
else if(key == W_LEFT_SHIFT || key == W_RIGHT_SHIFT)
    W.keyboard[W_SHIFT] = 0;
else if(key == W_LEFT_ALT || key == W_RIGHT_ALT) W.keyboard[W_ALT] = 0;
// Como foi solta no frame anterior, o tempo que ela está pressionada é 0:
W.keyboard[key] = 0;
_released_keys[i] = 0; // Tecla removida da lista de teclas soltas
}

// Para teclas pressionadas, incrementar o seu contador de tempo:
for(i = 0; i < 20; i++){
    key = _pressed_keys[i];
    if(key == 0) break; // Fim da lista, encerrar
    // Casos especiais:
    if(key == W_LEFT_CTRL || key == W_RIGHT_CTRL)
        W.keyboard[W_CTRL] += W.dt;
    else if(key == W_LEFT_SHIFT || key == W_RIGHT_SHIFT)
        W.keyboard[W_SHIFT] += W.dt;
    else if(key == W_LEFT_ALT || key == W_RIGHT_ALT)
        W.keyboard[W_ALT] += W.dt;
    // Aumenta o contador de tempo:
    W.keyboard[key] += W.dt;
}
}

```

Por fim, preenchemos a posição `W.keyboard[W_ANY]` depois de tratarmos todos os eventos:

Seção: Código a executar todo loop (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_input_mutex);
#endif
W.keyboard[W_ANY] = (_pressed_keys[0] != 0); // Se há alguma tecla pressionada

```

Isso conclui o código que precisamos para o teclado no Xlib. Mas ainda não acabou. Precisamos de macros para representar as diferentes teclas de modo que um usuário possa consultar se uma tecla está pressionada sem saber o código da tecla no Xlib:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#if W_TARGET == W_ELF
#define W_UP          XK_Up
#define W_RIGHT       XK_Right
#define W_DOWN        XK_Down
#define W_LEFT        XK_Left
#define W_PLUS        XK_KP_Add
#define W_MINUS       XK_KP_Subtract
#define W_ESC         XK_Escape
#define W_A           XK_a
#define W_S           XK_s
#define W_D           XK_d
#define W_W           XK_w
#define W_ENTER       XK_Return
#define W_SPACEBAR    XK_space
#define W_LEFT_CTRL   XK_Control_L
#define W_RIGHT_CTRL  XK_Control_R
#define W_F1          XK_F1
#define W_F2          XK_F2
#define W_F3          XK_F3
#define W_F4          XK_F4
#define W_F5          XK_F5
#define W_F6          XK_F6
#define W_F7          XK_F7
#define W_F8          XK_F8
#define W_F9          XK_F9
#define W_F10         XK_F10
#define W_F11         XK_F11
#define W_F12         XK_F12
#define W_BACKSPACE   XK_BackSpace
#define W_TAB         XK_Tab
#define W_PAUSE       XK_Pause
#define W_DELETE      XK_Delete
#define W_SCROLL_LOCK XK_Scroll_Lock
#define W_HOME        XK_Home
#define W_PAGE_UP     XK_Page_Up
#define W_PAGE_DOWN   XK_Page_Down
#define W_END         XK_End
#define W_INSERT      XK_Insert
#define W_NUM_LOCK    XK_Num_Lock
#define W_0           XK_0
#define W_1           XK_1
#define W_2           XK_2
#define W_3           XK_3
#define W_4           XK_4
#define W_5           XK_5
#define W_6           XK_6
```



```

#define W_7          XK_7
#define W_8          XK_8
#define W_9          XK_9
#define W_LEFT_SHIFT XK_Shift_L
#define W_RIGHT_SHIFT XK_Shift_R
#define W_CAPS_LOCK  XK_Caps_Lock
#define W_LEFT_ALT   XK_Alt_L
#define W_RIGHT_ALT  XK_Alt_R
#define W_Q          XK_q
#define W_E          XK_e
#define W_R          XK_r
#define W_T          XK_t
#define W_Y          XK_y
#define W_U          XK_u
#define W_I          XK_i
#define W_O          XK_o
#define W_P          XK_p
#define W_F          XK_f
#define W_G          XK_g
#define W_H          XK_h
#define W_J          XK_j
#define W_K          XK_k
#define W_L          XK_l
#define W_Z          XK_z
#define W_X          XK_x
#define W_C          XK_c
#define W_V          XK_v
#define W_B          XK_b
#define W_N          XK_n
#define W_M          XK_m
#endif

```

A última coisa que resta para termos uma API funcional para lidar com teclados é uma função para limpar o vetor de teclados e a lista de teclas soltas e pressionadas. Desta forma, podemos nos livrar de teclas pendentes quando saímos de um loop principal para outro, além de termos uma forma de fazer com que o programa possa descartar teclas pressionadas em momentos dos quais não era interessante levá-las em conta.

Mas não vamos querer fazer isso só com o teclado, mas com todas as formas de entrada possíveis. Portanto, vamos deixar este trecho de código com uma marcação para inserirmos mais coisas depois:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _Wflush_input(void);
```

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

void _Wflush_input(void){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_input_mutex);
#endif
{
    // Limpa informação do teclado
    int i, key;

```

```

for(i = 0; i < 20; i++){
    key = _pressed_keys[i];
    _pressed_keys[i] = 0;
    W.keyboard[key] = 0;
    key = _released_keys[i];
    _released_keys[i] = 0;
    W.keyboard[key] = 0;
}
}

```

<Seção a ser Inserida: **Limpar Entrada**>

```

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif
}

```

E para usar esta função, a adicionamos à estrutura W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*flush_input)(void);
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.flush_input = &_Wflush_input;
```

E esta é uma função importante de ser chamada antes de cada loop principal:

Seção: Código Imediatamente antes de Loop Principal:

```
W.flush_input();
```

Quase tudo o que foi definido aqui aplica-se tanto para o Xlib rodando em um programa nativo para Linux como em um programa SDL compilado para a Web. A única exceção é o tratamento de eventos, que é feita usando funções diferentes nas duas bibliotecas.

Para um programa compilado para a Web, precisamos inserir o cabeçalho SDL:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
#include <SDL/SDL.h>
#endif

```

E tratamos o evento de uma tecla ser pressionada exatamente da mesma forma, mas respeitando as diferenças das bibliotecas em como acessar cada informação:

Seção: API Weaver: Trata Evento SDL:

```

if(event.type == SDL_KEYDOWN){
    unsigned int code = event.key.keysym.sym;
    int i;
    // Adiciona na lista de teclas pressionadas
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(_pressed_keys[i] == 0 || _pressed_keys[i] == code){
            _pressed_keys[i] = code;
            break;
        }
    }
    // Atualiza vetor de teclado se a tecla não estava sendo
    // pressionada. Algumas vezes este evento é gerado repetidas vezes
    // quando apertamos uma tecla por muito tempo. Então só devemos
    // atribuir 1 à posição do vetor se realmente a tecla não estava
    // sendo pressionada antes.

```

```

if(W.keyboard[code] == 0)
    W.keyboard[code] = 1;
else if(W.keyboard[code] < 0)
    W.keyboard[code] *= -1;
continue;
}

```

Por fim, o evento da tecla sendo solta:

Seção: API Weaver: Trata Evento SDL:

```

if(event.type == SDL_KEYUP){
    unsigned int code = event.key.keysym.sym;
    int i;
    // Remove da lista de teclas pressionadas
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(_pressed_keys[i] == code){
            _pressed_keys[i] = 0;
            break;
        }
    }
    for(; i < 19; i++){
        _pressed_keys[i] = _pressed_keys[i + 1];
    }
    _pressed_keys[19] = 0;
    // Adiciona na lista de teclas soltas:
    for(i = 0; i < 20; i++){
        if(_released_keys[i] == 0 || _released_keys[i] == code){
            _released_keys[i] = code;
            break;
        }
    }
}

// Atualiza vetor de teclado
W.keyboard[code] *= -1;
continue;
}

```

E por fim, a posição das teclas para quando usamos SDL no vetor de teclado será diferente e correspondente aos valores usados pelo SDL:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```

#if W_TARGET == W_WEB
#define W_UP          SDLK_UP
#define W_RIGHT       SDLK_RIGHT
#define W_DOWN        SDLK_DOWN
#define W_LEFT        SDLK_LEFT
#define W_PLUS        SDLK_PLUS
#define W_MINUS       SDLK_MINUS
#define W_ESC         SDLK_ESCAPE
#define W_A           SDLK_a
#define W_S           SDLK_s
#define W_D           SDLK_d
#define W_W           SDLK_w
#define W_ENTER       SDLK_RETURN

```

#define	W_SPACEBAR	SDLK_SPACE
#define	W_LEFT_CTRL	SDLK_LCTRL
#define	W_RIGHT_CTRL	SDLK_RCTRL
#define	W_F1	SDLK_F1
#define	W_F2	SDLK_F2
#define	W_F3	SDLK_F3
#define	W_F4	SDLK_F4
#define	W_F5	SDLK_F5
#define	W_F6	SDLK_F6
#define	W_F7	SDLK_F7
#define	W_F8	SDLK_F8
#define	W_F9	SDLK_F9
#define	W_F10	SDLK_F10
#define	W_F11	SDLK_F11
#define	W_F12	SDLK_F12
#define	W_BACKSPACE	SDLK_BACKSPACE
#define	W_TAB	SDLK_TAB
#define	W_PAUSE	SDLK_PAUSE
#define	W_DELETE	SDLK_DELETE
#define	W_SCROLL_LOCK	SDLK_SCROLLLOCK
#define	W_HOME	SDLK_HOME
#define	W_PAGE_UP	SDLK_PAGEUP
#define	W_PAGE_DOWN	SDLK_PAGEDOWN
#define	W_END	SDLK_END
#define	W_INSERT	SDLK_INSERT
#define	W_NUM_LOCK	SDLK_NUMLOCK
#define	W_0	SDLK_0
#define	W_1	SDLK_1
#define	W_2	SDLK_2
#define	W_3	SDLK_3
#define	W_4	SDLK_4
#define	W_5	SDLK_5
#define	W_6	SDLK_6
#define	W_7	SDLK_7
#define	W_8	SDLK_8
#define	W_9	SDLK_9
#define	W_LEFT_SHIFT	SDLK_LSHIFT
#define	W_RIGHT_SHIFT	SDLK_RSHIFT
#define	W_CAPS_LOCK	SDLK_CAPSLOCK
#define	W_LEFT_ALT	SDLK_LALT
#define	W_RIGHT_ALT	SDLK_RALT
#define	W_Q	SDLK_q
#define	W_E	SDLK_e
#define	W_R	SDLK_r
#define	W_T	SDLK_t
#define	W_Y	SDLK_y
#define	W_U	SDLK_u
#define	W_I	SDLK_i
#define	W_O	SDLK_o

```
#define W_P          SDLK_p
#define W_F          SDLK_f
#define W_G          SDLK_g
#define W_H          SDLK_h
#define W_J          SDLK_j
#define W_K          SDLK_k
#define W_L          SDLK_l
#define W_Z          SDLK_z
#define W_X          SDLK_x
#define W_C          SDLK_c
#define W_V          SDLK_v
#define W_B          SDLK_b
#define W_N          SDLK_n
#define W_M          SDLK_m
#endif
```

5.2 - Ajustando o Mutex de entrada

Durante o tratamento de eventos em cada loop principal estaremos consultando e modificando continuamente variáveis e estruturas relacionadas à entrada. O vetor de teclas pressionadas, por exemplo. Por causa disso, se necessário iremos bloquear um mutex durante todo o tratamento:

Seção: API Weaver: Imediatamente antes de tratar eventos (continuação):

```
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_input_mutex);
#endif
```

5.3 - O Mouse

Um mouse do nosso ponto de vista é como se fosse um teclado, mas com menos teclas. O Xlib reconhece que mouses podem ter até 5 botões (`Button1` , `Button2` , `Button3` , `Button4` e `Button5`). O SDL, tentando manter portabilidade, em sua versão 1.2 reconhece 3 botões (`SDL_BUTTON_LEFT` , `SDL_BUTTON_MIDDLE` , `SDL_BUTTON_RIGHT`). Convenientemente, ambas as bibliotecas numeram cada um dos botões sequencialmente à partir do número 1. Nós iremos suportar 5 botões, mas um jogo deve assumir que apenas dois botões são realmente garantidos: o botão direito e esquerdo.

Além dos botões, um mouse possui também uma posição (x, y) na janela em que o jogo está. Mas às vezes mais importante do que sabermos a posição é sabermos a sua velocidade ou mesmo a sua aceleração. A velocidade será representada nas variáveis (dx, dy). Elas são o componente horizontal e vertical do vetor velocidade do *mouse* medido em pixels por segundo. Da mesma forma, a aceleração será armazenada nos componentes (ddx, ddy).

Em suma, podemos representar o mouse como a seguinte estrutura:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
struct _mouse{
    /* Posições de 1 a 5 representarão cada um dos botões e o 6 *é
       reservado para qualquer tecla.*/
    long buttons[7];
    int x, y, dx, dy, ddx, ddy;
};
```

Seção: Variáveis Weaver:

```
// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
struct _mouse mouse;
```

E a tradução dos botões, dependendo do ambiente de execução será dada por:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#if W_TARGET == W_ELF
#define W_MOUSE_LEFT    Button1
#define W_MOUSE_MIDDLE  Button2
#define W_MOUSE_RIGHT   Button3
#define W_MOUSE_B1      Button4
#define W_MOUSE_B2      Button5
#endif

#if W_TARGET == W_WEB
#define W_MOUSE_LEFT    SDL_BUTTON_LEFT
#define W_MOUSE_MIDDLE  SDL_BUTTON_MIDDLE
#define W_MOUSE_RIGHT   SDL_BUTTON_RIGHT
#define W_MOUSE_B1      4
#define W_MOUSE_B2      5
#endif
```

Agora podemos inicializar os vetores de botões soltos e pressionados:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{ // Inicialização das estruturas do mouse
    int i;
    for(i = 0; i < 5; i ++){
        W.mouse.buttons[i] = 0;
    }
    for(i = 0; i < 5; i ++){
        _pressed_buttons[i] = 0;
        _released_buttons[i] = 0;
    }
}
```

Imediatamente antes de tratarmos eventos, precisamos percorrer a lista de botões pressionados para atualizar seus valores e a lista de botões recém-soltos para removê-los da lista. É essencialmente o mesmo trabalho que fazemos com o teclado.

Seção: API Weaver: Imediatamente antes de tratar eventos:

```
{
    int i, button;
    // Limpar o vetor de botões soltos e zerar seus valores no vetor de mouse:
    for(i = 0; i < 5; i ++){
        button = _released_buttons[i];
        while(W.mouse.buttons[button] > 0){
            int j;
            for(j = i; j < 4; j ++){
                _released_buttons[j] = _released_buttons[j+1];
            }
            _released_buttons[4] = 0;
            button = _released_buttons[i];
        }
        if(button == 0) break;
    }
    #if W_TARGET == W_ELF
        // Se recebemos um clique com o botão esquerdo, devemos garantir que
```

```

// a janela em que estamos recebe o foco
if(button == W_MOUSE_LEFT)
    XSetInputFocus(_dpy, _window, RevertToParent, CurrentTime);
#endif
W.mouse.buttons[button] = 0;
_released_buttons[i] = 0;
}
// Para botões pressionados, incrementar o tempo em que estão pressionados:
for(i = 0; i < 5; i++){
    button = _pressed_buttons[i];
    if(button == 0) break;
    W.mouse.buttons[button] += W.dt;
}
}

```

Tendo esta estrutura pronta, iremos então tratar a chegada de eventos de botões do mouse sendo pressionados caso estejamos em um ambiente de execução baseado em Xlib:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```

if(event.type == ButtonPress){
    unsigned int code = event.xbutton.button;
    int i;
    // Adiciona na lista de botões pressionados:
    for(i = 0; i < 5; i++){
        if(_pressed_buttons[i] == 0 || _pressed_buttons[i] == code){
            _pressed_buttons[i] = code;
            break;
        }
    }
    // Atualiza vetor de mouse se a tecla não estava sendo
    // pressionada. Ignoramos se o evento está sendo gerado mais de uma
    // vez sem que o botão seja solto ou caso o evento seja gerado
    // imediatamente depois de um evento de soltar o mesmo botão:
    if(W.mouse.buttons[code] == 0)
        W.mouse.buttons[code] = 1;
    else if(W.mouse.buttons[code] < 0)
        W.mouse.buttons[code] *= -1;
    continue;
}

```

E caso um botão seja solto, também tratamos tal evento:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```

if(event.type == ButtonRelease){
    unsigned int code = event.xbutton.button;
    int i;
    // Remove da lista de botões pressionados
    for(i = 0; i < 5; i++){
        if(_pressed_buttons[i] == code){
            _pressed_buttons[i] = 0;
            break;
        }
    }
}

```

```

for(; i < 4; i ++){
    _pressed_buttons[i] = _pressed_buttons[i + 1];
}
_pressed_buttons[4] = 0;
// Adiciona na lista de botões soltos:
for(i = 0; i < 5; i ++){
    if(_released_buttons[i] == 0 || _released_buttons[i] == code){
        _released_buttons[i] = code;
        break;
    }
}
// Atualiza vetor de mouse
W.mouse.buttons[code] *= -1;
continue;
}

```

No ambiente de execução com SDL também precisamos checar quando um botão é pressionado:

Seção: API Weaver: Trata Evento SDL:

```

if(event.type == SDL_MOUSEBUTTONDOWN){
    unsigned int code = event.button.button;
    int i;
    // Adiciona na lista de botões pressionados
    for(i = 0; i < 5; i ++){
        if(_pressed_buttons[i] == 0 || _pressed_buttons[i] == code){
            _pressed_buttons[i] = code;
            break;
        }
    }
}
// Atualiza vetor de mouse se o botão já não estava sendo pressionado
// antes.
if(W.mouse.buttons[code] == 0)
    W.mouse.buttons[code] = 1;
else if(W.mouse.buttons[code] < 0)
    W.mouse.buttons[code] *= -1;
continue;
}

```

E quando um botão é solto:

Seção: API Weaver: Trata Evento SDL:

```

if(event.type == SDL_MOUSEBUTTONUP){
    unsigned int code = event.button.button;
    int i;
    // Remove da lista de botões pressionados
    for(i = 0; i < 5; i ++){
        if(_pressed_buttons[i] == code){
            _pressed_buttons[i] = 0;
            break;
        }
    }
}
for(; i < 4; i ++){
    _pressed_buttons[i] = _pressed_buttons[i + 1];
}

```



```

}
_pressed_buttons[4] = 0;
// Adiciona na lista de botões soltos:
for(i = 0; i < 5; i++){
    if(_released_buttons[i] == 0 || _released_buttons[i] == code){
        _released_buttons[i] = code;
        break;
    }
}
}
// Atualiza vetor de teclado
W.mouse.buttons[code] *= -1;
continue;
}

```

E finalmente, o caso especial para verificar se qualquer botão foi pressionado:

Seção: Código a executar todo loop (continuação):

```

W.mouse.buttons[W_ANY] = (_pressed_buttons[0] != 0);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif

```

5.3.1- Obtendo o movimento

Agora iremos calcular o movimento do mouse. Primeiramente, no início do programa devemos zerar tais valores para evitarmos valores absurdos na primeira iteração. Os únicos valores que não são zerados é o da posição do cursor, que precisamos descobrir para não parecer no início do primeiro movimento do cursor que ele se teletransportou.

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    Window root_return, child_return;
    int root_x_return, root_y_return, win_x_return, win_y_return;
    unsigned mask_return;
    XQueryPointer(_dpy, _window, &root_return, &child_return, &root_x_return,
    &root_y_return, &win_x_return, &win_y_return, &mask_return);
    // A função acima falha apenas se o mouse estiver em outra
    // tela. Neste caso, não há o que fazer, mas adotar o padrão de
    // assumir que a posição é (0, W.height-1) é razoável. Então não
    // precisamos checar se a função falha.
    W.mouse.x = root_x_return;
    W.mouse.y = W.height - 1 - root_y_return;
}
#endif
#ifdef W_TARGET == W_WEB
SDL_GetMouseState(&(W.mouse.x), &(W.mouse.y));
W.mouse.y = W.height - 1 - W.mouse.y;
#endif
W.mouse.ddx = W.mouse.ddy = W.mouse.dx = W.mouse.dy = 0;

```

É importante que no início de cada iteração, antes de tratarmos os eventos, nós zeremos os valores (dx, dy) do mouse. Caso o mouse não receba nenhum evento de movimento, tais valores

já estarão corretos. Caso contrário, atualizaremos eles. Mas isso também significa que temos que guardar os valores antigos em variáveis para que possamos calcular a aceleração depois do tratamento de eventos:

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
static int old_dx, old_dy;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
old_dx = old_dy = 0;
```

Seção: API Weaver: Imediatamente antes de tratar eventos (continuação):

```
old_dx = W.mouse.dx;
old_dy = W.mouse.dy;
W.mouse.dx = W.mouse.dy = 0;
```

Seção: API Weaver: Imediatamente após tratar eventos:

```
// Cálculo de aceleração:
W.mouse.ddx = (int) ((float) (W.mouse.dx - old_dx) / W.dt) *
               1000000;
W.mouseddy = (int) ((float) (W.mouse.dy - old_dy) / W.dt) *
               1000000;
#ifdef W_MULTITHREAD
// Mutex bloqueado antes de tratar eventos:
pthread_mutex_unlock(&_input_mutex);
#endif
```

Notar que o código acima não é exclusivo do Xlib e funcionará da mesma forma ao usar Emscripten.

Em seguida, cuidamos do caso no qual temos um evento Xlib de movimento do mouse:

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib (continuação):

```
if(event.type == MotionNotify){
    int x, y, dx, dy;
    x = event.xmotion.x;
    y = W.height - 1 - event.xmotion.y;
    dx = x - W.mouse.x;
    dy = y - W.mouse.y;
    W.mouse.dx = ((float) dx / W.dt) * 1000000;
    W.mouse.dy = ((float) dy / W.dt) * 1000000;
    W.mouse.x = x;
    W.mouse.y = y;
    continue;
}
```

Agora é só usarmos a mesma lógica para tratarmos o evento SDL:

Seção: API Weaver: Trata Evento SDL (continuação):

```
if(event.type == SDL_MOUSEMOTION){
    int x, y, dx, dy;
    x = event.motion.x;
    y = W.height - 1 - event.motion.y;
    dx = x - W.mouse.x;
    dy = y - W.mouse.y;
    W.mouse.dx = ((float) dx / W.dt) * 1000000;
```

```

W.mouse.dy = ((float) dy / W.dt) * 1000000;
W.mouse.x = x;
W.mouse.y = y;
continue;
}

```

E a última coisa que precisamos fazer é zerar e limpar todos os vetores de botões e variáveis de movimento toda vez que for requisitado limpar todos os buffers de entrada. Como ocorre antes de entrarmos em um loop principal:

Seção: Limpar Entrada (continuação):

```

{
    int i;
    for(i = 0; i < 5; i++){
        _released_buttons[i] = 0;
        _pressed_buttons[i] = 0;
    }
    for(i = 0; i < 7; i++)
        W.mouse.buttons[i] = 0;
    W.mouse.dx = 0;
    W.mouse.dy = 0;
}

```

5.3.2- Ocultando o Cursor do Mouse

Nem sempre podemos querer manter o mesmo cursor na tela que o usado pelo gerenciador de janelas. Pode ser que queiramos um cursor diferente, com o formato de um alvo ou de uma mão. Ou então podemos não querer nenhum cursor na frente tampando a visão do jogo. Em qualquer um destes casos, começaremos ocultando o cursor. Em Xlib isso pode ser feito com o seguinte código:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```

bool _using_original_cursor;
void _Whide_cursor(void);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

_using_original_cursor = true;

```

Seção: API Weaver: Definições:

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _Whide_cursor(void){
    Colormap cmap;
    Cursor no_ptr;
    XColor black, dummy;
    static char bm_no_data[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
    Pixmap bm_no;
    cmap = DefaultColormap(_dpy, DefaultScreen(_dpy));
    XAllocNamedColor(_dpy, cmap, "black", &black, &dummy);
    bm_no = XCreateBitmapFromData(_dpy, _window, bm_no_data, 8, 8);
    no_ptr = XCreatePixmapCursor(_dpy, bm_no, bm_no, &black, &black, 0, 0);
    XDefineCursor(_dpy, _window, no_ptr);
    XFreeCursor(_dpy, no_ptr);
    if (bm_no != None)
        XFreePixmap(_dpy, bm_no);
}

```

```
XFreeColors(_dpy, cmap, &black.pixel, 1, 0);
_using_original_cursor = false;
}
#endif
```

O código Xlib é trabalhoso, pois diferentes dispositivos em que o X pode funcionar podem tratar cores de forma diferente. Aliás, pode até mesmo ser que existam somente duas cores diferentes, uma associada ao preto e outra associada ao branco. Então, na tentativa de obter a cor mais próxima da desejada precisamos pedir cada cor para o servidor. Na prática, hoje em dia é bastante seguro simplesmente assumir uma representação RGB, mas para escrever código realmente portátil, é necessário alocar cores com o `XAllocNamedColor` informando o nome da cor, o dispositivo onde colocá-la e o mapa de cores (que no caso escolhemos o padrão). A função guarda em `black` a cor mais próxima do preto possível e pedimos para guardar a representação exata do preto em RGB na variável `dummy` (não precisamos disso e jogamos fora). A cor é usada porque queremos gerar uma imagem preta colorindo um bitmap (no caso uma imagem 8×8 formada só por bits 1 e 0). Pintá-la de preto é só uma desculpa para gerarmos a imagem a partir do bitmap. O bitmap 8×8 só com bit 0 é usado tanto para definir os pixels pintados de preto (nenhum) como as regiões onde a imagem não é transparente (nenhuma). Fazendo isso e passando a imagem gerada para ser um cursor, o nosso ponteiro de mouse vira um quadrado 8×8 completamente transparente. E com este truque nós o escondemos.

Vamos agora contrastar a complexidade deste método com o modo de fazer isso do SDL para Emscripten:

Seção: API Weaver: Definições:

```
#if W_TARGET == W_WEB
void _Whide_cursor(void){
    SDL_ShowCursor(0);
    emscripten_hide_mouse();
    _using_original_cursor = false;
}
#endif
```

Independente da complexidade da função, ela irá para dentro da estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*hide_cursor)(void);
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.hide_cursor = &_Whide_cursor;
```

5.4 - Sumário das Variáveis e Funções do Teclado e Mouse

- As seguintes 2 novas variáveis foram definidas:

`long W.keyboard[0xffff]` : Um vetor que contém informações sobre cada tecla do teclado. Se ela foi recém-pressionada, a posição relacionada à tecla conterá o valor 1. Se ela está sendo pressionada, ela terá um valor positivo correspondente à quantos microssegundos ela vem sendo pressionada. Se ela foi recém-solta, ela terá um número negativo correspondente à quantos microssegundos ela ficou pressionada antes de ser solta. Se ela não está sendo pressionada e nem acabou de ser solta, ela terá o valor 0. Variável somente para leitura, não modifique os valores.

`struct W.mouse{ long buttons[7]; int x, y, dx, dy, ddx, ddy; }` : Contém todas as informações sobre o *mouse*. Em `buttons` pode-se encontrar informações sobre os botões usando a mesma lógica da apresentada acima para o teclado. Há a posição *x* e *y* do mouse, bem como as componentes de sua velocidade em pixels por segundo em `dx` e `dy`. As variáveis `ddx` e `ddy` contém os componentes de sua aceleração.

- Também definimos as 5 novas funções:

`int W.key_translate(unsigned old_code, unsigned new_code)` : Faz com que um determinado símbolo de teclado que podia não ser reconhecido antes passe a ser associado com um símbolo reconhecido. Pode ser necessário pesquisar o valor do código de cada símbolo na documentação do Xlib.

`void W.erase_key_translations(void)` : Remove todas as associações de um símbolo à outro feitas pela função acima.

`void W.hide_cursor(void)` : Esconde a exibição do cursor na janela.

`void W.flush_input(void)` : Limpa todos os dados de `W.keyboard` e `W.mouse`, incluindo quais teclas estão sendo pressionadas.

Capítulo 6: Plugins e Agendadores

Um projeto Weaver pode suportar *plugins*. Mas o que isso significa depende se o projeto está sendo compilado para ser um executável ELF ou uma página web. Por causa deles, iremos suportar também algumas funções que irão permitir agendar uma função para ser executada no futuro ou periodicamente. Faremos isso porque esta é a forma de suportarmos programação interativa: o usuário pode pedir para que um plugin seja recarregado sempre que ele sofrer alterações. E em seguida pode modificar o código do plugin e recompilá-lo, vendo as mudanças instantaneamente, sem precisar fechar o jogo e abri-lo novamente.

Do ponto de vista de um usuário, o que chamamos de *plugin* deve ser um único arquivo com código C (digamos que seja `myplugin.c`). Este arquivo pode ser copiado e colado para o diretório `plugins` de um Projeto Weaver e então subitamente podemos passar a ativá-lo e desativá-lo por meio das funções `W.enable_plugin(plugin_id)` e `W.disable_plugin(plugin_id)` sendo que o ID do *plugin* pode ser obtido com `plugin_id = W.get_plugin("my_plugin")`.

Quando um *plugin* está ativo, ele pode passar a executar alguma atividade durante todo *loop* principal e também pode executar atividades de inicialização no momento em que é ativado. No momento em que é desativado, ele executa suas atividades de finalização. Um plugin também pode se auto-ativar automaticamente durante a inicialização dependendo de sua natureza.

Uma atividade típica que pode ser implementadas via *plugin* é um esquema de tradução de teclas do teclado para que teclados com símbolos exóticos sejam suportados. Ele só precisaria definir o esquema de tradução na inicialização e nada precisaria ser feito em cada iteração do *loop* principal. Ou pode ser feito um *plugin* que não faça nada em sua inicialização, mas em todo *loop* principal mostre no canto da tela um indicador de quantos *frames* por segundo estão sendo executados.

Mas as possibilidades não param nisso. Uma pessoa pode projetar um jogo de modo que a maior parte das entidades que existam nele sejam na verdade *plugins*. Desta forma, um jogador poderia personalizar sua instalação do jogo removendo elementos não-desejados do jogo ou adicionando outros meramente copiando arquivos. Da mesma forma, ele poderia recompilar os *plugins* enquanto o jogo executa e as mudanças que ele faria poderiam ser refletidas imediatamente no jogo em execução, sem precisar fechá-lo. Essa técnica é chamada de **programação interativa**.

O segredo para isso é compilar *plugins* como bibliotecas compartilhadas e carregá-los dinamicamente se o nosso programa for compilado para um executável Linux.

Neste ponto, esbarramos em algumas limitações do ambiente Web. Programas compilados por meio de Emscripten só podem ter os tais “*plugins*” definidos durante a compilação. Para eles, o código do *plugin* deve ser injetado em seu próprio código durante a compilação. De fato, pode-se questionar se podemos realmente chamar tais coisas de *plugins*.

6.1 - Interface dos Plugins

Todo *plugin*, cujo nome é `MYPLUGIN` (o nome deve ser único para cada *plugin*), e cujo código está em `plugins/MYPLUGIN.c`, deve definir as seguintes funções:

- `void _init_plugin_MYPLUGIN(W_PLUGIN)` : Esta função será executada somente uma vez quando o seu jogo detectar a presença do *plugin*. Tipicamente isso será durante a inicialização do programa. Mas o *plugin* pode ser adicionado à algum diretório do jogo no momento em que ele está em execução. Neste caso, o jogo o detectará assim que entrar no próximo *loop* principal e executará a função neste momento.
- `void _fini_plugin_MYPLUGIN(W_PLUGIN)` : Esta função será executada apenas uma vez quando o jogo for finalizado.
- `void _run_plugin_MYPLUGIN(W_PLUGIN)` : Esta função será executada toda vez que um *plugin* estiver ativado e estivermos em uma iteração do *loop* principal.
- `void _enable_MYPLUGIN(W_PLUGIN)` : Esta função será executada toda vez que um plugin for ativado por meio de `W.enable_plugin(plugin_id)`.
- `void _disable_MYPLUGIN(W_PLUGIN)` : Esta função será executada toda vez que um plugin for desativado por meio de `W.disable_plugin(plugin_id)`.

Um *plugin* terá acesso à todas as funções e variáveis que são mencionadas no sumário de cada capítulo, com as notáveis exceções de `Winit`, `Wquit`, `Wloop`, `Wsubloop`, `Wexit` e `Wexit_loop`. Mesmo nos casos em que o plugin é uma biblioteca compartilhada invocada dinamicamente, isso é possível graças ao argumento `W_PLUGIN` recebido como argumento pelas funções. Ele na verdade é a estrutura `W`:

Seção: Declaração de Cabeçalhos Finais:

```
// Mágica para fazer plugins entenderem a estrutura W:
#define W_PLUGIN struct _weaver_struct *_W
#ifdef W_PLUGIN_CODE
#define W (*_W)
#endif
```

Com a ajuda da macro acima dentro dos *plugins* poderemos usar funções e variáveis na forma `W.flush_input()` e não na deselegante forma `W->flush_input()`. O nosso Makefile será responsável por definir `W_PLUGIN_CODE` para os *plugins*.

Para saber onde encontrar os *plugins* durante a execução, definimos em `conf/conf.h` as seguintes macros:

- `W_INSTALL_DATA` : O diretório em que os dados do jogo (texturas, sons, shaders) será instalado.
- `W_INSTALL_PROG` : O diretório em que o arquivo executável do jogo será instalado.
- `W_PLUGIN_PATH` : Uma string com lista de diretórios separadas por dois pontos (":"). Se for uma string vazia, isso significa que o suporte à *plugins* deve ser desativado.
- `W_MAX_SCHEDULING` : O número máximo de funções que podem ser agendadas para executar periodicamente ou apenas uma vez em algum momento do futuro.

Definiremos agora os valores padrão:

Arquivo: project/src/weaver/conf_end.h (continuação):

```
#ifndef W_INSTALL_DATA
#define W_INSTALL_DATA "/usr/share/games/"W_PROG
#endif
#ifndef W_INSTALL_PROG
#define W_INSTALL_PROG "/usr/games/"
#endif
#ifndef W_PLUGIN_PATH
#if W_DEBUG_LEVEL == 0
#define W_PLUGIN_PATH W_INSTALL_DATA"/plugins"
#else
#define W_PLUGIN_PATH "compiled_plugins"
#endif
#endif
#ifndef W_MAX_SCHEDULING
#define W_MAX_SCHEDULING 8
#endif
```

6.2 - Estruturas Básicas

Todas as informações sobre *plugins* serão armazenadas nos arquivos `plugins.c` e `plugins.h`:

Seção: Cabeçalhos Gerais Dependentes da Estrutura Global:

```
#include "plugins.h"
```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.h:

```
#ifndef _plugins_h_
#define _plugins_h_
```

```

#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
    #if W_TARGET == W_ELF
#include <dlfcn.h> // dlopen, dlsym, dlclose, dlerror
#include <sys/types.h> // stat
#include <sys/stat.h> // stat
#include <unistd.h> // stat
#include <pthread.h> // pthread_mutex_init, pthread_mutex_destroy
#include <string.h> // strncpy
#include <stdio.h> // perror
#include <libgen.h> // basename
#include <sys/types.h> // opendir, readdir
#include <dirent.h> // opendir, readdir
#include <errno.h>
    #endif
#include <stdbool.h>
    <Seção a ser Inserida: Declarações de Plugins>
#ifdef __cplusplus
}
#endif
#endif

```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c:

```

#include "plugins.h"
    #if W_TARGET == W_ELF
#include <error.h>
    #endif

```

Primeiro temos que definir que tipo de informação teremos que armazenar para cada plugin. A resposta é a estrutura:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```

struct _plugin_data{
    #if W_TARGET == W_ELF
        char library[256];
        void *handle;
        ino_t id;
    #ifdef W_PREVENT_SELF_ENABLING_PLUGINS
        bool finished_initialization;
    #endif
    #ifdef W_MULTITHREAD
        pthread_mutex_t mutex;
    #endif
    #endif

        char plugin_name[128];
        void (*_init_plugin)(struct _weaver_struct *);
        void (*_fini_plugin)(struct _weaver_struct *);
        void (*_run_plugin)(struct _weaver_struct *);

```



```

void (*_enable_plugin)(struct _weaver_struct *);
void (*_disable_plugin)(struct _weaver_struct *);
void *plugin_data;
bool enabled, defined;
};

```

As primeiras variáveis dentro dele são usadas somente se estivermos compilando um programa executável. Neste caso carregaremos os plugins dinamicamente por meio de funções como `dlopen`. A primeira delas é o nome do arquivo onde está o *plugin*, o qual é uma biblioteca compartilhada. O segundo será o seu *handle* retornado por `dlopen`. E o `id` na verdade será o INODE do arquivo. Um valor único para ele que mudará toda vez que o arquivo for modificado. Assim saberemos quando o nosso *plugin* sofreu alguma mudança durante sua execução, mesmo que o novo *plugin* tenha sido criado exatamente ao mesmo tempo que o antigo. O nosso comportamento esperado será então abandonar o *plugin* antigo e chamar o novo.

Se estamos executando mais de uma *thread*, é importante termos um mutex. Afinal, não queremos que alguém tente ativar ou desativar o mesmo *plugin* simultaneamente e nem que faça isso enquanto ele está sendo recarregado após ser modificado.

A variável `plugin_name` conterá o nome do plugin.

As próximas 5 variáveis são ponteiros para as funções que o *plugin* define conforme listado acima. E por último, há `plugin_data` e `defined`. Elas são inicializadas assim que o programa é executado como `NULL` e `0`. O `defined` armazena se este é realmente um *plugin* existente ou apenas um espaço alocado para futuramente armazenarmos um *plugin*. O `plugin_data` é um ponteiro que nunca mudaremos. O espaço é reservado para o próprio *plugin* modificar e atribuir como achar melhor. Desta forma, ele tem uma forma de se comunicar com o programa principal.

A próxima função interna será responsável por inicializar um *plugin* específico passando como argumento o seu caminho:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _initialize_plugin(struct _plugin_data *data, char *path);
#endif

```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _initialize_plugin(struct _plugin_data *data, char *path){
    struct stat attr;
    char *p, buffer[256];
    int i;
#ifdef W_PREVENT_SELF_ENABLING_PLUGINS
    data -> finished_initialization = false;
#endif
    if (W_DEBUG_LEVEL >= 1
        if(strlen(path) >= 128){
            fprintf(stderr, "ERROR: Plugin path bigger than 255 characters: %s\n",
                path);
            return;
        }
    )
    strncpy(data -> library, path, 255);
    // A biblioteca é carregada agora. Pode ser tentador tentar usar a
    // flag RTLD_NODELETE para que nossos plugins tornem-se capazes de
    // suportar variáveis globais estáticas, mas se fizermos isso,
    // perderemos a capacidade de modificá-los enquanto o programa está

```

```

// em execução.
data -> handle = dlopen(data -> library, RTLD_NOW);
if (!(data -> handle)){
    fprintf(stderr, "%s\n", dlerror());
    return;
}
dlerror(); // Limpa qualquer mensagem de erro existente
if(stat(data -> library, &attr) == -1){
    perror("_initialize_plugin:");
    return;
}
data -> id = attr.st_ino; // Obtém id do arquivo
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&(data -> mutex), NULL) != 0){
        perror("_initialize_plugin:");
        return;
    }
#endif
p = basename(data -> library);
for(i = 0; *p != '.'; i++){
    if(i > 127){
        fprintf(stderr, "ERROR: Plugin name bigger than 127 characters: %s\n",
            path);
        return;
    }
    data -> plugin_name[i] = *p;
    p++;
}
data -> plugin_name[i] = '\0'; // Armazenado nome do plugin
// Obtendo nome de _init_plugin_PLUGINNAME e a obtendo:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_init_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _init_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _init_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define %s.\n",
        data -> plugin_name, buffer);
// Obtendo _fini_plugin_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_fini_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _fini_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _fini_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define %s.\n",
        data -> plugin_name, buffer);
// Obtendo _run_plugin_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_run_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);

```

```

data -> _run_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _run_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define %s.\n",
            data -> plugin_name, buffer);
// Obtendo _enable_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_enable_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _enable_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _enable_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define %s.\n",
            data -> plugin_name, buffer);
// Obtendo _disable_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_disable_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _disable_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _disable_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define %s.\n",
            data -> plugin_name, buffer);
// As últimas variáveis. O 'defined' deve ser a última. Ela atesta
// que já temos um plugin com dados válidos. Executamos a função de
// inicialização do plugin só depois de o marcarmos como definido
// para que funções de inicialização de plugins possam obter e usar
// dados sobre o próprio plugin em que estão.
data -> plugin_data = NULL;
data -> enabled = false;
data -> defined = true;
if(data -> _init_plugin != NULL)
    data -> _init_plugin(&W);
#ifdef W_PREVENT_SELF_ENABLING_PLUGINS
    data -> finished_initialization = true;
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    fprintf(stderr, "WARNING (3): New plugin loaded: %s.\n", data -> plugin_name);
#endif
}
#endif

```

É uma função grande devido à quantidade de coisas que fazemos e à checagem de erro inerente à cada uma delas. A maior parte dos erros faz com que tenhamos que desistir de inicializar o *plugin* devido à ele não atender à requisitos. No caso dele não definir as funções que deveria, podemos continuar, mas é importante que sinalizemos o erro. A existência dele irá impedir que consigamos gerar uma versão funcional quando compilamos usando Emscripten. Mas não impede de continuarmos mantendo o *plugin* quando somos um executável C. Basta não usarmos a função não-definida. De qualquer forma, isso provavelmente indica um erro. A função pode ter sido definida com o nome errado.

O uso da macro `RTL_D_NODELETE` faz com que este código só funcione em versões do glibc maiores ou iguais à 2.2. Atualmente nenhuma das 10 maiores distribuições Linux suporta versões da biblioteca mais antigas que isso. E nem deveriam, pois existem vulnerabilidades críticas existentes em tais versões.

Assim como temos uma função auxiliar para inicializar um plugin, vamos ao código para finalizá-lo, o qual é executado na finalização do programa em todos os *plugins*:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
void _finalize_plugin(struct _plugin_data *data);
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
void _finalize_plugin(struct _plugin_data *data){
    // Tornamos inválido o plugin:
    data -> defined = false;
    // Começamos chamando a função de finalização:
    if(data -> _fini_plugin != NULL)
        data -> _fini_plugin(&W);
    // Destruímos o mutex:
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_destroy(&(data -> mutex)) != 0)
        error(0, 1, "Finalizing plugin %s", data -> plugin_name);
#endif
    // Nos desligando do plugin
    if(dlclose(data -> handle) != 0)
        fprintf(stderr, "Error unlinking plugin %s: %s\n", data -> plugin_name,
            dlerror());
    #if W_DEBUG_LEVEL >= 3
        fprintf(stderr, "WARNING (3): Plugin finalized: %s.\n", data -> plugin_name);
    #endif
}
#endif
```

A função de finalizar um *plugin* pode ser chamada na finalização do programa, caso queiramos recarregar um *plugin* ou se o *plugin* foi apagado durante a execução do programa.

