

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 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 General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU 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 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 para maiores detalhes.

Você deve ter recebido uma cópia da Licença Pública Geral GNU 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 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.

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 `MAAGITEX` 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 à 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 à 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 à 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>
int main(int argc, char **argv){
    int return_value = 0; /* Valor de retorno. */
    bool inside_weaver_directory = false, arg_is_path = false,
        arg_is_valid_project = false, arg_is_valid_module = false,
        have_arg = false, arg_is_valid_plugin = false,
        arg_is_valid_function = false; /* Variáveis booleanas. */
    unsigned int project_version_major = 0, project_version_minor = 0,
        weaver_version_major = 0, weaver_version_minor = 0,
        year = 0;
    /* Strings UTF-8: */
    char *argument = NULL, *project_path = NULL, *shared_dir = NULL,
        *author_name = NULL, *project_name = NULL, *argument2 = NULL;
    <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 `.weaver/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 (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])){
            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 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])){
            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 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])){
```

```

    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. 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])){
            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"
"    _/_/_/\_____\n        Prints this message and exits.\n"
"        \\ \\ \\\\ / / \n"
"        \\ \\_\n        weaver NAME\n"
"        \\_\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\n\nThis file is part of %s.\n\n%s\
is free software: you can redistribute it and/or modify\nit under the terms of\
the GNU 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 General Public License for more\
details.\n\nYou should have received a copy of the GNU 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#endif", argument);
        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("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);
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_E_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, "\n\nuniform float time;\nuniform vec2 object_size;\n");
    fprintf(fp, "uniform int integer;\n\n");
    fprintf(fp, "void main(){\n    gl_Position = model_view_matrix * ");
    fprintf(fp, "vec4(vertex_position, 1.0);\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\n");
fprintf(fp, "void main(){\n    gl_FragData[0] = object_color;\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\n", argument2);
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"
```

Note que haverão também cabeçalhos `conf.begin.h` que cuidarão de toda declaração de inicialização que forem necessárias. 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
```

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" {
<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 >
<pre>#if W_TARGET == W_ELF glXSwapBuffers(_dpy, _window); #else glFlush(); #endif }</pre>

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:

<pre>// A definir...</pre>

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:

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

Seção: API Weaver: Definições:

<pre>struct _weaver_struct W;</pre>

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 t, 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 - 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 3 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`.

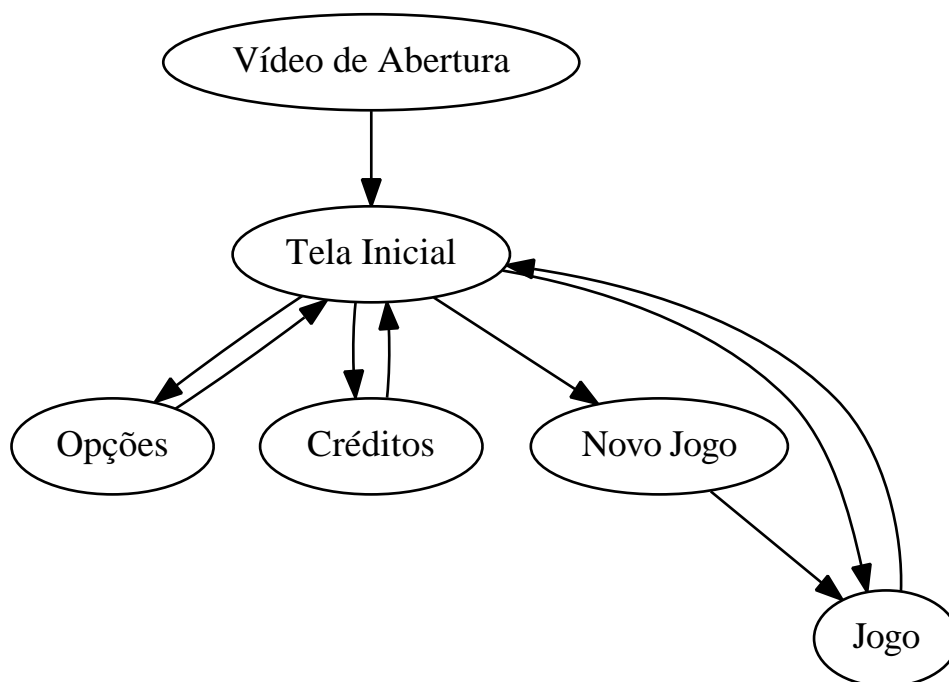
Jogos de computador tradicionalmente evitam o uso contínuo de `malloc` e `free` por causa disso. Tipicamente jogos programados para ter um alto desempenho alocam toda (ou a maior parte) da memória de que vão precisar logo no início da execução gerando um *pool* de memória e gerenciando ele ao longo da 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.