Mas existe uma outra ação que podemos querer fazer: recarregar o *plugin*. Isso ocorreria caso nós detectássemos que o arquivo do *plugin* sofreu algum tipo de modificação. Neste caso, o que fazemos é semelhante a finalizá-lo e inicializá-lo novamente. A diferença é que o *plugin* continua válido durante todo o tempo, apenas tem o seu mutex bloqueado caso alguma *thread* queira usar ele neste exato momento:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```
bool _reload_plugin(int plugin_id);
```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
bool _reload_plugin(int plugin_id){
    char buffer[256];
    struct stat attr;
    struct _plugin_data *data = &(_plugins[plugin_id]);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(data -> mutex));
#endif
    // Primeiro vamos ver se realmente precisamos fazer algo. O plugin
    // pode não ter mudado, então nada precisaria ser feito com ele. Ele
```

```

// já está corretamente carregado:
if(stat(_plugins[plugin_id].library, &attr) == -1){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(amp;data -> mutex));
#endif
    return false; // Não conseguimos ler informação sobre o arquivo do plugin.
} // Vamos apenas torcer para que tudo acabe bem.
if(data -> id == attr.st_ino){
    // Plugin não-modificado. Ele já está certo!
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(amp;data -> mutex));
#endif
    return true;
}
// O plugin foi modificado!
data -> id = attr.st_ino;
// Removemos o plugin carregado
if(dlclose(data -> handle) != 0){
    fprintf(stderr, "Error unlinking plugin %s: %s\n", data -> plugin_name,
        dlerror());
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(amp;data -> mutex));
#endif
    return false;
}
// E o abrimos novamente
data -> handle = dlopen(data -> library, RTLD_NOW);
if (!(data -> handle)){
    fprintf(stderr, "%s\n", dlerror());
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(amp;data -> mutex));
#endif
    return false;
}
dlerror(); // Limpa qualquer mensagem de erro existente
// Agora temos que obter novos ponteiros para as funções do plugin
// Obtendo nome de _init_plugin_PLUGINNAME e a obtendo:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_init_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _init_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _init_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define _init_plugin_%s.\n",
        data -> plugin_name, data -> plugin_name);
// Obtendo _fini_plugin_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_fini_plugin_");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _fini_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);

```

```

if(data -> _fini_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define _fini_plugin%s.\n",
            data -> plugin_name, data -> plugin_name);
// Obtendo _run_plugin_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_run_plugin-");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _run_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _run_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define _run_plugin%s.\n",
            data -> plugin_name, data -> plugin_name);
// Obtendo _enable_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_enable_plugin-");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _enable_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _enable_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define _enable_plugin%s.\n",
            data -> plugin_name, data -> plugin_name);
// Obtendo _disable_PLUGINNAME:
buffer[0] = '\0';
strcat(buffer, "_disable_plugin-");
strcat(buffer, data -> plugin_name);
data -> _disable_plugin = dlsym(data -> handle, buffer);
if(data -> _disable_plugin == NULL)
    fprintf(stderr, "ERROR: Plugin %s doesn't define _disable_plugin%s.\n",
            data -> plugin_name, data -> plugin_name);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(amp;data -> mutex));
#endif
if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    fprintf(stderr, "WARNING (3): New plugin reloaded: %s.\n",
            data -> plugin_name);
#endif
return true;
}
#endif

```

A função de recarregar *plugins* é suficientemente útil para que desejemos exportá-la na estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*reload_plugin)(int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.reload_plugin = &_reload_plugin;
```

No caso de Emscripten, não temos como recarregar dinamicamente um plugin. Então esta função não fará nada, apenas retornará verdadeiro:

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```

if W_TARGET == W_WEB
bool _reload_plugin(int plugin_id){

```

```

    return (bool) (plugin_id + 1);
}
#endif

```

6.3 - Listas de Plugins

Não é apenas um *plugin* que precisamos suportar. É um número desconhecido deles. Para saber quantos, precisamos checar o número de arquivos não-ocultos presentes nos diretórios indicados por `W_PLUGIN_PATH`. Mas além deles, pode ser que novos *plugins* sejam jogados em tais diretórios durante a execução. Por isso, precisamos de um espaço adicional para comportar novos *plugins*. Não podemos deixar muito espaço ou vamos ter que percorrer uma lista muito grande de espaços vazios só para ver se há algum *plugin* ativo lá. Mas se deixarmos pouco ou nenhum, novos *plugins* não poderão ser adicionados durante a execução. Nosso gerenciador de memória deliberadamente não aceita realocações.

A solução será observar durante a inicialização do programa quantos *plugins* existem no momento. Em seguida, alocamos espaço para eles e mais 25. Se um número maior de *plugins* for instalado, imprimiremos uma mensagem na tela avisando que para poder ativar todos eles será necessário reiniciar o programa. Como ainda não temos casos de uso desta funcionalidade de *plugins*, isso parece ser o suficiente no momento.

O ponteiro para o vetor de *plugins* será declarado como:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```

struct _plugin_data *_plugins;
int _max_number_of_plugins;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_t _plugin_mutex;
#endif

```

E iremos inicializar a estrutura desta forma na inicialização. É importante que os *plugins* sejam a última coisa a ser inicializada no programa para que suas funções `_init_plugin` já sejam capazes de usar todas as funções existentes na API:

Seção: API Weaver: Últimas Inicializações (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    int i = 0;
    if(strcmp(W_PLUGIN_PATH, "")){ // Teste para saber se plugins são suportados
        char *begin = W_PLUGIN_PATH, *end = W_PLUGIN_PATH;
        char dir[256]; // Nome de diretório
        DIR *directory;
        struct dirent *dp;
        _max_number_of_plugins = 0;
        while(*end != '\0'){
            end ++;
            while(*end != ':' && *end != '\0') end ++;
            // begin e end agora marcam os limites do caminho de um diretório
            if(end - begin > 255){
                fprintf(stderr, "ERROR: Path too big in W_PLUGIN_PATH.\n");
                begin = end + 1;
                continue; // Erro: vamos para o próximo diretório
            }
            strncpy(dir, begin, (size_t) (end - begin));

```

```

        dir[(end - begin)] = '\0';
        // dir agora possui o nome do diretório que devemos checar
        directory = opendir(dir);
        if(directory == NULL){
# if W_DEBUG_LEVEL >= 2
            fprintf(stderr, "WARNING (2): Trying to access plugin directory %s: "
                           "%s\n", dir, strerror(errno));
# endif
            // Em caso de erro, desistimos deste diretório e tentamos ir
            // para o outro:
            begin = end + 1;
            continue;
        }
        // Se não houve erro, iteramos sobre os arquivos do diretório
        while ((dp = readdir(directory)) != NULL){
            if(dp -> d_name[0] != '.' && dp -> d_type == DT_REG)
                _max_number_of_plugins++; // Só levamos em conta arquivos
                                         // regulares não-ocultos
        }
        // E preparamos o próximo diretório para a próxima iteração:
        begin = end + 1;
    }
    // Fim do loop. Já sabemos quantos plugins são.
    <Seção a ser Inserida: Plugins: Inicialização>
}
# endif

```

Tudo isso foi só para sabermos o número de *plugins* durante a inicialização. Ainda não inicializamos nada. Isso só podemos enfim fazer de posse deste número, o qual está na variável `_max_number_of_plugins`:

Seção: Plugins: Inicialização:

```

{
    _max_number_of_plugins += 25;
# if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    printf("WARNING (3): Supporting maximum of %d plugins.\n",
           _max_number_of_plugins);
# endif
    _plugins = (struct _plugin_data *) _iWalloc(sizeof(struct _plugin_data) *
                                                (_max_number_of_plugins));
    if(_plugins == NULL){
        fprintf(stderr, "ERROR (0): Too many plugins. Not enough memory!\n");
        Wexit();
    }
    for(i = 0; i < _max_number_of_plugins; i++){
        _plugins[i].defined = false;
    }
# ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_plugin_mutex, NULL) != 0){
        perror("Initializing plugin mutex:");
    }

```



```

    Wexit();
}
#endif
}

```

Agora para inicializar os *plugins* precisamos mais uma vez percorrer a árvore de diretórios e procurar por cada um dos arquivos como fizemos na contagem:

Seção: Plugins: Inicialização (continuação):

```

{
    begin = end = W_PLUGIN_PATH;
    i = 0;
    while(*end != '\0'){
        end ++;
        while(*end != ':' && *end != '\0') end ++;
        // begin e end agora marcam os limites do caminho de um diretório
        if(end - begin > 255){
            // Ignoramos caminho grande demais, o aviso disso já foi dado
            // quando contamos o número de plugins
            begin = end + 1;
            continue;
        }
        strncpy(dir, begin, (size_t) (end - begin));
        dir[(end - begin)] = '\0';
        // dir agora possui o nome do diretório que devemos checar
        directory = opendir(dir);
        if(directory == NULL){
            // Em caso de erro, desistimos deste diretório e tentamos ir
            // para o outro. Não precisa imprimir mensagem de erro
            // independente do nível de depuração, pois já imprimimos quando
            // estávamos contando o número de plugins
            begin = end + 1;
            continue;
        }
        // Se não houve erro, iteramos sobre os arquivos do diretório
        while ((dp = readdir(directory)) != NULL){
            if(dp -> d_name[0] != '.' && dp -> d_type == DT_REG){
                if(strlen(dir) + 1 + strlen(dp -> d_name) > 255){
                    fprintf(stderr, "Ignoring plugin with too long path: %s/%s.\n",
                        dir, dp -> d_name);
                    continue;
                }
            }
            if(i >= _max_number_of_plugins){
                fprintf(stderr, "Ignoring plugin %s/%s, not prepared for so much "
                    "new plugins being added.\n", dir, dp -> d_name);
                continue;
            }
            strcat(dir, "/");
            strcat(dir, dp -> d_name);
            _initialize_plugin(&(_plugins[i]), dir);
            i ++;
        }
    }
}

```

```

    }
}
// E preparamos o próximo diretório para a próxima iteração:
begin = end + 1;
}
}

```

Da mesma forma que no começo do programa criamos e preenchemos esta estrutura, no seu encerramento iremos precisar finalizá-la fechando a ligação com o *plugin* e destruindo o que existe de mutex:

Seção: API Weaver: Encerramento:

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    int j;
    for(j = 0; j < _max_number_of_plugins; j++)
        if(_plugins[j].defined)
            _finalize_plugin(&(_plugins[j]));
}
#endif

```

Próximo passo: checar se um *plugin* existe ou não. Esta é a hora de definir a função `W.get_plugin` que retorna um número de identificação único para cada ID. Tal número nada mais será do que a posição que o *plugin* ocupa no vetor de *plugins*. E se o *plugin* pedido não existir, a função retornará -1:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```

int _Wget_plugin(char *plugin_name);

```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```

int _Wget_plugin(char *plugin_name){
    int i;
    for(i = 0; i < _max_number_of_plugins; i++)
        if(!strcmp(plugin_name, _plugins[i].plugin_name))
            return i;
    return -1; // Caso em que não foi encontrado
}

```

Agora adicionamos a função à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

int (*get_plugin)(char *);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
W.get_plugin = &_Wget_plugin;
#endif

```

Mas e para checar se algum *plugin* foi modificado ou se existe um novo *plugin* colocado em algum dos diretórios? Novamente teremos que usar o código de percorrer os diretórios procurando por arquivos. Iremos então colocar isso dentro de uma função que será executada imediatamente antes de toda *loop* principal:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```

void _reload_all_plugins(void);

```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _reload_all_plugins(void){
    if(strcmp(W_PLUGIN_PATH, "")){ // Teste para saber se plugins são suportados
#ifdef W_MULTITHREAD// Potencialmente modificamos a lista de plugins aqui
        pthread_mutex_lock(&(_plugin_mutex));
#endif
        char *begin = W_PLUGIN_PATH, *end = W_PLUGIN_PATH;
        char dir[256]; // Nome de diretório
        DIR *directory;
        struct dirent *dp;
        while(*end != '\0'){
            end ++;
            while(*end != ':' && *end != '\0') end ++;
            // begin e end agora marcam os limites do caminho de um diretório
            if(end - begin > 255){
                // Caminho gtrande demais, ignoramos
                begin = end + 1;
                continue; // Erro: vamos para o próximo diretório
            }
            strncpy(dir, begin, (size_t) (end - begin));
            dir[(end - begin)] = '\0';
            // dir agora possui o nome do diretório que devemos checar
            directory = opendir(dir);
            if(directory == NULL){
                // Em caso de erro, desistimos deste diretório e tentamos ir
                // para o outro sem aviso (possivelmente já devemos ter dado o
                // aviso do erro na inicialização e não vamos ficar repetindo):
                begin = end + 1;
                continue;
            }
            // Se não houve erro, iteramos sobre os arquivos do diretório
            while ((dp = readdir(directory)) != NULL){
                if(dp -> d_name[0] != '.' && dp -> d_type == DT_REG){
                    char buffer[128];
                    int id, i;
                    strncpy(buffer, dp -> d_name, 128);
                    buffer[127] = '\0';
                    for(i = 0; buffer[i] != '.' && buffer[i] != '\0'; i ++);
                    buffer[i] = '\0'; // Nome do plugin obtido
                    id = W.get_plugin(buffer);
                    if(id != -1){
                        if(!W.reload_plugin(id)){
                            _plugins[id].defined = false; // Falhamos em recarregá-lo, vamos
                                                                // desistir dele por hora
                        }
                    }
                }
                else{
                    // É um novo plugin que não existia antes!
                    if(strlen(dir) + 1 + strlen(dp -> d_name) > 255){

```

```

        fprintf(stderr, "Ignoring plugin with too long path: %s/%s.\n",
                    dir, dp -> d_name);
        continue;
    }
    strcat(dir, "/");
    strcat(dir, dp -> d_name);
    for(i = 0; i < _max_number_of_plugins; i++){
        if(_plugins[i].defined == false){
            _initialize_plugin(&(_plugins[i]), dir);
            break;
        }
    }
    if(i == _max_number_of_plugins){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Maximum number of plugins achieved."
                    " Couldn't load %s.\n", buffer);
    }
}
}
}
// E preparamos o próximo diretório para a próxima iteração:
begin = end + 1;
} // Fim do loop, passamos por todos os diretórios.
#endif W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(_plugin_mutex));
#endif
}
}
#endif

```

A função de recarregar todos os *plugins* é suficientemente importante para que um usuário possa querer usar por conta própria. Por exemplo, quando se está usando programação interativa é interessante ficar recarregando todos os *plugins* periodicamente para poder ver as mudanças feitas no código rapidamente. Por isso colocaremos a função dentro de `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*reload_all_plugins)(void);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
W.reload_all_plugins = &_reload_all_plugins;
#endif

```

E iremos também invocar esta função automaticamente antes de cada loop principal:

Seção: Código Imediatamente antes de Loop Principal:

```

#if W_TARGET == W_ELF
    W.reload_all_plugins();
#endif

```

Caso estejamos em Emscripten, a função de recarregar plugins meramente será ignorada:

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _reload_all_plugins(void){
    return;
}

```

```
}  
#endif
```

E finalmente, durante a execução do *loop* principal iremos executar a função de cada *plugin* associada à execução contínua:

Seção: Código a executar todo loop (continuação):

```
{  
    int i;  
    for(i = 0; i < _max_number_of_plugins; i ++)  
        if(_plugins[i].defined && _plugins[i].enabled)  
            _plugins[i]._run_plugin(&W);  
}
```

6.4 - Listas de Plugins em ambiente Emscripten

Caso estejamos compilando para Javascript, tudo muda. Não temos mais acesso à funções como `dlopen`. Não há como executar código em C dinamicamente. Só códigos Javascript, o que não iremos suportar. Mas como então fazer com que possamos tratar a lista de plugins de forma análoga?

Para começar, precisamos saber quantos plugins são. Mas não iremos checar os plugins compilados, mas sim o código deles que iremos injetar estaticamente. Sendo assim, o próprio Makefile do projeto pode nos informar facilmente o número por meio de uma macro `_W_NUMBER_OF_PLUGINS`. De posse deste número, podemos inicializar a lista de plugins com o número correto deles, que não irá aumentar e nem diminuir, pois não podemos adicioná-los ou removê-los dinamicamente.

De posse deste número, podemos começar alocando o número correto de plugins na nossa lista:

Seção: API Weaver: Últimas Inicializações (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB  
{  
    _max_number_of_plugins = _W_NUMBER_OF_PLUGINS;  
    _plugins = (struct _plugin_data *) Walloc(sizeof(struct _plugin_data) *  
        _max_number_of_plugins);  
    #include "../../.hidden_code/initialize_plugin.c"  
}  
#endif
```

A grande novidade que temos no código acima é o `#include`. Ele irá inserir o código de inicialização de cada plugin que será gerado pelo Makefile no momento da compilação.

Não nos esqueçamos de desalocar a memória locada para os plugins:

Seção: API Weaver: Encerramento (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB  
Wfree(_plugins);  
#endif
```

Além desta inclusão iremos inserir também o seguinte cabeçalho gerado pelo Makefile durante a compilação e que tem todas as funções definidas em cada plugin:

Seção: Cabeçalhos Gerais Dependentes da Estrutura Global (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB  
#include "../../.hidden_code/header.h"  
#endif
```

E da mesma forma que inicializarmos todos os plugins, teremos depois que encerrá-los na finalização. Isso será mais fácil que a finalização fora do Emscripten:

Seção: API Weaver: Encerramento (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
{
    int i;
    for(i = 0; i < _max_number_of_plugins; i++)
        _plugins[i]._fini_plugin(&W);
}
#endif
```

6.5 - Um Agendador de Funções

Mas e se estamos desenvolvendo o jogo e queremos invocar então `W.reload_all_plugins` uma vez a cada segundo para podermos usar programação interativa de uma forma mais automática e assim o nosso jogo em execução se atualize automaticamente à medida que recompilamos o código? Será interessante termos para isso uma função tal como `W.run_periodically(W.reload_all_plugins, 1.0)`, que faz com que a função passada como argumento seja executada uma vez a cada 1 segundo. Alternativamente também pode ser útil uma função `W.run_futurately(W.reload_all_plugins, 1.0)` que execute a função passada como argumento após 1 segundo, mas depois não a executa mais.

Cada subloop deve ter então uma lista de funções agendadas para serem executadas. E podemos estipular em `W_MAX_SCHEDULING` o número máximo delas. Então podemos usar uma estrutura como esta para armazenar funções agendadas e ela deve ter um mutex para que diferentes threads possam usar o agendador:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
#ifndef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_t _scheduler_mutex;
#endif
struct{
    bool periodic; // A função é periódica ou será executada só uma vez?
    unsigned long last_execution; // Quando foi executada pela última vez
    unsigned long period; // De quanto em quanto tempo tem que executar
    void (*f)(void); // A função em si a ser executada
} _scheduled_functions[W_MAX_SUBLOOP][W_MAX_SCHEDULING];
```

Isso precisa ser inicializado criando o mutex e preenchendo os valores de cada `f` com `NULL` para marcarmos cada posição como vazia:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_scheduler_mutex, NULL) != 0){ // Inicializa mutex
        perror(NULL);
        exit(1);
    }
#endif
    int i, j;
    for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i++)
        for(j = 0; j < W_MAX_SCHEDULING; j++) // Marca posição na agenda como vazia
            _scheduled_functions[i][j].f = NULL;
}
```

E no fim não esqueçamos de destruir o mutex:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
#ifndef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_destroy(&_scheduler_mutex);
#endif
```

E imediatamente antes de entrarmos em um novo loop, devemos limpar também todas as funções periódicas associadas ao loop em que estávamos. Mas não faremos isso no caso de um subloop, pois depois que o subloop termina, ainda podemos voltar ao loop atual e retomar a execução de suas funções periódicas:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop:

```
{
    int i;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i ++){
        _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
}
```

Além disso, quando encerramos um Subloop, também é necessário limparmos as suas funções periódicas para que elas acabem não sendo executadas novamente em outros subloops diferentes:

Seção: Código após sairmos de Subloop:

```
{
    int i;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i ++){
        _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
}
```

E toda iteração de loop principal temos que atualizar os valores de marcação de tempo de cada função e, se estiver na hora, devemos executá-las:

Seção: Código a executar todo loop (continuação):

```
{
    int i;
    void (*f)(void);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i ++){
        if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == NULL)
            break;
        if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].period <
            W.t - _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution){
            f = _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f;
```

```

        if(!_scheduled_functions[_number_of_loops][i].periodic){
            int j;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;
            for(j = i + 1; j < W_MAX_SCHEDULING; j++){
                _scheduled_functions[_number_of_loops][j - 1].periodic =
                    _scheduled_functions[_number_of_loops][j].periodic;
                _scheduled_functions[_number_of_loops][j - 1].last_execution =
                    _scheduled_functions[_number_of_loops][j].last_execution;
                _scheduled_functions[_number_of_loops][j - 1].period =
                    _scheduled_functions[_number_of_loops][j].period;
                _scheduled_functions[_number_of_loops][j - 1].f =
                    _scheduled_functions[_number_of_loops][j].f;
            }
            _scheduled_functions[_number_of_loops][W_MAX_SCHEDULING - 1].f = NULL;
            i--;
        }
        else
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution = W.t;
        f();
    }
}

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
}

```

E finalmente funções para interagir com código executado periodicamente:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

void _run_periodically(void (*f)(void), float t); // Torna uma função periódica
void _run_futurably(void (*f)(void), float t); // Executa ela 1x no futuro
float _cancel(void (*f)(void)); // Cancela uma função agendada
float _period(void (*f)(void)); // Obém o período de uma função agendada

```

Todas elas interagem sempre com as listas de funções agendadas do loop atual.

A função que adiciona uma nova função periódica segue abaixo. Ela tem que se preocupar também caso o espaço para se colocar uma nova função no agendador tenha se esgotado. Passar para ela uma função que já é periódica atualiza o seu período.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

void _run_periodically(void (*f)(void), float t){
    int i;
    unsigned long period = (unsigned long) (t * 1000000);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i++){
        if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == NULL ||
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == f){
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = f;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].period = period;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].periodic = true;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution = W.t;
        }
    }
}

```



```

        break;
    }
}
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
    if(i == W_MAX_SCHEDULING){
        fprintf(stderr, "ERROR (1): Can't schedule more functions.");
        fprintf(stderr, "Please, define W_MAX_SCHEDULING in conf/conf.h "
            "with a value bigger than the current %d.\n",
                W_MAX_SCHEDULING);
    }
}
}

```

Agora o código para fazer com que uma função seja executada pelo agendador somente uma vez. Ela é idêntica, apenas ajustando a variável `periodic` para um valor falso:

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

void _run_futurelly(void (*f)(void), float t){
    int i;
    unsigned long period = (unsigned long) (t * 1000000);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i++){
        if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == NULL ||
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == f){
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = f;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].period = period;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].periodic = false;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution = W.t;
            break;
        }
    }
}
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
    if(i == W_MAX_SCHEDULING){
        fprintf(stderr, "ERROR (1): Can't schedule more functions.");
        fprintf(stderr, "Please, define W_MAX_SCHEDULING in conf/conf.h "
            "with a value bigger than the current %d.\n",
                W_MAX_SCHEDULING);
    }
}
}

```

Para remover uma função do agendador, podemos usar a função abaixo. Ela retorna quanto tempo faltava para a próxima execução da função agendada se ela não tivesse sido cancelada. Chamá-la para uma função que não está agendada deve ser inócuo e deve retornar infinito.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

float _cancel(void (*f)(void)){
    int i;
    unsigned long period, last_execution;

```

```

float return_value = NAN;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i++){
    if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == f){
        period = _scheduled_functions[_number_of_loops][i].period;
        last_execution = _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution;
        return_value = ((float) (period - (W.t - last_execution))) / 1000000.0;
        for(; i < W_MAX_SCHEDULING - 1; i++){
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f =
                _scheduled_functions[_number_of_loops][i+1].f;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].period =
                _scheduled_functions[_number_of_loops][i+1].period;
            _scheduled_functions[_number_of_loops][i].last_execution =
                _scheduled_functions[_number_of_loops][i+1].last_execution;
        }
        _scheduled_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;
        break;
    }
}
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_unlock(&_scheduler_mutex);
#endif
return return_value;
}

```

Por fim, pode ser importante checar se uma função é periódica ou não e obter o seu período. A função abaixo retorna o período de uma função periódica. Vamos definir o período de uma função agendada para executar somente uma vez como sendo infinito. E o período de uma função que não está agendada como sendo NaN.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

float _period(void (*f)(void)){
    int i;
    float result = -1.0;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);
#endif
for(i = 0; i < W_MAX_SCHEDULING; i++){
    if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].f == f){
        if(_scheduled_functions[_number_of_loops][i].periodic == true)
            result = (float) (_scheduled_functions[_number_of_loops][i].period) /
                1000000.0;
        else
            result = INFINITY;
    }
}
if(result < 0.0)
    result = NAN;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_lock(&_scheduler_mutex);

```

```
#endif
```

```
    return result;
```

```
}
```

E finalmente colocamos tudo isso dentro da estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver:

```
// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
```

```
void (*run_periodically)(void (*f)(void), float);
```

```
void (*run_futurably)(void (*f)(void), float);
```

```
float (*cancel)(void (*f)(void));
```

```
float (*period)(void (*f)(void));
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.run_periodically = &_run_periodically;
```

```
W.run_futurably = &_run_futurably;
```

```
W.cancel = &_cancel;
```

```
W.period = &_period;
```

6.6 - Funções de Interação com Plugins

Já vimos que podemos obter um número de identificação do *plugin* com `W.get_plugin`. Vamos agora ver o que podemos fazer com tal número de identificação. Primeiro podemos ativar e desativar um *plugin*, bem como checar se ele está ativado ou desativado:

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```
bool _Wenable_plugin(int plugin_id);
```

```
bool _Wdisable_plugin(int plugin_id);
```

```
bool _Wis_enabled(int plugin_id);
```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```
bool _Wenable_plugin(int plugin_id){
```

```
#ifdef W_PREVENT_SELF_ENABLING_PLUGINS
```

```
    if(!_plugins[plugin_id].finished_initialization == false)
```

```
        return false;
```

```
#endif
```

```
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||
```

```
        !(_plugins[plugin_id].defined))
```

```
        return false;
```

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
    pthread_mutex_lock(&(_plugins[plugin_id].mutex));
```

```
#endif
```

```
    if(!_plugins[plugin_id].enabled){
```

```
        _plugins[plugin_id].enabled = true;
```

```
        if(_plugins[plugin_id]._enable_plugin != NULL)
```

```
            _plugins[plugin_id]._enable_plugin(&W);
```

```
#if W_DEBUG_LEVEL >=3
```

```
    fprintf(stderr, "WARNING (3): Plugin enabled: %s.\n",
```

```
        _plugins[plugin_id].plugin_name);
```

```
#endif
```

```
    }
```

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```

    pthread_mutex_unlock(&(_plugins[plugin_id].mutex));
#endif
    return true;
}

bool _Wdisable_plugin(int plugin_id){
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||
        !(_plugins[plugin_id].defined))
        return false;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(_plugins[plugin_id].mutex));
#endif
    if(_plugins[plugin_id].enabled){
        if(_plugins[plugin_id]._disable_plugin != NULL)
            _plugins[plugin_id]._disable_plugin(&W);
        _plugins[plugin_id].enabled = false;
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >=3
        fprintf(stderr, "WARNING (3): Plugin disabled: %s.\n",
            _plugins[plugin_id].plugin_name);
#endif
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(_plugins[plugin_id].mutex));
#endif
    return true;
}

bool _Wis_enabled(int plugin_id){
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||
        !(_plugins[plugin_id].defined))
        return false;
    return _plugins[plugin_id].enabled;
}

```

Ativar ou desativar um *plugin* é o que define se ele irá executar em um *loop* principal ou não. Tais funções serão colocadas na estrutura `W` :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

bool (*enable_plugin)(int);
bool (*disable_plugin)(int);
bool (*is_plugin_enabled)(int);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
W.enable_plugin = &_Wenable_plugin;
W.disable_plugin = &_Wdisable_plugin;
W.is_plugin_enabled = &_Wis_enabled;
#endif

```

E agora iremos definir funções para gravar um novo valor no `plugin_data` de um *plugin*. Qualquer tipo de estrutura de dados pode ser armazenada ali, pois ela é um ponteiro do tipo `void *`. Armazenar coisas ali é a única forma que um *plugin* tem para se comunicar com o programa principal e também é o modo do programa passar informações personalizadas para *plugins*. O tipo

de informação que será armazenada ali ficará à cargo de quem projetar cada *plugin*. Muitos *plugins* talvez optem por ignorá-lo por não terem necessidade de se comunicar com o programa principal.

Seção: Declarações de Plugins (continuação):

```
void *_Wget_plugin_data(int plugin_id);  
bool _Wset_plugin_data(int plugin_id, void *data);
```

Arquivo: project/src/weaver/plugins.c (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF  
void *_Wget_plugin_data(int plugin_id){  
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||  
       !(_plugins[plugin_id].defined))  
        return NULL;  
    return _plugins[plugin_id].plugin_data;  
}  
bool _Wset_plugin_data(int plugin_id, void *data){  
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||  
       !(_plugins[plugin_id].defined))  
        return false;  
    _plugins[plugin_id].plugin_data = data;  
    return true;  
}  
#endif
```

E como de praxe, armazenamos as novas funções em `W` :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void *(*get_plugin_data)(int);  
bool (*set_plugin_data)(int, void*);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF  
W.get_plugin_data = &_Wget_plugin_data;  
W.set_plugin_data = &_Wset_plugin_data;  
#endif
```

6.7 - Sumário das Variáveis e Funções referentes à Plugins

- As seguintes 12 novas funções foram definidas:

- `int W.get_plugin(char *)` : Obtém o número de identificação de um plugin dado o seu nome. Se o plugin não for encontrado, retorna -1.
- `bool W.reload_plugin(int plugin_id)` : Checa se o plugin indicado pelo seu número de identificação sofreu qualquer alteração enquanto o programa está em execução. Se for o caso, carregamos as novas alterações. Se tudo correr bem, retornamos verdadeiro e se algum erro ocorrer ao tentar recarregá-lo, retornamos falso.
- `void W.reload_all_plugins(void)` : Faz com que todos os plugins que carregamos sejam recarregados para refletir qualquer alteração que possam ter sofrido enquanto o programa está em execução.
- `bool enable_plugin(int id)` : Ativa um dado plugin dado o seu número de identificação. Um plugin ativado tem o seu código específico executado em cada iteração do loop principal. O ato de ativar um plugin também pode executar código relevante específico de cada plugin. Retorna se tudo correu bem na ativação do plugin.

`bool disable_plugin(int id)` : Desativa um plugin dado o seu número de identificação. Um plugin desativado deixa de ser executado todo turno e pode executar código específico dele durante a desativação.

`bool is_plugin_enabled(int id)` : Dado um plugin identificado pelo seu número de identificação, retorna se ele está ativado.

`void *get_plugin_data(int id)` : Dado um plugin identificado pelo seu número de identificação, retorna o dado arbitrário que ele pode estar armazenando e que é específico do plugin. Pode ser `NULL` se não houver dado nenhum armazenado.

`bool set_plugin_data(int id, void *dado)` : Dado um plugin caracterizado pelo seu número de identificação, armazena nela o dado arbitrário passado como segundo argumento.

`void W.periodic(void (*f)(void), float p)` : Faz com que no loop em que estamos, a função `f` seja executada periodicamente a cada `p` segundos. Se ela já foi passada antes para a mesma função, então apenas atualizamos o seu valor de `p`.

`void W.nonperiodic(void (*f)(void))` : Faz com que a função `f` deixe de ser executada periodicamente caso ela tenha sido passada previamente para `W.periodic`.

`float W.is_periodic(void (*f)(void))` : Retorna o período de uma função periódica e NaN se a função não for periódica. Como a ocorrência de um NaN (Not a Number) pode ser testada com a função `isnan`, então esta é a forma recomendada de descobrir se uma dada função é periódica ou não.

`float W.cancel(void (*f)(void))` : Cancela uma função agendada para executar no futuro, seja ela periódica ou não. Retorna o tempo que faltava para a função ser executada em segundos antes dela ser cancelada. Se a função não estava agendada, retorna NaN (Not a Number).

Capítulo 7: Shaders e Interface

Quase todo jogo ou aplicação gráfica possui uma interface visual. Esta interface são imagens que possuem um determinado tamanho e posição na tela. Elas podem reagir de forma diferente quando um usuário coloca ou remove o cursor do mouse sobre ela e quando é clicada com algum dos botões do mouse. E ela pode ser ou não animada. Apesar da aparente complexidade, é um dos elementos mais simples com os quais temos que lidar. Uma interface não interaja com o mundo de nosso jogo, portanto ignora a engine de física. O movimento da câmera não muda sua posição. E elas também não interagem diretamente entre si. Geralmente não precisamos verificar se uma interface colidiu com outra ou não.

Mas para que possamos mostrar interfaces visualmente precisaremos enfim preencher o código de nosso *shader*. Mas além disso seria interessante se os *shaders* pudessem ser modificados tais como *plugins*: tanto em tempo de execução como de compilação. E para isso precisaremos definir um formato no qual iremos permitir nossos *shaders*.

Além de *shaders* sob medida criado por usuários, iremos também, fornecer *shaders* padronizados para a renderização padrão dos objetos.

7.1 - Interfaces

Primeiro criaremos os arquivos básicos para lidarmos com interfaces:

Arquivo: project/src/weaver/interface.h:

```
#ifndef _interface_h_
#define _interface_h_
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
    <Seção a ser Inserida: Interface: Declarações>
#ifdef __cplusplus
}
#endif
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/interface.c:

```
#include "interface.h"
#include <stdarg.h> // Função com argumentos variáveis
#if W_TARGET == W_WEB
#include <sys/stat.h> // mkdir
#include <sys/types.h> // mkdir
#endif
    <Seção a ser Inserida: Interface: Cabeçalhos>
    <Seção a ser Inserida: Interface: Funções Estáticas>
    <Seção a ser Inserida: Interface: Definições>
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include "interface.h"
```

Cada interface deverá ter no mínimo uma posição e um tamanho. Para isso, vamos usar convenção semelhante à usada para o cursor do mouse. Seu tamanho e posição será dado por números em ponto flutuante que representam valores em pixels. A posição de uma interface é a

localização de seu centro (todas as interfaces são retangulares). O canto inferior esquerdo da tela é a posição (0,0).

Assim, nossa lista de interfaces é declarada da seguinte forma:

Seção: Interface: Declarações:

```
struct interface {
    int type; // Como renderizar
    int integer; // Um inteiro que pode ser definido pelo usuário e é
                // passado pro shader
    float x, y; // Posição em pixels
    float rotation; // Rotação
    float r, g, b, a; // Cor
    float height, width; // Tamanho em pixels
    bool visible; // A interface é visível?
    // Matriz de transformação OpenGL:
    GLfloat _transform_matrix[16];
    // O modo com o qual a interface é desenhada ao invocar glDrawArrays:
    GLenum _mode;
    <Seção a ser Inserida: Interface: Atributos Adicionais>
    /* Mutex: */
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_t _mutex;
#endif
} _interfaces[W_MAX_SUBLOOP][W_MAX_INTERFACES];
#ifdef W_MULTITHREAD
    // Para impedir duas threads de inserirem ou removerem interfaces
    // desta matriz:
    pthread_mutex_t _interface_mutex;
#endif
```

Notar que cada subloop do jogo tem as suas interfaces. E o número máximo para cada subloop deve ser dado por `W_MAX_INTERFACES`.

O atributo `type` conterà a regra de renderização sobre como o shader deve tratar o elemento. Por hora definiremos dois tipos:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
#define W_NONE 0
#define W_INTERFACE_SQUARE -1
#define W_INTERFACE_PERIMETER -2
```

O primeiro valor indica que a interface ainda não foi definida. O segundo deverá avisar o *shader* para desenhar a interface como um quadrado todo colorido com a cor indicada. O segundo é para desenhar apenas o perímetro da superfície, também com as cores indicadas. Caso uma interface não tenha sido definida, seu valor deverá ser meramente `W_NONE`.

Na inicialização do programa preenchemos a nossa matriz de interfaces:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    int i, j;
    for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i++)
        for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j++)
            _interfaces[i][j].type = W_NONE;
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_interface_mutex, NULL) != 0){
```



```

        perror("Initializing interface mutex:");
        exit(1);
    }
#endif
}

```

Durante a finalização, a única preocupação que realmente precisamos ter é destruir o mutex:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD
if(pthread_mutex_destroy(&_interface_mutex) != 0)
    perror("Finalizing interface mutex:");
#endif

```

Também precisamos limpar as interfaces de um loop caso estejamos descartando ele para começar um novo loop. Vamos definir como fazer isso em uma função auxiliar que invocaremos quando necessário:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```

void _flush_interfaces(void);

```

Seção: Interface: Definições:

```

void _flush_interfaces(void){
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i++){
        switch(_interfaces[_number_of_loops][i].type){
            // Dependendo do tipo da interface, podemos fazer desalocações
            // específicas aqui. Embora geralmente possamos simplesmente
            // confiar no coletor de lixo implementado
            // <Seção a ser Inserida: Desaloca Interfaces de Vários Tipos>
            default:
                _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_destroy(&(_interfaces[_number_of_loops][i]._mutex)) !=
        0)
        perror("Finalizing interface mutex:");
#endif
}

```

Ao usarmos `Wloop`, estamos descartando o loop principal atual e trocando por outro. Desta forma, queremos descartar também suas interfaces:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```

_flush_interfaces();

```

E também precisamos fazer a mesma limpeza no caso de estarmos saindo de um subloop:

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```

_flush_interfaces();

```

Desta forma garantimos que ao iniciar um novo loop principal, a lista de interfaces que temos estará vazia.

Agora vamos nos preocupar com os vértices das interfaces. Mas para podermos gerá-los e passá-los para a placa de vídeo, vamos executar o seguinte código para ativar todas as funções do OpenGL:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    GLenum dummy;
    glewExperimental = GL_TRUE;
    GLenum err = glewInit();
    if (err != GLEW_OK){
        fprintf(stderr, "ERROR: GLW not supported.\n");
        exit(1);
    }
    /*
        Dependendo da versão, glewInit gera um erro completamente inócuo
        acusando valor inválido passado para alguma função. A linha
        seguinte serve apenas para ignorarmos o erro, impedindo-o de se
        propagar.
    */
    dummy = glGetError();
    glewExperimental += dummy;
    glewExperimental -= dummy;
}
```

No caso de interfaces, como todas elas serão retangulares, todas elas podem ser representadas pelos mesmos 4 vértices abaixo, que serão modificados para ficar do tamanho e jeito certo pelos valores passados futuramente para o shader:

Seção: Interface: Declarações:

```
GLfloat _interface_vertices[12];
// Um VBO vai armazenar os vértices na placa de vídeo:
GLuint _interface_VBO;
// Um VAO armazena configurações de como interpretar os vértices de um VBO:
GLuint _interface_VAO;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    _interface_vertices[0] = -0.5;
    _interface_vertices[1] = -0.5;
    _interface_vertices[2] = 0.0;
    _interface_vertices[3] = 0.5;
    _interface_vertices[4] = -0.5;
    _interface_vertices[5] = 0.0;
    _interface_vertices[6] = 0.5;
    _interface_vertices[7] = 0.5;
    _interface_vertices[8] = 0.0;
    _interface_vertices[9] = -0.5;
    _interface_vertices[10] = 0.5;
    _interface_vertices[11] = 0.0;
    // Criando o VBO:
    glGenBuffers(1, &_interface_VBO);
    // Criando o VAO:
    glGenVertexArrays(1, &_interface_VAO);
    // Ativando o VAO:
    glBindVertexArray(_interface_VAO);
```

```

// Ativando o VBO:
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, _interface_vbo);
// Enviando os vértices para o VBO:
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(_interface_vertices),
             _interface_vertices, GL_STATIC_DRAW);
// Definindo uma forma padrão de tratar os atributos:
glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, (GLvoid*)0);
// Ativando o primeiro atributo:
glEnableVertexAttribArray(0);
// Pronto. Desativamos o VAO:
glBindVertexArray(0);
}

```

7.1.1- Criação e Destruição de Interfaces

Criar uma interface é só um processo mais complicado porque podem haver muitos tipos de interfaces. A verdadeira diferença é como elas são renderizadas. Algumas poderão ser imagens animadas, imagens estáticas, outras serão coisas completamente customizadas, com seus shaders criados pelo usuário e outras, as mais simples, poderão ser apenas quadrados preenchidos ou não. São estas últimas que definiremos mais explicitamente neste capítulo.

Para gerar uma nova interface, usaremos a função abaixo. O seu número de parâmetros será algo dependente do tipo da interface. Mas no mínimo precisaremos informar a posição e o tamanho dela. Um espaço vazio é então procurado na nossa matriz de interfaces e o processo particular de criação dela dependendo de seu tipo tem início:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```

struct interface *_new_interface(int type, int x, int y, int width,
                                int height, ...);

```

Seção: Interface: Definições:

```

struct interface *_new_interface(int type, int x, int y, int width,
                                int height, ...){
    int i;
    va_list valist;
    struct interface *new_interface = (struct interface *) 1;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_interface_mutex);
#endif
    // Vamos encontrar no pool de interfaces um espaço vazio:
    for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i ++){
        if(_interfaces[_number_of_loops][i].type == W_NONE)
            break;
        if(i == W_MAX_INTERFACES){
            if W_DEBUG_LEVEL > 0
                fprintf(stderr, "WARNING (1): Unable to create new interfaces. Please, "
                                "define W_MAX_INTERFACES as a value greater than %d at "
                                "conf/conf.h.\n", W_MAX_INTERFACES);
        }
        new_interface = NULL;
    }
    else{
        _interfaces[_number_of_loops][i].type = type;
    }
}

```

```

    _interfaces[_number_of_loops][i].visible = true;
    _interfaces[_number_of_loops][i].integer = 0;
    // Por padrão vamos deixar as interfaces brancas:
    _interfaces[_number_of_loops][i].r = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i].g = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i].b = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i].a = 0.0;
    // Posição:
    _interfaces[_number_of_loops][i].x = (float) x;
    _interfaces[_number_of_loops][i].y = (float) y;
    _interfaces[_number_of_loops][i].rotation = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i].width = (float) width;
    _interfaces[_number_of_loops][i].height = (float) height;
    // Modo padrão de desenho de interface:
    _interfaces[_number_of_loops][i]._mode = GL_TRIANGLE_FAN;
    <Seção a ser Inserida: Interface: Inicialização Adicional>
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&(_interfaces[_number_of_loops][i]._mutex),
        NULL) != 0){
        _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
        perror("Initializing interface mutex:");
        new_interface = NULL;
    }
#endif
    if(new_interface != NULL){
        switch(type){
            case W_INTERFACE_PERIMETER:
                _interfaces[_number_of_loops][i]._mode = GL_LINE_LOOP;
                // Realmente não precisa de um 'break' aqui.
            case W_INTERFACE_SQUARE: // Nestes dois casos só precisamos obter a cor
                va_start(valist, height);
                _interfaces[_number_of_loops][i].r = va_arg(valist, double);
                _interfaces[_number_of_loops][i].g = va_arg(valist, double);
                _interfaces[_number_of_loops][i].b = va_arg(valist, double);
                _interfaces[_number_of_loops][i].a = va_arg(valist, double);
                va_end(valist);
                break;
            <Seção a ser Inserida: Interface: Leitura de Argumentos e Inicialização>
            default:
                <Seção a ser Inserida: Interface: Lê Argumentos de Interfaces
Personalizadas>
                ;
        }
        <Seção a ser Inserida: Preenche Matriz de Transformação de Interface na
Inicialização>
        <Seção a ser Inserida: Código logo após criar nova interface>
        new_interface = &(_interfaces[_number_of_loops][i]);
    }
}
#ifdef W_MULTITHREAD

```

```

        pthread_mutex_unlock(&_interface_mutex);
#endif
        return new_interface;
}

```

Após a definirmos, atribuiremos esta função à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
struct interface *(*new_interface)(int, int, int, int, int, ...);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.new_interface = &_new_interface;
```

Uma vez que criamos a função que cria interface para nós, precisamos de uma que a remova. Todas as interfaces de qualquer forma são descartadas pelo coletor de lixo ao abandonarmos o loop em que elas são geradas, mas pode ser necessário descartá-las antes para liberar espaço. É quando usamos a seguinte função:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
bool _destroy_interface(struct interface *inter);
```

Seção: Interface: Definições:

```

bool _destroy_interface(struct interface *inter){
    int i;
    // Só iremos remover uma dada interface se ela pertence ao loop atual:
    for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i ++){
        if(&(_interfaces[_number_of_loops][i]) == inter && inter -> type != W_NONE)
            break;
    }
    if(i == W_MAX_INTERFACES)
        return false; // Não encontrada
        <Seção a ser Inserida: Código ao Remover Interface>
    switch(_interfaces[_number_of_loops][i].type){
        //      <Seção a ser Inserida: Desaloca Interfaces de Vários Tipos>
        case W_INTERFACE_SQUARE:
        case W_INTERFACE_PERIMETER:
        case W_NONE:
        default: // Nos casos mais simples é só remover o tipo
            _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_destroy(&(_interfaces[_number_of_loops][i]._mutex)) != 0){
        perror("Error destroying mutex from interface:");
        Wexit();
    }
#endif
    return true;
}

```

E adicionamos à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*destroy_interface)(struct interface *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.destroy_interface = &_destroy_interface;
```

Existe uma outra operação que pode também ser útil. Cada interface criada tipicamente é associada especificamente a somente um loop principal. Mas alguns subloops podem querer usar elementos da interface do loop que o chamou, mantendo as suas características de posição e tamanho.

Para isso seria importante definirmos um `W.copy_interface` que permitiria copiar uma interface de um loop principal para outro. Alternativamente, a mesma função pode ser usada para criar cópias de elementos da interface em um mesmo loop principal.

Tal função de copiar interfaces precisa receber como argumento uma interface e retornar outra, que será a sua cópia:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
struct interface *_copy_interface(struct interface *inter);
```

Seção: Interface: Definições:

```
struct interface *_copy_interface(struct interface *inter){
    int i;
    struct interface *new_interface = (struct interface *) 1;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_interface_mutex);
#endif
    // Vamos encontrar no pool de interfaces um espaço vazio:
    for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i ++){
        if(_interfaces[_number_of_loops][i].type == W_NONE)
            break;
        if(i == W_MAX_INTERFACES){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL > 0
            fprintf(stderr, "WARNING (1): Not enough space for interfaces. Please, "
                "increase the value of W_MAX_INTERFACES at conf/conf.h.\n");
#endif
            new_interface = NULL;
        }
        else{
            // Espaço vazio encontrado. Se estamos aqui, este espaço é a posição i
            new_interface = &(_interfaces[_number_of_loops][i]);
            memcpy(new_interface, inter, sizeof(struct interface));
            // Se existir um mutex, não podemos meramente copiar ele com o
            // memcpy:
#ifdef W_MULTITHREAD
            if(pthread_mutex_init(&(_interfaces[_number_of_loops][i]._mutex),
                NULL) != 0){
                _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
                perror("Initializing interface mutex:");
                new_interface = NULL;
            }
#endif
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_interface_mutex);
#endif
    return new_interface;
}
```

E agora adicionamos tal função à estrutura W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
struct interface *(*copy_interface)(struct interface *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.copy_interface = &_copy_interface;
```

7.1.2- Movendo, Redimensionando e Rotacionando Interfaces

Para mudarmos a cor de uma interface, nós podemos sempre mudar manualmente seus valores dentro da estrutura. Mas para mudar a posição, não basta meramente mudar os seus valores (x, y) , pois precisamos também modificar variáveis internas que serão usadas pelo OpenGL durante a renderização. Então teremos que fornecer funções específicas para podermos movê-las.

Para mudar a posição de uma interface usaremos a função:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _move_interface(struct interface *, float x, float y);
```

A questão de mover a interface é que precisamos passar para a placa de vídeo uma matriz que representa todas as transformações de posição, zoom e rotação que fizemos na nossa interface. Os shaders da placa de vídeo tratarão toda coordenada de vértice de uma interface como um vetor na forma $(x, y, 0, 1)$, pois para coisas bidimensionais o valor de z é nulo e todo vértice terá um valor de 1 na “quarta dimensão”, somente para que ele possa ser multiplicado por matrizes quadradas 4×4 , que são necessárias em algumas transformações.

Mover uma interface na posição (x_0, y_0) para a posição (x_1, y_1) é o mesmo que multiplicar a sua posição, na forma do vetor $(x, y, 0, 1)$ pela matriz:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1 \\ 0 & 1 & 0 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Afinal:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1 \\ 0 & 1 & 0 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + x_1 \\ y_0 + y_1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Mas no caso, a posição inicial (x_0, y_0) para toda interface é sempre a mesma $(-0,5, -0,5)$, pois toda interface tem a mesma lista de vértice que não muda. Então, em cada interface temos que manter uma matriz de translação que ao ser multiplicada por esta posição, fique com o valor adequado que corresponda à posição da interface na tela dada em pixels.

Seção: Interface: Definições:

```
void _move_interface(struct interface *inter, float x, float y){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(inter -> _mutex));
#endif
    inter -> x = x;
    inter -> y = y;
    <Seção a ser Inserida: Ajusta Matriz de Interface após Mover>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(inter -> _mutex));
#endif
}
```

E adicionamos isso à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*move_interface)(struct interface *, float, float);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.move_interface = &move_interface;
```

Outra transformação importante é a mudança de tamanho que podemos fazer em uma interface. Isso muda a altura e a largura de uma interface.

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _resize_interface(struct interface *inter, float size_x, float size_y);
```

Como os vértices de uma interface fazem com que todas elas sempre estejam centralizadas na origem (0,0,0) e o tamanho inicial de uma interface é sempre 1, então para tornarmos a largura igual a n_x e a altura igual a n_y devemos multiplicar cada vértice pela matriz:

$$\begin{bmatrix} n_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Afinal:

$$\begin{bmatrix} n_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 n_x \\ y_0 n_y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

A definição da função que muda o tamanho das interfaces é então:

Seção: Interface: Definições:

```
void _resize_interface(struct interface *inter, float size_x, float size_y){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(inter -> _mutex));
#endif
    inter -> height = size_y;
    inter -> width = size_x;
    <Seção a ser Inserida: Ajusta Matriz de Interface após Redimensionar ou Rotacionar>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(inter -> _mutex));
#endif
}
```

E por fim, adicionamos tudo isso à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*resize_interface)(struct interface *, float, float);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.resize_interface = &resize_interface;
```

Por fim, precisamos também rotacionar uma interface. Para isso, mudamos o seu atributo interno de rotação, mas também modificamos a sua matriz de rotação. A função que fará isso será:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _rotate_interface(struct interface *inter, float rotation);
```

Interfaces só podem ser rotacionadas em relação ao eixo z . E medimos a sua rotação em radianos, com o sentido positivo da rotação sendo o sentido anti-horário. Para obtermos a matriz

de rotação, basta lembrar que para rotacionar θ radianos uma interface centralizada na origem $(0, 0)$ basta multiplicar sua origem por:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Afinal:

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \cos \theta - y_0 \sin \theta \\ x_0 \sin \theta + y_0 \cos \theta \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

E isso corresponde precisamente à rotação no eixo z como descrevemos. A definição da função de rotação é dada então por:

Seção: Interface: Definições (continuação):

```
void _rotate_interface(struct interface *inter, float rotation){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(inter -> _mutex));
#endif
    inter -> rotation = rotation;
    <Seção a ser Inserida: Ajusta Matriz de Interface após Redimensionar ou Rotacionar>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(inter -> _mutex));
#endif
}
```

E adicionamos a função à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*rotate_interface)(struct interface *, float);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.rotate_interface = &_rotate_interface;
```

Podemos representar todas estas transformações juntas multiplicando as matrizes e depois multiplicando o resultado pela coordenada do vetor. É importante notar que a ordem na qual multiplicamos é importante, pois tanto a rotação como a mudança de tamanho assumem que a interface está centralizada na origem. Então, a translação deve ser a operação mais distante da coordenada na multiplicação:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1 \\ 0 & 1 & 0 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} n_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} n_x \cos \theta & -n_y \sin \theta & 0 & x_1 \\ n_x \sin \theta & n_y \cos \theta & 0 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x x_0 \cos \theta - n_y y_0 \sin \theta + x_1 \\ n_x x_0 \sin \theta + n_y y_0 \cos \theta + y_1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Isso significa que nós não precisamos manter matrizes intermediárias de rotação, de translação ou redimensionamento. Agora que sabemos qual o formato da matriz 4×4 final, obtida por meio da multiplicação de todas as outras transformações, podemos apenas manter a matriz final e editarmos as posições nela conforme for necessário.

Assim, na inicialização de uma nova interface, a matriz é preenchida:

Seção: Preenche Matriz de Transformação de Interface na Inicialização:

```
{
    float nx, ny, cosine, sine, x1, y1;
    nx = 2.0 * ((float) _interfaces[_number_of_loops][i].width);
    ny = 2.0 * ((float) _interfaces[_number_of_loops][i].height);
    cosine = cosf(_interfaces[_number_of_loops][i].rotation);
    sine = sinf(_interfaces[_number_of_loops][i].rotation);
    x1 = (2.0 * ((float) _interfaces[_number_of_loops][i].x /
                (float) W.width)) - 1.0;
    y1 = (2.0 * ((float) _interfaces[_number_of_loops][i].y /
                (float) W.height)) - 1.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[0] = nx * cosine /
                (float) W.width;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[4] = -(ny * sine) /
                (float) W.width;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[8] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[12] = x1;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[1] = nx * sine /
                (float) W.height;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[5] = ny * cosine /
                (float) W.height;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[9] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[13] = y1;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[2] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[3] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[10] = 1.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[14] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[6] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[7] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[11] = 0.0;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._transform_matrix[15] = 1.0;
}
```

Já após movermos uma interface para uma nova posição $(x1, y1)$ só temos que mudar duas posições da matriz na última coluna:

Seção: Ajusta Matriz de Interface após Mover:

```
{
    float x1, y1;
    x1 = (2.0 * ((float) inter -> x / (float) W.width)) - 1.0;
    y1 = (2.0 * ((float) inter -> y / (float) W.height)) - 1.0;
    inter -> _transform_matrix[12] = x1;
    inter -> _transform_matrix[13] = y1;
}
```

Já após redimensionarmos ou rotacionarmos interface, aí teremos 4 posições da matriz para mudarmos:

Seção: Ajusta Matriz de Interface após Redimensionar ou Rotacionar:

```
{
    float nx, ny, cosine, sine;
    nx = 2.0 * ((float) inter -> width);
    ny = 2.0 * ((float) inter -> height);
```

```

    cosine = cosf(inter -> rotation);
    sine = sinf(inter -> rotation);
    inter -> _transform_matrix[0] = (nx * cosine) / (float) W.width;
    inter -> _transform_matrix[4] = -(ny * sine) / (float) W.width;
    inter -> _transform_matrix[1] = (nx * sine) / (float) W.height;
    inter -> _transform_matrix[5] = (ny * cosine) / (float) W.height;
}

```

E um último caso em que precisamos realizar atualização da matriz para todas as interfaces: caso a janela seja redimensionada. Para tais casos, iremos usar a seguinte função:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _update_interface_screen_size(void);
```

Seção: Interface: Definições (continuação):

```

void _update_interface_screen_size(void){
    int i, j;
    float nx, ny, cosine, sine;
    for(i = 0; i < _number_of_loops; i ++){
        for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j ++){
            if(_interfaces[i][j].type == W_NONE) continue;
#ifdef W_MULTITHREAD
                pthread_mutex_lock(&_interfaces[i][j]._mutex);
#endif
                nx = 2.0 * _interfaces[i][j].width;
                ny = 2.0 * _interfaces[i][j].height;
                cosine = cosf(_interfaces[i][j].rotation);
                sine = sinf(_interfaces[i][j].rotation);
                _interfaces[i][j]._transform_matrix[0] = (nx * cosine) /
                    (float) W.width;
                _interfaces[i][j]._transform_matrix[4] = -(ny * sine) /
                    (float) W.width;
                _interfaces[i][j]._transform_matrix[1] = (nx * sine) /
                    (float) W.height;
                _interfaces[i][j]._transform_matrix[5] = (ny * cosine) /
                    (float) W.height;
#ifdef W_MULTITHREAD
                pthread_mutex_unlock(&_interfaces[i][j]._mutex);
#endif
            }
        }
    }
}

```

O primeiro local em que precisaremos da função é após redimensionarmos a janela:

Seção: Ações após Redimensionar Janela (continuação):

```
_update_interface_screen_size();
```

7.2 - Shaders

7.2.1- introdução

E agora temos que lidar com a questão de que não podemos renderizar nada usando a GPU e OpenGL sem recorrermos aos Shaders. Estes são programas de computador que são executados paralelamente dentro da placa de vídeo ao invés da CPU. Alguns são executados para cada vértice individual da imagem (shaders de vértice) e outros chegam a ser executados para cada pixel (shaders de fragmento).

Os programas de GPU, ou seja, os shaders são compilados durante a execução do nosso projeto Weaver. E pode ser modificado e recompilado durante a execução quantas vezes quisermos. É responsabilidade da implementação OpenGL de fornecer a função para compilar tais programas.

Tipicamente os Shaders são usados para, além de botar as coisas na tela, calcular efeitos de luz e sombra. Embora o nome “shader” possa indicar que o que ele faz tem relação com cores, na verdade eles também são capazes de provocar distorções e mudanças nos vértices das imagens. Em alguns casos, podem criar novos vértices, transformar a geometria e deixá-la mais detalhada.

Basicamente dois tipos de shaders (um de vértice e um de fragmento) podem se combinar e formar um programa de computador. Podem haver mais tipos, mas Weaver se limita à estes por serem os suportados por Emscripten. Programas gerados de shaders não são executado pela CPU, mas pela GPU. Cada código do shader de vértice é executado para cada vértice da imagem, podendo com isso modificar a posição do vértice na imagem ou então gerar valores passados para o shader de fragmento para cada vértice. E cada pixel da imagem antes de ser desenhado na tela é passado para um shader de fragmento, o qual pode mudar sua cor, adicionar texturas e outros efeitos. Os pixels que estão exatamente no vértice de uma imagem recebem valores diretamente do shader de vértice (que valores ele escolhe passar pode variar). Os demais recebem valores obtidos por meio de interpolação linear dos valores passados pelos três vértices ao redor (todos os polígonos desenhados devem ser triângulos).

Como isto tudo é uma tarefa relativamente complexa, vamos colocar o código para lidar com shaders todo na mesma unidade de compilação:

Arquivo: project/src/weaver/shaders.h:

```
#ifndef _shaders_h_
#define _shaders_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
        <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
        <Seção a ser Inserida: Shaders: Declarações>
#ifdef __cplusplus
    }
#endif
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/shaders.c:

```
#include <sys/types.h> // open
#include <sys/stat.h> // stat, open
#include <string.h> // strlen, strcpy
#include <dirent.h> // opendir
#include <ctype.h> // isdigit
#include <unistd.h> // access
#include <fcntl.h> // open
#include "shaders.h"
        <Seção a ser Inserida: Shaders: Definições>
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include <ctype.h> // isdigit
```

```
#include "shaders.h"
```

7.2.2- Shaders de interface padronizados

Vamos começar definindo shaders de vértice e fragmento extremamente simples capazes de renderizar as interfaces que definimos até agora: todas são retângulos cheios ou são perímetros de retângulos.

Um exemplo simples de shader de vértice:

Arquivo: project/src/weaver/vertex_interface.glsl:

```
// Usamos GLSLES 1.0 que é suportado por Emscripten
#version 100
// Declarando a precisão para ser compatível com GLSL 2.0 se possível
#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1
precision highp float;
precision highp int;
#else
precision mediump float;
precision mediump int;
#endif
precision lowp sampler2D;
precision lowp samplerCube;
// Todos os atributos individuais de cada vértice
<Seção a ser Inserida: Shader: Atributos>
// Atributos do objeto a ser renderizado (basicamente as coisas dentro
// do struct que representam o objeto)
<Seção a ser Inserida: Shader: Uniformes>
void main(){
    // Apenas passamos adiante a posição que recebemos
    gl_Position = model_view_matrix * vec4(vertex_position, 1.0);
}
```

E de shader de fragmento:

Arquivo: project/src/weaver/fragment_interface.glsl:

```
// Usamos GLSLES 1.0 que é suportado por Emscripten
#version 100
// Declarando a precisão para ser compatível com GLSL 2.0 se possível
#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1
precision highp float;
precision highp int;
#else
precision mediump float;
precision mediump int;
#endif
precision lowp sampler2D;
precision lowp samplerCube;
// Atributos do objeto a ser renderizado (basicamente as coisas dentro
// do struct que representam o objeto)
<Seção a ser Inserida: Shader: Uniformes>
void main(){
    gl_FragData[0] = object_color;
```

```
} // Fim do main
```

Dois atributos que eles terão (potencialmente únicos em cada execução do shader) são:

Seção: Shader: Atributos:

```
attribute vec3 vertex_position;
```

Já um uniforme que eles tem (potencialmente único para cada objeto a ser renderizado) são:

Seção: Shader: Uniformes:

```
uniform vec4 object_color; // A cor do objeto
uniform mat4 model_view_matrix; // Transformações de posição do objeto
uniform vec2 object_size; // Largura e altura do objeto
uniform float time; // Tempo de jogo em segundos
uniform sampler2D texture1; // Textura
uniform int integer; // Um inteiro para passar informações
```

Estes dois códigos fontes serão processados pelo Makefile de cada projeto antes da compilação e convertidos para um arquivo de texto em que cada caractere será apresentado em formato hexadecimal separado por vírgulas, usando o comando `xxd`. Assim, podemos inserir tal código estaticamente em tempo de compilação com:

Seção: Shaders: Declarações:

```
extern char _vertex_interface[];
extern char _fragment_interface[];
struct _shader _default_interface_shader;
```

Seção: Shaders: Definições:

```
char _vertex_interface[] = {
#include "vertex_interface.data"
    , 0x00};
char _fragment_interface[] = {
#include "fragment_interface.data"
    , 0x00};
```

Como compilar um shader de vértice e fragmento? Para isso usaremos a função auxiliar e macros auxiliares:

Seção: Shaders: Declarações (continuação):

```
GLuint _compile_shader(char *source, bool vertex);
#define _compile_vertex_shader(source) _compile_shader(source, true)
#define _compile_fragment_shader(source) _compile_shader(source, false)
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```
GLuint _compile_shader(char *source, bool vertex){
    GLuint shader;
    GLint success = 0, logSize = 0;
    // Criando shader de vértice
    if(vertex)
        shader = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);
    else
        shader = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);
    // Associando-o ao código-fonte do shader:
    glShaderSource(shader, 1, (const GLchar **) &source, NULL);
    // Compilando:
    glCompileShader(shader);
    // Checando por erros de compilação do shader de vértice:
    glGetShaderiv(shader, GL_COMPILE_STATUS, &success);
```

```

if(success == GL_FALSE){
    char *buffer;
    glGetShaderiv(shader, GL_INFO_LOG_LENGTH, &logSize);
    buffer = (char *) _iWalloc(logSize);
    if(buffer == NULL){
        fprintf(stderr, "ERROR (0): Shader failed to compile. "
            "It wasn't possible to discover why because there's no "
            "enough internal memory. Please, increase "
            "the value of W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h and try "
            "to run this program again.\n");
        exit(1);
    }
    glGetShaderInfoLog(shader, logSize, NULL, buffer);
    fprintf(stderr, "ERROR (0): Failed to compile shader: %s\n",
        buffer);
    Wfree(buffer);
    exit(1);
}
return shader;
}

```

E para ligar ambos os shaders usamos em seguida a seguinte função que gera um novo programa de shader e também encerra os shaders pré-compilação:

Seção: Shaders: Declarações (continuação):

```
GLuint _link_and_clean_shaders(GLuint vertex, GLuint fragment);
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```

GLuint _link_and_clean_shaders(GLuint vertex, GLuint fragment){
    GLuint program = glCreateProgram();
    glAttachShader(program, vertex);
    glAttachShader(program, fragment);
    glLinkProgram(program);
    // Ligar o shader pode falhar. Testando por erros:
    {
        int isLinked = 0;
        GLint logSize = 0;
        glGetProgramiv(program, GL_LINK_STATUS, &isLinked);
        if(isLinked == GL_FALSE){
            char *buffer;
            glGetShaderiv(program, GL_INFO_LOG_LENGTH, &logSize);
            buffer = (char *) _iWalloc(logSize);
            if(buffer == NULL){
                fprintf(stderr, "ERROR (0): Shaders failed to link. It wasn't "
                    "possible to discover why because there's no enough "
                    "internal memory. Please, increase "
                    "the value of W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h and try "
                    "to run this program again.\n");
                exit(1);
            }
        }
        glGetShaderInfoLog(program, logSize, NULL, buffer);
    }
}

```

```

        fprintf(stderr, "ERROR (0): Failed to link shader: %s\n", buffer);
        Wfree(buffer);
        exit(1);
    }
}

glDetachShader(program, vertex);
glDetachShader(program, fragment);
return program;
}

```

Ambas as funções devem ser usadas em conjunto sempre. No caso dos shaders padrão para interfaces, vamos usá-las para compilá-los:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

{
    GLuint vertex, fragment;
    vertex = _compile_vertex_shader(_vertex_interface);
    fragment = _compile_fragment_shader(_fragment_interface);
    // Além de compilar, para deixar o shader padrão completo, nós
    // preenchemos seus uniformes e atributos abaixo:
    _default_interface_shader.program_shader =
        _link_and_clean_shaders(vertex, fragment);
    _default_interface_shader._uniform_object_color =
        glGetUniformLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                               "object_color");
    _default_interface_shader._uniform_model_view =
        glGetUniformLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                               "model_view_matrix");
    _default_interface_shader._uniform_object_size =
        glGetUniformLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                               "object_size");
    _default_interface_shader._uniform_integer =
        glGetUniformLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                               "integer");
    _default_interface_shader._uniform_time =
        glGetUniformLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                               "time");
    _default_interface_shader._attribute_vertex_position =
        glGetAttribLocation(_default_interface_shader.program_shader,
                             "vertex_position");
}

```

E na finalização do programa precisamos desalocar o shader compilado:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```

glDeleteProgram(_default_interface_shader.program_shader);

```

7.2.3- Shaders personalizados

Vamos agora entender as complexidades de escrever um código para os shaders.

Os shaders são escritos em um código bastante similar ao C (só que com ainda mais armadilhas), o qual é chamado de GLSL. Tais códigos precisam estar no nosso programa na forma de

strings. Então eles podem ser codificados diretamente no programa ou podem ser lidos de um arquivo em tempo de execução. Isso é uma grande força e uma grande fraqueza.

Primeiro torna chato o desenvolvimento do código GLSL. Faz com que tais códigos sempre precisem ser compilados na execução do programa. Mas por outro lado, dá uma grande flexibilidade que temos que abraçar. Tal como no caso dos plugins, podemos modificar os shaders durante a execução para termos um desenvolvimento iterativo. Um programa pode até mesmo ser um ambiente de desenvolvimento de shaders capaz de mostrar praticamente em tempo real as modificações que são feitas no código.

Não é de se surpreender que escolhamos então tratar shaders de forma semelhante aos plugins. Seus códigos precisarão estar sempre dentro de diretórios específicos para isso e é lá que podemos verificar se eles foram modificados e se precisam ser recarregados.

Tal como no caso de plugins, é algo que no ambiente Emscripten, não suportaremos modificações de código em tempo de execução. Esta é uma restrição mais devido ao excesso de dificuldades que deido à impossibilidade como no caso dos plugins. E por causa disso, tal como para plugins, o código dos shaders será injetado dinamicamente no programa caso estejamos compilando para Emscripten.

Como iremos armazenar internamente os shaders? Recorreremos à seguinte estrutura:

Seção: Shaders: Declarações:

```
struct _shader{
    bool initialized;
    GLuint program_shader; // Referência ao programa compilado em si
    char name[128];        // Nome do shader
    // Os uniformes do shader:
    GLint _uniform_object_color, _uniform_model_view, _uniform_object_size;
    GLint _uniform_time, _uniform_texture1, _uniform_integer;
    // Os atributos do shader:
    GLint _attribute_vertex_position;
    char *vertex_source, *fragment_source; // Arquivo do código-fonte
#ifdef W_TARGET == W_ELF
    // Os inodes dos arquivos nos dizem se o código-fonte foi
    // modificado desde a última vez que o compilamos:
    ino_t vertex_inode, fragment_inode;
#endif
};

#ifdef W_TARGET == W_ELF
    // Se estamos compilando nativamente para Linux, iremos alocar
    // dinamicamente a nossa lista de shaders
    struct _shader *_shader_list;
#else
    // Se não, usaremos uma lista estaticamente declarada gerada pelo
    // Makefile
#include "../../.hidden_code/shader.h"
#endif
```

Comparados aos plugins, uma grande vantagem que temos é que ao executarmos o programa, podemos descobrir o número exato de shaders que temos. Basta checar o número de arquivos adequados dentro dos diretórios relevantes.

Mas antes temos mais uma decisão a ser tomada. Para um programa de shader, precisamos de pelo menos dois códigos-fonte: um de vértice e outro de fragmento. Faremos então com que ambos precisem estar em um mesmo diretório. A ideia é que no desenvolvimento de um projeto haja um diretório `shaders/`. Dentro dele haverá um diretório para cada shader personalizado que ocê está fazendo para ele. Além disso, cada diretório deve ter seu nome iniciado por um dígito diferente de

zero sucedido por um “-”. Tais dígitos devem representar números únicos e sequenciais para cada shader. Desta forma, podemos identificar os shaders pelos seus números sempre que precisarmos, o que é melhor que usarmos nomes.

Dentro do diretório de cada shader, pode ou não existir os arquivos `vertex.glsl` e `fragment.glsl`. Se eles existirem, eles irão conter o código-fonte do shader. Se não existirem, o programa assumirá que eles deverão usar um código padrão de shader.

Caso não sejamos um programa em desenvolvimento, mas um instalado, iremos procurar o diretório de shaders no mesmo diretório em que fomos instalados.

Isso nos diz que a primeira coisa que temos que fazer na inicialização, para podermos inicializar a nossa lista de shaders é verificar o al diretório que armazena shaders:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
{
    int number_of_shaders = 0;
    char shader_directory[256];
    DIR *d;
    shader_directory[0] = '\0';
    #if W_DEBUG_LEVEL == 0
        strcat(shader_directory, W_INSTALL_DATA);
        strcat(shader_directory, "/");
    #endif
    strcat(shader_directory, "shaders/");
    // Pra começar, abrimos o diretório e percorremos os arquivos para
    // contar quantos diretórios tem ali:
    d = opendir(shader_directory);
    if(d){
        struct dirent *dir;
        // Lendo o nome para checar se é um diretório não-oculto cujo
        // nome segue a convenção necessária:
        while((dir = readdir(d)) != NULL){
            if(dir->d_name[0] == '.') continue; // Ignore arquivos ocultos
            if(atoi(dir->d_name) == 0){
                fprintf(stderr, "WARNING (0): Shader being ignored. "
                    "%s%s should start with number different than zero.\n",
                    shader_directory, dir->d_name);
                continue;
            }
        }
    }
    #if (defined(__linux__) || defined(_BSD_SOURCE)) && defined(DT_DIR)
        if(dir->d_type != DT_DIR) continue; // Ignora não-diretórios
    #else
        { // Ignorando não-diretórios se não pudermos checar o
            // dirent por esta informação:
            struct stat s;
            int err;
            err = stat(file, &s);
            if(err == -1) continue;
            if(!S_ISDIR(s.st_mode)) continue;
        }
    #endif
    number_of_shaders++; // Contando shaders
}
```

```

    }
}
#endif
//} //Continua abaixo

```

Após sabermos quantos shaders nosso programa vai usar, é hora de alocarmos o espaço para eles na lista de shaders:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
//{ Continua do código acima
_shader_list = (struct _shader *) _iWalloc(sizeof(struct _shader) *
                                           number_of_shaders);

if(_shader_list == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR (0): Not enough memory to compile shaders. "
                  "Please, increase the value of W_INTERNAL_MEMORY "
                  "at conf/conf.h.");
    exit(1);
}
{
    int i; // Marcando os programas de shader como não-inicializados
    for(i = 0; i < number_of_shaders; i ++){
        _shader_list[i].initialized = false;
    }
}
//} E continua abaixo
#endif

```

E agora que alocamos, podemos começar a percorrer os shaders e checar se todos eles podem ficar em uma posição de acordo com seu número no vetor alocado, checar se dois deles não possuem o mesmo número (isso garante que todos eles possuem números seqüenciais) e também compilar o Shader.

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
//{ //Continua do código acima
if(d) closedir(d);
d = opendir(shader_directory);
if(d){
    struct dirent *dir;
    // Lendo o nome para checar se é um diretório não-oculto cujo
    // nome segue a convenção necessária:
    while((dir = readdir(d)) != NULL){
        if(dir -> d_name[0] == '.') continue; // Ignore arquivos ocultos
        if(!isdigit(dir -> d_name[0]) || dir -> d_name[0] == '0')
            continue;
    }
}
#if (defined(__linux__) || defined(_BSD_SOURCE)) && defined(DT_DIR)
    if(dir -> d_type != DT_DIR) continue; // Ignora não-diretórios
#else
    { // Ignorando não-diretórios se não pudermos checar o
      // dirent por esta informação:
        struct stat s;
        int err;
        err = stat(file, &s);
    }
}

```

```

        if(err == -1) continue;
        if(!S_ISDIR(s.st_mode)) continue;
    }
#endif

    // Código quase idêntico ao anterior. Mas ao invés de
    // contar os shaders, vamos percorrê-los e compilá-los.
    {
        int shader_number = atoi(dir -> d_name);
        if(shader_number > number_of_shaders){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
            fprintf(stderr, "WARNING (1): Non-sequential shader "
                "enumeration at %s.\n", shader_directory);
#endif
            continue;
        }
        if(_shader_list[shader_number - 1].initialized == true){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
            fprintf(stderr, "WARNING (1): Two shaders enumerated "
                "with number %d at %s.\n", shader_number,
                shader_directory);
#endif
            continue;
        }

        // Usando função auxiliar para o trabalho de compilar
        // e inicializar cada programa de shader. Ela ainda
        // precisa ser declarada e definida:
        {
            char path[256];
            strcpy(path, shader_directory);
            strcat(path, dir -> d_name);
            path[255] = '\0';
            _compile_and_insert_new_shader(path, shader_number - 1);
        }
    }
}
#endif

```

Só precisamos lidar com isso quando compilamos o programa para Linux,, caso em que a lista de shaders é preenchida dinamicamente de maneira mais elegante. Mas no caso de um programa Emscripten, apenas inserimos código gerado pelo Makefile:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_WEB
#include "../../.hidden_code/initialize_shader.c"
#endif

```

A função `_compile_and_insert_new_shader(nome, posicao)` usada acima ainda não foi definida. A função dela será abrir o diretório cujo nome é passado como primeiro argumento e preencher em `_shader_list[posicao]` as informações do shader. Isso envolve compilar e gerar

o shader, bem como adquirir outras informações referentes à ele e que fazem parte de um `struct shader`.

Declaremos e definamos a função:

Seção: Shaders: Declarações (continuação):

```
void _compile_and_insert_new_shader(char *dir, int position);
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```
void _compile_and_insert_new_shader(char *dir, int position){
    char *vertex_file = NULL, *fragment_file = NULL;
    char *vertex_source = NULL, *fragment_source = NULL;
    off_t vertex_size = 0, fragment_size = 0;
    GLuint vertex, fragment;
    size_t size_t_ret;
    bool read_error = false;
    char *p;
    int i;
    FILE *fp;
    // Marcamos o shader como inicializado:
    _shader_list[position].initialized = true;
    // Começamos obtendo o nome do shader, que é o nome do diretório
    // passado (mas sem o seu caminho completo)
    for(p = dir; *p != '\0'; p ++); // Vamos ao fim da string
    while(*(p - 1) == '/') p --; // Voltamos se ela termina em '/'
    while(*(p - 1) != '/' && p - 1 != dir) p --; // Vamos ao começo do nome
    for(i = 0; p[i] != '\0' && p[i] != '/' && i < 127; i ++){
        _shader_list[position].name[i] = p[i]; // Copiando
        _shader_list[position].name[i] = '\0'; // Encerrando
    }
    // Checando existência do código-fonte de shader de vértice:
    vertex_file = (char *) _iWalloc(strlen(dir) + strlen("/vertex.glsl") + 1);
    vertex_file[0] = '\0';
    strcat(vertex_file, dir);
    strcat(vertex_file, "/vertex.glsl");
    // Vendo se arquivo existe e pode ser lido:
    if((fp = fopen(vertex_file, "r"))){
        _shader_list[position].vertex_source = vertex_file;
        fclose(fp);
    }
    else{
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): Vertex shader source code not found. "
            "File %s was expected. Using a default shader instead.\n",
            vertex_file);
#endif
        _shader_list[position].vertex_source = NULL;
        Wfree(vertex_file);
        vertex_file = NULL;
    }
    // Checando existência do código-fonte de shader de fragmento:
    fragment_file = (char *) _iWalloc(strlen(dir) + strlen("/fragment.glsl") +
```

```

1);
fragment_file[0] = '\0';
strcat(fragment_file, dir);
strcat(fragment_file, "/fragment.glsl");
if((fp = fopen(fragment_file, "r"))){
    _shader_list[position].fragment_source = fragment_file;
    fclose(fp);
}
else{
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    fprintf(stderr, "WARNING (1): Fragment shader source code not found. "
        "File '%s' was expected. Using a default shader instead.\n",
        fragment_file);
#endif
    _shader_list[position].fragment_source = NULL;
    Wfree(fragment_file);
    fragment_file = NULL;
}
// Se o arquivo com código do shader de vértice existe, obter o
// seu inode e tamanho. O inode é ignorado no Emscripten
if(_shader_list[position].vertex_source != NULL){
    int fd;
    fd = open(_shader_list[position].vertex_source, O_RDONLY);
    if (fd < 0) {
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read vertex shader source"
            " code at %s. Using a default shader instead.\n",
            _shader_list[position].vertex_source);
        // Not freeing _shader_list[position].vertex_source. This
        // is an anomalous situation. In some cases we can't free
        // the memory at the correct order, so we will tolerate
        // this leak until the end of the program, when it finally
        // will be freed
        _shader_list[position].vertex_source = NULL;
    }
    else{
        int ret;
        struct stat attr;
        ret = fstat(fd, &attr);
        if(ret < 0){ // Can't get file stats
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source file"
                " stats: %s. Ignoring source code and using a default"
                " shader code.\n",
                _shader_list[position].vertex_source);
            _shader_list[position].vertex_source = NULL;
        }
        else{
#if W_TARGET == W_ELF
            _shader_list[position].vertex_inode = attr.st_ino;
#endif
        }
    }
}
#endif

```

```

        vertex_size = attr.st_size;
    }
    close(fd);
}
}

// Fazer o mesmo para o arquivo com código do shader de fragmento:
if(_shader_list[position].fragment_source != NULL){
    int fd;
    struct stat attr;
    fd = open(_shader_list[position].fragment_source, O_RDONLY);
    if (fd < 0) {
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read fragment shader source"
            " code at %s. Using a default shader instead.\n",
            _shader_list[position].fragment_source);
        _shader_list[position].fragment_source = NULL;
    }
    else{
        int ret;
        ret = fstat(fd, &attr);
        if(ret < 0){ // Can't get file stats
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source file"
                " stats: %s. Ignoring source code and using a default"
                " shader code.\n",
                _shader_list[position].fragment_source);
            _shader_list[position].fragment_source = NULL;
        }
        else{
#if W_TARGET == W_ELF
            _shader_list[position].fragment_inode = attr.st_ino;
#endif
            fragment_size = attr.st_size;
        }
        close(fd);
    }
}

// Alocando espaço para colocar na memória o código-fonte dos shaders:
if(_shader_list[position].vertex_source != NULL){
    vertex_source = (char *) _iWalloc(vertex_size);
    if(vertex_source == NULL){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source code at %s."
            " File too big.\n", vertex_file);
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): You should increase the value of "
            "W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h.\n");
#endif
        _shader_list[position].vertex_source = NULL;
    }
}

if(_shader_list[position].fragment_source != NULL){

```

```

        fragment_source = (char *) _iWalloc(fragment_size);
        if(fragment_source == NULL){
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source code at %s."
                " File too big.\n", fragment_file);
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
            fprintf(stderr, "WARNING (1): You should increase the value of "
                "W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h.\n");
#endif
            _shader_list[position].fragment_source = NULL;
        }
    }
    // Após alocar o espaço, lemos o conteúdo dos arquivos para a memória
    if(_shader_list[position].vertex_source != NULL) {
        FILE *fd = fopen(_shader_list[position].vertex_source, "r");
        if(fd == NULL){
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source code at"
                " %s.\n", vertex_file);
            perror(NULL);
            _shader_list[position].vertex_source = NULL;
        }
        else{
            size_t_ret = fread(vertex_source, sizeof(char), vertex_size, fd);
Ψ    if(size_t_ret != vertex_size * sizeof(char))
Ψ        read_error = true;
            vertex_source[vertex_size - 1] = '\0';
            fclose(fd);
        }
    }
    if(_shader_list[position].fragment_source != NULL) {
        FILE *fd = fopen(_shader_list[position].fragment_source, "r");
        if(fd == NULL){
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't read shader source code at"
                " %s.\n", fragment_file);
            perror(NULL);
            _shader_list[position].fragment_source = NULL;
        }
        else{
            size_t_ret = fread(fragment_source, sizeof(char), fragment_size, fd);
Ψ    if(size_t_ret != vertex_size * sizeof(char))
Ψ        read_error = true;
            fragment_source[fragment_size - 1] = '\0';
            fclose(fd);
        }
    }
    if(read_error){
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
        fprintf(stderr, "WARNING (3): Something failed while reading shader
file.\n");
#else
        read_error = false;

```



```

#endif
}
// Tendo feito isso, o que resta a fazer é enfim compilar e ligar
// o programa.
if(_shader_list[position].vertex_source != NULL)
    vertex = _compile_vertex_shader(vertex_source);
else
    vertex = _compile_vertex_shader(_vertex_interface);
if(_shader_list[position].fragment_source != NULL)
    fragment = _compile_fragment_shader(fragment_source);
else
    fragment = _compile_fragment_shader(_fragment_interface);
_shader_list[position].program_shader = _link_and_clean_shaders(vertex,
                                                                    fragment);

// Inicializando os uniformes:
_shader_list[position]._uniform_object_color =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "object_color");
_shader_list[position]._uniform_object_size =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "object_size");
_shader_list[position]._uniform_time =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "time");
_shader_list[position]._uniform_integer =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "integer");
_shader_list[position]._uniform_texture1 =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "texture1");
_shader_list[position]._uniform_model_view =
    glGetUniformLocation(_shader_list[position].program_shader,
                          "model_view_matrix");

// Inicializando os atributos:
_shader_list[position]._attribute_vertex_position =
    glGetAttribLocation(_shader_list[position].program_shader,
                        "vertex_position");

// Desalocando se ainda não foram desalocados:
if(fragment_source != NULL) Wfree(fragment_source);
if(vertex_source != NULL) Wfree(vertex_source);
}

```

7.3 - Renderizando

Interfaces que tem o mesmo shader devem ser renderizadas em sequência para evitarmos ao máximo a ação de termos que trocar de shaders. Por isso, é importante que mantenhamos uma lista de ponteiros para shaders e que seja ordenada de acordo com o seu shader. E cada loop também deve possuir a sua própria lista de interfaces.

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
struct interface *_interface_queue[W_MAX_SUBLOOP][W_MAX_INTERFACES];
```

A nossa lista de interfaces deve ser inicializada:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{  
    int i, j;  
    for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i ++)  
        for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j ++)  
            _interface_queue[i][j] = NULL;  
}
```

Temos agora que definir funções para inserir e remover elementos da lista. E uma terceira função para limpar todo o seu conteúdo. Ao manipular uma lista de ponteiros para interfaces, fazemos isso sempre na lista do loop atual, nunca interferindo nos demais loops.

Para inserir elementos, como eles estarão todos ordenados, podemos usar uma busca binária para achar a posição na qual inserir. Lembrando que o loop atual é armazenado em `_number_of_loops` conforme definido no Capítulo 2.

Assim, eis o nosso código de inserção:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _insert_interface_queue(struct interface *inter);
```

Seção: Interface: Definições (continuação):

```
void _insert_interface_queue(struct interface *inter){  
    int begin, end, middle, tmp;  
    int type = inter -> type;  
    if(_interface_queue[_number_of_loops][W_MAX_INTERFACES - 1] != NULL){  
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Couldn't create new interface. You "  
            "should increase the value of W_MAX_INTERFACES at cont/conf.h "  
            "or decrease the number of interfaces created.\n");  
        return;  
    }  
    begin = 0;  
    end = W_MAX_INTERFACES - 1;  
    middle = (begin + end) / 2;  
    while((_interface_queue[_number_of_loops][middle] == NULL ||  
        _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type != type) &&  
        begin != end){  
        if(_interface_queue[_number_of_loops][middle] == NULL ||  
            _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type > type){  
            tmp = (middle + end) / 2;  
            if(tmp == end) end --;  
            else end = tmp;  
            middle = (begin + end) / 2;  
        }  
        else{  
            tmp = (middle + begin) / 2;  
            if(tmp == begin) begin ++;  
            else begin = tmp;  
            middle = (begin + end) / 2;  
        }  
    }  
}
```

```

// Agora a posição 'middle' contém o local em que iremos inserir
// Vamos abrir espaço para ela
for(tmp = W_MAX_INTERFACES - 1; tmp >= middle; tmp --)
    _interface_queue[_number_of_loops][tmp] =
        _interface_queue[_number_of_loops][tmp - 1] ;
// E enfim inserimos:
_interface_queue[_number_of_loops][middle] = inter;
}

```

Remover o conteúdo da lista funciona de forma análoga, usando uma busca binária para achar o elemento buscado e, se for encontrado, deslocamos todas as próximas interfaces para tomar o seu lugar:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _remove_interface_queue(struct interface *inter);
```

Seção: Interface: Definições (continuação):

```

void _remove_interface_queue(struct interface *inter){
    int begin, end, middle, tmp;
    int type = inter -> type;
    begin = 0;
    end = W_MAX_INTERFACES - 1;
    middle = (begin + end) / 2;
    while((_interface_queue[_number_of_loops][middle] == NULL ||
        _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type != type)
        && begin != end){
        if(_interface_queue[_number_of_loops][middle] == NULL ||
            _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type > type){
            tmp = (middle + end) / 2;
            if(tmp == end) end --;
            else end = tmp;
            middle = (begin + end) / 2;
        }
        else{
            tmp = (middle + begin) / 2;
            if(tmp == begin) begin ++;
            else begin = tmp;
            middle = (begin + end) / 2;
        }
    }
    // Vamos ao primeiro elemento do tipo de interface na qual terminamos
    while(middle > 0 && _interface_queue[_number_of_loops][middle] != NULL &&
        _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type ==
        _interface_queue[_number_of_loops][middle - 1] -> type)
        middle --;
    if(_interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type != type){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr,
            "WARNING (1): Tried to erase a non-existent interface.\n");
#endif
    }
    return;
}

```

```

}
// Agora tentando achar o ponteiro exato, já que achamos o começo
// de seu tipo:
while(_interface_queue[_number_of_loops][middle] != NULL &&
      _interface_queue[_number_of_loops][middle] -> type == type &&
      _interface_queue[_number_of_loops][middle] != inter)
    middle ++;
// Se achamos, apagamos o elemento movendo os próximos da fila
// para a sua posição:
if(_interface_queue[_number_of_loops][middle] == inter){
    while(_interface_queue[_number_of_loops][middle] != NULL &&
          middle != W_MAX_INTERFACES - 1){
        _interface_queue[_number_of_loops][middle] =
            _interface_queue[_number_of_loops][middle + 1];
        middle ++;
    }
    _interface_queue[_number_of_loops][W_MAX_INTERFACES - 1] = NULL;
}
else{ // Se não achamos, avisamos com mensagem de erro:
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    fprintf(stderr,
            "WARNING (1): Tried to erase a non-existent interface.\n");
#endif
    return;
}
}

```

E por fim o código para remover todas as interfaces do loop atual:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _clean_interface_queue(void);
```

Seção: Interface: Definições (continuação):

```

void _clean_interface_queue(void){
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i ++){
        _interface_queue[_number_of_loops][i] = NULL;
    }
}

```

Devemos sempre limpar a fila de renderização de interfaces imediatamente antes de entrar em um loop (mas não subloop) e quando saímos de um subloop:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```
_clean_interface_queue();
```

E também precisamos fazer a mesma limpeza no caso de estarmos saindo de um subloop:

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```
_clean_interface_queue();
```

Devemos inserir uma nova interface na lista de renderização toda vez que uma nova interface for criada:

Seção: Código logo após criar nova interface:

```

// O 'i' é a posição em que está a nova interface criada:
_insert_interface_queue(&(_interfaces[_number_of_loops][i]));

```

E finalmente, quando removemos uma interface, nós também a removemos da fila de renderização:

Seção: Código ao Remover Interface:

```
// aqui 'i' também é o número da interface a ser removida
_remove_interface_queue(&(_interfaces[_number_of_loops][i]));
```

Agora que mantemos a fila de renderização coerente com a nossa lista de interfaces, podemos então escrever o código para efetivamente renderizarmos as interfaces. Isso deve ser feito todo loop, na etapa de renderização, separada da engine de física e controle do jogo.

Seção: Renderizar Interface:

```
{
// Ativamos os vértices das nossas interfaes
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, _interface_VBO);
// Lembrando que '_number_of_loops' contém em qual subloop nós
// estamos no momento.
int last_type;
int i;
bool first_element = true;
float time_float;
struct _shader *current_shader;
// Vamos passar para os shaders o tempo em segundos na forma de um
// float. Isso é para calcularmos com mais precisão minimizando
// underflows
i = W.t % 300000000;
time_float = (float) i / 1000000;
time_float += ((float) (i - 1000000 * time_float)) / 1000000.0;
// Limpamos o buffer de profundidade para desenhar interfaces
glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
// Ativamos os vértices das interfaces:
glBindVertexArray(_interface_VAO);
// Agora iteramos sobre as interfaes renderizando-as. Como elas
// estão ordenadas de acordo com seu programa de shader, trocamos
// de programa o mínimo possível.
for(i = 0; i < W_MAX_INTERFACES; i++){
// Se chegamos ao im da fila, podemos sair:
if(_interface_queue[_number_of_loops][i] == NULL) break;
if(!(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> visible)) continue;
if(first_element ||
_interface_queue[_number_of_loops][i] -> type != last_type){
last_type = _interface_queue[_number_of_loops][i] -> type;
if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> type > 0){
current_shader =
&(_shader_list[_interface_queue[_number_of_loops][i] ->
type - 1]);
} // Usar shaders alternativos aqui:
<Seção a ser Inserida: Interface: Renderizar com Shaders
```

Alternativos>

```
else{
current_shader = &_default_interface_shader;
}
glUseProgram(current_shader -> program_shader);
```

```

        first_element = false;
    }
    // Agora temos que passar os uniformes relevantes da
    // interface para o shader:
    glUniform4f(current_shader -> _uniform_object_color,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> r,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> g,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> b,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> a);
    glUniform2f(current_shader -> _uniform_object_size,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> width,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> height);
    glUniform1f(current_shader -> _uniform_time, time_float);
    glUniform1i(current_shader -> _uniform_integer,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> integer);
    glUniformMatrix4fv(current_shader -> _uniform_model_view, 1, false,
                _interface_queue[_number_of_loops][i] ->
                _transform_matrix);
<Seção a ser Inserida: Passando Uniformes Adicionais para Shader de
Interface>
    // Ajustando as configurações de como os vértices são armazenados:
    glEnableVertexAttribArray(current_shader -> _attribute_vertex_position);
    glVertexAttribPointer(current_shader -> _attribute_vertex_position,
                3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, (void*)0);
    glDrawArrays(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> _mode, 0, 4);
    glDisableVertexAttribArray(current_shader ->
                _attribute_vertex_position);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);
}
// Parando de usar o VAO com as configurações de renderização de
// interface:
glBindVertexArray(0);
glEnable(GL_DEPTH_TEST);
}

```

7.4 - Lidando com Redimensionamento da Janela

Toda vez que uma janela tem o seu tamanho modificado, precisamos mover todas as interfaces para atualizar a sua posição e assim manter a proporção da tela que fica acima, abaixo e em cada uma de suas laterais. Assim, se uma janela ocupa a metade de cima da tela e existe uma interface cuja posição é a parte de baixo da tela, após mudarmos para tela-cheia, a interface deve permanecer na parte de baixo da tela, e não no centro.

Além disso, uma interface deverá esticar ou encolher de acordo com a mudança de tamanho da janela.

Seção: Ações após Redimensionar Janela:

```

{
    // old_width, old_height: Tamanho antigo
    // width, height: Tamanho atual
    int i, j;
    //int change_x = width - old_width;
}

```

```

//int change_y = height - old_height;
float new_width, new_height;
for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i ++){
    for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j ++){
        if(_interfaces[i][j].type == W_NONE) continue;
        W.move_interface(&_interfaces[i][j],
                        _interfaces[i][j].x *
                        ((float) width) / ((float) old_width),
                        _interfaces[i][j].y *
                        ((float) height) / ((float) old_height));
        new_width = _interfaces[i][j].width *
                    ((float) width / (float) old_width);
        new_height = _interfaces[i][j].height *
                    ((float) height / (float) old_height);
        W.resize_interface(&_interfaces[i][j], new_width, new_height);
    }
}

```

7.5 - Sumário das Variáveis e Funções de Shaders e Interfaces

- A seguinte nova estrutura foi definida:

```

struct interface {
    int type;
    float x, y, height, width, rotation, r, g, b, a;
    bool visible;
}

```

type : representa o seu tipo, que pode ser `W_INTERFACE_SQUARE`, `W_INTERFACE_PERIMETER` ou algum valor inteiro positivo que representa um shader personalizado definido pelo usuário. Outros tipos ainda serão definidos nos próximos capítulos. Valor para somente leitura, não o modifique.

float x, y : representa a coordenada em que está a interface. Ela é definida pela posição do seu centro dada em pixels. Valor para somente leitura, não o modifique.

float height, width : representa a altura e largura da interface, em pixels. Valor para somente leitura, não o modifique.

float rotation : representa a rotação da interface medida em radianos, com a rotação no sentido anti-horário sendo considerada positiva. Valor para somente leitura, não o modifique.

float r, g, b, a : A cor representada pelos canais vermelho, verde, azul e o canal alfa para medir a transparência. Pode ser modificado.

bool visible : Se a interface deve ser renderizada na tela ou não.

bool stretch_x, stretch_y : Se a interface deve ser esticada ou encolhida quando a janela em que está muda de tamanho.

- As seguintes 6 novas funções foram definidas:

struct interface *W.new_interface(int type, int x, int y, ...) : Cria uma nova interface. O número e detalhes dos argumentos depende do tipo. Para todos os tipos vistos neste capítulo e para tipos de shaders sob medida, após as coordenadas *x,y* da interface vem a sua largura e altura. Embora sejam passados como inteiros, tanto a posição como a altura e largura são depois convertidos para `float`. No caso de interfaces que são meros quadrados ou perímetros, os próximos 4 argumentos são a cor. A nova interface gerada é retornada.

```
struct interface *W.copy_interface(struct interface *i) : Copia uma interface já
    existente, fazendo com que ela seja considerada pertencente ao loop principal atual.
void W.destroy_interface(struct interface *i) : Destrói uma interface, liberando seu
    espaço para ser usada por outra.
void W.move_interface(struct interface *i, float x, float y) : Move uma inter-
    face para uma nova posição  $(x, y)$ 
void W.resize_interface(struct interface *i, float width, float height) : Mu-
    da a largura e altura de uma interface.
void W.rotate_interface(struct interface *i, float rotation) : Muda a rotação
    de uma interface.
```


Capítulo 8: Renderização em Duas Etapas

Toda vez que renderizamos algo, renderizamos para um framebuffer.

Todo framebuffer é composto por um ou mais buffers. Pode haver um para representar a cor de cada pixel (buffer de cor), outro para armazenar a profundidade do que foi desenhado para impedir que objetos mais distantes apareçam na frente de objetos mais próximos (buffer de profundidade), um buffer que serve com uma máscara para delimitar onde iremos ou não iremos de fato desenhar (buffer de stencil).

Até agora nós estivemos desenhando apenas no framebuffer padrão, o qual é habilitado quando criamos o contexto OpenGL na inicialização. Tal framebuffer simplesmente representa a janela de nosso programa. Mas podemos renderizar as coisas também em outros framebuffers. A ideia é que assim podemos renderizar texturas ou aplicar efeitos especiais na imagem antes de passá-la para a tela. Um dos tais efeitos especiais seria fazer com que o jogo tenha uma resolução menor que a tela. Assim podemos reduzir a resolução caso ele seja muito pesado, tentando assim economizar o desempenho gasto para desenhar cada pixel na tela por meio do shader de fragmento. Em muitos monitores com resolução muito alta, é bastante necessário que os jogos forneçam a opção de escolha de resolução.

A primeira coisa que precisamos é de um novo framebuffer não-padrão, o qual iremos declarar e gerar na inicialização. Além disso, precisamos armazenar para cada loop que estivermos, se estamos usando um shader fora do padrão para renderizar ou não. Se nós não mudamos a resolução, iremos representar o shader final como `W_NONE`, o que significa que não usaremos esse framebuffer alternativo e tudo que formos renderizar vai direto para a tela. Se nós apenas mudamos a resolução, então vamos representar essa opção pelo número -1, ou pelo seu equivalente que estamos definindo, o `W_DEFAULT_SHADER`:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#define W_NONE          0
#define W_DEFAULT_SHADER -1
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
// Informa qual o shader final que deve ser usado em cada loop. Ou
// seja, qual shader deverá ser usado para renderizar a imagem final
// da tela depois de termos renderizado ela para uma imagem. O W_NONE
// indica que não usamos a renderização em dois passos, e sim
// renderizaremos direto para a tela. O W_DEFAULT_SHADER indica que
// nós mudamos a resolução, mas não pretendemos fazer qualquer mudança
// adicional na nossa imagem final além de restringir a resolução. Um
// inteiro positivo representa qual shader será usado para renderizar
// a imagem final.
int _final_shader[W_MAX_SUBLOOP];
// Apenas armazena se nós mudamos a resolução para fins de consulta
// interna:
bool _changed_resolution;
// E este é o framebuffer de renderização não-padrão que será usado em
// todos os casos, exceto quando nosso shader final for W_NONE:
GLuint _framebuffer;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    _changed_resolution = false;
    // Por padrão nós começamos não mudando a resolução e nem usando
    // qualquer shader adicional:
    int i;
```

```

for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i ++)
    _final_shader[i] = W_NONE;
// Na inicialização geramos o nosso framebuffer de renderização
// não-padrão:
glGenFramebuffers(1, &_framebuffer);
// A função acima só gera erro se passarmos um número negativo
// como primeiro argumento.
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, _framebuffer);
}

```

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
glDeleteFramebuffers(1, &_framebuffer);
```

Mas o framebuffer gerado não possui nenhum buffer ligado à ele. Então ele não está completo e não pode ser usado. Primeiramente nós precisamos de um buffer de cor. E usaremos uma textura para isso. A ideia é que iremos renderizar tudo na textura e em seguida aplicamos a textura em um quadrado que renderizaremos ocupando toda a tela.

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```

// A textura na qual renderizaremos se estivermos fazendo uma
// renderização não-padrão.
GLuint _texture;

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

{
    // Gerando a textura:
    glGenTextures(1, &_texture);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _texture);
    glTexImage2D(
        GL_TEXTURE_2D, // É uma imagem em 2D
        0, // Nível de detalhe. Não usaremos mipmaps aqui
        GL_RGB, // Formato interno do pixel
        W.width, // Largura
        W.height, // Altura
        0, // Borda: a especificação pede que aqui sempre seja 0
        GL_RGB, GL_UNSIGNED_BYTE, // Formato dos pixels
        NULL); // NULL, pois os pixels serão criados dinamicamente
    // Ativa antialiasing para melhorar aparência de jogo em resolução
    // menor:
    glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    // Ligamos a nossa textura ao buffer de cor do framebuffer
    // não-padrão:
    glFramebufferTexture2D(GL_FRAMEBUFFER, GL_COLOR_ATTACHMENT0,
        GL_TEXTURE_2D, _texture, 0);
}

```

Mas o nosso framebuffer não-padrão precisa de mais buffers além de um único bufer de cor. Vamos precisar de um buffer de profundidade. Como temos certeza de que o que estamos criando será sempre interpretado como uma imagem, ao invés de criar mais texturas para isso, criaremos diretamente um buffer de renderização:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
// Buffer de renderização:
GLuint _depth_stencil;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    glGenRenderbuffers(1, &_amp;_depth_stencil);
    glBindRenderbuffer(GL_RENDERBUFFER, _depth_stencil);
    glRenderbufferStorage(GL_RENDERBUFFER, GL_DEPTH_COMPONENT16,
                          W.width, W.height);
    // Ligando o buffer de renderização ao framebuffer não-padrão:
    glFramebufferRenderbuffer(GL_FRAMEBUFFER, GL_DEPTH_ATTACHMENT,
                              GL_RENDERBUFFER, _depth_stencil);

    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);
}
```

Naturalmente, na finalização vamos querer limpar tudo o que fizemos:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
glDeleteTextures(1, &_amp;_texture);
glDeleteRenderbuffers(1, &_amp;_depth_stencil);
```

Feito isso, nosso framebuffer está pronto para ser usado em renderização. Então, antes de começarmos a renderizar qualquer coisa, devemos sempre checar onde devemos fazer isso. Direto na tela ou no nosso fram3ebuffer alternativo?

Seção: Antes da Renderização:

```
if(_final_shader[_number_of_loops] != W_NONE){
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, _framebuffer);
    glViewport(0, 0, W.width, W.height);
    glEnable(GL_DEPTH_TEST); // Avaliar se é necessário
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
}
```

Mas se aconteceu de renderizarmos tudo para a nossa textura ao invés de renderizarmos para a tela, vamos ter que, depois de toda renderização, passar a textura para a tela. E este também é o momento no qual temos que ver se não devemos aplicar algum efeito especial na imagem por meio de algum shader personalizado.

Primeiro vamos definir qual é o shader padrão que usaremos caso nenhum shader personalizado seja selecionado para renderizar nossa textura (ou seja, temos `W_DEFAULT_SHADER`). E como iremos renderizar usando shaders, vamos precisar de uma matriz que representará o tamanho da nossa imagem na tela.

Seção: Shaders: Declarações:

```
extern char _vertex_interface_texture[];
extern char _fragment_interface_texture[];
struct _shader _framebuffer_shader;
GLfloat _framebuffer_matrix[16];
```

Seção: Shaders: Definições:

```
char _vertex_interface_texture[] = {
#include "vertex_interface_texture.data"
    , 0x00};
char _fragment_interface_texture[] = {
#include "fragment_interface_texture.data"
```

```
, 0x00};
```

O código do shader de vértice é então:

Arquivo: project/src/weaver/vertex_interface_texture.glsl:

```
#version 100
```

```
attribute mediump vec3 vertex_position;
```

```
uniform mat4 model_view_matrix;
```

```
uniform vec4 object_color; // A cor do objeto
```

```
uniform vec2 object_size; // Largura e altura do objeto
```

```
uniform float time; // Tempo de jogo em segundos
```

```
uniform sampler2D texture1; // Textura
```

```
uniform int integer;
```

```
varying mediump vec2 coordinate;
```

```
void main(){
```

```
    // Apenas esticamos o quadrado com este vetor para ampliar seu
```

```
    // tamanho e ele cobrir toda a tela:
```

```
    gl_Position = model_view_matrix * vec4(vertex_position, 1.0);
```

```
    // Coordenada da textura:
```

```
    coordinate = vec2(((vertex_position[0] + 0.5)),  
                      ((vertex_position[1] + 0.5)));
```

```
}
```

E o shader de fragmento:

Arquivo: project/src/weaver/fragment_interface_texture.glsl:

```
#version 100
```

```
uniform sampler2D texture1;
```

```
varying mediump vec2 coordinate;
```

```
void main(){
```

```
    gl_FragData[0] = texture2D(texture1, coordinate);
```

```
}
```

Tal novo shader precisa ser compilado na inicialização, assim como a matriz do tamanho do framebuffer precisa ser inicializada.

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
```

```
    GLuint vertex, fragment;
```

```
    // Começamos assumindo que vamos usar o shader padrão que
```

```
    // definimos para a renderização final:
```

```
    vertex = _compile_vertex_shader(_vertex_interface_texture);
```

```
    fragment = _compile_fragment_shader(_fragment_interface_texture);
```

```
    // Preenchendo variáveis uniformes e atributos:
```

```
    _framebuffer_shader.program_shader =
```

```
        _link_and_clean_shaders(vertex, fragment);
```

```
    _framebuffer_shader._uniform_texture1 =
```

```
        glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,  
                               "texture1");
```

```

_framebuffer_shader._uniform_object_color =
    glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "object_color");
_framebuffer_shader._uniform_model_view =
    glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "model_view_matrix");
_framebuffer_shader._uniform_object_size =
    glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "object_size");
_framebuffer_shader._uniform_time =
    glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "time");
_framebuffer_shader._uniform_integer =
    glGetUniformLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "integer");
_framebuffer_shader._attribute_vertex_position =
    glGetAttribLocation(_framebuffer_shader.program_shader,
        "vertex_position");
// Inicializando matriz de transformação para:
// 2 0 0 0
// 0 2 0 0 <- Isso dobra o tamanho do polígono recebido
// 0 0 2 0
// 0 0 0 1
_framebuffer_matrix[0] = _framebuffer_matrix[5] =
    _framebuffer_matrix[10] = 2.0;
_framebuffer_matrix[15] = 1.0;
_framebuffer_matrix[1] = _framebuffer_matrix[2] =
    _framebuffer_matrix[3] = _framebuffer_matrix[4] =
    _framebuffer_matrix[6] = _framebuffer_matrix[7] =
    _framebuffer_matrix[8] = _framebuffer_matrix[9] =
    _framebuffer_matrix[11] = _framebuffer_matrix[12] =
    _framebuffer_matrix[13] = _framebuffer_matrix[14] = 0.0;
}

```

No código acima, dobramos o tamanho do polígono recebido com tal matriz de transformação. O motivo é o fato de toda interface ser gerada usando o mesmo quadrado de lado 1,0. É o shader quem estica e encolhe tal quadrado para que ele fique do tamanho certo. Aqui, nós usamos o mesmo quadrado de antes para renderizar o nosso framebuffer. E queremos que ele ocupe a tela inteira.

Uma vez que inicializamos os detalhes do shader, podemos usá-lo para enfim renderizar tudo:

Seção: Depois da Renderização:

```

if(_final_shader[_number_of_loops] != W_NONE){
    struct _shader *current_shader;
    // Usar os vértices das interfaces
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, _interface_VBO);
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0); // Usar framebuffer padrão
    glViewport(0, 0, W.resolution_x, W.resolution_y);
    glBindVertexArray(_interface_VAO);
    glDisable(GL_DEPTH_TEST);
    if(_final_shader[_number_of_loops] > 0){
        glUseProgram(_shader_list[_final_shader[_number_of_loops]] -

```

```

        1].program_shader);
        current_shader = &(_shader_list[_final_shader[_number_of_loops] - 1]);
    }
    else{
        glUseProgram(_framebuffer_shader.program_shader);
        current_shader = &(_framebuffer_shader);
    }
    glActiveTexture(GL_TEXTURE0);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _texture);
    glEnableVertexAttribArray(current_shader -> _attribute_vertex_position);
    glVertexAttribPointer(current_shader -> _attribute_vertex_position,
        3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, (void*)0);
    // Passando os uniformes
    glUniform2f(current_shader -> _uniform_object_size, W.width, W.height);
    glUniform4f(current_shader -> _uniform_object_color, W.DEFAULT_COLOR,
        1.0);
    glUniform1f(current_shader -> _uniform_time,
        (float) W.t / (float) 1000000);
    glUniformMatrix4fv(current_shader -> _uniform_model_view, 1, false,
        _framebuffer_matrix);
    <Seção a ser Inserida: Imediatamente antes da Renderização Final de Tela>
    glDrawArrays(GL_TRIANGLE_FAN, 0, 4);
    glDisableVertexAttribArray(current_shader -> _attribute_vertex_position);
}

```

Mas nós ainda não mudamos a resolução com nada disso. Nós apenas explicamos como fazer a renderização caso a resolução seja mudada. Precisamos de uma função que mude a resolução. E isso implica fazer as seguintes coisas:

0) Se não estamos em tela cheia, mudar a resolução é simplesmente redimensionar a nossa janela. Toda a nossa preocupação com framebuffers é só se estivermos em tela cheia.

1) Ajustar o valor do shader final do loop atual para `W_DEFAULT_SHADER`, o que de pronto ativa a renderização final em duas etapas fazendo o valor ser diferente de `W_NONE`. Embora isso por si só ainda não mude a resolução.

2) Na primeira etapa da renderização, consultamos as variáveis `W.width` e `W.height` para saber a altura e largura da janela em pixels. São estes os valores que precisam ser mudados para que a resolução enfim seja mudada.

3) Gerar novamente a textura usada para armazenar a imagem da tela na resolução certa.

4) As interfaces dentro do programa conhecem a sua posição, mas elas medem isso em pixels. Com a mudança de resolução, a posição delas não é mais a mesma. Nesta parte realizamos as mesmas transformações de antes para garantir a correção na posição das interfaces.

5) Podemos precisar mudar o tamanho de cada interface se elas foram configuradas para serem esticáveis.

Seção: Shaders: Declarações (continuação):

```
void _change_resolution(int resolution_x, int resolution_y);
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```

void _change_resolution(int resolution_x, int resolution_y){
    #if W_WIDTH != 0 || W_HEIGHT != 0
        W.resize_window(resolution_x, resolution_y);
    #else
        int width, height, old_width = W.width, old_height = W.height;
        int i, j;

```

```

_changed_resolution = true;
// Não podemos mais em nenhum loop renderizar direto para a tela:
for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i ++){
    if(_final_shader[i] == W_NONE)
        _final_shader[i] = W_DEFAULT_SHADER;
    width = W.width = ((resolution_x > 0)?(resolution_x):(W.width));
    height = W.height = ((resolution_y > 0)?(resolution_y):(W.height));
    // Aqui começamos a gerar novamente os buffers do framebuffer que
    // usaremos na renderização. Ele deve ter a nova
    // resolução. Começamos gerando novamente o buffer de cor:
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, _framebuffer);
    glDeleteTextures(1, &_texture);
    glGenTextures(1, &_texture);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _texture);
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGB, W.width, W.height, 0, GL_RGB,
        GL_UNSIGNED_BYTE, NULL); // Mesmos parâmetros de antes
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    // Ligamos a nossa textura ao buffer de cor do framebuffer
    // não-padrão:
    glFramebufferTexture2D(GL_FRAMEBUFFER, GL_COLOR_ATTACHMENT0,
        GL_TEXTURE_2D, _texture, 0);
    // Agora geraremos novamente os buffers de profundidade e stêncil:
    glDeleteRenderbuffers(1, &_depth_stencil);
    glGenRenderbuffers(1, &_depth_stencil);
    glBindRenderbuffer(GL_RENDERBUFFER, _depth_stencil);
    glRenderbufferStorage(GL_RENDERBUFFER, GL_DEPTH_COMPONENT16,
        W.width, W.height);
    // Ligando o buffer de renderização ao framebuffer não-padrão:
    glFramebufferRenderbuffer(GL_FRAMEBUFFER, GL_DEPTH_ATTACHMENT,
        GL_RENDERBUFFER, _depth_stencil);
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);
    // Feito. Agora temos apenas que atualizar a posição das
    // interfaces:
    for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i ++){
        for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j ++){
            if(_interfaces[i][j].type == W_NONE) continue;
            W.move_interface(&_interfaces[i][j],
                _interfaces[i][j].x *
                ((float) width) / ((float) old_width),
                _interfaces[i][j].y *
                ((float) height) / ((float) old_height));
            W.rotate_interface(&_interfaces[i][j],
                _interfaces[i][j].rotation);
            // Redimensionando as interfaces de acordo com a mudança de
            // resolução
        }
    }
}

```

```

        float new_height = _interfaces[i][j].height;
        float new_width = _interfaces[i][j].width;
        new_width *= (float) width / (float) old_width;
        new_height *= (float) height / (float) old_height;
        W.resize_interface(&_interfaces[i][j], new_width, new_height);
    }
}
}
#endif
}

```

E como todas as funções da nossa API, vamos colocá-la dentro da estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*change_resolution)(int, int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.change_resolution = &_change_resolution;
```

8.1 - Shaders personalizados

Uma das vantagens de fazer a renderização na tela em dois passos é que podemos obter um estado intermediário da tela, aplicar algum shader nele e só então renderizar a imagem final. Dependendo do shader podemos querer também passar algum valor numérico específico para ele. Para isso vamos precisar de algumas funções adicionais.

As funções e procedimentos que obtém os shaders já foram definidos. Cada shader já possui um número específico e está armazenado em um vetor chamado `_shader_list`. Tudo o que precisamos fazer é associar a última etapa de renderização com um dos shaders personalizados:

Seção: Shaders: Declarações (continuação):

```
void _change_final_shader(int type);
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```
void _change_final_shader(int type){
    _final_shader[_number_of_loops] = type;
}

```

E adicionando à estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*change_final_shader)(int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.change_final_shader = &_change_final_shader;
```

E para passar um inteiro personalizado para o shader de renderização final, vamos definir a seguinte variável global:

Seção: Variáveis Weaver (continuação):

```
// Isso fica dentro da estrutura W:
int final_shader_integer;
```

Que caso não seja mudado será tratado como zero:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.final_shader_integer = 0;
```


E que será passado para o shader toda vez que formos fazer a renderização final de toda a tela:

Seção: Imediatamente antes da Renderização Final de Tela:

```
glUniform1i(current_shader -> _uniform_integer,  
            W.final_shader_integer);
```

E está feito! A única coisa que não podemos nos esquecer é que se nós mudamos o nosso shader atual, antes de encerrar nosso loop atual temos que remover o shader personalizado. Também temos que fazer isso ao entrar em um novo loop:

Seção: Código Imediatamente antes de Loop Principal (continuação):

```
if(_changed_resolution){  
    _final_shader[_number_of_loops] = W_DEFAULT_SHADER;  
}  
else{  
    _final_shader[_number_of_loops] = W_NONE;  
}
```

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```
if(_changed_resolution){  
    _final_shader[_number_of_loops] = W_DEFAULT_SHADER;  
}  
else{  
    _final_shader[_number_of_loops] = W_NONE;  
}
```

Desafio maior é fazer com que mudanças à variável `W.final_shader_integer` também sejam locais ao loop em que são feitas. Para isso antes de entrar em um subloop, sempre temos que armazenar o valor anterior deste inteiro. E vamos precisar de um vetor de inteiros para isso:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
int _final_shader_integer[W_MAX_SUBLOOP];
```

Seção: Código antes de Subloop:

```
{  
    _final_shader_integer[_number_of_loops - 1] = W.final_shader_integer;  
    W.final_shader_integer = 0;  
}
```

Ao sair de um subloop temos que resgatar este valor:

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```
W.final_shader_integer = _final_shader_integer[_number_of_loops - 1];
```

E ao passar para um novo loop comum, mas não um subloop, nós apenas reiniciamos o valor como zero:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```
W.final_shader_integer = 0;
```

8.2 - Sumário das variáveis e Funções de Resolução

- As seguintes 2 novas funções foram definidas:

`void W.change_resolution(int x, int y)` : Muda a resolução do jogo para os valores passados como argumento, que correspondem respectivamente à resolução horizontal e vertical.

- `void W.change_final_shader(int shader)` : Faz com que a imagem final, antes de ser passada para a tela passe por um shader intermediário representado pelo valor indicado.
- A seguinte nova variável foi definida:
`int W.final_shader_integer` : É o inteiro que é passado para o shader de renderização final para que ele o use como quiser ou o ignore.

Capítulo 9: Suporte Básico ao Som

Para fornecer o suporte ao som, iremos usar a biblioteca OpenAL. Esta biblioteca foi criada no ano 2000 pela empresa Loki Entertainment para ajudá-la a portar jogos do Windows para Linux. Com o fim da empresa no ano seguinte, a biblioteca passou a ser mantida por um tempo por uma comunidade de programadores e ganhou suporte em placas de som e placas-mãe da NVIDIA. Atualmente foi adotada pela Creative Technology, uma empresa da Singapura, além de receber atualizações de outras empresas como a Apple.

A vantagem da biblioteca é o suporte à efeitos sonoros tridimensionais. Ela ajusta a atenuação do som de acordo com a distância da fonte emissora e da posição da câmera em um ambiente virtual em 3D. Além de suportar a simulação de efeitos físicos como o efeito Doppler.

Por fim, também escreveremos aqui o suporte para sermos capazes de desalocar estruturas de dados mais sofisticadas ao encerrarmos o loop atual em que estamos. Isso será importante porque o gerenciador de memória que usamos até então apenas desaloca a memória alocada em nossa arena. Mas ela não faz coisas como fechar arquivos abertos ou avisar alguma outra API que paramos de usar algum recurso.

Mas para começar, a primeira coisa a fazer para usar a biblioteca é criar um cabeçalho e um arquivo de código C com funções específicas de som. Nestes arquivos iremos inserir também o cabeçalho OpenAL.

Arquivo: project/src/weaver/sound.h:

```
#ifndef _sound_h_
#define _sound_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include <AL/al.h>
#include <AL/alc.h>
#include "weaver.h"
        <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
        <Seção a ser Inserida: Som: Declarações>
#ifdef __cplusplus
    }
#endif
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/sound.c:

```
#include <string.h> // strchr
#include <sys/stat.h> // mkdir
#include <sys/types.h> // mkdir
#include <time.h> // nanosleep
#include <pthread.h>
#ifdef W_MULTITHREAD
#include <sched.h>
#endif
#include "sound.h"
#include "weaver.h"
// Previne warnings irritantes e desnecessários no Emscripten
#if W_TARGET == W_WEB
extern ALenum alGetError(void);
#endif
```

<Seção a ser Inserida: Som: Variáveis Estáticas>

<Seção a ser Inserida: **Som: Funções Estáticas**>

<Seção a ser Inserida: **Som: Definições**>

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include "sound.h"
```

9.1 - O Básico de OpenAL

A primeira coisa que precisamos é inicializar um dispositivo no OpenAL para poder tocar o nosso som. Pode haver mais de um dispositivo, pois o computador pode ter mais de uma placa de som ou mais de uma opção de como produzi-lo. Mas mesmo assim, iremos começar com um dispositivo padrão, que depois pode ser mudado. O dispositivo que usaremos para tocar o som será apontado por um ponteiro do tipo `ALCdevice` abaixo:

Seção: Som: Variáveis Estáticas:

```
static ALCdevice *default_device;
```

Este ponteiro deve ser inicializado na nossa função de inicialização. Usamos uma chamada para `alcOpenDevice` passando `NULL` como argumento para começarmos com o dispositivo padrão. A função retornará `NULL` se não existir qualquer dispositivo de áudio. Assim saberemos que se a variável `default_device` for um ponteiro para `NULL`, então estamos em um sistema sem som:

Seção: Som: Declarações:

```
void _initialize_sound(void);
```

Seção: Som: Definições:

```
void _initialize_sound(void){
    default_device = alcOpenDevice(NULL);
    if(default_device == NULL)
        fprintf(stderr, "WARNING (0): No sound device detected.\n");
    <Seção a ser Inserida: Som: Inicialização>
    AFTER_SOUND_INITIALIZATION:
    return;
}
```

Mas além disso, no fim do nosso programa temos que encerrar tudo o que foi inicializado relacionado ao som. Para isso chamaremos a função abaixo:

Seção: Som: Declarações:

```
void _finalize_sound(void);
```

Seção: Som: Definições:

```
void _finalize_sound(void){
    <Seção a ser Inserida: Som: Primeira Finalização>
    <Seção a ser Inserida: Som: Finalização>
    // Fechar o dispositivo é a última coisa que deve ser feita ao
    // encerrar o som.
    alcCloseDevice(default_device);
}
```

Agora é só chamarmos estas funções durante a inicialização e finalização da API Weaver:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    _initialize_sound();
}
```

Seção: API Weaver: Som: Encerramento (continuação):

```
{  
    _finalize_sound();  
}
```

9.2 - Escolhendo Dispositivos de Áudio

O próximo passo é fornecer uma forma do programador escolher qual dispositivo de áudio ele gostaria de usar. Para isso primeiro nós precisamos de uma lista de dispositivos suportados. Com isso, é possível respondermos o número de dispositivos que existem e que poderão ser consultados na variável abaixo. Uma lista de strings com o nome de cada dispositivo também será fornecida:

Seção: Variáveis Weaver (continuação):

```
// Isso fica dentro da estrutura W:  
int number_of_sound_devices;  
char **sound_device_name;
```

As variáveis serão inicialmente inicializadas com um valor padrão.

Seção: Som: Inicialização:

```
W.number_of_sound_devices = 0;  
W.sound_device_name = NULL;
```

Uma chamada para a função `alcGetString` com os parâmetros certos nos retorna uma string com o nome de todos os dispositivos existentes se tivermos a extensão do OpenAL que permite isso. Não testamos previamente se esta extensão existe ou não porque o resultado retornado não é confiável no Emscripten. Ao invés disso, apenas tentamos usar ela. Se ela existir, a função nos dá o nome de cada dispositivo separado por um “\0” e a presença de um “\0\0” encerra a string. Inicialmente apenas percorremos a string para sabermos quantos dispositivos existem:

Seção: Som: Inicialização:

```
{  
    char *devices, *c;  
    int end = 0;  
    c = devices = (char *) alcGetString(NULL, ALC_DEFAULT_DEVICE_SPECIFIER);  
    while(end != 2){  
        if(*c == '\0'){  
            end ++;  
            if(c != devices && *(c - 1) != '\0')  
                W.number_of_sound_devices ++;  
        }  
        else  
            end = 0;  
        c ++;  
    }  
    if(W.number_of_sound_devices == 0)  
        goto AFTER_SOUND_INITIALIZATION;  
}
```

Uma vez que o número é conhecido, vamos inicializar o nosso vetor de string com o nome dos dispositivos e amos percorrer a string com os nomes novamente apenas para pegar o endereço do começo de cada nome:

Seção: Som: Inicialização:

```
{
```

```

char *devices, *c;
int i = 0;
W.sound_device_name = (char **) Walloc(W.number_of_sound_devices *
                                      sizeof(char *));
if(W.sound_device_name == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR: Not enough memory. Please, increase the value"
                  " of W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h and try to run the "
                  "program again.\n");
    exit(1);
}
c = devices = (char *) alcGetString(NULL, ALC_DEFAULT_DEVICE_SPECIFIER);
W.sound_device_name[0] = devices;
for(;; c++){
    if(*c == '\\0'){
        i++;
        if(i < W.number_of_sound_devices)
            W.sound_device_name[i] = c + 1;
        else
            break;
    }
}
}

```

Como alocamos um vetor para comportar os nomes de dispositivos em `W.sound_device_name`, teremos então que no encerramento desalocar a sua memória alocada:

Seção: Som: Finalização:

```

{
    if(W.sound_device_name != NULL)
        Wfree(W.sound_device_name);
}

```

Agora temos que fornecer uma forma de mudar qual o nosso dispositivo de som padrão. O modo de fazer isso para nós será passar um número que corresponde à sua posição no vetor de nomes de dispositivos:

Seção: Som: Declarações:

```

bool _select_sound_device(int position);

```

Seção: Som: Definições:

```

bool _select_sound_device(int position){
    if(position < 0 || position >= W.number_of_sound_devices)
        return false;
    // Antes de fechar dispositivo de áudio haverá outras
    // finalizações a fazer.
    <Seção a ser Inserida: Som: Antes de Trocar de Dispositivo>
    alcCloseDevice(default_device);
    default_device = alcOpenDevice(W.sound_device_name[position]);
    <Seção a ser Inserida: Som: Após Trocar de Dispositivo>
    return true;
}

```

Agora é só colocar esta função na estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*select_sound_device)(int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.select_sound_device = &_select_sound_device;
```

E por fim, pode haver a necessidade de saber qual dos dispositivos da lista está marcado como o atual. Para isso, usamos a função abaixo que retorna o número de identificação (posição no vetor) do dispositivo atual ou que retorna o valor de -1 que representa “desconhecido ou inexistente”:

Seção: Som: Declarações:

```
int _current_sound_device(void);
```

Seção: Som: Definições:

```
int _current_sound_device(void){
    int i;
    char *query;
    if(W.sound_device_name == NULL)
        return -1;
    query = (char *) alcGetString(NULL, ALC_DEFAULT_DEVICE_SPECIFIER);
    for(i = 0; i < W.number_of_sound_devices; i ++){
        if(!strcmp(query, W.sound_device_name[i]))
            return i;
    }
    return -1;
}
```

E por fim adicionamos isso à estrutura W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
int (*current_sound_device)(void);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.current_sound_device = &_current_sound_device;
```

Após termos escolhido o nosso dispositivo, o próximo passo é criarmos um contexto. Um contexto nada mais é do que um conjunto de configurações que serão válidas para todos os sons que forem tocados dentro dele. Algumas das configurações que teoricamente podem ser mudadas são a frequência de amostragem de sinal do áudio (tipicamente é 44,100 Hz), o número de caixas de som para áudio monoaural, para áudio estéreo e algumas outras. Mas na prática de acordo com as implementações atual do OpenAL, nem todas as mudanças são suportadas e o melhor é ficar com as configurações padrão.

Criar um contexto é o que iremos fazer na inicialização por meio da função `alcCreateContext` :

Seção: Som: Variáveis Estáticas:

```
static ALContext *default_context = NULL;
```

Seção: Som: Inicialização:

```
{
    if(default_device){
        // O segundo argumento NULL escolhe configurações padrão:
        default_context =alcCreateContext(default_device, NULL);
        alcMakeContextCurrent(default_context);
    }
    alGetError(); // Limpa o registro de erros
}
```

Uma vez que um contexto foi criado, precisamos criar uma fonte de som. Iremos considerá-la a nossa fonte padrão que deve ser tratada como se sempre estivesse posicionada diante de nós.

Então ela não irá se mover, sofrer atenuação ou efeito Doppler. Na verdade não criaremos somente uma, mas cinco delas para que assim possamos tocar mais de um efeito sonoro simultâneo.

A nossa fonte padrão será armazenada nesta variável que é basicamente um inteiro:

Seção: Som: Variáveis Estáticas:

```
static ALuint default_source[5];
```

E durante a inicialização nós iremos criá-la e inicializá-la:

Seção: Som: Inicialização:

```
{
    AEnum error;
    if(default_device != NULL){
        alGenSources(5, default_source);
        error = alGetError();
        if(error != AL_NO_ERROR){
            fprintf(stderr, "WARNING(0): No sound source could be created. "
                          "alGenSources failed. Sound probably won't work.\n");
        }
    }
}
```

Na finalização iremos remover a fonte de som padrão:

Seção: Som: Finalização (continuação):

```
{
    alDeleteSources(5, default_source);
    if(default_context != NULL)
        alcDestroyContext(default_context);
}
```

E não apenas isso precisa ser feito. Quando trocamos de dispositivo de áudio, precisamos também finalizar o contexto atual e todas as fontes atuais e gerá-las novamente. Por isso fazemos:

Seção: Som: Antes de Trocar de Dispositivo:

```
{
    alDeleteSources(5, default_source);
    if(default_context != NULL)
        alcDestroyContext(default_context);
}
```

Uma vez que temos uma fonte padrão para a emissão de sons, podemos usá-la para produzir qualquer som que quisermos que tenham relação com a interface ou com sons genéricos sem relação com algum objeto existente no jogo.

9.3 - Interpretando Arquivos .WAV

O Formato de Arquivo de Áudio Waveform foi criado pela Microsoft e IBM para armazenar áudio em computadores. Ele é um caso particular de um outro formato de arquivos chamado RIFF (Resource Interchange File Format), o qual pode ser usado para armazenar dados arbitrários, não apenas áudio. Este será o formato de áudio inicialmente suportado por ser o mais simples de todos. Futuramente outros capítulos poderão lidar com formatos de áudio mais sofisticados e que gastam menos recurso na memória.

O RIFF foi criado em 1991, sendo baseado em outro formato de container anterior criados por outra empresa e que se chamava IFF.

Um arquivo RIFF sempre é formado por uma lista de “pedaços”. Cada pedaço é sempre formado por uma sequência de quatro caracteres (no nosso caso, a string “RIFF”), por um número de 32 bits representando o tamanho do dado que este pedaço carrega e uma sequência de bytes

com o dado carregado pelo pedaço. Após os dados, podem haver bytes de preenchimento que não foram contados na especificação de tamanho.

Pedaços podem ter também subpedaços. No caso do formato WAVE, os arquivos sempre tem um único pedaço. Mas dentro dele há dois subpedaços: um para armazenar dados sobre o áudio e outro para armazenar os dados em si. Também podem haver subpedaços adicionais, como um subpedaço para armazenar informações de copyright. O problema é que o formato WAVE pode ser um tanto complexo, suportando diferentes tipos de subpedaços e muitas diferentes formas de se armazenar o som internamente. Além disso, existem versões mais antigas e pouco precisas que descrevem o formato que foram usadas para fazer softwares mais antigos e menos robustos que serão capazes apenas de tocar um subconjunto do formato WAVE.

Mesmo levando em conta apenas tal subconjunto, não é incomum encontrar amostras de áudio WAVE com alguns dados internos incorretos. Por causa de todos estes fatores, não vale à pena se ater à todos os detalhes da especificação WAVE. Campos que podem ser facilmente deduzidos devem ser deduzidos ao invés de confiar na especificação do arquivo. Campos não-essenciais podem ser ignorados. E além disso, iremos suportar apenas uma forma canônica do formato WAVE, que na prática é a mais difundida por poder ser tocada por todos os softwares.

Inicialmente estamos interessados apenas em arquivos de áudio muito pequenos que ficarão carregados na memória para tocar efeitos sonoros simples (e não em tocar música ou sons sofisticados por enquanto).

Criaremos então a seguinte função que abre um arquivo WAV e retorna os seus dados sonoros, bem como o seu tamanho e frequência, número de canais e número de bits por amostragem, informações necessárias para depois tocá-lo usando OpenAL. A função deve retornar um buffer para o dados extraídos e armazenar os seus valores nos ponteiros passados como argumento. Em caso de erro, marcamos também como falsa uma variável booleana cujo ponteiro recebemos.

Outra coisa que não podemos esquecer é que se estivermos executando o código via Emscripten, ler um arquivo de áudio na Internet tem uma latência alta demais. Por causa disso, o melhor a fazer é lermos ele assincronamente, sem que tenhamos que terminar de carregá-lo quando a função de leitura retorna. A estrutura de áudio deve possuir uma variável booleana chamada `ready` que nos informa se o áudio já terminou de ser carregado ou não. Enquanto ele ainda não terminar, podemos pedir para que o som seja tocado sem que som algum seja produzido. Isso poderá ocorrer em ambiente Emscripten e não é um bug. É a melhor forma de lidar com a latência de um ambiente de Internet. E iremos também aproveitar e fazer com que arquivos também sejam lidos assincronamente e paralelamente caso threads estejam ativadas. Mesmo que o programador não as use explicitamente, ele se beneficiará delas, pois Weaver poderá carregar automaticamente arquivos em diferentes threads.

Mas é importante que tenhamos terminado de carregar todos os arquivos da rede antes de sairmos do loop atual. Caso contrário, estaremos nos colocando à mercê de falhas de segmentação. Ao encerrar o loop atual, marcamos como disponíveis as regiões alocadas no loop. Mas se tem um código assíncrono preenchendo tais regiões, isso causará problemas. Por causa disso, teremos que manter uma contagem de quantos arquivos pendentes estamos carregando.

Seção: Variáveis Weaver (continuação):

```
unsigned pending_files;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_t _pending_files_mutex;
#endif
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.pending_files = 0;
#ifdef W_MULTITHREAD
if(pthread_mutex_init(&(W._pending_files_mutex), NULL) != 0){
    fprintf(stderr, "ERROR (0): Can't initialize mutex for file loading.\n");
    exit(1);
}
```

```
#endif
```

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_destroy(&(W._pending_files_mutex));
#endif
```

Consultar esta variável `W.pending_files` pode ser usada por loops que funcionam como telas de carregamento. O valor será extremamente útil para saber quantos arquivos ainda precisam terminar de ser carregados tanto no ambiente Emscripten como caso um programa use threads para carregar arquivos e assim tentar tornar o processo mais rápido. Isso significa que temos também que oferecer um mutex para esta variável se estivermos usando multithreading (mas não em ambiente Emscripten, o Javascript realmente trata como atômicas suas expressões).

Começamos agora com a nossa função de extrair arquivos WAV simplesmente abrindo o arquivo que recebemos, e checando se podemos lê-lo antes de efetivamente interpretá-lo:

Seção: Som: Variáveis Estáticas (continuação):

```
static ALuint extract_wave(const char *filename, unsigned long *size, int *freq,
                           int *channels, int *bitrate, bool *error){
    void *returned_data = NULL;
    ALuint returned_buffer = 0;
    FILE *fp = fopen(filename, "r");
    *error = false;
    if(fp == NULL){
        *error = false;
        return 0;
    }

    <Seção a ser Inserida: Interpretando Arquivo WAV>

    return returned_buffer;
}
```

Em seguida, checamos se estamos diante de um arquivo RIFF. Para isso, basta checar se os primeiros 4 bytes do arquivo formam a string “RIFF”. Se não for, realmente não estamos lidando com um WAVE.

Seção: Interpretando Arquivo WAV:

```
{
    char data[5];
    size_t size_t_ret;
    data[0] = '\0';
    size_t_ret = fread(data, 1, 4, fp);
    data[4] = '\0';
    if(strcmp(data, "RIFF")){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not compatible audio format: %s\n",
                filename);
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
    if(size_t_ret){};
}
```

Em seguida, lemos o tamanho do primeiro pedaço do arquivo, que será o único lido. Tal tamanho é armazenado sempre em 4 bytes. E um arquivo em formato WAVE sempre armazena os

números no formato “little endian”. Então para garantir que o código funcione em qualquer tipo de processador, tratamos manualmente a ordem dos bytes por meio de um loop.

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```
{
    int i;
    unsigned long multiplier = 1;
    *size = 0;
    for(i = 0; i < 4; i++){
        unsigned long size_tmp = 0;
        if(fread(&size_tmp, 1, 1, fp) != 1){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged file: %s\n",
                    filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
        *size += size_tmp * multiplier;
        multiplier *= 256;
    }
}
```

Até então o que fizemos foi interpretar dados presentes em qualquer arquivo RIFF. Agora iremos observar se o arquivo que temos realmente é um arquivo WAV. Nos dados armazenados em nosso pedaço, se isso é verdade, os primeiros 4 bytes formam a string “WAVE”:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```
{
    char data[5];
    size_t size_t_ret;
    data[0] = '\0';
    size_t_ret = fread(data, 1, 4, fp);
    data[4] = '\0';
    if(size_t_ret){};
    if(strcmp(data, "WAVE")){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not compatible audio format: %s\n",
                filename);
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
    // Devemos também reduzir os bytes lidos do tamanho do arquivo
    // para no fim ficarmos com o tamanho exato do áudio:
    *size -= 4;
}
```

Em seguida, vamos ignorar os próximos 8 bytes do arquivo. Eles devem possuir apenas uma marcação de que estamos no subpedaço que vai descrever o formato do áudio e possui um número que representa o tamanho deste subpedaço. Em amostras adquiridas na Internet, o valor de tamanho de subpedaço continha valores errôneos em alguns casos.

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```
{
    int c, i;
```

```

for(i = 0; i < 8; i++){
    c = getc(fp);
    if(c == EOF){
        fprintf(stderr, "WARNING: Damaged audio file: %s\n",
            filename);
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
}
*size -= 8;
}

```

A próxima coisa que deve estar presente no arquivo WAV é um número de 16 bits que representa o formato de áudio que está armazenado no arquivo. Existem vários diferentes e cada um possui o seu próprio número. Mas nós iremos suportar somente um: o formato PCM da Microsoft. Este é o formato mais usado para representar áudio sem qualquer tipo de compressão dentro de um arquivo WAVE. O formato é representado pelo número 1 e, portanto, se tivermos um número diferente de 1 não conseguiremos interpretar o áudio.

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    int i, format = 0;
    unsigned long multiplier = 1;
    for(i = 0; i < 2; i++){
        unsigned long format_tmp = 0;
        if(fread(&format_tmp, 1, 1, fp) != 1){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged file: %s\n",
                filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
        format += format_tmp * multiplier;
        multiplier *= 256;
    }
    if(format != 1){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not compatible WAVE file format: %s.\n",
            filename);
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
    // Devemos também reduzir os bytes lidos do tamanho do arquivo
    // para no fim ficarmos com o tamanho exato do áudio:
    *size -= 2;
}

```

O próximo valor a ser lido é o número de canais de áudio. Eles estão em um número de 16 bits:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{

```

```

int i;
*channels = 0;
unsigned long multiplier = 1;
for(i = 0; i < 2; i++){
    unsigned long channel_tmp = 0;
    if(fread(&channel_tmp, 1, 1, fp) != 1){
        fprintf(stderr, "WARNING: Damaged file: %s\n",
            filename);
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
    *channels += channel_tmp * multiplier;
    multiplier *= 256;
}
// Devemos também reduzir os bytes lidos do tamanho do arquivo
// para no fim ficarmos com o tamanho exato do áudio:
*size -= 2;
}

```

O próximo é a frequência, mas desta vez teremos um número de 4 bytes:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    int i;
    *freq = 0;
    unsigned long multiplier = 1;
    for(i = 0; i < 4; i++){
        unsigned long freq_tmp = 0;
        if(fread(&freq_tmp, 1, 1, fp) != 1){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged file: %s\n",
                filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
        *freq += freq_tmp * multiplier;
        multiplier *= 256;
    }
    // Devemos também reduzir os bytes lidos do tamanho do arquivo
    // para no fim ficarmos com o tamanho exato do áudio:
    *size -= 4;
}

```

Depois disso vem mais 6 bytes que podem ser ignorados. Eles possuem informações sobre o alinhamento de blocos e uma estimativa de quantos bytes serão tocados por segundo:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    int c, i;
    for(i = 0; i < 6; i++){
        c = getc(fp);
    }
}

```

```

        if(c == EOF){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged audio file: %s\n",
                       filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
    }
    *size -= 6;
}

```

Em seguida, vem mais 2 bytes que representam quantos bits são usados em cada amostragem de áudio.

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    int i;
    *bitrate = 0;
    unsigned long multiplier = 1;
    for(i = 0; i < 2; i++){
        unsigned long bitrate_tmp = 0;
        if(fread(&bitrate_tmp, 1, 1, fp) != 1){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged file: %s\n",
                       filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
        *bitrate += bitrate_tmp * multiplier;
        multiplier *= 256;
    }
    // Devemos também reduzir os bytes lidos do tamanho do arquivo
    // para no fim ficarmos com o tamanho exato do áudio:
    *size -= 2;
}

```

O que vem depois são mais 8 bytes sinalizando que estamos entrando no subpedaço com os dados do áudio em si e indicando redundantemente qual o pedaço deste subpedaço. Podemos ignorar estas informações:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    int c, i;
    for(i = 0; i < 8; i++){
        c = getc(fp);
        if(c == EOF){
            fprintf(stderr, "WARNING: Damaged audio file: %s\n",
                       filename);
            fclose(fp);
            *error = true;
            return 0;
        }
    }
}

```

```

    *size -= 8;
}

```

O que restou depois disso é o próprio áudio em si. Podemos enfim alocar o buffer que armazenará ele, e copiá-lo para ele.

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    size_t size_t_ret;
    returned_data = Walloc((size_t) *size);
    if(returned_data == NULL){
        printf("WARNING(0): Not enough memory to read file: %s.\n",
               filename);
    #if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): You should increase the value of "
                       "W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h.\n");
    #endif
        fclose(fp);
        *error = true;
        return 0;
    }
    size_t_ret = fread(returned_data, *size, 1, fp);
    if(size_t_ret){};
}

```

Agora é hora de criarmos o buffer OpenAL. E enviarmos os dados sonoros extraídos para ele. Depois de fazer isso, podemos desalocar o nosso buffer com o som:

Seção: Interpretando Arquivo WAV (continuação):

```

{
    AEnum status;
    ALuint format = 0;
    // Limpando erros anteriores
    alGetError();
    // Gerando buffer OpenAL
    alGenBuffers(1, &returned_buffer);
    status = alGetError();
    if(status != AL_NO_ERROR){
        fprintf(stderr, "WARNING(0): No sound buffer could be created. "
                       "alGenBuffers failed. ");
        if(status == AL_INVALID_VALUE){
            fprintf(stderr, "Internal error: buffer array isn't large enough.\n");
        }
        else if(status == AL_OUT_OF_MEMORY){
            fprintf(stderr, "Internal error: out of memory.\n");
        }
        else{
            fprintf(stderr, "Unknown error (%d).\n", status);
        }
    }
    Wfree(returned_data);
    *error = true;
    fclose(fp);
    return 0;
}

```

```

}
// Determinando informações sobre o áudio antes de enviá-lo
format = 0xffff5;
if(*bitrate == 8){
    if(*channels == 1)        format = AL_FORMAT_MONO8;
    else if(*channels == 2) format = AL_FORMAT_STEREO8;
} else if(*bitrate == 16){
    if(*channels == 1)        format = AL_FORMAT_MONO16;
    else if(*channels == 2) format = AL_FORMAT_STEREO16;
}
if(format == 0xffff5){
    fprintf(stderr, "WARNING(0): Combination of channel and bitrate not "
        "supported (sound have %d channels and %d bitrate while "
        "we support just 1 or 2 channels and 8 or 16 as bitrate).\n",
        *channels, *bitrate);
    Wfree(returned_data);
    alDeleteBuffers(1, &returned_buffer);
    *error = true;
    fclose(fp);
    return 0;
}
// Enviando o buffer de dados para o OpenAL:
alBufferData(returned_buffer, format, returned_data, (ALsizei) *size,
    *freq);
status = alGetError();
if(status != AL_NO_ERROR){
    fprintf(stderr, "WARNING(0): Can't pass audio to OpenAL. "
        "alBufferData failed. Sound may not work.\n");
    Wfree(returned_data);
    alDeleteBuffers(1, &returned_buffer);
    *error = true;
    fclose(fp);
    return 0;
}
// Não precisamos agora manter o buffer conosco. Podemos desalocá-lo:
Wfree(returned_data);
fclose(fp);
}

```

9.4 - Criando novos sons e tocando

O que criamos até então é apenas uma função auxiliar que iremos chamar caso tentemos ler um arquivo com a extensão “.wav”. Vamos precisar também fazer com que cada som extraído acabe indo parar em uma struct que tenha todos os dados necessários para tocá-lo. A struct em si é esta:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```

struct sound{
    unsigned long size;
    int channels, freq, bitrate;
}

```



```

ALuint _data;
bool loaded; /* 0 som terminou de ser carregado? */
};

```

É importante notar que este tipo de estrutura irá armazenar na memória todo o som para poder ser tocado rapidamente. Ela não deverá ser usada para armazenar coisas longas como música, ou isso irá exaurir a memória disponível.

Podemos então definir a função que realmente será exportada e usada pelos usuários:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```

struct sound *_new_sound(char *filename);

```

A função tenta interpretar o arquivo de áudio observando sua extensão. Ela também assume que o arquivo de áudio está no diretório “sound/” adequado para que não seja necessário digitar o caminho completo. Por enquanto somente a extensão “.wav” é suportada. Mas nos capítulos futuros podemos obter suporte de mais extensões:

Seção: Som: Definições (continuação):

```

struct sound *_new_sound(char *filename){
    char complete_path[256];
    struct sound *snd;
#if W_TARGET == W_ELF
    bool ret = true;
    char *ext;
#endif
#if W_TARGET == W_WEB
    char dir[] = "sound/";
#elif W_DEBUG_LEVEL >= 1
    char dir[] = "./sound/";
#elif W_TARGET == W_ELF
    char dir[] = W_INSTALL_DATA"/sound/";
#endif
    snd = (struct sound *) Walloc(sizeof(struct sound));
    if(snd == NULL){
        printf("WARNING(0): Not enough memory to read file: %s.\n",
            filename);
    }
    if W_DEBUG_LEVEL >= 1
        fprintf(stderr, "WARNING (1): You should increase the value of "
            "W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h.\n");
    return NULL;
}

snd -> loaded = false;
strncpy(complete_path, dir, 256);
complete_path[255] = '\0';
strncat(complete_path, filename, 256 - strlen(complete_path));
#if W_TARGET == W_WEB
    mkdir("sound/", 0777); // Emscripten
    W.pending_files++;
    emscripten_async_wget2(complete_path, complete_path,
        "GET", "", (void *) snd,
        &onload_sound, &onerror_sound,
        &onprogress_sound);

```

```

    return snd;
#else // Executando nativamente
    // Obtendo a extensão:
    ext = strrchr(filename, '.');
    if(! ext){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): No file extension in %s.\n",
            filename);
        return NULL;
    }
    if(!strcmp(ext, ".wav") || !strcmp(ext, ".WAV")){ // Suportando .wav
        snd -> _data = extract_wave(complete_path, &(snd -> size),
            &(snd -> freq), &(snd -> channels),
            &(snd -> bitrate), &ret);

        // Depois definimos a função abaixo. Ela diz apenas que depois
        // temos que finalizar o recurso armazenado em snd -> _data,
        // que no caso é o id de um som alocado no OpenAL:
        _finalize_after(&(snd -> _data), _finalize_openal);
    }

    <Seção a ser Inserida: Som: Extraí outros Formatos>
    if(ret){ // ret é verdadeiro caso um erro tenha acontecido
        // Se estamos em um loop principal, removemos o buffer OpenAL da
        // lista de elementos que precisam ser desalocados depois. A função
        // _finalize_this é vista logo mais neste capítulo
        if(_running_loop)
            _finalize_this(&(snd -> _data), true);
        Wfree(snd);
        return NULL;
    }

    snd -> loaded = true;
    return snd;
#endif
}

```

Usamos acima uma função que pede para que depois executemos a função `_finalize_openal` quando chegar a hora de desalocarmos o som. O que a função de finalização do OpenAL faz é desalocar os buffer que ela alucou, algo não tratado automaticamente pelo nosso gerenciador de memória:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

// Uma função rápida para desalocar buffers do OpenAL e que podemos
// usar abaixo:
static void _finalize_openal(void *data){
    ALuint *p = (ALuint *) data;
    alDeleteBuffers(1, p);
}

```

Se estamos executando o programa nativamente sem threads, após a função terminar, a estrutura de som já está pronta. Caso estejamos rodando no Emscripten, o trabalho é feito dentro das funções que passamos como argumento do `emscripten_wget`. Definiremos em seguida o que farão tais funções que passamos como argumento. Já se estivermos rodando o nosso programa nativamente usando threads, também usamos funções que cuidarão das threads e farão elas fazerem o trabalho. Definiremos elas na próxima seção.

A primeira função que vamos definir é a que cuidará assincronamente dos erros. O que ela faz basicamente é imprimir um aviso e decrementar o número de arquivos pendentes que estão sendo carregados. Ela deve ser definida antes, pois podemos precisar invocar o erro dela dentro das outras funções assíncronas. O código de erro tipicamente é o erro HTTP. Mas também retornaremos 0 se não for possível identificar o arquivo pela extensão e 1 caso o arquivo esteja corrompido.

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
static void onerror_sound(unsigned undocumented, void *snd,
                          int error_code){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Couldn't load a sound file. Code %d.\n",
            error_code);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
    W.pending_files --;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
}
#endif
```

A função a ser executada depois de carregar assincronamente o arquivo faz praticamente a mesma coisa que a função que gera nova estrutura de som depois de abrir o arquivo quando trabalha de modo síncrono:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
static void onload_sound(unsigned undocumented, void *snd,
                        const char *filename){
    char *ext;
    bool ret = true;
    struct sound *my_sound = (struct sound *) snd;
    // Checando extensão
    ext = strrchr(filename, '.');
    if(! ext){
        onerror_sound(0, snd, 0);
        return;
    }
    if(!strcmp(ext, ".wav") || !strcmp(ext, ".WAV")){ // Suportando .wav
        my_sound -> _data = extract_wave(filename, &(my_sound -> size),
                                         &(my_sound -> freq),
                                         &(my_sound -> channels),
                                         &(my_sound -> bitrate), &ret);
        // Depois definimos a função abaixo. Ela diz apenas que depois
        // temos que finalizar o id de um som alocado no OpenAL:
        _finalize_after(&(my_sound -> _data), _finalize_openal);
    }
    if(ret){ // ret é verdadeiro caso um erro de extração tenha ocorrido
        onerror_sound(0, snd, 1);
        return;
    }
}
```

```

    my_sound -> loaded = true;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
    W.pending_files --;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
}
#endif

```

E uma função vazia que precisamos passar emostra o que o Emscripten tem que fazer à medida que carrega cada porcentagem relevante do arquivo:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_WEB
static void onprogress_sound(unsigned int undocumented, void *snd,
                             int percent){
    return;
}
#endif

```

E uma vez que tal função tenha sido definida, nós a colocamos dentro da estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

struct sound *(*new_sound)(char *);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

W.new_sound = &_new_sound;

```

E uma vez que obtemos um arquivo de áudio, caso desejemos tocar, basta invocar a função abaixo:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```

void _play_sound(struct sound *snd);

```

Seção: Som: Definições (continuação):

```

void _play_sound(struct sound *snd){
    if(! snd -> loaded) return; // Se o som ainda não carregou, deixa.
    int i = -1;
    ALenum status = AL_NO_ERROR;
    // Primeiro associamos o nosso buffer à uma fonte de som:
    do{
        i ++;
        if(i > 4) break;
        alSourcei(default_source[i], AL_BUFFER, snd -> _data);
        status = alGetError();
    } while(status != AL_NO_ERROR);
    alSourcePlay(default_source[i]);
}

```

E colocamos a função na estrutura W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

void (*play_sound)(struct sound *);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.play_sound = &_amp;_play_sound;
```

Remover o som criado pode ser deixado á cargo do nosso coletor de lixo, então geralmente não precisaremos de uma função de desalocação. Mas para o caso específico de um som ter sido lido fora de um loop principal, ou se o usuário realmente quiser, forneceremos uma função para isso:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
void _destroy_sound(struct sound *snd);
```

Seção: Som: Definições (continuação):

```
void _destroy_sound(struct sound *snd){
    // Desalocar um som envolve desalocar o seu dado sonoro (sua
    // variável _data) e desalocar a própria estrutura de som. Mas para
    // isso ocorrer, precisamos garantir que o som já tenha sido
    // carregado.
    while(snd -> loaded == false && W.pending_files > 0){
#ifdef W_MULTITHREAD
        sched_yield();
#elif W_TARGET == W_ELF
        {
            struct timespec tim;
            // Espera 0,001 segundo
            tim.tv_sec = 0;
            tim.tv_nsec = 1000000L;
            nanosleep(&tim, NULL);
        }
#elif W_TARGET == W_WEB
        return;
#endif
    }
    // Ok, podemos desalocar:
    alDeleteBuffers(1, &(snd -> _data));
    // Se estamos em um loop principal, removemos o buffer OpenAL da
    // lista de elementos que precisam ser desalocados depois. A função
    // _finalize_this é vista logo mais neste capítulo
    if(_running_loop)
        _finalize_this(&(snd -> _data), false);
    Wfree(snd);
}
```

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*destroy_sound)(struct sound *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.destroy_sound = &_amp;_destroy_sound;
```

9.5 - Finalizando Recursos Complexos

Nós temos também que desalocar o buffer alocado pelo OpenAL para cada som que inicializamos. O nosso coletor de lixo não tem como fazer isso, pois isso é memória que pertence ao

OpenAL, não à nossa API própria. Da mesma forma, caso tenhamos que fazer coisas como fechar arquivos abertos antes de sair do loop atual, o coletor de lixo também não poderá fazer isso automaticamente por nós. Teremos então que escrever código que nos ajude a gerenciar esses recursos mais complexos.

A ideia é que possamos criar uma lista encadeada que armazena em cada elemento um ponteiro genérico para `void *` e uma função sem retorno que recebe um ponteiro deste tipo e que será responsável por finalizar o recurso no momento em que sairmos de nosso loop atual.

Cada elemento desta lista terá então a forma:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#ifndef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_t _finalizing_mutex;
#endif
struct _finalize_element{
    void *data;
    void (*finalize)(void *);
    struct _finalize_element *prev, *next;
};
struct _finalize_element *_finalize_list[W_MAX_SUBLOOP];
```

A nossa lista no começo será inicializada como tendo valores iguais a `NULL` em todos os casos. O que representa uma lista encadeada vazia para nós:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_SUBLOOP; i++){
        _finalize_list[i] = NULL;
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_finalizing_mutex, NULL) != 0){
        fprintf(stderr, "ERROR (0): Can't initialize mutex.\n");
        exit(1);
    }
#endif
}
```

E no fim de nosso programa, só o que precisamos fazer é finalizar o mutex se for o caso:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
#ifndef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_destroy(&_finalizing_mutex);
#endif
```

Quando pedirmos para finalizar mais tarde algum recurso, nós chamaremos esta função que irá inserir na nossa lista encadeada um novo elemento:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _finalize_after(void *, void (*f)(void *));
```

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
void _finalize_after(void *data, void (*finalizer)(void *)){
    struct _finalize_element *el;
    if(!_running_loop)
        return;
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```

pthread_mutex_lock(&_finalizing_mutex);
#endif
el = (struct _finalize_element *) Walloc(sizeof(struct _finalize_element));
if(el == NULL){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory. Error in an internal "
        "operation. Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at "
        "conf/conf.h. Currently we won't be able to finalize some "
        "resource.\n");
}
else if(_finalize_list[_number_of_loops] == NULL){
    el -> data = data;
    el -> finalize = finalizer;
    el -> prev = el -> next = NULL;
    _finalize_list[_number_of_loops] = el;
}
else{
    el -> data = data;
    el -> finalize = finalizer;
    el -> prev = NULL;
    _finalize_list[_number_of_loops] -> prev = el;
    el -> next = _finalize_list[_number_of_loops];
    _finalize_list[_number_of_loops] = el;
}
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_unlock(&_finalizing_mutex);
#endif
}

```

Sempre que encerrarmos um loop teremos então que chamar a seguinte função:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _finalize_all(void);
```

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

void _finalize_all(void){
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_lock(&_finalizing_mutex);
#endif
    struct _finalize_element *p = _finalize_list[_number_of_loops];
    while(p != NULL){
        p -> finalize(p -> data);
        p = p -> next;
    }
    _finalize_list[_number_of_loops] = NULL;
#ifdef W_MULTITHREAD
pthread_mutex_unlock(&_finalizing_mutex);
#endif
}

```

Ela será chamada antes de entrarmos em um novo loop, mas não em subloop. E antes de sairmos de um subloop:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```
_finalize_all();
```

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```
_finalize_all();
```

E por último forneceremos uma função que remove um elemento da lista de elementos a serem finalizados. Isso será útil quando, por exemplo, nós chamamos manualmente uma função para desalocar um som. Nesse caso, podemos remover o seu buffer OpenAL da lista de coisas que precisam ser desalocadas depois:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _finalize_this(void *, bool);
```

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
void _finalize_this(void *data, bool remove){
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_finalizing_mutex);
#endif
    {
        struct _finalize_element *p = _finalize_list[_number_of_loops];
        while(p != NULL){
            if(p -> data == data){
                if(p -> prev != NULL)
                    p -> prev -> next = p -> next;
                else
                    _finalize_list[_number_of_loops] = p -> next;
                if(p -> next != NULL)
                    p -> next -> prev = p -> prev;
                if(remove)
                    Wfree(p);
                return;
            }
            p = p -> next;
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_finalizing_mutex);
#endif
}
```

9.6 - Sumário das variáveis e Funções de Som

- A seguinte nova estrutura foi definida:

```
struct sound {
    unsigned long size;
    int channels, freq, bitrate;
    bool loaded;
}
```

size : Representa o tamanho do áudio em bytes.
channels : Quantos canais de áudio existem neste som.
freq : A frequência do áudio lido.
bitrate : Quantos bits são usados para representar ele.

- `loaded` : Esta estrutura já possui um áudio completamente carregado da memória?
- As seguintes 2 novas variáveis foram definidas:
 - `int W.number_of_sound_devices` : O número de dispositivos de som que temos à nossa disposição.
 - `unsigned int W.pending_files` : O número de arquivos que estão sendo lidos, mas ainda não terminaram de ser processados. O valor será diferente de zero em um ambiente no qual os arquivos são lidos assincronamente, como no Emscripten.
 - `char *W.sound_device_name[W.number_of_sound_devices]` : O nome de cada um dos dispositivos de som que temos à nossa disposição.
 - As seguintes 4 novas funções foram definidas:
 - `bool W.select_sound_device(int sound_device)` : Escolhe um dos dispositivos de som disponíveis para usar. Para isso, passamos o índice de sua posição no vetor visto acima `W.sound_device_name` . Em seguida, retornamos um valor booleano que diz se a mudança foi feita com sucesso.
 - `int W.current_sound_device(void)` : Retorna o índice do dispositivo de som usado atualmente. Ou -1 se nenhum está sendo usado.
 - `struct sound *W.new_sound(char *filename)` : Cria uma nova estrutura de som representando um efeito sonoro no diretório `sound/`. Ou `NULL` se não foi possível ler corretamente um áudio.
 - `bool W.play_sound(struct sound *snd)` : Toca um som representado por uma estrutura de som. Em seguida retorna se foi possível tocar o som com sucesso.
 - `void W.destroy_sound(struct sound *snd)` : Desaloca a memória e os recursos alocados com a função `W.new_sound` .

Capítulo 10: Suporte a Gifs Animados

Um GIF é um formato de arquivos e uma abreviação para Graphics Interchange Format. É um formato bastante antigo criado em 1987 e que ainda hoje é bastante usado por sua capacidade de representar animações e de seu amplo suporte em navegadores de Internet.

O formato possui as suas limitações, pois o número máximo de cores que cada imagem pode ter é restrita a 256 cores (dependendo da imagem isso pode ser superando por meio de tabelas de cores locais). Cada cor pode ter até 24 bits diferentes e não é possível representar graus intermediários entre uma cor totalmente transparente e totalmente opaca.

Devido ao amplo uso de GIFs para representar animações, Weaver usará este formato como uma das formas possíveis de se representar animações. No passado, este foi um formato bastante polêmico devido às suas patentes que restringiam a implementação de softwares capazes de lidar com GIFs em certos países. Entretanto, atualmente todas as patentes relevantes do formato já expiraram.

A especificação mais recente do formato GIF é a 89a, criada em 1989 e que trouxe suporte à animações, embora elas originalmente não pudessem rodar para sempre em um loop. Em 1995, o Netscape criou uma pequena extensão que passou a permitir isso e essa extensão passou a ser amplamente suportada.

Vamos começar criando arquivos para armazenar o nosso código específico para o tratamento de GIFs:

Arquivo: project/src/weaver/gif.h:

```
#ifndef _gif_h_
#define _gif_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
    <Seção a ser Inserida: GIF: Declarações>
#ifdef __cplusplus
    }
#endif
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/gif.c:

```
#include "weaver.h"
//    <Seção a ser Inserida: GIF: Variáveis Estáticas>
    <Seção a ser Inserida: GIF: Funções Estáticas>
    <Seção a ser Inserida: GIF: Definições>
```

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include "gif.h"
```

10.1 - Interpretando um Arquivo GIF

A função que fará todo o trabalho será:

Seção: GIF: Declarações:

```
GLuint *_extract_gif(char *, unsigned *, unsigned **, int *, bool *);
```

Esta função irá retornar um array com identificadores de texturas OpenGL. Cada textura representa um frame da animação. Os argumentos que iremos passar para a função são: o nome do arquivo que contém a imagem GIF, e um monte de ponteiros para locais onde a função deverá

escrever informações sobre a imagem lida. Estas informações serão a o número de frames da animação, um array com a duração de cada frame em microssegundos, o número máximo de vezes que a animação deve ser repetida (-1 se ela deve se repetir infinitamente) e se ocorreu algum erro que impossibilitou carregar a imagem:

Seção: GIF: Definições:

```

GLuint *_extract_gif(char *filename, unsigned *number_of_frames,
                    unsigned **frame_duration,
                    int *max_repetition, bool *error){
    // Inicializando variáveis da função de extração
    bool global_color_table_flag = false, local_color_table_flag = false;
    bool interlace_flag = false;
    bool transparent_color_flag = false;
    unsigned local_color_table_size = 0, global_color_table_size = 0;
    unsigned long image_size;
    unsigned img_offset_x = 0, img_offset_y = 0, img_width = 0, img_height = 0;
    unsigned number_of_loops = 0;
    GLuint *returned_data = NULL;
    unsigned background_color, delay_time = 0;
    unsigned char transparency_index = 0;
    unsigned char *global_color_table = NULL;
    unsigned char *local_color_table = NULL;
    unsigned long width, height;
    int disposal_method = 0;
    struct _image_list *img = NULL;
    struct _image_list *last_img = NULL;
#ifdef W_MULTITHREAD
    GLXContext thread_context;
#endif
    *number_of_frames = 0;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("DEBUG: Opening GIF file %s.\n", filename);
#endif
    // Abrindo o arquivo da imagem
    FILE *fp = fopen(filename, "r");
    *error = false;
    if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_MULTITHREAD)
        _iWbreakpoint();
    #endif
    // Como trataremos erros:
    if(fp == NULL){
        fprintf(stderr, "ERROR: Can't open file %s.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    <Seção a ser Inserida: Interpretando Arquivo GIF>
    <Seção a ser Inserida: GIF: Gerando Imagem Final>
    // Se chegamos aqui, tudo correu bem. Só encerrarmos e retornarmos.
    goto end_of_gif;
error_gif:
    // Código executado apenas em caso de erro
#ifdef W_DEBUG_GIF

```

```

    printf("DEBUG: Image %s had errors.\n", filename);
#endif
    *error = true;
    returned_data = NULL;
end_of_gif:
    // Código de encerramento
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("DEBUG: Exiting image %s.\n", filename);
#endif
    if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_MULTITHREAD)
        fclose(fp);
        _iWtrash();
    #else
        <Seção a ser Inserida: Encerrando Arquivo GIF>
    #endif
    return returned_data;
}

```

Como nós abrimos logo acima um arquivo GIF, no encerramento teremos que fechá-lo:

Seção: Encerrando Arquivo GIF:

```
if(fp != NULL) fclose(fp);
```

A primeira coisa que estará presente em um arquivo GIF será o seu cabeçalho. Que nada mais é do que três bytes com a string “GIF” mais três bytes com a versão do formato usada. Existem duas versões existentes. A mais antiga “87a”, que foi a especificação original que não suportava animações e transparência e a “89a” que passou a suportar estas coisas.

Seção: Interpretando Arquivo GIF:

```

{
    char data[4];
    size_t size_t_ret;
    size_t_ret = fread(data, 1, 3, fp);
    data[3] = '\0';
    if(strcmp(data, "GIF") || size_t_ret != 3){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not a GIF file: %s\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    size_t_ret = fread(data, 1, 3, fp);
    data[3] = '\0';
    if((strcmp(data, "87a") && strcmp(data, "89a")) || size_t_ret != 3){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not supported GIF version: %s\n", filename);
        goto error_gif;
    }
}
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("DEBUG: %s: GIF version: %s.\n", filename, data);
#endif
}

```

Depois do bloco de cabeçalho, vem o chamado “descriptor de tela lógica”. Isso porque uma imagem GIF foi feita para representar uma área de pintura na qual pode-se colocar várias imagens presentes em um mesmo arquivo. A tela lógica é essa tela de pintura. Neste bloco encontraremos informações sobre o tamanho da tela lógica (basicamente o tamanho final da nossa imagem), a cor de fundo desta tela lógica (que cor usar em regiões não-desenhadas) e a proporção entre altura e

largura dos pixels que formam a imagem (ignorado pelos softwares atuais). Por fim, também há algumas flags com informações adicionais.

Seção: Interpretando Arquivo GIF (continuação):

```
{
    // Primeiro lemos a largura da imagem, a informação está presente nos
    // próximos 2 bytes (largura máxima: 65535 pixels)
    unsigned char data[2];
    size_t size_t_ret;
    bool read_error = false;
    size_t_ret = fread(data, 1, 2, fp);
    if(size_t_ret != 2)
        read_error = true;
    width = ((unsigned long) data[1]) * 256 + ((unsigned long) data[0]);
    // Agora lemos a altura da imagem nos próximos 2 bytes (tamanho
    // máximo: 65535 pixels)
    size_t_ret = fread(data, 1, 2, fp);
    if(size_t_ret != 2)
        read_error = true;
    height = ((unsigned long) data[1]) * 256 + ((unsigned long) data[0]);
    image_size = (width) * (height);
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("DEBUG: %s: Image size: %ld x %ld.\n", filename, width, height);
#endif
    // Lemos o próximo byte de onde extraímos informações sobre algumas
    // flags:
    size_t_ret = fread(data, 1, 1, fp);
    if(size_t_ret != 1)
        read_error = true;
    // Temos uma tabela de cores global?
    global_color_table_flag = (data[0] & 128);
    // O tamanho da tabela de cores caso ela exista é definido por este
    // procedimento:
    global_color_table_size = data[0] % 8;
    global_color_table_size = 3 * (1 << (global_color_table_size + 1));
    // Lemos a cor de fundo de nosso GIF
    size_t_ret = fread(&background_color, 1, 1, fp);
    if(size_t_ret != 1)
        read_error = true;
    // Lemos e ignoramos a proporção de altura e largura de pixel
    size_t_ret = fread(data, 1, 1, fp);
    if(size_t_ret != 1)
        read_error = true;
    if(read_error){
        read_error = true;
    }
}
```

Agora o próximo passo é que se a imagem possui uma tabela de cores global, nós devemos lê-la agora.

Seção: Interpretando Arquivo GIF (continuação):

```

if(global_color_table_flag){
    global_color_table = (unsigned char *) _iWalloc(global_color_table_size);
    if(global_color_table == NULL){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not enough memory to read image. Please, increase "
            "the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n");
        goto error_gif;
    }
    // E agora lemos a tabela global de cores:
    if(fread(global_color_table, 1, global_color_table_size, fp) !=
        global_color_table_size){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
}
#ifdef W_DEBUG_GIF
{
    unsigned int i, aux, line = -1;
    aux = background_color % 10;
    printf("DEBUG: %s: Global Color Table:\n", filename);
    for(i = 0; i < aux; i++) printf(" ");
    printf("( background )");
    aux = background_color / 10;
    for(i = 0; i < global_color_table_size; i += 3){
        if(!(i % 30)){
            if(line == aux) printf("( background )");
            printf("\n");
            line++;
        }
        printf("(%3d, %3d, %3d)", global_color_table[i], global_color_table[i + 1],
            global_color_table[i + 2]);
    }
    printf("\n");
}
#endif
}

```

Além de uma tabela de cores global, podemos estar também com uma local. De qualquer forma, no fim da função teremos que desalocar ambas:

Seção: Encerrando Arquivo GIF:

```

if(local_color_table != NULL) Wfree(local_color_table);
if(global_color_table != NULL) Wfree(global_color_table);

```

Agora a ideia é que sigamos lendo os próximos blocos. Os tipos de blocos que poderemos encontrar são: descritores de imagem (o próximo byte é 44), extensões (o próximo byte é 33) ou um marcador de fim dos dados (o próximo byte é 59). Vamos agora ler vários blocos em sequência, até que cheguemos no bloco que marca o fim de dados:

Seção: Interpretando Arquivo GIF (continuação):

```

{
    unsigned block_type;
    unsigned char data[2];
    size_t size_t_ret;
#ifdef W_DEBUG_GIF

```

```

printf("DEBUG: %s: File Blocks: \n", filename);
#endif
size_t_ret = fread(data, 1, 1, fp);
if(size_t_ret != 1){
    fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
    goto error_gif;
}
block_type = data[0];
while(block_type != 59){
    switch(block_type){
        case 33: // Bloco de extensão
            <Seção a ser Inserida: GIF: Bloco de Extensão>
            break;
        case 44: // Bloco de descritor de imagem
            <Seção a ser Inserida: GIF: Bloco Descritor de Imagem>
            break;
        default: // Erro: Lemos um tipo desconhecido de bloco
            fprintf(stderr, "WARNING: Couldn't interpret GIF file %s. Invalid block "
                "%u.\n", filename, block_type);
            goto error_gif;
    }
    // Terminamos este bloco, lendo o próximo:
    size_t_ret = fread(data, 1, 1, fp);
    if(size_t_ret != 1){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    block_type = data[0];
}
}

```

Primeiro vamos para o caso no qual estamos diante de um bloco de extensão. Eles possuem informações para comportamentos e informações não previstas na especificação original, mas que foram adicionadas a partir de 1989.

Existem ao todo 4 tipos diferentes de extensão. Sabemos qual tipo temos após ler o próximo byte do nosso GIF. Elas são: extensão de controle de gráficos (byte 249, informação sobre transparência e animação), extensão de comentário (byte 254, serve para inserir na imagem comentários que podem conter coisas que ignoraremos como a autoria da imagem, copyright, etc), extensão de texto puro (byte 1, hoje em dia é obsoleta) e extensão de aplicação (byte 255, GIFs animados usam isso para definir quantas iterações terá a animação):

Seção: GIF: Bloco de Extensão:

```

{
    unsigned extension_type;
    if(fread(data, 1, 1, fp) != 1){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read E .\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    extension_type = (unsigned) data[0];
    switch(extension_type){
        case 1: // Texto puro
            <Seção a ser Inserida: GIF: Extensão de Texto Puro>

```

```

    break;
case 249: // Controle de gráficos
    <Seção a ser Inserida: GIF: Extensão de Controle de Gráficos>
    break;
case 254: // Comentário
    <Seção a ser Inserida: GIF: Extensão de Comentário>
    break;
case 255: // Aplicação
    <Seção a ser Inserida: GIF: Extensão de Aplicação>
    break;
default:
    fprintf(stderr, "WARNING: Couldn't interpret GIF file %s. Invalid extension "
        "block (%d).\n", filename, extension_type);
    goto error_gif;
}
}

```

A Extensão de Texto Puro serve para armazenar conteúdo de texto dentro de um GIF que deveria ser renderizado como parte da imagem usando algum tipo de fonte a ser definida pela aplicação. Ele suporta apenas texto expresso nos 128 caracteres ASCII originais.

Felizmente esta extensão foi considerada arcaica e descontinuada em outubro de 1998. Desde então, a recomendação é que novos criadores de imagem GIF não usem esta extensão e que os leitores de imagens GIF ignorem ela. Mesmo antes de ter sido descontinuada, esta era uma extensão extremamente rara de ser usada, a ponto de haver um questionamento se algum software já implementou ela.

O que faremos quando encontramos esta extensão será seguir a recomendação e ignorá-la:

Seção: GIF: Extensão de Texto Puro:

```

{
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("    [Extension: Text (deprecated block)]\n");
#endif
    // Primeiro jogamos fora os próximos 15 bytes que descrevem
    // informações gerais sobre esta extensão:
    unsigned char buffer[256];
    bool read_error = false;
    if(fread(buffer, 1, 15, fp) != 15){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    // Agora jogamos fora os sub-blocos de dados. Cada um deles começa
    // com um byte que diz a quantidade de dados que o sucede. E quando
    // encontrarmos um deles cujo byte inicial é zero, então terminamos
    // de jogar todos eles fora:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    while(buffer[0] != 0){
        if(fread(buffer, 1, buffer[0], fp) != buffer[0])
            read_error = true;
        if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)

```



```

        read_error = true;
    }
    if(read_error){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    <Seção a ser Inserida: GIF: Após Extensão de Texto Puro>
}

```

A Extensão de Aplicação é usada para armazenar informações específicas a determinada aplicação. Geralmente seria algo a ser ignorado. Entretanto, o Netscape 2.0 acabou usando certa vez este bloco para armazenar quantas vezes um GIF animado deveria repetir a sua animação, com um valor de 0 significando que o GIF deveria repetir para sempre a animação.

Foi isso que deu ao Netscape a capacidade de pela primeira vez usar GIFs animados como loops infinitos de animação, que ainda hoje é como eles são mais usados.

Sendo assim, ao encontrarmos uma extensão de aplicação, nós temos que checar se estamos diante de uma extensão do Netscape 2.0. Em caso afirmativo, a informação nos interessa e lemos da extensão o número de vezes que a nossa animação deve entrar em loop. Em caso negativo, nós apenas ignoramos os dados:

Seção: GIF: Extensão de Aplicação:

```

{
    bool read_error = false;
    bool netscape_extension = false;
    char buffer[12];
    unsigned char buffer2[256];
    // O primeiro byte é só informação sobre o tamanho do cabeçalho
    // deste bloco de extensão. Seu valor é sempre 11, então não
    // precisamos realmente usar este valor:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1){
        read_error = true;
    }
    // Em seguida, devemos ler os próximos 11 bytes para checar se
    // estamos diante de uma extensão do Netscape 2.0.
    if(fread(buffer, 1, 11, fp) != 11){
        read_error = true;
    }
    buffer[11] = '\0';
    if(!strcmp(buffer, "NETSCAPE2.0"))
        netscape_extension = true;
    // Agora vamos ver os dados que estão dentro desta extensão
    if(fread(buffer2, 1, 1, fp) != 1){
        read_error = true;
    }
    while(buffer2[0] != 0){
        int test;
        if((test = fread(buffer2, 1, buffer2[0], fp)) != buffer2[0]){
            read_error = true;
        }
        if(netscape_extension && buffer2[0] == 1){
            // Lemos agora quantas vezes temos que dar um loop na animação:
            number_of_loops = ((unsigned) buffer2[2]) * 256 + ((unsigned) buffer2[1]);
        }
    }
}

```

```

    }
    if(fread(buffer2, 1, 1, fp) != 1){
        read_error = true;
    }
}

if(read_error){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 3
    fprintf(stderr, "WARNING: fread should be checked in "
        "Application Extension.\n");
#endif
}

#ifdef W_DEBUG_GIF
    if(netscape_extension)
        printf("    [Extension: Application (animated gif)]\n");
    else
        printf("    [Extension: Application (unknown)]\n");
#endif
}

```

A terceira extensão que vamos suportar agora é a extensão de comentários. Esta extensão não altera em nada a exibição de uma imagem GIF. É apenas uma extensão reservada para armazenar informações sobre autoria, descrição e licenciamento de imagens. Portanto, será um campo que iremos simplesmente ignorar da mesma forma que ignoramos a extensão de texto puro:

Seção: GIF: Extensão de Comentário:

```

{
    unsigned char buffer[256];
    bool read_error = false;
    unsigned int size;
    if(fread(&size, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("    [Extension: Comment (");
#endif
    while(buffer[0] != 0){
        if(fread(buffer, 1, size, fp) != size)
            read_error = true;
#ifdef W_DEBUG_GIF
        {
            unsigned int i;
            for(i = 0; i < size; i++)
                printf("%c", buffer[i]);
        }
#endif
        if(fread(&size, 1, 1, fp) != 1)
            read_error = true;
    }
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf(")]\n");
#endif
    if(read_error){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read. J\n", filename);
    }
}

```

```

    goto error_gif;
}
}

```

E enfim chegamos a uma extensão mais interessante. A extensão de controle de gráficos. Esta extensão define informações sobre transparência e animação caso estejamos lidando com um GIF que tenha tais recursos:

Seção: GIF: Extensão de Controle de Gráficos:

```

{
    bool read_error = false;
    // Primeiro lemos o tamanho do cabeçalho deste bloco. Mas ele sempre
    // tem o tamanho de 4, então podemos ignorar o valor lido por já
    // sabermos qual é ele:
    unsigned char buffer[256];
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("    [Extension: Graphic Control (");
#endif
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    // No próximo byte lido, temos mais informações que geralmente são
    // ignoradas em softwares modernos. Por exemplo, há um bit que
    // especifica que o GIF não deve avançar a animação enquanto não
    // houver algum tipo de interação com o usuário pedindo por
    // isso. Alguns outros bits estão reservados para uso futuro. Mas há
    // dois valores que nos interessam e que devemos extrair:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    // Primeiro é o "método de disposição", que é o que deve acontecer
    // nas animações quando um frame mostra um pixel que seria
    // transparente ou deixa de preencher uma região. O valor de 0 e não
    // especificado e geralmente é encontrado em gifs não-animados. O
    // valor de 1 diz que deve-se repetir nestas regiões o que havia no
    // frame anterior. Um valor de 2 significa que deve-se preencher o
    // pixel com a cor de fundo do GIF. E um 3 deixa o pixel
    // verdadeiramente transparente.
    disposal_method = (buffer[0] >> 2) % 8;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("Disposal Method: ");
    switch(disposal_method){
    case 0:
        printf("Not specified, ");
        break;
    case 1:
        printf("Draw on top, ");
        break;
    case 2:
        printf("Restore background, ");
        break;
    case 3:
        printf("Restore previous, ");

```

```

        break;
    }
#endif
    // Agora descobrimos se iremos suportar transparência
    transparent_color_flag = buffer[0] % 2;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    if(transparent_color_flag)
        printf("Transparency: ON, ");
    else
        printf("Transparency: OFF, ");
#endif
    // Agora lemos quantos centesimos de segundo devemos esperar em cada
    // mudança do frame de uma animação:
    if(fread(buffer, 1, 2, fp) != 2)
        read_error = true;
    delay_time = ((unsigned) buffer[1]) * 256 + ((unsigned) buffer[0]);
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("Delay: %dcs, ", delay_time);
#endif
    // Se a flag de transparência estiver ativa, o valor que lemos em
    // seguida é o índice da cor que devemos considerar transparente:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    transparency_index = buffer[0];
#ifdef W_DEBUG_GIF
    if(!transparent_color_flag)
        printf("Transparent Color: Not applicable");
    else if(!local_color_table_flag)
        printf("Transparent Color: (index %d: %3d, %3d, %3d)",
            transparency_index,
            global_color_table[transparency_index * 3],
            global_color_table[transparency_index * 3 + 1],
            global_color_table[transparency_index * 3 + 2]);
    else
        printf("Transparent Color: Local color");
#endif
    // Este bloco nunca tem mais nenhum dado. Fazemos mais uma leitura
    // adicional só para ler o último byte com valor zero e que encerra
    // o bloco:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    if(read_error){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf(")]\n");
#endif
}

```

Em suma, a extensão de controle de gráficos permite a nós obtermos os valores das nossas variáveis `disposal_method`, `transparent_color_flag`, `delay_time` e `transparency_index`. Mas tais informações são sempre locais a uma dada imagem que é lida em seguida. E não só imagem. Se existir uma extensão de texto puro em seguida desta extensão de controle de gráficos, esses dados valem só para ele. Então, após lermos uma extensão de texto puro temos que reinicializar os valores:

Seção: GIF: Após Extensão de Texto Puro:

```
{
    disposal_method = 0;
    transparent_color_flag = false;
    delay_time = 0;
    transparency_index = 0;
}
```

Mas a extensão de texto puro é algo raro, que é improvável que encontremos pela frente. O que provavelmente encontraremos logo após uma extensão de controle de gráficos (e talvez sem a presença de um controle de gráficos) é um descritor de imagem. Um arquivo GIF pode ter várias imagens e cada uma delas terá o seu descritor. Geralmente em um GIF animado cada frame da animação é uma imagem. Assim começamos a ler um descritor de imagem (que talvez devesse ser chamada de descritor de um frame da imagem):

Seção: GIF: Bloco Descritor de Imagem:

```
{
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("    [Image Descriptor (");
#endif
    bool read_error = false;
    int lzw_minimum_code_size;
    // Lendo o offset horizontal da imagem:
    unsigned char buffer[257];
    if(fread(buffer, 1, 2, fp) != 2)
        read_error = true;
    img_offset_x = ((unsigned) buffer[1]) * 256 + ((unsigned) buffer[0]);
    // Offset vertical da imagem:
    if(fread(buffer, 1, 2, fp) != 2)
        read_error = true;
    img_offset_y = ((unsigned) buffer[1]) * 256 + ((unsigned) buffer[0]);
    // Largura da imagem:
    if(fread(buffer, 1, 2, fp) != 2)
        read_error = true;
    img_width = ((unsigned) buffer[1]) * 256 + ((unsigned) buffer[0]);
    // Altura da imagem:
    if(fread(buffer, 1, 2, fp) != 2)
        read_error = true;
    img_height = ((unsigned) buffer[1]) * 256 + ((unsigned) buffer[0]);
    // E agora preenchemos as informações sobre a imagem obtidas no
    // próximo byte:
#ifdef W_DEBUG_GIF
    printf("Position: %dx%d+%d+%d, ", img_width, img_height, img_offset_x,
        img_offset_y);
#endif
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
```

```

    read_error = true;
    // Se as linhas estão armazenadas 'entrelaçadas' (para serem
    // exibidas mais rapidamente ao serem transmitidas por conexões
    // lentas):
    interlace_flag = (buffer[0] >> 6) % 2;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    if(interlace_flag)
        printf("Interlace: ON, ");
    else
        printf("Interlace: OFF, ");
#endif
    // O tamanho da tabela de cores local (se existir):
    local_color_table_size = buffer[0] % 8;
    local_color_table_size = 3 * (1 << (local_color_table_size + 1));
    // Se temos uma tabela de cores local ou devemos usar a global:
    local_color_table_flag = buffer[0] >> 7;
#ifdef W_DEBUG_GIF
    if(local_color_table_flag)
        printf("Color Table: Local)\n");
    else
        printf("Color Table: Global)\n");
#endif
    if(read_error){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read M.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    // Se temos tabela de cores local, lemos ela:
    if(local_color_table_flag){
        <Seção a ser Inserida: GIF: Tabela de Cor Local>
    }
    <Seção a ser Inserida: GIF: Dados de Imagem>
}

```

No caso da imagem possuir uma tabela de cores local, ela é armazenada de forma idêntica à tabela de cores global. Como já sabemos o tamanho dela, basta lermos ela diretamente:

Seção: GIF: Tabela de Cor Local:

```

{
    local_color_table = (unsigned char *) _iWalloc(local_color_table_size);
    if(local_color_table == NULL){
        fprintf(stderr, "WARNING: Not enough memory to read image. Please, increase "
            "the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n");
        goto error_gif;
    }
    // E agora lemos a tabela local de cores:
    if(fread(local_color_table, 1, local_color_table_size, fp) !=
        local_color_table_size){
        fprintf(stderr, "WARNING: File %s couldn't be read N.\n", filename);
        goto error_gif;
    }
}
}

```

E por fim chegamos ao trecho principal: o bloco onde estão armazenados os dados da imagem propriamente dita (ou do frame de uma animação):

Seção: GIF: Dados de Imagem:

```
{
    int buffer_size;
    <Seção a ser Inserida: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas>
    // Lemos quantos bits cada código do algoritmo LZW tem. Cada código
    // representa uma sequência de 1 a 4091 cores e eles são como as
    // informações de cada pixel está armazenado no arquivo GIF. 0
    // tamanho mínimo varia entre 2 bits e 8 bits. Se nossa tabela de
    // cores for muito pequena, dá para representar com menos bits suas
    // entradas, então o valor de bits será menor. Já se ela tiver 256
    // cores, aí precisaremos de 8 bits:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    lzw_minimum_code_size = buffer[0];
    <Seção a ser Inserida: GIF: Inicializando Nova Imagem>
    // Leitura típica de dados em um GIF. Lemos uma série de dados onde
    // o primeiro byte representa a sequência de dados e um 0 significa
    // o fim dos dados:
    if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
        read_error = true;
    while(buffer[0] != 0){
        buffer_size = buffer[0];
        buffer[buffer_size] = '\0';
        if(fread(buffer, 1, buffer[0], fp) != buffer[0])
            read_error = true;
        // E aqui lemos os códigos segundo o algoritmo LZW:
        <Seção a ser Inserida: GIF: Interpretando Imagem>
        if(fread(buffer, 1, 1, fp) != 1)
            read_error = true;
    }
    if(read_error){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 3
        fprintf(stderr, "WARNING: fread should be checked in "
            "Image Data.\n");
#endif
    }
    <Seção a ser Inserida: GIF: Finalizando Nova Imagem>
    // Depois de lermos uma imagem, os valores ajustados pelo controle
    // de gráficos devem ser reinicializados novamente:
    disposal_method = 0;
    transparent_color_flag = false;
    delay_time = 0;
    transparency_index = 0;
}
```

E agora chegamos ao momento em que teremos que implementar o algoritmo de descompressão LempelZivWelch (LZW). O malfadado algoritmo que apesar de ser interessante, no passado era patenteado e isso fez com que ele não pudesse ser livremente usado em vários países. Atualmente suas patentes já expiraram, então podemos usá-lo sem medo das polêmicas.

Bom, antes de mais nada vamos alocar o espaço para a nossa imagem, uma vez que já sabemos o tamanho dela. Vamos fazer isso na inicialização da imagem. Mas é importante lembrar que talvez não tenhamos apenas uma imagem. Um GIF animado pode ter várias delas. Sendo assim, vamos definir uma estrutura de dados que será basicamente uma lista encadeada de imagens. Nos GIFs animados, haverá uma para cada frame:

Seção: GIF: Declarações (continuação):

```
struct _image_list{
    unsigned char *rgba_image; // Os pixels
    unsigned delay_time; // Em imagens animadas a duração do frame
    unsigned x_offset, y_offset, width, height; // Tamanho e offset
    int disposal_method; // Como devemos tratar pixels transparentes no
                        // próximo frame
    struct _image_list *next, *prev; // Lista duplamente encadeada
};
```

Desalocar a lista de imagens, dado o seu último elemento pode ser feito com:

Seção: GIF: Funções Estáticas:

```
#if W_TARGET != W_ELF || defined(W_MULTITHREAD)
static void free_img_list(struct _image_list *last){
    struct _image_list *p = last, *tmp;
    while(p != NULL){
        Wfree(p -> rgba_image);
        tmp = p;
        p = p -> prev;
        Wfree(tmp);
    }
}
#endif
```

E toda vez que formos ler uma nova imagem no nosso arquivo GIF, aumentamos o tamanho de nossa lista e atualizamos os ponteiros para a última imagem da lista:

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem:

```
{
    struct _image_list *new_image;
    // Cada nova imagem será tratada como um novo frame:
    *number_of_frames = (*number_of_frames) + 1;
    // Se nós não temos uma tabela de cores, isso é um erro. Vamos parar
    // agora mesmo.
    if(!local_color_table_flag && !global_color_table_flag){
        fprintf(stderr, "WARNING: GIF image without a color table: %s\n", filename);
        goto error_gif;
    }
    // Alocamos e inicializamos a imagem na nossa lista de imagem:
    new_image = (struct _image_list *) _iWalloc(sizeof(struct _image_list));
    if(new_image == NULL){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "
            "Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
            filename);
        goto error_gif;
    }
    new_image -> prev = new_image -> next = NULL;
```



```

new_image -> x_offset = img_offset_x;
new_image -> y_offset = img_offset_y;
new_image -> width = img_width;
new_image -> height = img_height;
new_image -> disposal_method = disposal_method;
new_image -> rgba_image = (unsigned char *) _iWalloc(img_width *
                                                    img_height * 4);
if(new_image -> rgba_image == NULL){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "
        "Please, increase the value of W_INTERNAL_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
    goto error_gif;
}
if(img == NULL){
    img = new_image;
    last_img = img;
}
else{
    last_img -> next = new_image;
    new_image -> prev = last_img;
    last_img = new_image;
}
last_img -> delay_time = delay_time * 10000;
// Se a nossa imagem não ocupa todo o canvas, vamos inicializar
// todos os valores com a cor de fundo do canvas, já que há regiões
// nas quais nossa imagem não irá estar.
if(img_offset_x != 0 || img_offset_y != 0 || img_width != width ||
    img_height != height){
    unsigned long i;
    unsigned long size = width * height;
    // Se temos uma tabela local, usamos ela, mas tomamos o cuidado
    // para não ler fora da tabela de cores mesmo que a imagem tenha
    // um valor inválido de cor de fundo
    for(i = 0; i < size; i += 4){
        if(local_color_table_flag && background_color < local_color_table_size){
            new_image -> rgba_image[4 * i] = local_color_table[3 * background_color];
            new_image -> rgba_image[4 * i + 1] =
                local_color_table[3 * background_color + 1];
            new_image -> rgba_image[4 * i + 2] =
                local_color_table[3 * background_color + 2];
            new_image -> rgba_image[4 * i + 3] = 255;
        }
        // Se não, usamos a tabela de cores global.
        else if(background_color < global_color_table_size){
            new_image -> rgba_image[4 * i] =
                global_color_table[3 * background_color];
            new_image -> rgba_image[4 * i + 1] =
                global_color_table[3 * background_color + 1];
            new_image -> rgba_image[4 * i + 2] =

```

```

        global_color_table[3 * background_color + 2];
        new_image -> rgba_image[4 * i + 3] = 255;
    }
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    // Em modo de depuração, nós avisamos quando a imagem tem um
    // valor inválido. Pode ser bom avisar, pois softwares menos
    // robustos podem ser vítimas de um buffer overflow ou falha de
    // segmentação com a imagem:
    else{
        fprintf(stderr, "WARNING: Image has invalid background color: %s.\n",
            filename);
    }
#endif
    }
}
}
}

```

Agora durante o encerramento temos que desalocar a memória ocupada pela nossa lista de imagens:

Seção: Encerrando Arquivo GIF:

```

if(img != NULL)
    free_img_list(last_img);

```

Vamos agora ler os códigos LZW da imagem. Iremos representá-los neste texto pelo seu valor numérico prefixado por um “#”. Sendo assim, poderemos encontrar os códigos “#0”, “#1”, “#2”, até o “#4095” que é o maior código permitido dentro de um GIF. Cada um destes códigos precisa ser consultado em uma tabela de códigos e nela obteremos o valor de um ou mais índices em nossa tabela de cores. Cada código pode representar um índice ou então uma sequência de índices.

Então para interpretarmos uma imagem, fazemos a seguinte transformação:

Código LZW -> Sequência de Índices na Tabela de Cores -> Sequência de Cores

Entretanto, nós começamos sem uma tabela de códigos e o interessante da compressão e descompressão de dados usando o algoritmo LZW é que não é preciso inserir tal tabela junto com os dados compactados. À medida que vamos lendo os dados compactados, somos também capazes de deduzir qual a tabela de código usado pelo programa que comprimiu os dados.

Para começar a preencher a tabela de códigos, nós primeiro precisamos saber quantas posições tem a nossa tabela de cores. A primeira posição da tabela de códigos, representada pelo código #0 representa a posição 0 na tabela de cores. A segunda posição, dada pelo código #1 é a segunda posição na tabela de cores. E assim por diante. Sabemos que a tabela de cores pode ter 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 ou 256 posições diferentes. Estas posições iniciais, nós não precisamos nunca inicializar ou ler, já que seus valores nunca mudam.

Nossa tabela de códigos é então esta:

Seção: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas:

```

unsigned char *code_table[4096];
int code_table_size[4096]; // 0 tamanho de cada valor armazenado em cada código
unsigned last_value_in_code_table;

```

Mas o número de posições iniciais da nossa tabela que já começarão inicializadas na verdade não depende do tamanho de nossa tabela de cores, mas sim da variável `lzw_minimum_code_size`. Essa variável é lida no começo do bloco da imagem no arquivo GIF e pode legalmente ter 7 valores diferentes: 2, 3, 4, 5, 6, 7 ou 8. Um valor diferente disso é inválido:

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem (continuação):

```

{
    if(lzw_minimum_code_size < 2 || lzw_minimum_code_size > 8){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Invalid GIF file %s. Not allowed LZW Minimim "

```

```

        " code size.\n", filename);
    goto error_gif;
}
}

```

O valor nesta variável nos diz quantos valores da nossa tabela de códigos deve já começar inicializada e sempre deve se manter inicializada:

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem (continuação):

```

{
    unsigned i;
    last_value_in_code_table = (1 << lzw_minimum_code_size) - 1;
    for(i = 0; i <= last_value_in_code_table; i++){
        code_table[i] = NULL;
        code_table_size[i] = 1;
    }
}

```

Depois destes valores, sempre colocamos dois valores a mais na tabela de código. Um deles é o chamado “clear code”. É um código que representa uma instrução de que devemos esvaziar a tabela deixando ela com o mínimo de valores possível (somente os valores iniciais que inicializamos acima mais os dois que estamos definindo agora). O próximo é o “end of information code”, que representa o fato de termos chegado ao fim da imagem (se encontramos este código ou não, iremos armazenar em uma variável booleana).

Seção: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas (continuação):

```

    unsigned clear_code, end_of_information_code;
    bool end_of_image = false;

```

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem (continuação):

```

{
    clear_code = last_value_in_code_table + 1;
    end_of_information_code = last_value_in_code_table + 2;
    last_value_in_code_table = end_of_information_code;
    code_table[clear_code] = NULL;
    code_table_size[clear_code] = 0;
    code_table[end_of_information_code] = NULL;
    code_table_size[end_of_information_code] = 0;
}

```

Agora vamos ter que ler os códigos que estão armazenados no GIF. Para cada código que lemos, pode ser que tenhamos que inserir mais coisas na tabela de códigos, ou mesmo pode ser que tenhamos que esvaziá-la. Nós também temos que ler sempre a menor quantidade de bits capaz de armazenar o maior número que pode ser lido. No começo, nós sempre lemos um número de bits igual a `lzw_minimum_code_size` mais 1. Assim podemos encontrar qualquer código do #0 até o código de fim da imagem. À medida que nossa tabela ficar maior, o número de bits que lemos vai crescer, até o limite de 12 bits. O número de bits que devemos ler vai ser armazenado na seguinte variável:

Seção: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas (continuação):

```

int bits;

```

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem (continuação):

```

{
    bits = lzw_minimum_code_size + 1;
}

```

O fato de não lermos bytes, mas uma quantidade variável de bits da entrada faz com que tenhamos que tomar cuidado na leitura dos dados. Nós sempre colocamos os dados a serem lidos em um buffer que é na verdade uma string. Então, ao lermos tal buffer, temos que manter duas variáveis. A primeira conta em qual byte devemos continuar a nossa leitura do buffer. E a segunda de qual bit dentro deste byte nós devemos continuar:

Seção: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas (continuação):

```
int byte_offset = 0, bit_offset = 0;
unsigned code = 0, previous_code;
// Essa variável vai nos ajudar caso uma parte dos bits de nosso
// código esteja no buffer atual e a outra parte no buffer que ainda
// está para ser lido:
bool incomplete_code = false;
// E isso nos quantos pixels já foram lidos:
unsigned long pixel = 0;
// Se estamos no primeiro pixel de um bufer:
bool first_pixel = true;
```

E a leitura do buffer para obter a cada iteração um código LZW funciona assim:

Seção: GIF: Interpretando Imagem:

```
byte_offset = 0;
// Ao começar a ler um novo buffer, o offset de bits do primeiro pixel
// será zero. A menos que temos um valor que foi lido no buffer
// anterior, mas não foi terminado porque o seu fim está neste
// buffer. Para sinalizar isso, ajustamos o offset para um valor
// negativo e por isso não devemos apagar esta informação
// reiniciando o offset de bits para zero:
if(!incomplete_code){
    bit_offset = 0;
}
// O loop que lê o buffer atual extraindo dele os códigos LZW:
while(byte_offset < buffer_size && !end_of_image && pixel < image_size){
    // Primeiro cuidamos do caso problemático de quando começamos agora
    // a ler um buffer, mas não terminamos de ler o valor do buffer
    // anterior:
    if(incomplete_code){
        incomplete_code = false;
        // Quantos bits ainda precisam ser lidos para terminar a leitura:
        int still_need_to_read = bits + bit_offset;
        unsigned tmp;
        // Sabemos que já lemos -(bit_offset) bits quando
        // temos que ler 'bits'.
        if(still_need_to_read <= 8){
            // Temos só mais um byte pra ler e terminar a leitura. Primeiro
            // jogamos fora os bits que fazem parte do próximo código, não
            // do atual:
            tmp = ((unsigned char) (buffer[0] << (8 - still_need_to_read)));
            // A juntamos o que restou com o que já foi lido:
            if(still_need_to_read - bit_offset <= 8)
                code += (tmp >> (8 - still_need_to_read + bit_offset));
            else
```

```

        code += (tmp << (still_need_to_read - bit_offset - 8));
        byte_offset += (bits + bit_offset) / 8;
        bit_offset = (bits + bit_offset) % 8;
    }
    else{
        // Temos que ler mais de um byte. Começamos lendo o primeiro
        // byte inteiro:
        code += buffer[byte_offset] << (-bit_offset);
        // E agora no próximo começamos removendo as partes que não
        // precisamos ainda:
        tmp = ((unsigned char) (buffer[byte_offset + 1] <<
                                (16 - still_need_to_read)));
        tmp = tmp >> (16 - still_need_to_read);
        // E adicionamos ao código:
        code += tmp << (8 - bit_offset);
        byte_offset += (bits + bit_offset) / 8;
        bit_offset = (bits + bit_offset) % 8;
    }
}

// A condição abaixo é para que sejamos capazes de fazer a leitura
// completa neste buffer. Se ela não estiver presente, então temos
// que fazer uma leitura cujo começo está neste buffer e o restante
// no próximo:
else if(bit_offset + bits <= 8 * (buffer_size - byte_offset)){
    // O que temos que ler está tudo no mesmo byte. O caso mais fácil.
    if(bit_offset + bits <= 8){
        // Jogamos fora o que já foi lido:
        code = (buffer[byte_offset] >> bit_offset);
        // Jogamos fora o que não precisamos ler ainda:
        code = (unsigned) ((unsigned char) (code << (8 - bits)));
        // E corrigimos a posição dos bits:
        code = code >> (8 - bits);
    }
    // Agora a condição no que o que temos para ler está nos próximos
    // 2 bytes:
    else if(bit_offset + bits <= 16){
        unsigned tmp;
        // Aproveitamos tudo do primeiro byte, menos o que já foi lido
        code = (buffer[byte_offset] >> bit_offset);
        // Aproveitamos tudo do segundo, menos o que não precisamos ler
        // ainda:
        tmp = (unsigned char)
            (buffer[byte_offset + 1] << (16 - bit_offset - bits));
        // Correção da posição dos bits
        tmp = (tmp >> (16 - bit_offset - bits));
        // Terminar de montar o código colocando os bits do segundo byte
        // após os bits do primeiro byte:
        code += (tmp << (8 - bit_offset));
    }
}

```

```

// E por fim a condição na qual os valores que precisamos ler
// estão espalhados em 3 bytes:
else{
    unsigned tmp;
    // Aproveitamos tudo do primeiro byte, menos o que já foi lido
    code = (buffer[byte_offset] >> bit_offset);
    // Aproveitamos tudo do segundo byte:
    code += buffer[byte_offset + 1] << (8 - bit_offset);
    // Jogamos fora do terceiro byte o que só vamos ler no futuro:
    tmp = (unsigned char) (buffer[byte_offset + 2] <<
                          (24 - bit_offset - bits));
    // Correção da posição dos bits
    tmp = tmp >> (24 - bit_offset - bits);
    // Terminar de montar o código colocando os bits do terceiro
    // byte por último:
    code += (tmp << (16 - bit_offset));
}
bit_offset += bits;
if(bit_offset >= 8){
    byte_offset += bit_offset / 8;
    bit_offset = bit_offset % 8;
}
}
else{
    // Se estamos aqui, uma parte do nosso código está aqui e a
    // próxima está no próximo buffer a ser lido. Pode ser que
    // tenhamos 1 ou 2 bytes a ler agora.
    if(byte_offset == buffer_size - 1){
        // Se estamos aqui, temos 1 byte a ler no buffer atual
        code = (buffer[byte_offset] >> bit_offset);
        // O resto temos que ler no próximo buffer. Vamos indicar o
        // quanto temos que ler ajustando o 'bit_offset' para um valor
        // negativo:
        bit_offset = - (8 - bit_offset);
        byte_offset ++;
    }
    else{
        // Se estamos aqui, temos 2 bytes a ler no buffer atual. Lemos o
        // primeiro:
        code = (buffer[byte_offset] >> bit_offset);
        // Lemos o segundo byte inteiro
        code += buffer[byte_offset + 1] << (8 - bit_offset);
        // Indicamos no valor de bit_offset o quanto já lemos e
        // esperamos o próximo buffer:
        bit_offset = - (16 - bit_offset);
        byte_offset += 2;
    }
    incomplete_code = true;
    continue;
}

```

```

}
// O teste abaixo previne buffer overflow em imagens corrompidas:
if(code > last_value_in_code_table + 1){
    code = end_of_information_code;
}
    <Seção a ser Inserida: GIF: Interpreta Códigos Lidos>
}

```

Quando formos traduzir os códigos para uma posição na tabela de cores, é bom sabermos se devemos ler da tabela de cores local ou global. Para que no nosso código não tenha que testar qual a tabela de cores certa, armazenamos essa informação neste ponteiro:

Seção: GIF: Variáveis Temporárias para Imagens Lidas (continuação):

```
unsigned char *color_table;
```

Seção: GIF: Inicializando Nova Imagem (continuação):

```

if(local_color_table_flag)
    color_table = local_color_table;
else
    color_table = global_color_table;

```

Com o código que foi escrito até agora já estamos extraindo códigos LZW. Agora vamos ao código que transforma cada código em uma sequência de cores:

Seção: GIF: Interpreta Códigos Lidos:

```

{
    // Se chegamos ao fim, vamos apenas voltar ao teste da nossa iteração
    // e de lá nós sairemos do loop
    if(code == end_of_information_code){
        end_of_image = true;
        continue;
    }
    // Se recebemos um <CLEAR CODE>, devemos limpar a tabela de códigos:
    if(code == clear_code){
        <Seção a ser Inserida: GIF: Limpa a Tabela de Códigos>
        continue;
    }
    // Se estamos lendo o primeiro pixel, não precisamos inserir nada na
    // tabela de códigos
    else if(first_pixel){
        first_pixel = false;
        previous_code = code;
        // A função que preenche um pixel na imagem passada como primeiro
        // argumento dada a nossa tabela de códigos, o código lido, a
        // tabela de cores, o número de cores associada ao código lido, a
        // informação de usarmos ou não transparência e qual o valor que
        // representa transparência:
        preenche_pixel(&(amp;last_img -> rgba_image[4 * pixel]),
                      code_table, code, color_table, 1,
                      transparent_color_flag, transparency_index);
        // O primeiro código representa apenas 1 pixel, pois é apenas 1
        // índice na tabela de cores. Ainda não povoamos a tabela de
        // códigos para que haja mais de um pixel por código:

```

```

    pixel ++;
}
// Se lemos um código que não está na tabela, devemos deduzi-lo:
else if(code > last_value_in_code_table){
    if(previous_code < end_of_information_code){
        if(last_value_in_code_table < 4095){
            code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                produz_codigo((unsigned char *) &previous_code, 1, previous_code);
            code_table_size[last_value_in_code_table + 1] = 2;
            last_value_in_code_table ++;
        }
    }
    else{
        if(last_value_in_code_table < 4095){
            code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                produz_codigo(code_table[previous_code],
                    code_table_size[previous_code],
                    code_table[previous_code][0]);
            code_table_size[last_value_in_code_table + 1] =
                code_table_size[previous_code] + 1;
            last_value_in_code_table ++;
        }
    }
    preenche_pixel(&(last_img -> rgba_image[4 * pixel]),
        code_table, code, color_table, code_table_size[code],
        transparent_color_flag, transparency_index);
    pixel += code_table_size[code];
    previous_code = code;
}
// O caso mais comum: lemos um código novo que já conhecemos e
// podemos consultar na tabela de codigos:
else{
    // O código está na nossa tabela de códigos
    if(code < end_of_information_code){ // É um dos códigos primitivos
        if(previous_code < end_of_information_code){
            if(last_value_in_code_table < 4095){
                code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                    produz_codigo((unsigned char *) &previous_code, 1, code);
                code_table_size[last_value_in_code_table + 1] = 2;
                last_value_in_code_table ++;
            }
        }
    }
    else{
        if(last_value_in_code_table < 4095){
            code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                produz_codigo(code_table[previous_code],
                    code_table_size[previous_code], code);
            code_table_size[last_value_in_code_table + 1] =
                code_table_size[previous_code] + 1;
        }
    }
}

```



```

        last_value_in_code_table ++;
    }
}
preenche_pixel(&(last_img -> rgba_image[4 * pixel]),
               code_table, code, color_table, 1,
               transparent_color_flag, transparency_index);
pixel ++;
previous_code = code;
}
else{
    if(previous_code < end_of_information_code){
        if(last_value_in_code_table < 4095){
            code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                produz_codigo((unsigned char *) &previous_code, 1,
                              code_table[code][0]);
            code_table_size[last_value_in_code_table + 1] = 2;
            last_value_in_code_table ++;
        }
    }
    else{
        if(last_value_in_code_table < 4095){
            code_table[last_value_in_code_table + 1] =
                produz_codigo(code_table[previous_code],
                              code_table_size[previous_code],
                              code_table[code][0]);
            code_table_size[last_value_in_code_table + 1] =
                code_table_size[previous_code] + 1;
            last_value_in_code_table ++;
        }
    }
    preenche_pixel(&(last_img -> rgba_image[4 * pixel]),
                   code_table, code, color_table, code_table_size[code],
                   transparent_color_flag, transparency_index);
    pixel += code_table_size[code];
    previous_code = code;
}
}
if(last_value_in_code_table >= (unsigned) ((1 << bits) - 1) && bits < 12)
    bits ++;
}

```

Vamos definir agora o que significa limpar a tabela de códigos, que é algo que temos que fazer toda vez que lermos o código CLEAR CODE:

Seção: GIF: Limpa a Tabela de Códigos:

```

{
    for(; last_value_in_code_table > end_of_information_code;
        last_value_in_code_table --){
        Wfree(code_table[last_value_in_code_table]);
    }
    last_value_in_code_table = end_of_information_code;
}

```

```

bits = lzw_minimum_code_size + 1;
first_pixel = true;
}

```

No código acima usamos funções que ainda não estão definidas. A primeira delas é para preencher um pixel na nossa imagem dada a tabela de códigos, um código e a tabela de cores. O código é usado para consultarmos a tabela de códigos e assim obtemos uma lista de cores. Com a lista de cores, consultamos a tabela de cores e conseguimos obter o valor correto para cada pixel:

Seção: GIF: Funções Estáticas (continuação):

```

void preenche_pixel(unsigned char *img, unsigned char **code_table,
                   unsigned code,
                   unsigned char *color_table, int size,
                   bool transparent_color_flag, unsigned transparency_index){
    int i = 0;
    for(i = 0; i < size; i++){
        // Se estamos diante de um código inicial que representa
        // diretamente 1 só cor da tabela de cores:
        if(code_table[code] == NULL){
            img[4 * i] = color_table[3 * code];
            img[4 * i + 1] = color_table[3 * code + 1];
            img[4 * i + 2] = color_table[3 * code + 2];
            if(transparent_color_flag && transparency_index == code){
                img[4 * i + 3] = 0;
            }
            else{
                img[4 * i + 3] = 255;
            }
        }
        // Se estamos diante de um código criado depois que representa
        // mais de uma cor:
        else{
            img[4 * i] = color_table[3 * code_table[code][i]];
            img[4 * i + 1] = color_table[3 * code_table[code][i] + 1];
            img[4 * i + 2] = color_table[3 * code_table[code][i] + 2];
            if(transparent_color_flag && transparency_index == code_table[code][i]){
                img[4 * i + 3] = 0;
            }
            else{
                img[4 * i + 3] = 255;
            }
        }
    }
}

```

Já a função para produzir um novo código nada mais é do que uma função que aloca espaço para ele e o gera concatenando um caractere no fim de uma string. Nessa string, cada caractere é um índice na tabela de cores, e portanto vale de 0 a 255. O valor de 0 não representa o fim da string, mas a primeira cor da tabela de cores:

Seção: GIF: Funções Estáticas (continuação):

```

unsigned char *produz_codigo(unsigned char *codigo, int size, char adicao){
    int i;

```

```

unsigned char *ret = (unsigned char *) Walloc(size + 1);
if(ret == NULL){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): No memory to parse image. Please, increase "
        "the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n");
    return NULL;
}
for(i = 0; i < size; i ++){
    ret[i] = codigo[i];
ret[size] = adicao;
return ret;
}

```

Depois que terminamos de extrair nossa imagem, temos que esvaziar a nossa tabela de códigos. Nós desalocamos todos os códigos definidos e que não são os códigos iniciais cujo valor é `NULL` mesmo:

Seção: GIF: Finalizando Nova Imagem:

```

{
    unsigned i;
    for(i = last_value_in_code_table; i != end_of_information_code; i --){
        Wfree(code_table[i]);
    }
}

```

E depois que percorremos todas as imagens presentes em nosso GIF, temos que montar a(s) imagem(s) que iremos retornar. Pode haver mais de uma no caso de animações. Cada uma delas terá o tamanho da “área de pintura lógica” lida no cabeçalho do arquivo GIF. Caso um frame lido seja menor ou tenha cores transparentes, devemos levar em conta o valor da variável `disposal_method` para ver como preencher aquele pixel.

Ao fim, devemos produzir um array com 1 ou mais valores `GLuint` que representam texturas enviadas para a placa de vídeo, cada uma delas correspondente a um frame da animação.

Mas aí temos uma complicação adicional: se estivermos rodando nosso programa em threads fora da web, então estaremos gerando texturas em uma thread. Precisamos de um contexto OpenGL nessa thread para isso, e esse contexto deve poder compartilhar recursos com a thread principal. Para gerar um novo contexto, fazemos:

Seção: GIF: Gerando Imagem Final:

```

#ifdef W_MULTITHREAD
{
    GLXFBConfig *fbConfigs;
    int context_attribs[] =
    { // Iremos usar e exigir OpenGL 3.3
        GLX_CONTEXT_MAJOR_VERSION_ARB, 3,
        GLX_CONTEXT_MINOR_VERSION_ARB, 3,
        None
    };
    glXCreateContextAttribsARBProc glXCreateContextAttribsARB = 0;
    int return_value;
    int doubleBufferAttributes[] = {
        GLX_DRAWABLE_TYPE, GLX_WINDOW_BIT, // Desenharemos na tela, não em 'pixmap'
        GLX_RENDER_TYPE, GLX_RGBA_BIT, // Definimos as cores via RGBA, não paleta
        GLX_DOUBLEBUFFER, True, // Usamos buffers duplos para evitar 'flickering'
        GLX_RED_SIZE, 1, // Devemos ter ao menos 1 bit de vermelho
        GLX_GREEN_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit de verde
        GLX_BLUE_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit de azul
        GLX_ALPHA_SIZE, 1, // Ao menos 1 bit para o canal alfa
    };
}

```

```

    GLX_DEPTH_SIZE,    1, // E ao menos 1 bit de profundidade
    None
};
fbConfigs = glXChooseFBConfig(_dpy, _screen, doubleBufferAttributes,
                             &return_value);
glXCreateContextAttribsARB = (glXCreateContextAttribsARBProc)
    glXGetProcAddressARB( (const GLubyte *) "glXCreateContextAttribsARB" );
// TODO: _screen e _context precisa ser global, não mais estático
thread_context = glXCreateContextAttribsARB(_dpy, *fbConfigs, _context,
                                           GL_TRUE, context_attribs);
glXMakeCurrent(_dpy, _window, thread_context);
}
#endif

```

E sabendo que podemos gerar texturas OpenGL, enfim geramos nossas imagens finais:

Seção: GIF: Gerando Imagem Final (continuação):

```

{
    unsigned i, line_source, line_destiny, col;
    unsigned long source_index, target_index;
    struct _image_list *p;
    int line_increment;
    int current_disposal_method = 0;
    unsigned char *current_image = NULL, *previous_image = NULL;
    // Se a imagem não está entrelaçada, suas linhas são armazenadas
    // sequencialmente (0, 1, 2, 3, ...). Se ela está entrelaçada, suas
    // linhas são armazenadas na sequência (0, 8, 16, 24, ..., 4, 12,
    // 20, 28, ..., 2, 6, 10, 14, ..., 1, 3, 5, 7, ...).
    if(interlace_flag){
        line_increment = 8;
    }
    else
        line_increment = 1;
    // Alocamos onde iremos armazenar os pixels da imagem antes de
    // enviar para a placa de vídeo:
    current_image = (unsigned char *) _iWalloc(4 * width * height);
    if(current_image == NULL){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "
            "Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
            filename);
        returned_data = NULL;
        goto error_gif;
    }
    // Se há mais de um frame, temos que armazenar a duração de cada um
    // e temos que armazenar os pixels do frame anterior, já que podemos
    // precisar.
    if(*number_of_frames > 1){
        *frame_duration = (unsigned *) Walloc(*number_of_frames *
            sizeof(unsigned));
        if(*frame_duration == NULL){
            fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "

```

```

        "Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
Wfree(current_image);
returned_data = NULL;
goto error_gif;
}
previous_image = (unsigned char *) _iWalloc(4 * width * height);
if(previous_image == NULL){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "
        "Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
    Wfree(current_image);
    Wfree(frame_duration);
    returned_data = NULL;
    goto error_gif;
}
}

// A identificação das texturas que vão para a placa de vídeo:
returned_data = (GLuint *) Walloc((*number_of_frames) * sizeof(GLuint));
if(returned_data == NULL){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Not enough memory to read GIF file %s. "
        "Please, increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
    Wfree(current_image);
    Wfree(frame_duration);
    Wfree(previous_image);
    goto error_gif;
}

// E já pedimos identificadores OpenGL para cada textura:
glGenTextures(*number_of_frames, returned_data);
p = img;
for(i = 0; i < *number_of_frames; i++){
    line_source = col = line_destiny = 0;
    if(*number_of_frames > 1){
        (*frame_duration)[i] = p -> delay_time;
    }
    while(line_destiny < height){
        while(col < width){
            target_index = 4 * width * (height - line_destiny - 1) +
                col * 4;
            source_index = (line_source - p -> y_offset) * (p -> width) * 4 +
                (col - p -> x_offset) * 4;
            if(col < p -> x_offset || line_destiny < p -> y_offset ||
                col >= p -> x_offset + p -> width ||
                line_destiny >= p -> y_offset + p -> height ||
                p -> rgba_image[source_index + 3] == 0){
                if(i == 0 || current_disposal_method == 3 ||
                    current_disposal_method == 2){
                    // Deixa transparente

```

```

        current_image[target_index] = p -> rgba_image[source_index];
        current_image[target_index + 1] = p -> rgba_image[source_index + 1];
        current_image[target_index + 2] = p -> rgba_image[source_index + 2];
        current_image[target_index + 3] = p -> rgba_image[source_index + 3];
    }
    else{
        // Repete imagem anterior
        current_image[target_index] = previous_image[target_index];
        current_image[target_index + 1] = previous_image[target_index + 1];
        current_image[target_index + 2] = previous_image[target_index + 2];
        current_image[target_index + 3] = previous_image[target_index + 3];
    }
}
else{
    // Preenche pixels de imagem nova
    current_image[target_index] = p -> rgba_image[source_index];
    current_image[target_index + 1] = p -> rgba_image[source_index + 1];
    current_image[target_index + 2] = p -> rgba_image[source_index + 2];
    current_image[target_index + 3] = p -> rgba_image[source_index + 3];
}
col ++;
}
line_destiny = line_destiny + line_increment;
line_source ++;
if(line_destiny >= height && interlace_flag){
    if(line_source < height / 4){
        line_destiny = line_increment / 2;
    }
    else{
        line_increment /= 2;
        line_destiny = line_increment / 2;
    }
}
col = 0;
}
current_disposal_method = p -> disposal_method;
p = p -> next;
line_source = col = line_destiny = 0;
// Enviando a textura para a placa de vídeo:
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, returned_data[i]);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, width, height, 0, GL_RGBA,
             GL_UNSIGNED_BYTE, current_image);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_EDGE);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);
{ // Trocando os valores da imagem atual e da anterior:

```

```

    unsigned char *tmp = previous_image;
    previous_image = current_image;
    current_image = tmp;
}
}
// Se usamos threads, não precisamos mais de contexto OpenGL:
#ifdef W_MULTITHREAD
    glXDestroyContext(_dpy, thread_context);
    glXMakeCurrent(_dpy, _window, _context);
#endif
// Ajustando os valores do número de repetições caso seja uma
// animação:
if(number_of_loops == 0)
    *max_repetition = -1;
else
    *max_repetition = number_of_loops;
// Desalocando as imagens na ordem certa:
if(*number_of_frames % 2){
    if(current_image != NULL) Wfree(current_image);
    Wfree(previous_image);
}
else{
    if(previous_image != NULL) Wfree(previous_image);
    Wfree(current_image);
}
}
}

```

10.1.1- Integrando Imagens GIF às Interfaces

Usar a nossa função que definimos para carregar GIFs de modo a criar uma interface não é tão diferente do trabalho que tivemos para integrar os sons WAVE na nossa engine.

Primeiro, de agora em diante será importante que toda interface tenha uma textura e também uma variável booleana para indicar se a textura já foi carregada. Também, caso a imagem seja uma animação, teremos que informar o número de frames dela e qual o tempo de duração de cada um. Ela também irá armazenar um novo atributo `_t`, que indica quando ela passou a ter o número de frame atual em microssegundos e `max_iterations`, que é o número de vezes que devemos repetir a animação.

Seção: Interface: Atributos Adicionais:

```

// Isso fica dentro da definição de 'struct interface':
GLuint *_texture;
bool _loaded_texture; // A(s) textura(s) acima foi(ram) carregada(s)?
bool animate; // A interface é animada?
unsigned number_of_frames; // Quantos frames a imagem tem?
unsigned current_frame;
unsigned *frame_duration; // Vetor com a duração de cada frame
unsigned long _t; // Em que tempo W.t mudamos o frame da última vez?
int max_repetition;

```

Estes valores precisam ser inicializados. Inicializá-los é fácil, só a textura é que é um pouco diferente. Como estes são atributos que todas as imagens vão ter, vamos precisar criar uma textura padrão e transparente que será a usada nas interfaces que não possuem textura.

Nossa textura padrão e transparente será criada na inicialização e removida na finalização:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
GLuint _empty_texture;  
char _empty_image[4];
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{  
    _empty_image[0] = _empty_image[1] = _empty_image[2] = _empty_image[3] = '\\0';  
    glGenTextures(1, &_empty_texture);  
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _empty_texture);  
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);  
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, 1, 1, 0, GL_RGBA,  
                 GL_UNSIGNED_BYTE, &_empty_texture);  
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);  
}
```

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```
{  
    glDeleteTextures(1, &_empty_texture);  
}
```

E então, quando inicializamos uma interface, podemos inicializar também estes novos valores:

Seção: Interface: Inicialização Adicional:

```
{  
    _interfaces[_number_of_loops][i]._texture = &_empty_texture;  
    // Por padrão, ainda nem sabemos se a interface terá uma  
    // textura. Assim que detectarmos que ela terá, mudamos  
    // '_loaded_texture' para falso, e aí para verdadeiro de novo quando  
    // ela terminar de carregar a textura:  
    _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = true;  
    _interfaces[_number_of_loops][i].animate = false;  
    _interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames = 1;  
    _interfaces[_number_of_loops][i].current_frame = 0;  
    _interfaces[_number_of_loops][i].frame_duration = NULL;  
    _interfaces[_number_of_loops][i]._t = W.t;  
    _interfaces[_number_of_loops][i].max_repetition = -1;  
}
```

Mas quando a interface vai usar uma textura diferente? As interfaces declaradas como `W_INTERFACE_PERIMETER` e `W_INTERFACE_SQUARE` não possuem texturas. Vamos criar então um novo tipo de interface: `W_INTERFACE_IMAGE`, que representa interfaces criadas à partir de arquivos de imagem.

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
#define W_INTERFACE_IMAGE -3
```

E agora definimos o que acontece quando estamos inicializando uma nova interface, lendo seus argumentos e sabemos que estamos diante de uma destas interfaces de imagens:

Seção: Interface: Leitura de Argumentos e Inicialização:

```
case W_INTERFACE_IMAGE:  
    _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = false;  
{  
#if W_TARGET == W_WEB  
    char dir[] = "image/";
```



```

#elif W_DEBUG_LEVEL >= 1
    char dir[] = "./image/";
#elif W_TARGET == W_ELF
    char dir[] = W_INSTALL_DATA"/image/";
#endif

#if W_TARGET == W_ELF
    char *ext;
    bool ret = true;
#endif

    char *filename, complete_path[256];
    va_start(valist, height);
    filename = va_arg(valist, char *);
    va_end(valist);
    // Obtendo o caminho do arquivo:
    strncpy(complete_path, dir, 256);
    complete_path[255] = '\0';
    strncat(complete_path, filename, 256 - strlen(complete_path));
#if W_TARGET == W_WEB
    // Rodando assincronamente
    if(mkdir("image/", 0777) == -1) // Emscripten
        perror(NULL);
    W.pending_files ++;
    // Obtendo arquivo via Emsripten
    emscripten_async_wget2(complete_path, complete_path,
                           "GET", "",
                           (void *) &(_interfaces[_number_of_loops][i]),
                           &onload_texture, &onerror_texture,
                           &onprogress_texture);
#else
    // Rodando sincronamente:
    ext = strrchr(filename, '.');
    if(! ext){
        fprintf(stderr, "WARNING (O): No file extension in %s.\n",
                filename);
        _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
        return NULL;
    }
    if(!strcmp(ext, ".gif") || !strcmp(ext, ".GIF")){ // Suportando .gif
        _interfaces[_number_of_loops][i].texture =
            _extract_gif(complete_path,
                        &(_interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames),
                        &(_interfaces[_number_of_loops][i].frame_duration),
                        &(_interfaces[_number_of_loops][i].max_repetition),
                        &ret);
        if(ret){ // Se algum erro aconteceu:
            _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
            return NULL;
        }
    }
    // Ativa animação se for o caso

```

```

    if(_interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames > 1)
        _interfaces[_number_of_loops][i].animate = true;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = true;
    // Depois temos que finalizar o nosso recurso quando ele for limpo
    // pelo coletor de lixo. Neste caso finalizar significa apagar a
    // textura OpenGL:
    _finalize_after(&(_interfaces[_number_of_loops][i]),
        _finalize_interface_texture);
}
<Seção a ser Inserida: Interface: Extraindo Arquivos de Imagens Adicionais>
#endif
}
break;

```

E é isso que cria uma nova interface com textura. Mas nós agora precisamos criar uma série de funções auxiliares que invocamos acima. Elas são `onload_texture` (a ser executada em ambiente web após fazermos o download do arquivo GIF), `onerror_texture` (a ser executada se um erro ocorrer quando carregamos o arquivo assincronamente), `onprogress_texture` (uma função vazia que não faz nada a ser invocada à medida que baixamos o arquivo) e `_finalize_interface_texture` (função que irá pedir para que a textura seja removida da memória da placa de vídeo quando a interface for desalocada).

Ao trabalho. Primeiro o `onerror_texture` caso seja um programa web. Em caso de erro, tudo o que fazemos é imprimir uma mensagem na tela para avisar no caso de execução via web:

Seção: Interface: Funções Estáticas (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
static void onerror_texture(unsigned undocumented, void *interface,
                           int error_code){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Couldn't load a texture file. Code %d.\n",
        error_code);
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
    W.pending_files--;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
}
#endif

```

Tendo essa função de erros podemos definir o que fazer quando carregamos a textura em ambiente web e algo dá errado.

Seção: Interface: Cabeçalhos (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
#include <SDL/SDL_image.h>
#endif

```

Seção: Interface: Funções Estáticas:

```

#if W_TARGET == W_WEB
static void onload_texture(unsigned undocumented,
                           void *inter, const char *filename){
    char *ext;
    bool ret = true;

```

```

struct interface *my_interface = (struct interface *) inter;
printf("DEBUG FILENAME: %s.\n", filename);
// Checando extensão
ext = strrchr(filename, '.');
if(! ext){
    onerror_texture(0, inter, 0);
    return;
}
if(!strcmp(ext, ".gif") || !strcmp(ext, ".GIF")){ // Suportando .gif
    my_interface -> _texture =
        _extract_gif((char *) filename,
                    &(my_interface -> number_of_frames),
                    &(my_interface -> frame_duration),
                    &(my_interface -> max_repetition), &ret);
}
else{
    // A imagem não é um GIF. Extrairemos usando o SDL aqui:
    SDL_Surface *tmp_surface = IMG_Load(filename);
    unsigned char *pixels = (unsigned char *)
        Wallocl(sizeof(unsigned char) * 4 * tmp_surface -> w * tmp_surface -> h);
    my_interface -> _texture = (GLuint *) Wallocl(sizeof(GLuint));
    if(my_interface -> _texture == NULL || pixels == NULL){
        fprintf(stderr, "ERROR: Not enough memory to read %s. Please, increase "
            "the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n", filename);
    }
    else{
        // Corrigindo a orientação da imagem para o nosso padrão
        int i, j, width = tmp_surface -> w, height = tmp_surface -> h;
        for(i = 0; i < width; i ++){
            for(j = 0; j < height; j ++){
                pixels[4 * (j * width + i)] = ((unsigned char *) tmp_surface -> pixels)
                    [4*((height-1-j) * width + i)];
                pixels[4 * (j * width + i) + 1] =
                    ((unsigned char *) tmp_surface -> pixels)
                    [4*((height-1-j) * width + i)+1];
                pixels[4 * (j * width + i) + 2] =
                    ((unsigned char *) tmp_surface -> pixels)
                    [4 * ((height-1-j) * width + i) +2];
                pixels[4 * (j * width + i) + 3] =
                    ((unsigned char *) tmp_surface -> pixels)
                    [4 * ((height - 1 - j) * width + i) + 3];
            }
        }
        glGenTextures(1, my_interface -> _texture);
        glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, *(my_interface -> _texture));
        glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
        // XXX: Checar se é mesmo RGBA:
        glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, width, height, 0, GL_RGBA,
            GL_UNSIGNED_BYTE, pixels);
        glTexParameterf(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
    }
}

```

```

    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);
    Wfree(pixels);

    my_interface -> number_of_frames = 1;
    my_interface -> frame_duration = NULL;
    my_interface -> max_repetition = 0;
    ret = false;
}

SDL_FreeSurface(tmp_surface);
}

if(ret){ // Se algum erro aconteceu:
    my_interface -> type = W_NONE;
    return;
}

// Ativa animação se for o caso:
if(my_interface -> number_of_frames > 1)
    my_interface -> animate = true;
_finalize_after(my_interface, _finalize_interface_texture);
// A mudança final de flag:
my_interface -> _loaded_texture = true;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
    W.pending_files --;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));
#endif
}
#endif

```

A função que não faz nada e que será inocada à medida que baixamos o arquivo via web:

Seção: Interface: Funções Estáticas (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_WEB
static void onprogress_texture(unsigned int undocumented, void *snd,
                              int percent){
    return;
}
#endif

```

E por fim a função para desalocar texturas na placa de vídeo:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
void _finalize_interface_texture(void *);
```

Seção: Interface: Definições (continuação):

```

// Uma função rápida para desalocar texturas OpenGL e que podemos
// usar abaixo:
void _finalize_interface_texture(void *data){
    struct interface *p = (struct interface *) data;
    glDeleteTextures(p -> number_of_frames, p -> _texture);
}

```

```
}
```

Funções como `_finalize_after` são úteis para garantirmos que os recursos alocados pelas interfaces com textura sejam liberados da memória ao sairmos do loop atual. Mas caso nós queiramos destruir uma interface por meio de `W.destroy_interface`, precisamos fazer tal limpeza manualmente:

Seção: Código ao Remover Interface (continuação):

```
{
    _finalize_this(&_interfaces[_number_of_loops][i], true);
    if(_interfaces[_number_of_loops][i]._texture != &_empty_texture)
        Wfree(_interfaces[_number_of_loops][i]._texture);
    _finalize_interface_texture((void *) &_interfaces[_number_of_loops][i]);
}
```

10.2 - Shader e Renderização

Vamos agora criar o shader responsável por renderizar as imagens com textura na tela. O que ele terá de diferente é que ele usará a sua textura para definir os pixels que serão colocados no shader de fragmento.

Arquivo: project/src/weaver/vertex_image_interface.glsl:

```
// Usamos GLSLES 1.0 que é suportado por Emscripten
#version 100
// Declarando a precisão para ser compatível com GLSL 2.0 se possível
#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1
precision highp float;
precision highp int;
#else
precision mediump float;
precision mediump int;
#endif
precision lowp sampler2D;
precision lowp samplerCube;
// Todos os atributos individuais de cada vértice
<Seção a ser Inserida: Shader: Atributos>
// Atributos do objeto a ser renderizado (basicamente as coisas dentro
// do struct que representam o objeto)
<Seção a ser Inserida: Shader: Uniformes>
```

```
varying mediump vec2 coordinate;
```

```
void main(){
    gl_Position = model_view_matrix * vec4(vertex_position, 1.0);
    // Coordenada da textura:
    coordinate = vec2(vertex_position[0] + 0.5, vertex_position[1] + 0.5);
}
```

E no shader de fragmento usaremos enfim esta textura e coordenadas:

Arquivo: project/src/weaver/fragment_image_interface.glsl:

```
// Usamos GLSLES 1.0 que é suportado por Emscripten
#version 100
// Declarando a precisão para ser compatível com GLSL 2.0 se possível
```

```

#if GL_FRAGMENT_PRECISION_HIGH == 1
    precision highp float;
    precision highp int;
#else
    precision mediump float;
    precision mediump int;
#endif

precision lowp sampler2D;
precision lowp samplerCube;
// Atributos do objeto a ser renderizado (basicamente as coisas dentro
// do struct que representam o objeto)
<Seção a ser Inserida: Shader: Uniformes>

```

```

varying mediump vec2 coordinate;

```

```

void main(){
    gl_FragData[0] = texture2D(texture1, coordinate);
}

```

Este shader precisa ser inserido e usado na nossa engine:

Seção: Shaders: Declarações:

```

extern char _vertex_image_interface[];
extern char _fragment_image_interface[];
struct _shader_image_interface_shader;

```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```

char _vertex_image_interface[] = {
#include "vertex_image_interface.data"
    , 0x00};
char _fragment_image_interface[] = {
#include "fragment_image_interface.data"
    , 0x00};

```

Compilamos ele na inicialização:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

{
    GLuint vertex, fragment;
    vertex = _compile_vertex_shader(_vertex_image_interface);
    fragment = _compile_fragment_shader(_fragment_image_interface);
    // Preenchendo variáveis uniformes e atributos:
    _image_interface_shader.program_shader =
        _link_and_clean_shaders(vertex, fragment);
    _image_interface_shader._uniform_texture1 =
        glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
                             "texture1");
    _image_interface_shader._uniform_object_color =
        glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
                             "object_color");
    _image_interface_shader._uniform_model_view =
        glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
                             "model_view_matrix");
}

```

```

_image_interface_shader._uniform_object_size =
    glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
        "object_size");
_image_interface_shader._uniform_time =
    glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
        "time");
_image_interface_shader._uniform_integer =
    glGetUniformLocation(_image_interface_shader.program_shader,
        "integer");
_image_interface_shader._attribute_vertex_position =
    glGetAttribLocation(_image_interface_shader.program_shader,
        "vertex_position");
}

```

E na hora da renderização, apenas usamos o shader que definimos e compilamos:

Seção: Interface: Renderizar com Shaders Alternativos:

```

else if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> type == W_INTERFACE_IMAGE){
    current_shader = &_image_interface_shader;
}

```

E temos que fazer o shader de interface receber alguns uniformes adicionais:

Seção: Passando Uniformes Adicionais para Shader de Interface:

```

// Primeiro vemos se temos que mudar a textura devido à animação:
if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> animate &&
    _interface_queue[_number_of_loops][i] -> number_of_frames > 1 &&
    _interface_queue[_number_of_loops][i] -> max_repetition != 0){
    if(W.t + _lag - _interface_queue[_number_of_loops][i] -> _t >
        _interface_queue[_number_of_loops][i] ->
        frame_duration[_interface_queue[_number_of_loops][i] -> current_frame]){
        if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> current_frame + 1 ==
            _interface_queue[_number_of_loops][i] -> number_of_frames){
            // Termina um ciclo de repetição da animação
            if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> max_repetition > 0){
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> max_repetition --;
            }
            if(_interface_queue[_number_of_loops][i] -> max_repetition != 0){
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> current_frame = 0;
                _interface_queue[_number_of_loops][i] -> _t = W.t + _lag;
            }
        }
    }
    else{
        // Passa para o próximo frame de animação
        _interface_queue[_number_of_loops][i] -> current_frame ++;
        _interface_queue[_number_of_loops][i] -> _t = W.t + _lag;
    }
}

// Em seguida, usamos a textura adequada
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D,
    _interface_queue[_number_of_loops][i] ->
    _texture[_interface_queue[_number_of_loops][i] -> current_frame]);

```

Agora nós podemos criar uma nova interface que é um GIF animado por meio do:

```
W.new_interface(W_INTERFACE_IMAGE, ...) .
```

Mas seria bom podermos usar GIFs animados em interfaces cujo shader é definido pelo usuário. Para isso, teremos que ler um argumento adicional quando geramos uma nova interface personalizada. Esse argumento pode ser `NULL` ou uma string vazia para indicar que não queremos usar uma imagem como textura. Ou pode ser o nome do arquivo de imagem onde está a nossa textura. Para isso lemos um argumento a mais ao lermos interfaces personalizadas:

Seção: Interface: Lê Argumentos de Interfaces Personalizadas:

```
{
    #if W_TARGET == W_WEB
        char dir[] = "image/";
    #elif W_DEBUG_LEVEL >= 1
        char dir[] = "./image/";
    #elif W_TARGET == W_ELF
        char dir[] = W_INSTALL_DATA"/image/";
    #endif
    #if W_TARGET == W_ELF
        char *ext;
        bool ret = true;
    #endif

    char *filename, complete_path[256];
    va_start(valist, height);
    filename = va_arg(valist, char *);
    if(filename != NULL && filename[0] != '\0'){
        _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = false;
        // Gerando nome do arquivo
        strncpy(complete_path, dir, 256);
        complete_path[255] = '\0';
        strncat(complete_path, filename, 256 - strlen(complete_path));
        // Rodando assincronamente
    #if W_TARGET == W_WEB
        mkdir("images/", 0777); // Emscripten
        W.pending_files ++;
        // Obtendo arquivo via Emsripten
        emscripten_async_wget2(complete_path, complete_path,
                               "GET", "",
                               (void *) &(_interfaces[_number_of_loops][i]),
                               &onload_texture, &onerror_texture,
                               &onprogress_texture);
    #else
        // Rodando sincronamente:
        ext = strrchr(filename, '.');
        if(! ext){
            fprintf(stderr, "WARNING (0): No file extension in %s.\n",
                    filename);
            _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
            return NULL;
        }
        if(!strcmp(ext, ".gif") || !strcmp(ext, ".GIF")){ // Suportando .gif
            _interfaces[_number_of_loops][i]._texture =
```



```

        _extract_gif(complete_path,
                    &(_interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames),
                    &(_interfaces[_number_of_loops][i].frame_duration),
                    &(_interfaces[_number_of_loops][i].max_repetition),
                    &ret);
    if(ret){ // Se algum erro aconteceu:
        _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
        return NULL;
    }
    // Ativa animação se for o caso
    if(_interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames > 1)
        _interfaces[_number_of_loops][i].animate = true;
    _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = true;
    // Depois temos que finalizar o nosso recurso quando ele for limpo
    // pelo coletor de lixo. Neste caso finalizar significa apagar a
    // textura OpenGL:
    _finalize_after(&(_interfaces[_number_of_loops][i]),
                  _finalize_interface_texture);
}
<Seção a ser Inserida: Interface: Extraíndo Arquivos de Imagens Adicionais>
#endif
}
va_end(valist);
}

```

10.3 - Sumário das Modificações do Capítulo

Este capítulo não adicionou nenhuma nova função, mas modificou estruturas de dados e funções já existentes. A seguinte estrutura de dados foi atualizada:

```

struct interface {
    // (...)
    bool animate;
    unsigned number_of_frames;
    unsigned current_frame;
    unsigned frame_duration[];
    int max_repetition;
}

```

animate : Nos diz se esta interface é animada ou não. Ou seja, se ela foi criada à partir de uma imagem GIF. Esta variável pode ter seu valor modificado para assim pausar e continuar uma animação.

number_of_frames : Variável somente leitura. Nos diz o número de frames da imagem da nossa interface. Só terá um valor diferente de 1 caso estejamos diante de uma interface animada.

current_frame : Variável cujo valor pode variar entre 0 e o valor do número de frames menos 1. Diz qual o frame da imagem está sendo mostrado na animação neste momento. O valor pode ser modificado.

frame_duration[] : Um vetor que só pode ser consultado em interfaces animadas. Nelas, haverá uma posição para cada frame da imagem e nelas você encontra quantos microssegundos deve durar cada frame de animação. Este valor pode ser modificado em interfaces animadas.

max_repetition : Quantas vezes devemos repetir a animação. Um valor de -1 representa que a animação irá se repetir infinitamente. Um valor de 0 mantém a animação parada

em seu último frame. Em valores maiores que 0, a animação fica rodando, mas cada vez que passamos pelo último frame, o valor é decrementado. Você pode modificar este valor.

Além disso, a seguinte função teve o seu comportamento modificado:

```
struct interface *W.new_interface(int type, int x, int y, ...) : Agora você po-  
de passar a macro W_INTERFACE_IMAGE para mostrar a interface como uma imagem  
(ou animação de um GIF animado) de algum dos formatos de arquivo suportados. No  
momento só o formato GIF é suportado, mas isso pode mudar nos próximos capítulos.
```

Um exemplo de uso:

```
interface = W.new_interface(W_INTERFACE_IMAGE, W.width/2, W.height/2,  
10, 10, "minha_imagem.gif");
```

Essecódigo gera uma nova interface no loop principal atual e retorna seu ponteiro. Essa interface deve estar centralizada na tela e medir 10 pixels por 10 pixels. A aparência dela deve ser lida do arquivo indicado pelo último argumento. O arquivo pode conter um GIF animado.

Além disso, o uso desta função em shaders personalizados mudou e agora precisamos usar um argumento adicional:

```
interface = W.new_interface(1, W.width/2, W.height/2, 10, 10, NULL);
```

O último argumento pode ser NULL, uma string vazia ou o nome de um arquivo que contém uma imagem. Se for o nome de um arquivo com imagem, a imagem é passada como textura para o shader, que pode lê-la por meio da variável texture1.

Capítulo 11: Outros Formatos de Imagem

Já implementamos o suporte à imagens no formato GIF no Weaver. Mas há outros formatos que será importante para nós suportarmos. Felizmente, não será necessário implementar cada um deles do zero, tal como fizemos com o GIF. No caso do GIF, tivemos que fazer isso porque era a forma de termos o suporte à GIFs animados tanto compilando com Web Assembly como compilando programas Linux. Mas no caso de outros formatos sem animação, podemos nos beneficiar da bibliotecas e APIs já existentes.

11.1 - O Formato PNG

Nos anos 90, havia o formato GIF que era usado para transferir imagens. O mesmo formato que já implementamos. Mas o mesmo algoritmo de compactação que implemenamos com tanta tranquilidade, na época não podia ser implementado com a mesma tranquilidade. Ele estava coberto por uma patente e havia no ar uma ameaça de que quem o usasse poderia precisar pagar royalties para uma empresa.

Além disso, a limitação de que uma imagem GIF só podia mostrar até 256 cores estava começando a incomodar naquela época. Isso levou um grupo de entusiastas a desenvolver um novo formato se coordenando pela Internet e coletando sugestões. Isso levou ao nascimento do PNG (cujo nome vem de “PNG is Not GIF”). O formato tornou-se cada vez mais popular e veio a ser implementado nos principais navegadores de Internet. Por fim, no mesmo ano em que as patentes do GIF expiraram, o formato PNG foi reconhecido como um padrão ISO.

Se quisermos extrair um PNG para uma interface, precisaremos do cabeçalho:

Seção: Interface: Cabeçalhos:

```
#if !defined(W_DISABLE_PNG) && (W_TARGET == W_ELF)
#include <png.h>
#endif
```

Nossa função de extrair PNGs deve ter a mesma assinatura da nossa função de extrair GIFs:

Seção: Interface: Declarações (continuação):

```
#if !defined(W_DISABLE_PNG) && (W_TARGET == W_ELF)
GLuint *_extract_png(char *, unsigned *, unsigned **, int *, bool *);
#endif
```

A relembrar, o primeiro argumento é o nome do arquivo, o segundo é um ponteiro de onde colocar o número de frames (um PNG não tem animação, então ele sempre vai armazenar apenas 1), um ponteiro de onde colocar um array com a duração de cada frame (o PNG vai sempre ajustar como NULL), um ponteiro de onde colocar o número máximo de repetições (ajustaremos como -1) e um ponteiro para informar se houve um erro ou não:

Seção: Interface: Definições (continuação):

```
#if !defined(W_DISABLE_PNG) && (W_TARGET == W_ELF)
GLuint *_extract_png(char * filename, unsigned *number_of_frames,
                    unsigned **frame_duration, int *max_repetition,
                    bool *error){
    int width, height;
    unsigned char *pixel_array = NULL;
    png_structp png_ptr;
    png_infop info_ptr;
    png_bytep *row_pointers = NULL;
    png_byte color_type, bit_depth;
    GLuint *returned_data = NULL;
    *number_of_frames = 1;
```

```

*frame_duration = NULL;
*max_repetition = 0;
FILE *fp = fopen(filename, "r");
*error = false;
// Como trataremos erros:
if(fp == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR: Can't open file %s.\n", filename);
    goto error_png;
}

<Seção a ser Inserida: PNG: Extrair Arquivo>

goto end_of_png;
error_png:
// Código executado apenas em caso de erro
*error = true;
returned_data = NULL;
end_of_png:
// Código de encerramento
#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_MULTITHREAD)
    fclose(fp);
#else
    <Seção a ser Inserida: PNG: Encerrando Arquivo>
#endif
    return returned_data;
}
#endif

```

Felizmente, como usaremos a biblioteca libpng, será muito mais fácil criar esta função comparado à criá-la para os GIFs. A primeira coisa que temos que fazer é ler o cabeçalho do arquivo para nos certificarmos de que ele é um arquivo PNG:

Seção: PNG: Extrair Arquivo:

```

{
    size_t size_t_ret;
    unsigned char header[8]; // Armazena o cabeçalho do arquivo
    // O cabeçalho deve ser: 0x89 0x50 0x4E 0x47 0x0D 0x0a 0x1A 0x0A. O
    // primeiro byte é só para ser incomum e minimizar a chance de um
    // texto ser interpretado como PNG. Depois vem as letras P, N e G. E
    // alguns caracteres só para reconhecer os valores de quebra de linha
    // e fim de arquivo em vários sistemas. Assim em muitos casos o
    // comando cat não imprime bobagens quando recebe um PNG.
    size_t_ret = fread(header, 1, 8, fp);
    if(png_sig_cmp(header, 0, 8) || size_t_ret != 8){
        fprintf(stderr, "ERROR: %s don't have a PNG header.\n", filename);
        goto error_png;
    }
}

```

O libpng irá armazenar as informações de leitura e informação do arquivo em `struct s` que devemos inicializar:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    // Não é necessário passar mais argumentos além do primeiro, pois

```

```

// não estaremos usando tratamento de erro ou alocação de memória
// não-convencional junto com o libpng. Até poderíamos usar o Walloc
// e Wfree com o libpng, mas não há benefícios claros de fazer
// isso. Essas funções funcionam melhor sendo usadas internamente
// somente por Weaver.
png_ptr = png_create_read_struct(PNG_LIBPNG_VER_STRING, NULL, NULL, NULL);
if(!png_ptr){
    fprintf(stderr, "ERROR: Can't create structure to read PNG.\n");
    goto error_png;
}
info_ptr = png_create_info_struct(png_ptr);
if(!info_ptr){
    fprintf(stderr, "ERROR: Can't create structure to read PNG.\n");
    goto error_png;
}
}

```

O libpng, caso encontre um erro, ele sempre tenta usar o `longjmp` para retornar ao programa. Sendo assim, é importante criarmos um ponto para o qual ele poderá retornar. Neste caso, este será o ponto de retorno quando houver um erro de inicialização. Depois que terminarmos a inicialização, criaremos outro ponto no qual imprimiremos outra mensagem para o caso de erro:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    if(setjmp(png_jmpbuf(png_ptr))){
        fprintf(stderr, "ERROR: %s initialization failed.\n", filename);
        goto error_png;
    }
}

```

A primeira coisa a fazer na inicialização é inicializar as informações sobre quais funções usaremos para ler o arquivo PNG. Não temos nenhum motivo para não usarmos as funções da biblioteca padrão, então usamos:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    png_init_io(png_ptr, fp);
}

```

Em seguida, avisamos que nós já lemos 8 bytes da assinatura do arquivo PNG, e até já checamos se o arquivo é mesmo PNG. Então, depois de inicializarmos as funções de leitura, apenas avisamos que elas podem pular 8 bytes:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    png_set_sig_bytes(png_ptr, 8);
}

```

E agora nós estamos na região do cabeçalho do PNG, onde encontramos informações que são muito úteis como a largura e altura da imagem, como as cores são armazenadas e quantos bits são usados para representá-las. Hora de ler essas informações:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    png_read_info(png_ptr, info_ptr);
    width = png_get_image_width(png_ptr, info_ptr);
}

```

```

height = png_get_image_height(png_ptr, info_ptr);
color_type = png_get_color_type(png_ptr, info_ptr);
bit_depth = png_get_bit_depth(png_ptr, info_ptr);
}

```

Podemos precisar fazer transformações na imagem PNG para sermos capazes de lidar com ela:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
// Se a imagem for baseada em uma paleta de cores indexadas,
// convertamos para RGB:
if (color_type == PNG_COLOR_TYPE_PALETTE)
    png_set_palette_to_rgb(png_ptr);
// Se uma imagem em preto-e-branco usa menos de 8 bits para
// representar cada pixel, mudamos para 8 bits:
if (color_type == PNG_COLOR_TYPE_GRAY &&
    bit_depth < 8) png_set_expand_gray_1_2_4_to_8(png_ptr);
// Se a informação do canal Alpha está em um bloco do arquivo,
// passamos para cada um dos pixels:
if (png_get_valid(png_ptr, info_ptr,
                  PNG_INFO_tRNS)) png_set_tRNS_to_alpha(png_ptr);
// Se usamos mais de 8 bits por pixel, reduzimos para 8:
if (bit_depth == 16)
    png_set_strip_16(png_ptr);
// Se usamos menos de 8, passamos para 8:
if (bit_depth < 8)
    png_set_packing(png_ptr);
// Agora convertamos imagens preto-e-branco para RGB:
if (color_type == PNG_COLOR_TYPE_GRAY ||
    color_type == PNG_COLOR_TYPE_GRAY_ALPHA)
    png_set_gray_to_rgb(png_ptr);
}

```

Agora já terminamos de ler todo o cabeçalho e inicializar. Vamos pedir para que o PNG atualize a informação que já lemos todas essas informações e vamos usar outro `setjmp` que será usado caso um erro aconteça durante a leitura dos pixels:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    png_read_update_info(png_ptr, info_ptr);
    if(setjmp(png_jmpbuf(png_ptr))){
        fprintf(stderr, "ERROR: Failed to interpret %s .\n", filename);
        goto error_png;
    }
}

```

Para ler o arquivo, vamos alocar memória agora que temos o cabeçalho e sabemos o tamanho da imagem. A função `png_read_image` nos retorna a imagem na forma de um array de ponteiros para linhas. Vamos precisar passar isso para um array de pixels, que é o formato que precisamos para passar para o OpenGL.

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```

{
    int y, z;

```

```

returned_data = (GLuint *) Walloc(sizeof(GLuint));
if(returned_data == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR: Not enough memory to read %s. Please, increase "
        "the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n", filename);
    goto error_png;
}
pixel_array = (unsigned char *) Walloc(width * height * 4);
if(pixel_array == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR: No enough memory to load %s. "
        "Please increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
    goto error_png;
}
row_pointers = (png_bytep*) Walloc(sizeof(png_bytep) * height);
if(row_pointers == NULL){
    Wfree(pixel_array);
    fprintf(stderr, "ERROR: No enough memory to load %s. "
        "Please increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        filename);
    goto error_png;
}
for(y = 0; y < height; y++){
    row_pointers[y] = (png_byte*) Walloc(png_get_rowbytes(png_ptr, info_ptr));
    if(row_pointers[y] == NULL){
        for(z = y - 1; z >= 0; z --)
            Wfree(row_pointers[z]);
        Wfree(row_pointers);
        row_pointers = NULL;
        Wfree(pixel_array);
        pixel_array = NULL;
        fprintf(stderr, "ERROR: No enough memory to load %s. "
            "Please increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
            filename);
        goto error_png;
    }
}
// Lemos a imagem em row_pointers
png_read_image(png_ptr, row_pointers);
}

```

Se formos encerrar o arquivo por algum motivo, teremos que desalocar a memória alocada:

Seção: PNG: Encerrando Arquivo:

```

{
    if(row_pointers != NULL){
        int z;
        for(z = height - 1; z >= 0; z --)
            Wfree(row_pointers[z]);
        Wfree(row_pointers);
    }
    if(pixel_array != NULL)

```

```
Wfree(pixel_array);  
}
```

A imagem PNG foi lida. Mas não está em um formato adequado para nós a passarmos para a placa de vídeo como textura. Para isso vamos processar a imagem abaixo:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```
{  
    color_type = png_get_color_type(png_ptr, info_ptr);  
    switch(color_type){  
    case PNG_COLOR_TYPE_RGB:  
        <Seção a ser Inserida: PNG: Extrai Imagem RGB>  
        break;  
    case PNG_COLOR_TYPE_RGBA:  
        <Seção a ser Inserida: PNG: Extrai RGBA>  
        break;  
    }  
}
```

Para extrairmos uma imagem RGBA usamos:

Seção: PNG: Extrai RGBA:

```
{  
    int x, y;  
    for (y = 0; y < height; y++){  
        png_byte* row = row_pointers[y];  
        for (x = 0; x < width; x++){  
            png_byte* ptr = &(row[x*4]);  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4] = ptr[0];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 1] = ptr[1];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 2] = ptr[2];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 3] = ptr[3];  
        }  
    }  
}
```

E uma imagem RGB:

Seção: PNG: Extrai Imagem RGB:

```
{  
    int x, y;  
    for (y = 0; y < height; y++){  
        png_byte* row = row_pointers[y];  
        for (x = 0; x < width; x++){  
            png_byte* ptr = &(row[x*3]);  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4] = ptr[0];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 1] = ptr[1];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 2] = ptr[2];  
            pixel_array[4 * width * (height - y - 1) + x * 4 + 3] = 255;  
        }  
    }  
}
```

Tendo extraído todos os pixels e deixado eles no formato certo, podemos nos livrar da memória alocada para os dados no formato da libpng:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```
{
    int z;
    for(z = height - 1; z >= 0; z --)
        Wfree(row_pointers[z]);
    Wfree(row_pointers);
    row_pointers = NULL;
}
```

E agora podemos gerar uma nova textura OpenGL com a imagem que acabamos de extrair:

Seção: PNG: Extrair Arquivo (continuação):

```
{
    glGenTextures(1, &returned_data);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, *returned_data);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_RGBA, width, height, 0, GL_RGBA,
        GL_UNSIGNED_BYTE, pixel_array);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_EDGE);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, 0);
}
```

E isso encerra nossa extração e definição da função de extrair arquivos PNG. Mas agora precisamos integrá-la dentro das outras funções que são usadas para extrair imagens para interfaces:

Seção: Interface: Extrair Arquivos de Imagens Adicionais:

```
#ifndef W_DISABLE_PNG
    if(!strcmp(ext, ".png") || !strcmp(ext, ".PNG")){ // Suportando .png
        _interfaces[_number_of_loops][i]._texture =
            _extract_png(complete_path,
                &(_interfaces[_number_of_loops][i].number_of_frames),
                &(_interfaces[_number_of_loops][i].frame_duration),
                &(_interfaces[_number_of_loops][i].max_repetition),
                &ret);
        if(ret){ // Se algum erro aconteceu:
            _interfaces[_number_of_loops][i].type = W_NONE;
            return NULL;
        }
        // Sem animação:
        _interfaces[_number_of_loops][i].animate = false;
        _interfaces[_number_of_loops][i]._loaded_texture = true;
        // Limpa a textura antes de encerrar
        _finalize_after(&(_interfaces[_number_of_loops][i]),
            _finalize_interface_texture);
    }
#endif
```

Capítulo 12: Leitura e Escrita de Dados

Em um jogo é importante que sejamos capazes de ler e escrever dados que sejam preservados mesmo quando o jogo for encerrado, para que possam ser obidos novamente no futuro. Um dos usos mais antigos disso é armazenar a pontuação máxima obtida por um jogador em um dado jogo, e assim estimular uma competição por maiores pontos.

Jogos mais sofisticados podem armazenar muitas outras informações, tais como o nome do jogador, nome de personagens e várias informações sobre escolhas tomadas.

É importante então que sejamos capazes de armazenar e recuperar depois três tipos de dados: inteiros, número em ponto flutuante e strings. E cada armazenamento pode ter um nome específico. Isso tornará o gerenciamento de leitura e escrita muito mais intuitiva do que o uso direto de arquivos que precisam ser sempre abertos e fechados. Weaver deverá cuidar de toda essa burocracia sem que um programador tenha que se preocupar com isso.

A leitura e escrita de dados em arquivos não é algo tão simples como parece. Uma queda de energia ou falha fatal do jogo em momentos ruins pode acabar corrompendo todos os dados salvos. A melhor forma de evitar isso é usar um banco de dados se estivermos rodando um programa nativo. Se estivermos executando em um navegador de Internet, aí o problema torna-se outro. Nós nem mesmo seremos capazes de abrir arquivos, salvar dados precisa ser feito por meio de cookies.

Então, uma grande vantagem de abstrairmos coisas como gerenciamento de arquivos e criarmos apenas uma interface para ler e escrever variáveis permanentes, é que essa mesma interface pode ser usada tanto em jogos executados nativamente com aqueles que executam em um navegador.

12.1 - Inicializando o Sqlite

O Sqlite é uma biblioteca de banco de dados que permite criar e acessar arquivos simples como sendo um banco de dados relacional, mantendo as características de um banco de dados relacional. Como por exemplo, uma alta tolerância à falhas e à perda de dados, mesmo em caso de quedas de energia e acesso simultâneo a uma mesma base de dados. A biblioteca foi projetada e criada em 2000 por Dwayne Richard Hipp.

As características do Sqlite são bastante importantes para evitarmos o trágico problema de arquivos sendo corrompidos e fazendo com que um usuário perca todos os seus dados caso a energia acabe ou o jogo seja fechado no momento em que ele está salvando dados.

O código da biblioteca será inserido estaticamente junto com o código da engine Weaver em projetos Weaver. Então só temos que nos preocupar em inicializar a biblioteca e criar uma interface para suas funcionalidades.

Primeiro vamos criar o arquivo que conterá tudo isso:

Arquivo: project/src/weaver/database.h:

```
#ifndef _database_h_
#define _database_h_
#ifdef __cplusplus
    extern "C" {
#endif
#include "weaver.h"
    <Seção a ser Inserida: Inclui Cabeçalho de Configuração>
    <Seção a ser Inserida: Banco de Dados: Declarações>
#ifdef __cplusplus
    }
#endif
#endif
```

Arquivo: project/src/weaver/database.c:

```
#include "weaver.h"
    <Seção a ser Inserida: Banco de Dados: Inclui Cabeçalhos>
```

<Seção a ser Inserida: Banco de Dados: Variáveis Estáticas>
// <Seção a ser Inserida: Banco de Dados: Funções Estáticas>
<Seção a ser Inserida: Banco de Dados: Definições>

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
#include "database.h"
```

Iremos usar o Sqlite somente se estivermos rodando o jogo nativamente. Se estivermos rodando na web, usaremos outra solução (cookies):

Seção: Banco de Dados: Inclui Cabeçalhos:

```
#if W_TARGET == W_ELF
#include <sys/stat.h> // mkdir
#include <sys/types.h> // mkdir, getpwuid, getuid
#include <unistd.h> // getuid
#include <stdlib.h> // getenv
#include <pwd.h> // getpwuid
#include "../misc/sqlite/sqlite3.h"
#endif
```

Precisamos de um ponteiro que irá representar nossa conexão com o banco de dados:

Seção: Banco de Dados: Variáveis Estáticas:

```
#if W_TARGET == W_ELF
static sqlite3 *database;
#endif
```

Agora vamos à questão de onde devemos armazenar o banco de dados de um projeto Weaver. O local escolhido deverá ser um diretório oculto na “home” de um usuário. Iremos escolher então o endereço `.weaver_data/XXX/XXX.db` no diretório do usuário, onde “XXX” é o nome do projeto Weaver em execução. Na inicialização iremos então nos assegurar de que o banco de dados existe, e se não existir iremos criá-lo:

Seção: Banco de Dados: Declarações:

```
#if W_TARGET == W_ELF
void _initialize_database(void);
#endif
```

Seção: Banco de Dados: Definições:

```
#if W_TARGET == W_ELF
void _initialize_database(void){
    char path[256];
    int ret, size;
    char *p, *zErrMsg = NULL;
    // Temos que obter o diretório home do usuário. Primeiro tentamos
    // ler a variável de ambiente HOME:
    p = getenv("HOME");
    if(p != NULL){
        size = strlen(p);
        strncpy(path, p, 255);
        path[255] = '\0';
    }
    else{
        // Se não conseguimos obter a variável HOME, usamos getpwuid para
        // obter o diretório configurado no /etc/passwd:
        struct passwd *pw = getpwuid(getuid());
```

```

if(pw != NULL){
    size = strlen(pw -> pw_dir);
    strncpy(path, pw -> pw_dir, 255);
    path[255] = '\0';
}
else{
    // Se tudo falhar, tentamos usar o /tmp/ e avisamos o usuário:
    fprintf(stderr,
        "WARNING (0): Couldn't get home directory. Saving data in /tmp."
        "\n");
    size = 4;
    strncpy(path, "/tmp", 255);
}
}

// Criando o endereço do diretório cuidando com buffer overflows:
if(size + 9 < 256){
    size += 14;
    strcat(path, ".weaver_data/");
    mkdir(path, 0755);
}

// Criando o .weaver_data/W_PROG:
size += strlen(W_PROG) + 1;
if(size < 256){
    strcat(path, W_PROG);
    strcat(path, "/");
    mkdir(path, 0755);
}

// Adicionando o nome do arquivo:
size += strlen(W_PROG) + 3;
if(size < 256){
    strcat(path, W_PROG);
    strcat(path, ".db");
}

// Se o banco de dados não existir, ele será criado:
ret = sqlite3_open(path, &database);
if(ret != SQLITE_OK){
    fprintf(stderr,
        "WARNING (0): Can't create or read database %s. "
        "Data won't be saved: %s\n",
        path,
        sqlite3_errmsg(database));
}

// Criando tabelas se elas não existirem. Tabela de inteiros:
ret = sqlite3_exec(database,
    "CREATE TABLE IF NOT EXISTS "
    "int_data(name TEXT PRIMARY KEY, value INT);",
    NULL, NULL, &zErrMsg);
if(ret != SQLITE_OK){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): SQL error: %s\n ", zErrMsg);
}

```

```

    sqlite3_free(zErrMsg);
}
// Tabela de floats:
if(ret == SQLITE_OK){
    ret = sqlite3_exec(database,
        "CREATE TABLE IF NOT EXISTS "
        "float_data(name TEXT PRIMARY KEY, value REAL);",
        NULL, NULL, &zErrMsg);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): SQL error: %s\n ", zErrMsg);
        sqlite3_free(zErrMsg);
    }
}
// Tabela de strings:
if(ret == SQLITE_OK){
    ret = sqlite3_exec(database,
        "CREATE TABLE IF NOT EXISTS "
        "string_data(name TEXT PRIMARY KEY, value TEXT);",
        NULL, NULL, &zErrMsg);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): SQL error: %s\n ", zErrMsg);
        sqlite3_free(zErrMsg);
    }
}
}
#endif

```

Para que essa função seja executada na inicialização, adicionamos ela na lista de funções a serem usadas na inicialização:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
{
    _initialize_database();
}
#endif

```

Precisamos também finalizar a conexão quando o programa for encerrado:

Seção: Banco de Dados: Declarações:

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _finalize_database(void);
#endif

```

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _finalize_database(void){
    sqlite3_close(database);
}
#endif

```

E também adicionamos a função de finalização para ser executada na finalização:

Seção: API Weaver: Finalização (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF

```

```
{
    _finalize_database();
}
#endif
```

12.2 - Gravando Dados no Banco de Dados

Salvar os dados será diferente se estamos executando via web ou nativamente. Via web, só o que temos que fazer será criar cookies. Nativamente, usaremos o Sqlite3 para armazenar os dados na tabela. Os dados que salvamos podem ser inteiros, números em ponto flutuante e strings.

No caso de inteiros, a função que usaremos será declarada como:

Seção: Banco de Dados: Declarações:

```
void _write_integer(char *name, int value);
```

Esta função será uma das funções W a ser tornada pública:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*write_integer)(char*, int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.write_integer = &_write_integer;
```

A definição, caso estejamos rodando nativamente com Sqlite é:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```
#if W_TARGET == W_ELF
void _write_integer(char *name, int value){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
        "INSERT OR REPLACE INTO int_data VALUES (?, ?);",
        -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
    // Inserindo o valor da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_int(stmt, 2, value);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
    // Executando a expressão SQL:
    ret = sqlite3_step(stmt);
    if(ret != SQLITE_DONE){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Possible problem saving data.\n");
    }
}
```

```

    return;
}
// Encerrando
sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

Já se estivermos executando na web, a definição passa a ser:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _write_integer(char *name, int value){
    EM_ASM({
        document.cookie = "int_" + Pointer_stringify($0) + "=" + $1 +
            "; expires=Fri, 31 Dec 9999 23:59:59 GMT";
    }, name, value);
}
#endif

```

E assim estamos armazenando números inteiros. Exceto na web, em que todos os números são tratados como ponto-flutuante (mas de qualquer forma, o compilador garante que somente inteiros são passados).

Vamos agora ao armazenamento de números em ponto-flutuante. A função é declarada como:

Seção: Banco de Dados: Declarações (continuação):

```

void _write_float(char *name, float value);

```

Tornando a função pública em W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

void (*write_float)(char*, float);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

W.write_float = &_write_float;

```

Definindo a função com Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _write_float(char *name, float value){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
        "INSERT OR REPLACE INTO float_data VALUES (?, ?);",
        -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
    // Inserindo o valor da variável na expressão:

```

```

ret = sqlite3_bind_double(stmt, 2, value);
if(ret != SQLITE_OK){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
    return;
}
// Executando a expressão SQL:
ret = sqlite3_step(stmt);
if(ret != SQLITE_DONE){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Possible problem saving data.\n");
    return;
}
// Encerrando
sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

Definindo a mesma função para funcionar usando cookies:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _write_float(char *name, float value){
    EM_ASM({
        document.cookie = "float_" + Pointer_stringify($0) + "=" + $1 +
            "; expires=Fri, 31 Dec 9999 23:59:59 GMT";
    }, name, value);
}
#endif

```

E agora a última função de escrita. A função para escrever uma string. Primeiro sua declaração e preparação:

Seção: Banco de Dados: Declarações (continuação):

```
void _write_string(char *name, char *value);
```

Tornando a função pública em W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*write_string)(char *, char *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.write_string = &_write_string;
```

A implementação com Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _write_string(char *name, char *value){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
        "INSERT OR REPLACE INTO string_data VALUES (?, ?);",
        -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
        return;
    }
}

```



```

}
// Inserindo o nome da variável na expressão:
ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
if(ret != SQLITE_OK){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
    return;
}
// Inserindo o valor da variável na expressão:
ret = sqlite3_bind_text(stmt, 2, value, -1, SQLITE_STATIC);
if(ret != SQLITE_OK){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't save data.\n");
    return;
}
// Executando a expressão SQL:
ret = sqlite3_step(stmt);
if(ret != SQLITE_DONE){
    fprintf(stderr, "WARNING (0): Possible problem saving data.\n");
    return;
}
// Encerrando
sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

E a implementação usando cookies:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _write_string(char *name, char *value){
    EM_ASM_({
        document.cookie = "string_" + Pointer_stringify($0) + "=" +
            Pointer_stringify($1) + "; expires=Fri, 31 Dec 9999 23:59:59 GMT";
    }, name, value);
}
#endif

```

12.3 - Lendo do Banco de Dados

Para ler as informações armazenadas, vamos precisar de funções com a seguinte assinatura:

Seção: Banco de Dados: Declarações (continuação):

```

bool _read_integer(char *name, int *value);
bool _read_float(char *name, float *value);
bool _read_string(char *name, char *value, int n);

```

E elas serão colocadas em W :

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

bool (*read_integer)(char *, int *);
bool (*read_float)(char *, float *);
bool (*read_string)(char *, char *, int);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.read_integer = &_read_integer;
W.read_float = &_read_float;
W.read_string = &_read_string;
```

A função que lê um inteiro checa o primeiro argumento para saber o nome da variável que deve ser lida. O segundo argumento é um ponteiro para inteiro que indica onde ela deve olocar o resultado se conseguir encontrá-lo. E a função deve retornar um booleano que indica se ela conseguiu encontrar a variável pedida ou não. Usando Sqlite, fazemos assim:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```
#if W_TARGET == W_ELF
bool _read_integer(char *name, int *value){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                             "SELECT value FROM int_data WHERE name = ?;",
                             -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return false;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return false;
    }
    // Executando a expressão SQL:
    ret = sqlite3_step(stmt);
    if(ret == SQLITE_ROW){
        *value = sqlite3_column_int(stmt, 0);
        sqlite3_finalize(stmt);
        return true;
    }
    else{
        sqlite3_finalize(stmt);
        return false;
    }
}
#endif
```

Ler um número em ponto-flutuante do Sqlite segue a mesma lógica:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```
#if W_TARGET == W_ELF
bool _read_float(char *name, float *value){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                             "SELECT value FROM float_data WHERE name = ?;",
                             -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return false;
    }
}
```

```

}
// Inserindo o nome da variável na expressão:
ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
if(ret != SQLITE_OK){
    return false;
}
// Executando a expressão SQL:
ret = sqlite3_step(stmt);
if(ret == SQLITE_ROW){
    *value = sqlite3_column_double(stmt, 0);
    sqlite3_finalize(stmt);
    return true;
}
else{
    sqlite3_finalize(stmt);
    return false;
}
}
#endif

```

E ler uma string tem apenas a diferença de que temos que copiar a string preenchida pela função `sqlite3_column_text` antes de infocarmos outras funções que tem o potencial de desalocá-la, e devemos copiar no máximo o número de bytes passado como terceiro argumento:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
bool _read_string(char *name, char *value, int size){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    const unsigned char *p;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                             "SELECT value FROM string_data WHERE name = ?;",
                             -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return false;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return false;
    }
    // Executando a expressão SQL:
    ret = sqlite3_step(stmt);
    if(ret == SQLITE_ROW){
        p = sqlite3_column_text(stmt, 0);
        strncpy(value, (const char *) p, size);
        sqlite3_finalize(stmt);
        return true;
    }
    else{

```

```

sqlite3_finalize(stmt);
return false;
}
}
#endif

```

Já para lermos um inteiro quando executamos na web via cookies:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
bool _read_integer(char *name, int *value){
    // Primeiro checamos se o cookie existe:
    int exists = EM_ASM_INT({
        var nameEQ = "int_" + Pointer_stringify($0) + "=";
        var ca = document.cookie.split(';');
        for(var i=0;i < ca.length;i++) {
            var c = ca[i];
            while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);
            if (c.indexOf(nameEQ) == 0)
                return 1;
        }
        return 0;
    }, name);
    if(!exists)
        return false;
    // Se não encerramos, o valor existe. Vamos obtê-lo:
    *value = EM_ASM_INT({
        var nameEQ = "int_" + Pointer_stringify($0) + "=";
        var ca = document.cookie.split(';');
        for(var i=0;i < ca.length;i++) {
            var c = ca[i];
            while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);
            if (c.indexOf(nameEQ) == 0)
                return parseInt(c.substring(nameEQ.length,c.length), 10);
        }
    }, name);
    return true;
}
#endif

```

Ler um número em ponto fluuante do Javascript é exatamente a mesma coisa, já que lá é tudo número em ponto fluante mesmo. Só precisamos converter para float usando `EM_ASM_DOUBLE`:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
bool _read_float(char *name, float *value){
    // Primeiro checamos se o cookie existe:
    int exists = EM_ASM_INT({
        var nameEQ = "float_" + Pointer_stringify($0) + "=";
        var ca = document.cookie.split(';');
        for(var i=0;i < ca.length;i++) {
            var c = ca[i];
            while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);

```

```

        if (c.indexOf(nameEQ) == 0)
            return 1;
    }
    return 0;
}, name);
if(!exists)
    return false;
// Se não encerramos, o valor existe. Vamos obtê-lo:
*value = EM_ASM_DOUBLE({
    var nameEQ = "float_" + Pointer_stringify($0) + "=";
    var ca = document.cookie.split(';');
    for(var i=0;i < ca.length;i++) {
        var c = ca[i];
        while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);
        if (c.indexOf(nameEQ) == 0)
            return parseInt(c.substring(nameEQ.length,c.length), 10);
    }
}, name);
return true;
}
#endif

```

Agora ler uma string é um pouco mais complexo, pois precisamos invocar algumas funções especiais do Emscripten dentro do código Javascript para podermos copiar uma string Javascript para C:

Seção: Banco de Dados: Definições:

```

#if W_TARGET == W_WEB
bool _read_string(char *name, char *value, int size){
    // Primeiro checamos se o cookie existe:
    int exists = EM_ASM_INT({
        var nameEQ = "string_" + Pointer_stringify($0) + "=";
        var ca = document.cookie.split(';');
        for(var i=0;i < ca.length;i++) {
            var c = ca[i];
            while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);
            if (c.indexOf(nameEQ) == 0)
                return 1;
        }
        return 0;
    }, name);
    if(!exists)
        return false;
    // Se não encerramos, o valor existe. Vamos obtê-lo:
    EM_ASM({
        var nameEQ = "string_" + Pointer_stringify($0) + "=";
        var ca = document.cookie.split(';');
        for(var i=0;i < ca.length;i++) {
            var c = ca[i];
            while (c.charAt(0)==' ') c = c.substring(1,c.length);
            if (c.indexOf(nameEQ) == 0){

```

```

        stringToUTF8(c.substring(nameEQ.length,c.length), $1, $2);
    }
}
}, name, value, size);
return true;
}
#endif

```

12.4 - Removendo do Banco de Dados

Uma vez que podemos guardar coisas, será importante também poder jogar fora o que armazenamos, sem substituir por outra coisa. Enfim, devemos ser capazes de remover entradas do banco de dados recebendo o seu nome como argumento. As funções que farão isso serão:

Seção: Banco de Dados: Declarações (continuação):

```

void _delete_integer(char *name);
void _delete_float(char *name);
void _delete_string(char *name);
void _delete_all(void);

```

E elas serão colocadas em W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```

void (*delete_integer)(char *);
void (*delete_float)(char *);
void (*delete_string)(char *);
void (*delete_all)(void);

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

W.delete_integer = &_amp_delete_integer;
W.delete_float = &_amp_delete_float;
W.delete_string = &_amp_delete_string;
W.delete_all = &_amp_delete_all;

```

Apagando um inteiro via Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _delete_integer(char *name){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                            "DELETE FROM int_data WHERE name = ?;",
                            -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        sqlite3_finalize(stmt);
        return;
    }
}

```

```

}
// Executando a expressão SQL:
ret = sqlite3_step(stmt);
sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

Apagando um número em ponto-flutuante via Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _delete_float(char *name){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                             "DELETE FROM float_data WHERE name = ?;",
                             -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        sqlite3_finalize(stmt);
        return;
    }
    // Executando a expressão SQL:
    ret = sqlite3_step(stmt);
    sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

Apagando uma string via Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _delete_string(char *name){
    int ret;
    sqlite3_stmt *stmt;
    // Primeiro preparamos a expressão:
    ret = sqlite3_prepare_v2(database,
                             "DELETE FROM string_data WHERE name = ?;",
                             -1, &stmt, 0);
    if(ret != SQLITE_OK){
        return;
    }
    // Inserindo o nome da variável na expressão:
    ret = sqlite3_bind_text(stmt, 1, name, -1, SQLITE_STATIC);
    if(ret != SQLITE_OK){
        sqlite3_finalize(stmt);
        return;
    }

```

```

}
// Executando a expressão SQL:
ret = sqlite3_step(stmt);
sqlite3_finalize(stmt);
}
#endif

```

Apagando tudo via Sqlite:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF
void _delete_all(void){
    sqlite3_exec(database, "DELETE * FROM int_data; ", NULL, NULL, NULL);
    sqlite3_exec(database, "DELETE * FROM float_data; ", NULL, NULL, NULL);
    sqlite3_exec(database, "DELETE * FROM string_data; ", NULL, NULL, NULL);
}
#endif

```

Apagar qualquer valor via cookies é simplesmente colocar qualquer valor nele e colocar uma data de validade no passado:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _delete_integer(char *name){
    EM_ASM({
        document.cookie = "int_" + Pointer_stringify($0) + "=0" +
            ";expires=Thu, 01 Jan 1970 00:00:01 GMT";
    }, name);
}
void _delete_float(char *name){
    EM_ASM({
        document.cookie = "float_" + Pointer_stringify($0) + "=0" +
            ";expires=Thu, 01 Jan 1970 00:00:01 GMT";
    }, name);
}
void _delete_string(char *name){
    EM_ASM({
        document.cookie = "string_" + Pointer_stringify($0) + "=0" +
            ";expires=Thu, 01 Jan 1970 00:00:01 GMT";
    }, name);
}
#endif

```

Já apagar todos os cookies requer que iteremos sobre todos eles para colocar no passado a data de validade:

Seção: Banco de Dados: Definições (continuação):

```

#if W_TARGET == W_WEB
void _delete_all(void){
    EM_ASM({
        var cookies = document.cookie.split(";");
        for (var i = 0; i < cookies.length; i++) {
            var cookie = cookies[i];
            var eqPos = cookie.indexOf("=");

```



```

    var name = eqPos > -1 ? cookie.substr(0, eqPos) : cookie;
    document.cookie = name + ";expires=Thu, 01 Jan 1970 00:00:00 GMT";
  }
});
}
#endif

```

12.5 - Sumário das variáveis e Funções de Leitura e Escrita de Dados

- As seguintes 10 novas funções foram definidas:

`void W.delete_all(void)` : Apaga do banco de dados todos os valores armazenados pelo programa.

`void W.delete_float(char *name)` : Apaga do banco de dados o número em ponto-flutuante identificado pela string passada como argumento. Ignora valores não-encontrados.

`void W.delete_integer(char *name)` : Apaga do banco de dados o número inteiro identificado pela string passada como argumento. Ignora valores não-encontrados.

`void W.delete_string(char *name)` : Apaga do banco de dados a string identificada pelo argumento. Ignora valores não-encontrados.

`bool W.read_float(char *name, float *value)` : Lê um valor identificado pelo primeiro argumento que é um número em ponto flutuante do banco de dados e armazena no local apontado pelo segundo argumento caso ele seja encontrado. Retorna se a operação foi bem-sucedida ou não.

`bool W.read_integer(char *name, int *value)` : Lê um valor identificado pelo primeiro argumento que é um número inteiro do banco de dados e armazena no local apontado pelo segundo argumento caso ele seja encontrado. Retorna se a operação foi bem-sucedida ou não.

`bool W.read_string(char *name, char *value, int n)` : Lê um valor identificado pelo primeiro argumento que é uma string do banco de dados e armazena no local apontado pelo segundo argumento, copiando no máximo o número de bytes passado como terceiro argumento. Retorna se a operação foi bem-sucedida ou não.

`void W.write_float(char *name, float value)` : Armazena no banco de dados um valor em ponto flutuante identificado pelo nome passado como primeiro argumento que deverá ser igual ao segundo argumento. O valor será preservado mesmo após o programa se encerrar.

`void W.write_integer(char *name, int value)` : Armazena no banco de dados um valor inteiro identificado pelo nome passado como primeiro argumento que deverá ser igual ao segundo argumento. O valor será preservado mesmo após o programa se encerrar.

`void W.write_string(char *name, char *value)` : Armazena no banco de dados uma string identificada pelo nome passado como primeiro argumento que deverá ser igual ao segundo argumento. O valor será preservado mesmo após o programa se encerrar.

Capítulo 13: Música

No capítulo 9 criamos código para poder tocar efeitos sonoros no computador. Entretanto, o mesmo código não pode ser usado para tocar músicas ou arquivos de áudio muito longos. Primeiro porque com o que foi feito no capítulo 9, nós só somos capazes de tocar áudio no formato WAVE, sem compactação. Tais arquivos ficam grandes demais para músicas. Segundo porque o código do capítulo 9 copia todo o conteúdo do áudio para a memória. Para efeitos sonoros simples, isso é ideal. Mas é algo imprático para áudios longos que gastariam uma quantidade grande demais de memória.

Se estamos executando nosso jogo em um navegador de internet, é tudo bem simples. Iremos usar os recursos do próprio navegador para tocar o nosso áudio. Caso contrário, precisamos de um mecanismo mais sofisticado.

Queremos tratar a execução de música de uma forma semelhante ao que criamos para as nossas interfaces. Então deve existir uma macro que nos diz o número máximo de faixas de áudio que pode existir em um loop. Essa macro será `W_MAX_MUSIC`.

Para entender a utilidade de tocar mais de uma música ao mesmo tempo, basta lembrar que não são apenas músicas que podem ser tocadas desta forma. A dublagem de um jogo e efeitos sonoros também podem. E pode-se combinar diferentes efeitos sonoros, cada um com suas próprias informações de volume para obter efeitos como o de sites como o <https://mynoise.net>.

Músicas e efeitos deste tipo devem rodar em threads no caso de programas nativos. Mesmo que nas configurações o projeto Weaver esteja configurado para não usar threads. Tais threads não precisam de mutex, pois cada uma delas irá interagir apenas lendo e escrevendo em estruturas de dados próprias e únicas para cada uma delas.

O número de threads necessário é igual a `W_MAX_MUSIC`. Cada uma delas precisa saber qual o arquivo de áudio que deve tocar, precisa ter um buffer onde o arquivo é parcialmente carregado para ser enviado para o OpenAL (se estamos rodando nativamente) e precisa também de um inteiro que armazena números representando o estado da música (ela pode estar tocando, pode estar pausada ou não carregada) e outro para o volume. Tais informações de estado e volume, bem como de nome do arquivo deve ser local para cada loop principal.

Outra coisa relevante é que formatos de música iremos suportar. Por mais que eu, autor deste software, queira usar o Ogg Vorbis, irei começar com o MP3. É um formato ligeiramente inferior que causou muitos problemas com patentes, mas que é universalmente suportado. Mas para mim, o grande problema são os navegadores de Internet, os quais nem sempre suportam o formato Ogg Vorbis. Além disso, como as patentes do formato estão morrendo, aparentemente elas não causarão mais problemas. Sendo assim, a biblioteca escolhida para rodar nativamente será a mpg123.

Arquivo: project/src/weaver/conf_end.h (continuação):

```
// Por padrão, teremos só uma faixa de áudio:
```

```
#ifndef W_MAX_MUSIC
#define W_MAX_MUSIC 1
#endif
```

Como usamos o libmpg123 e semáforos:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
#include <semaphore.h>
#endif
#include <mpg123.h>
#endif
```

Vamos implementar nossa própria função `basename` para funcionar quando o Emscripten não suportar ela:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
```

```
static char *basename(char *path){
    char *p = path, *c;
    for(c = path; *c != '\0'; c++)
        if(*c == '/' && *(c+1) != '\0')
            p = c + 1;
    return p;
}
#endif
```

A estrutura de dados que armazenará as informações para cada faixa de música será:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
struct _music_data{
    char filename[W_MAX_SUBLOOP][256];
    int status[W_MAX_SUBLOOP]; // Playing, not playing or paused
    float volume[W_MAX_SUBLOOP];
    bool loop[W_MAX_SUBLOOP];
#if W_TARGET == W_ELF
    unsigned char *buffer;
    size_t buffer_size;
    // Para as threads:
    pthread_t thread;
    sem_t semaphore;
#endif
// Para decodificar MP3:
    mpg123_handle *mpg_handle;
#endif
    // Para lidar com o OpenAL:
    ALuint sound_source, openal_buffer[2];
#endif
};
```

E declaramos o nosso array dessas estruturas:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
extern struct _music_data _music[W_MAX_MUSIC];
#ifdef W_MULTITHREAD
    // Mutex para quando formos mudar as variáveis que mudam o
    // comportamento das threads responsáveis pela música:
extern pthread_mutex_t _music_mutex;
#endif
```

Seção: Som: Variáveis Estáticas (continuação):

```
struct _music_data _music[W_MAX_MUSIC];
#ifdef W_MULTITHREAD
    // Mutex para quando formos mudar as variáveis que mudam o
    // comportamento das threads responsáveis pela música:
pthread_mutex_t _music_mutex;
#endif
```

Para preencheremos a variável `status`, vamos definir as seguintes macros:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
#define _NOT_LOADED 0
```

```
#define _PLAYING    1
#define _PAUSED    2
```

E inicializamos a estrutura:

Seção: Som: Inicialização (continuação):

```
{
    int i, j;
    #if W_TARGET == W_ELF
    #ifndef W_DISABLE_MP3
        int ret;
        mpg123_init();
    #endif
    #endif
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
    #if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
        _music[i].mpg_handle = mpg123_new(NULL, &ret);
        if(_music[i].mpg_handle == NULL){
            fprintf(stderr, "WARNING: MP3 handling failed.\n");
        }
        _music[i].buffer_size = mpg123_outblock(_music[i].mpg_handle);
        _music[i].buffer = (unsigned char *) Walloc(_music[i].buffer_size);
    #endif
        for(j = 0; j < W_MAX_SUBLOOP; j++){
            _music[i].volume[j] = 0.5;
            _music[i].status[j] = _NOT_LOADED;
            _music[i].filename[j][0] = '\0';
        }
    #if W_TARGET == W_ELF
        alGenSources(1, &_music[i].sound_source);
        alGenBuffers(2, _music[i].openal_buffer);
        if(alGetError() != AL_NO_ERROR){
            fprintf(stderr, "WARNING: Error generating music buffer.\n");
        }
    #endif
    }
}

#ifdef W_MULTITHREAD
    if(pthread_mutex_init(&_music_mutex, NULL) != 0){
        perror("Initializing music mutex:");
        exit(1);
    }
#endif
}
```

Não esqueçamos a finalização. Finalizamos os possíveis mutex e estruturas do mpg123:

Seção: Som: Primeira Finalização (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
{
    int i;
    for(i = W_MAX_MUSIC - 1; i >= 0; i--){
    #ifndef W_DISABLE_MP3
```

```

    mpg123_close(_music[i].mpg_handle);
    mpg123_delete(_music[i].mpg_handle);
#endif
    alDeleteSources(1, &_music[i].sound_source);
    alDeleteBuffers(2, _music[i].openal_buffer);
#ifdef W_DISABLE_MP3
    Wfree(_music[i].buffer);
#endif
}
#ifdef W_DISABLE_MP3
    mpg123_exit();
#endif
}
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_destroy(&_music_mutex);
#endif

```

Como iremos usar o OpenAL para tocar o som, temos também que destruir a fonte de som atual caso troquemos o dispositivo usado para tocar:

Seção: Som: Antes de Trocar de Dispositivo (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        alGenSources(1, &_music[i].sound_source);
    }
}
#endif

```

E depois de fazermos a troca de dispositivo, geramos novamente a fonte de som:

Seção: Som: Após Trocar de Dispositivo:

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        alDeleteSources(1, &_music[i].sound_source);
    }
}
#endif

```

Vamos começar a programar as funções que irão controlar a música do jogo. Tais funções funcionarão apenas ajustando variáveis. Quem irá efetivamente fazer o trabalho são as threads que programaremos depois e que terão a responsabilidade de checar as variáveis. A primeira será a função que passa a tocar uma música. Ela deve ser invocada como `W.play_music("o_fortuna.mp3", true)`. O segundo argumento só diz se a música deve tocar em um loop ou não. Então ela terá a assinatura:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
bool _play_music(char *, bool);
```

A função funcionará achando uma thread disponível que não está tocando nada e colocando a música passada como argumento para tocar:

Seção: Som: Definições (continuação):

```

bool _play_music(char *name, bool loop){
    int i;
    bool success = false;
    // Antes de assumir que ainda não temos a música rodando, vamos ver
    // se ela já não existe e não está tocando, ainda que esteja
    // pausada:
    if(_resume_music(name))
        return true;
    // Se não retornamos, temos que passar a tocar uma nova música
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i ++){
        if(_music[i].status[_number_of_loops] == _NOT_LOADED){
            #if W_TARGET == W_WEB
                // Se rodando na web, não há threads, apenas tocamos a música.
                EM_ASM({
                    document["music" + $0] = new Audio("music/" + Pointer_stringify($1));
                    document["music" + $0].volume = 0.5;
                    if($2){
                        document["music" + $0].loop = true;
                    }
                    document["music" + $0].play();
                }, i, name, loop);
            #endif
            _music[i].volume[_number_of_loops] = 0.5;
            // Gerando o caminho do arquivo da música:
            _music[i].filename[_number_of_loops][0] = '\0';
            #if W_DEBUG_LEVEL == 0
                strncpy(_music[i].filename[_number_of_loops], W_INSTALL_DATA, 256);
                strcat(_music[i].filename[_number_of_loops], "/");
            #endif
            strncat(_music[i].filename[_number_of_loops], "music/",
                    256 - strlen(_music[i].filename[_number_of_loops]));
            strncat(_music[i].filename[_number_of_loops], name,
                    256 - strlen(_music[i].filename[_number_of_loops]));
            success = true;
            if(_music[i].status[_number_of_loops] != _PLAYING){
                _music[i].status[_number_of_loops] = _PLAYING;
                _music[i].loop[_number_of_loops] = loop;
            }
            #if W_TARGET == W_ELF
                // Liberamos o semáforo para que a thread possa tocar:
                sem_post(&(_music[i].semaphore));
            #endif
        }
        break;
    }
}
#ifdef W_MULTITHREAD

```

```

    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
#ifdef W_DISABLE_MP3
    return success && false;
#else
    return success;
#endif
}

```

— E adicionando à estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*play_music)(char *, bool);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.play_music = &_play_music;
```

Uma vez que podemos tocar uma música, podemos querer também pausar ela. Para isso, a assinatura da função para pausar será:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
bool _pause_music(char *);
```

Note que da mesma forma, tudo o que a função de pausar fará será ajustar variáveis que depois serão consultadas pelas threads. As threads terão a responsabilidade de checar quando essas variáveis são modificadas:

Seção: Som: Definições (continuação):

```

bool _pause_music(char *name){
    int i;
    bool success = false;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        if(!strcmp(name, basename(_music[i].filename[_number_of_loops])) &&
            _music[i].status[_number_of_loops] == _PLAYING){
#ifdef W_TARGET == W_WEB
            // Se rodando na web, não há threads, apenas pausamos a música.
            EM_ASM_{
                if(document["music" + $0] !== undefined){
                    document["music" + $0].pause();
                }
            }, i);
#endif
            _music[i].status[_number_of_loops] = _PAUSED;
            success = true;
            break;
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
#ifdef W_DISABLE_MP3
    return success && false;

```

```
#else
```

```
    return success;
```

```
#endif
```

```
}
```

— E adicionamos à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*pause_music)(char *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.pause_music = &_pause_music;
```

Agora que sabemos o que acontece quando pausamos, vamos definir o `_resume_music`, que nós não exportaremos, mas usaremos internamente:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
bool _resume_music(char *);
```

Seção: Som: Definições (continuação):

```
bool _resume_music(char *name){
```

```
    int i;
```

```
    bool success = false;
```

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
```

```
#endif
```

```
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
```

```
        if(!strcmp(name, basename(_music[i].filename[_number_of_loops])) &&  
            _music[i].status[_number_of_loops] == _PAUSED){
```

```
#if W_TARGET == W_WEB
```

```
    // Se rodando na web, não há threads, apenas recomeçamos a música.
```

```
    EM_ASM_{
```

```
        if(document["music" + $0] !== undefined){
```

```
            document["music" + $0].play();
```

```
        }
```

```
    }, i);
```

```
#endif
```

```
        _music[i].status[_number_of_loops] = _PLAYING;
```

```
#if W_TARGET == W_ELF
```

```
    // Liberamos o semáforo para que a thread possa voltar a tocar:
```

```
    sem_post(&(_music[i].semaphore));
```

```
#endif
```

```
        success = true;
```

```
        break;
```

```
    }
```

```
}
```

```
#ifdef W_MULTITHREAD
```

```
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
```

```
#endif
```

```
#ifdef W_DISABLE_MP3
```

```
    return success && false;
```

```
#else
```

```
    return success;
```



```
#endif
}
```

Também pediremos para parar de tocar a música. Isso será equivalente a liberar a faixa de música para que ela possa tocar outras coisas:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
bool _stop_music(char *);
```

E a definição:

Seção: Som: Definições (continuação):

```
bool _stop_music(char *name){
    int i;
    bool success = false;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        if(!strcmp(name, basename(_music[i].filename[_number_of_loops]))){
#ifdef W_TARGET == W_WEB
            // Se rodando na web, não há threads, apenas pausamos e
            // removemos a música.
            EM_ASM({
                if(document["music" + $0] !== undefined){
                    document["music" + $0].pause();
                    document["music" + $0] = undefined;
                }
            }, i);
#endif
            _music[i].filename[_number_of_loops][0] = '\0';
            _music[i].status[_number_of_loops] = _NOT_LOADED;
#ifdef W_TARGET == W_ELF
            // Liberamos o mutex caso a thread tenha sido pausada
            if(_music[i].status[_number_of_loops] == _PAUSED)
                sem_post(&(_music[i].semaphore));
#endif
            success = true;
            break;
        }
    }
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
#ifdef W_DISABLE_MP3
    return success && false;
#else
    return success;
#endif
}
```

Adicionando à W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
bool (*stop_music)(char *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.stop_music = &_stop_music;
```

Outra coisa importante será obter informações sobre o volume:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
float _get_volume(char *);
```

Se obtivermos um valor negativo, significa que a música indicada não existe. Já um valor entre 0 e 1 representa o volume atual daquela música:

Seção: Som: Definições (continuação):

```
float _get_volume(char *name){
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        if(!strcmp(name, _music[i].filename[_number_of_loops])){
            return _music[i].volume[_number_of_loops];
        }
    }
    return -1.0;
}
```

E adicionamos à estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
float (*get_volume)(char *);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.get_volume = &_get_volume;
```

E forneceremos também a API para incrementar o volume a quantidade passada como argumento (até o máximo de 1). Para decrementar, pode-se passar um número negativo (mas o mínimo será 0):

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
float _increase_volume(char *, float);
```

A função funciona apenas mudando a variável, confiando que a thread notará que o valor do volume foi modificado. Ou, se estivermos rodando na web, o valor é modificado na hora. Esta função deve retornar o volume após a mudança, ou -1.0 se a operação não foi bem-sucedida:

Seção: Som: Definições (continuação):

```
float _increase_volume(char *name, float increment){
    int i;
    float success = -1.0, total;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        if(!strcmp(name, basename(_music[i].filename[_number_of_loops]))){
            total = _music[i].volume[_number_of_loops] + increment;
            if(total > 1.0)
                _music[i].volume[_number_of_loops] = 1.0;
            else if(total < 0.0)
                _music[i].volume[_number_of_loops] = 0.0;
            else _music[i].volume[_number_of_loops] = total;
        }
    }
    return total;
}
```

```

#if W_TARGET == W_WEB
    // Se rodando na web, não há threads, apenas atualizamos o
    // volume:
    EM_ASM_({
        if(document["music" + $0] !== undefined){
            document["music" + $0].volume = $0;
        }
    }, _music[i].volume[_number_of_loops]);
#endif
    success = _music[i].volume[_number_of_loops];
}
}

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
#ifdef W_DISABLE_MP3
    return success && false;
#else
    return success;
#endif
}

```

E adicionando a estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
float (*increase_volume)(char *, float);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.increase_volume = &_increase_volume;
```

Terminamos de criar nossa API de controle de música. Como já escrevemos a sua inicialização, sabemos que nosso programa irá começar em um estado correto e inicializado. Ao entrarmos em um novo loop, receberemos um estado limpo na estrutura de dados de nossa música. Mas temos que garantir que ao sair de um loop ou ao mudar o nosso loop atual, faremos nossa parte limpando e deixando as informações de música inicializadas como antes.

Isso é o que faremos após um subloop encerrar e retornar o controle para o seu loop pai:

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```

{
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
#if W_TARGET == W_WEB
        // Se rodando na web, não há threads, paramos imediatamente as
        // músicas atuais:
        EM_ASM_({
            if(document["music" + $0] !== undefined){
                document["music" + $0].pause();
                document["music" + $0] = undefined;
            }
        }, i);

```

```

#else
    if(_music[i].status[_number_of_loops] == _PLAYING){
        // Reservamos o semáforo para fazer a thread parar de tocar:
        sem_wait(&(_music[i].semaphore));
    }
#endif

    _music[i].volume[_number_of_loops] = 0.5;
    _music[i].status[_number_of_loops] = _NOT_LOADED;
    _music[i].filename[_number_of_loops][0] = '\0';
}

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
}

```

E temos a mesma coisa a fazer não só quando retornamos de um subloop, as também quando estamos prestes a substituir o loop atual por outro:

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```

{
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&_music_mutex);
#endif
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
#ifdef W_TARGET == W_WEB
        // Se rodando na web, não há threads, paramos imediatamente as
        // músicas atuais:
        EM_ASM_{
            if(document["music" + $0] != undefined){
                document["music" + $0].pause();
                document["music" + $0] = undefined;
            }
        }, i);
#else
        if(_music[i].status[_number_of_loops] == _PLAYING){
            // Reservamos o semáforo para fazer a thread parar de tocar:
            sem_wait(&(_music[i].semaphore));
        }
#endif

        _music[i].volume[_number_of_loops] = 0.5;
        _music[i].status[_number_of_loops] = _NOT_LOADED;
        _music[i].filename[_number_of_loops][0] = '\0';
    }

#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_music_mutex);
#endif
}

```

Mas também temos que nos atentar ao entrar em um novo subloop. Nesses casos, se rodamos nativamente, as nossas threads de música devem ser capazes de perceber a mudança e se comportar

de acordo, mas ainda temos que bloquear o semáforo para fazê-las parar. Já se estamos executando na web, temos que parar as músicas atuais explicitamente:

Seção: Código antes de Subloop (continuação):

```
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
#ifdef W_TARGET == W_WEB
        EM_ASM({
            if(document["music" + $0] !== undefined){
                document["music" + $0].pause();
                document["music" + $0] = undefined;
            }
        }, i);
#else
        if(_music[i].status[_number_of_loops - 1] == _PLAYING){
            // Reservamos o semáforo para fazer a thread parar de tocar:
            sem_wait(&(_music[i].semaphore));
        }
#endif
    }
}
```

Ainda no caso de música no caso da web, como não temos threads, ao sair de um subloop, antes de começar a executar o mesmo loop, temos que continuar a tocar as músicas que tocavam nele antes. E se estamos rodando nativamente, temos que liberar os semáforos neste caso:

Seção: Código Imediatamente antes de Loop Principal (continuação):

```
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
#ifdef W_TARGET == W_WEB
        EM_ASM({
            if(document["music" + $0] !== undefined){
                document["music" + $0].play();
            }
        }, i);
#else
        if(_music[i].status[_number_of_loops] == _PLAYING){
            sem_post(&(_music[i].semaphore));
        }
#endif
    }
}
```

E finalmente, nós temos que iniciar as threads na inicialização caso estejamos rodando nativamente:

Seção: Som: Inicialização (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF
{
    int i;
    int ret;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
```

```

// Criamos um semáforo que começa bloqueado:
ret = sem_init(&(_music[i].semaphore), 0, 0);
if(ret == -1){
    perror("sem_init");
}
#ifdef W_DISABLE_MP3
    ret = pthread_create(&(_music[i].thread), NULL, &_music_thread,
                        &(_music[i]));
    if(ret != 0){
        fprintf(stderr, "WARNING (0): Can't create music threads. "
                    "Music may fail to play.");
        break;
    }
#endif
}
#endif

```

E durante o encerramento, enviamos um sinal para cancelar cada uma das threads de música e destruir seus semáforos:

Seção: Som: Finalização (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_MUSIC; i++){
        sem_destroy(&(_music[i].semaphore));
#ifdef W_DISABLE_MP3
        pthread_cancel(_music[i].thread);
#endif
    }
}
#endif

```

Vamos ao trabalho da thread de música. Essa thread deve passar por um semáforo que só estará livre quando houver uma música para ser tocada e ela não estiver pausada. Para entender o trabalho esta thread, devemos lembrar que ela tanto deve tocar a música como ficar atenta a qualquer mensagem que diz para ela parar, pausar ou continuar a música. Além disso, ela deve estar atenta para mudanças e loops. O código para ela será:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
void *_music_thread(void *);
#endif

```

Seção: Som: Definições (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
void *_music_thread(void *arg){
    // Nossa struct de música exclusiva para a thread:
    struct _music_data *music_data = (struct _music_data *) arg;
    // O loop em que estávamos última vez que checamos
    int last_loop = _number_of_loops;
    // O volume da última vez que vimos

```

```

float last_volume = music_data -> volume[last_loop];
// Informações técnicas do formato da música e MP3:
int current_format = 0xffff5;
size_t size;
long rate;
int channels, encoding, bits;
sem_musica_nenhuma: // Se paramos ou nunca começamos a tocar
while(music_data -> status[_number_of_loops] == _NOT_LOADED)
    sem_wait(&(music_data -> semaphore));
// Se saímos do loop acima, é porque temos uma nova música a tocar:
if(!_music_thread_prepare_new_music(music_data, &rate, &channels, &encoding,
                                    &bits, &current_format, &size)){
    // Se carregar a música falhar, desistimos de tocar
    music_data -> status[_number_of_loops] = _NOT_LOADED;
    fprintf(stderr, "Error opening %s\n",
              music_data -> filename[last_loop]);
    goto sem_musica_nenhuma;
}
tocando_musica:
if(!_music_thread_play_music(music_data, rate, current_format, size)){
    // Se estamos aqui, a música terminou
    _music_thread_end_music(music_data);
    if(music_data -> loop[last_loop]){
        // A música teve de tocar em loop, vamos recomeçar de novo
        _music_thread_prepare_new_music(music_data, &rate, &channels,
&encoding,
                                    &bits, &current_format, &size);
        goto tocando_musica;
    }
    else{
        music_data -> status[_number_of_loops] = _NOT_LOADED;
        goto sem_musica_nenhuma;
    }
}
// Checando por mudança de loop
if(last_loop != _number_of_loops){
    last_loop = _number_of_loops;
    if(music_data -> status[_number_of_loops] == _NOT_LOADED)
        goto sem_musica_nenhuma;
}
// E por mudança de volume
else if(last_volume != music_data -> volume[_number_of_loops]){
    _music_thread_update_volume(music_data);
    last_volume = music_data -> volume[_number_of_loops];
}
// Por ela sendo pausada:
else if(music_data -> status[_number_of_loops] == _PAUSED){
    alSourcePause(music_data -> sound_source);
    // Fica preso no semáforo até alguém soltar
    while(music_data -> status[_number_of_loops] == _PAUSED)

```

```

        sem_wait(&(music_data -> semaphore));
    // E retoma após sair:
    alSourcePlay(music_data -> sound_source);
}
// E pela música sendo parada
if(music_data -> status[_number_of_loops] == _NOT_LOADED){
    // Música foi parada
    _music_thread_interrupt_music(music_data);
    goto sem_musica_nenhuma;
}
goto tocando_musica;
}
#endif

```

Uma thread sempre irá preparar uma nova música executando a seguinte função:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#ifdef W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
bool _music_thread_prepare_new_music(struct _music_data *music_data,
                                     long *rate, int *channels, int *encoding,
                                     int *bits, int *current_format,
                                     size_t *size){
    *current_format = 0xfff5;
    if(mpg123_open(music_data -> mpg_handle,
                  music_data -> filename[_number_of_loops]) != MPG123_OK)
        return false;
    mpg123_getformat(music_data -> mpg_handle, rate, channels, encoding);
    *bits = mpg123_encsize(*encoding) * 8;
    if(*bits == 8){
        if(*channels == 1) *current_format = AL_FORMAT_MONO8;
        else if(*channels == 2) *current_format = AL_FORMAT_STEREO8;
    } else if(*bits == 16){
        if(*channels == 1) *current_format = AL_FORMAT_MONO16;
        else if(*channels == 2) *current_format = AL_FORMAT_STEREO16;
    }
    if(*current_format == 0xfff5)
        return false;
    // Tudo certo, preenchendo o buffer inicial:
    mpg123_read(music_data -> mpg_handle, music_data -> buffer,
               music_data -> buffer_size, size);
    alBufferData(music_data -> openal_buffer[0],
                 *current_format, music_data -> buffer,
                 (ALsizei) *size, *rate);
    mpg123_read(music_data -> mpg_handle, music_data -> buffer,
               music_data -> buffer_size, size);
    alBufferData(music_data -> openal_buffer[1],
                 *current_format, music_data -> buffer,
                 (ALsizei) *size, *rate);
    alSourceQueueBuffers(music_data -> sound_source, 2,
                       music_data -> openal_buffer);
    alSourcef(music_data -> sound_source, AL_GAIN,

```



```

        music_data -> volume[_number_of_loops]);
    alSourcePlay(music_data -> sound_source);
    return true;
}
#endif

```

Já quando estiver tocando uma música, a thread sempre usará esta função:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
bool _music_thread_play_music(struct _music_data *music_data,
                             long rate, int current_format, size_t size){
    int buffers, ret;
    ALuint buf;
    // Se a música estiver pausada ou foi interrompida, não precisa continuar
    if(music_data -> status[_number_of_loops] != _PLAYING)
        return true;
    // Checar se há buffers prontos pra tocar mais:
    alGetSourcei(music_data -> sound_source, AL_BUFFERS_PROCESSED, &buffers);
    if(!buffers)
        return true;
    alSourceUnqueueBuffers(music_data -> sound_source, 1, &buf);
    ret = mpg123_read(music_data -> mpg_handle, music_data -> buffer,
                     music_data -> buffer_size, &size);
    if(ret == MPG123_OK){
        alBufferData(buf, current_format, music_data -> buffer,
                     (ALsizei) size, rate);
        alSourceQueueBuffers(music_data -> sound_source, 1, &buf);
    }
    else if(ret == MPG123_DONE)
        return false;
    return true;
}
#endif

```

Esta é a função que as threads usarão para finalizar suas músicas:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
void _music_thread_end_music(struct _music_data *music_data){
    ALuint buf;
    ALint stat;
    int ret;
    // Esperar de terminar de tocar.
    do{
        alSourceUnqueueBuffers(music_data -> sound_source, 1, &buf);
        ret = alGetError();
    }while(ret == AL_INVALID_VALUE);
    do{
        alGetSourcei(music_data -> sound_source, AL_SOURCE_STATE, &stat);
    }while(stat == AL_PLAYING);
    // Encerrando

```

```

    mpg123_close(music_data -> mpg_handle);
}
#endif

```

E as threads usarão isso para interromper uma música:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
void _music_thread_interrupt_music(struct _music_data *music_data){
    ALuint buf;
    ALint stat;
    int ret;
    mpg123_close(music_data -> mpg_handle);
    alSourceStop(music_data -> sound_source);
    do{
        alSourceUnqueueBuffers(music_data -> sound_source, 1, &buf);
        ret = alGetError();
    }while(ret == AL_INVALID_VALUE);
    do{
        alSourceUnqueueBuffers(music_data -> sound_source, 1, &buf);
        ret = alGetError();
    }while(ret == AL_INVALID_VALUE);
    do {
        alGetSourcei(music_data -> sound_source, AL_SOURCE_STATE, &stat);
    } while(stat == AL_PLAYING);
}
#endif

```

E finalmente, a função para as threads atualizarem o volume:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```

#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_DISABLE_MP3)
void _music_thread_update_volume(struct _music_data *music_data){
    alSourcef(music_data -> sound_source, AL_GAIN,
        music_data -> volume[_number_of_loops]);
}
#endif

```

13.1 - Integrando o MP3 à Efeitos Sonoros

No capítulo sobre o som e efeitos sonoros, nós estivemos extraindo som no formato WAVE para rodar nossos efeitos sonoros. Mas agora que adicionamos o suporte à MP3 para músicas, podemos também decodificar efeitos sonoros no formato MP3. Isso permitirá que nossos efeitos sonoros possam também se beneficiar da compressão do formato MP3 (que não é lá essas coisas, mas é muito melhor que nada como no caso WAVE).

Para podermos fazer isso, primeiro temos que checar se o efeito sonoro que recebemos tem uma extensão MP3:

Seção: Som: Extrai outros Formatos:

```

#ifndef W_DISABLE_MP3
else if(!strcmp(ext, ".mp3") || !strcmp(ext, ".MP3")){ // Suportando .mp3
    <Seção a ser Inserida: Som: Extraindo MP3>
}

```

```
#endif
```

Extrair o MP3 para um buffer requer que primeiro saibamos qual o tamanho do buffer que precisamos para manter todo o efeito sonoro na memória. Usando a função `mpg123_outblock`, obtemos o tamanho máximo de um “frame” do áudio. Para tocar a música, usamos isso para determinar o tamanho de nosso buffer. Aqui, usaremos o valor para gerar o buffer inicial e tentamos ler o áudio. Se lemos tudo, paramos. Caso contrário, descartamos a leitura, reiniciamos a interpretação do arquivo, mas após termos dobrado o tamanho do buffer. Continuamos até conseguirmos:

Seção: Som: Extraindo MP3:

```
int current_format = 0xfff5;
size_t buffer_size;
unsigned char *buffer = NULL;
ALuint openal_buffer = 0;
ret = false;
{
    int test;
    size_t decoded_bytes;
    mpg123_handle *mpg_handle = mpg123_new(NULL, &test);
    buffer_size = mpg123_outblock(mpg_handle);
    for(;;){
        // Abrimos arquivo
        test = mpg123_open(mpg_handle, complete_path);
        if(test != MPG123_OK){
            fprintf(stderr, "Warning: Error opening %s\n", complete_path);
            buffer_size = 0;
            ret = true;
            break;
        }
        // Lendo o formato
        if(current_format == 0xfff5){
            int channels, encoding, bits;
            long rate;
            mpg123_getformat(mpg_handle, &rate, &channels, &encoding);
            bits = mpg123_encsize(encoding) * 8;
            snd -> freq = rate;
            snd -> channels = channels;
            snd -> bitrate = bits;
            if(bits == 8){
                if(channels == 1) current_format = AL_FORMAT_MONO8;
                else if(channels == 2) current_format = AL_FORMAT_STEREO8;
            } else if(bits == 16){
                if(channels == 1) current_format = AL_FORMAT_MONO16;
                else if(channels == 2) current_format = AL_FORMAT_STEREO16;
            }
        }
        if(current_format == 0xfff5){
            fprintf(stderr,
                "WARNING(0): Combination of channel and bitrate not "
                "supported in file %s (sound have %d channels and %d bitrate"
                " while "
                "we support just 1 or 2 channels and 8 or 16 as "
                "bitrate).\n",
```

```

        complete_path, channels, bits);
    }
}
// Criando e preenchendo o buffer:
buffer = (unsigned char *) Walloc(buffer_size);
if(buffer == NULL){
    fprintf(stderr, "ERROR: Not enough memory to load %s. Please, "
        "increase the value of W_MAX_MEMORY at conf/conf.h.\n",
        complete_path);
    buffer_size = 0;
    ret = true;
    break;
}
test = mpg123_read(mpg_handle, buffer, buffer_size, &decoded_bytes);
mpg123_close(mpg_handle);
// Se não conseguimos copiar tudo, prepare próxima iteração:
if(decoded_bytes > buffer_size){
    Wfree(buffer);
    buffer = NULL;
    buffer_size *= 2;
}
else break; // Se copiamos tudo, saímos daqui
}
// Se tudo deu certo:
snd -> size = buffer_size;
}

```

Tudo o que fizemos foi extrair o conteúdo do MP3 em um buffer. Mas temos agora que criar um novo buffer openAL, enviar os dados que extraímos para ele e então atribuir o buffer gerado para a estrutura do efeito sonoro:

Seção: Som: Extraindo MP3 (continuação):

```

if(buffer != NULL){
    int status;
    alGenBuffers(1, &openal_buffer);
    status = alGetError();
    if(status != AL_NO_ERROR){
        fprintf(stderr, "WARNING(0): No sound buffer could be created. "
            "alGenBuffers failed. ");
        if(status == AL_INVALID_VALUE){
            fprintf(stderr, "Internal error: buffer array isn't large enough.\n");
        }
        else if(status == AL_OUT_OF_MEMORY){
            fprintf(stderr, "Internal error: out of memory.\n");
        }
        else{
            fprintf(stderr, "Unknown error (%d).\n", status);
        }
        ret = true;
    }
}
else{

```

```

    alBufferData(openal_buffer, current_format, buffer, snd -> size,
                 snd -> freq);
    status = alGetError();
    if(status != AL_NO_ERROR){
        fprintf(stderr, "WARNING(0): Can't pass audio to OpenAL. "
                       "alBufferData failed. Sound may not work.\n");
        ret = true;
    }
    Wfree(buffer);
    snd -> _data = openal_buffer;
    _finalize_after(&(snd -> _data), _finalize_openal);
}
}

```

13.2 - Sumário das variáveis e Funções de Música

- As seguintes 5 novas funções foram definidas:

`float W.get_volume(char *filename)` : Se a música no arquivo passado como argumento está tocando, retorna o seu volume como um número em ponto flutuante entre 0 e 1. Se não estiver, retorna -1.0;

`float W.increase_volume(char *filename, float increment)` : Se a música no arquivo passado como argumento está tocando, soma o seu volume atual com o número passado como argumento (que pode ser negativo para diminuir o volume). Se o resultado for maior que 1, será tratado como 1 e se for menor que 0, será tratado como 0. O número retornado é o novo volume após a mudança.

`bool W.pause_music(char *filename)` : Pausa a música que está tocando e que está sendo lida do arquivo cujo nome foi passado como argumento. Retorna se a operação foi bem-sucedida.

`bool W.play_music(char *filename, bool loop)` : Começa a tocar a música no arquivo cujo nome é passado como argumento. Retorna se a operação foi bem-sucedida. O segundo argumento indica se a música deve tocar em loop ou não.

`bool W.stop_music(char *filename)` : Para de tocar a música que está tocando e sendo lida do arquivo identificado pelo nome passado como argumento. Retorna se a operação foi bem-sucedida.