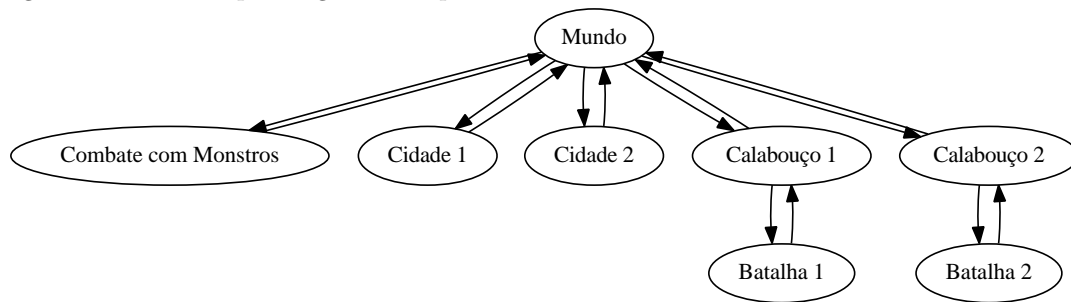
Por causa disso, Weaver exige que você informe anteriormente quanto de memória você irá usar e cuida de toda a alocação durante a inicialização. Sabendo a quantidade máxima de memória que você vai usar, isso também permite que vazamentos de memória sejam detectados mais cedo e permitem garantir que o 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> // |strncpy|
#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_LIMIT_SUBLOOP** : O tamanho máximo da pilha de loops principais que o jogo pode ter. No exemplo dado acima do Final Fantasy, precisamos de um amanho de pelo menos 3 para conter os estados “Tela Inicial”, “Jogo” e “Combate”.

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 haja 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
#ifdef 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){
    // 0 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
#ifdef W_DEBUG_LEVEL
                                     , char *filename, unsigned long line
#endif
                                     ){
    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;
    strncpy(header -> file, filename, 31);
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 3
    header -> max_used = header -> used;
#endif
#if W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(header);
#endif
    return true;
}

```

É importante notar que tal função de inicialização só pode falhar se ocorrer algum erro iniciando 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 função `Wbreakpoint` e `Wtrash`. As informações que devem estar presentes nele são:

- **Tipo:** Um número mágico que corresponde sempre à 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;
#if 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* ≤ *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 à *buffer overflows* causados devido à 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
}
#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
                                   , char *file, unsigned long line)
{
    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)
        strncpy(self->file, file, 32);
    self->line = line;
    _assert__breakpoint(self);
}

```

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);
}

```

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;
#ifdef 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:

- $type = 0x10101010$. Ou significa que ocorreu um *buffer overflow*.
- $real_size \geq requested_size$. 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);
}
#endif 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):

```

#ifdef 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:
#ifdef 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;"
#ifdef 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):

```
#ifdef 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 alocado 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):

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

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

```
#ifdef 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- Destruindo 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){
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
    _assert_no_memory_leak(arena);
#endif
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 4
    _assert__arena_header(arena);
#endif
#ifdef 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 preenchermos 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):

```
#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  
    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
#if 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
    }
    #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 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
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
    strncpy(mem_header -> file, filename, 32);
    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 >= 2 && !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;':  
#if 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):

```
#if 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
#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 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;
#ifdef 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;
#ifdef W_DEBUG_LEVEL >= 1
        strncpy(breakpoint -> file, filename, 32);
        breakpoint -> line = line;
#endif
#ifdef 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;"
#ifdef 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 seguinte 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);  
    _internal_arena = Wcreate_arena(W_INTERNAL_MEMORY);  
}  
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>

```
// 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);
#else
int _Wbreakpoint(void);
#endif
void _Wtrash(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);
}
#else
int _Wbreakpoint(void){
    return _new_breakpoint(_user_arena);
}
#endif
void _Wtrash(void){
    Wtrash_arena(_user_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__)
```

```
#else
#define Wbreakpoint() W.breakpoint()
#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:

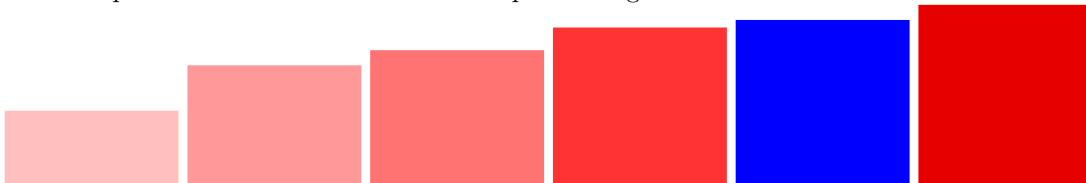


A diferença não é explicada somente pela diminuição da localidade espacial dos dados acessados. Se diminuirmos o número de alocações para somente dez mil, mantendo um total alocado de 1 MB, ainda assim o `malloc` ficaria na mesma posição se comparado ao `Walloc`. O que significa que alocando quantias 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 espaços de 1 byte, 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 a 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));
```

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.

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_LIMIT_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{
#if 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();
#if 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){
#if 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{
        <Seção a ser Inserida: Código após sairmos de Subloop>
        _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
}
}

```

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):

```
#define Wexit_loop() (_running_loop = false)
```

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):

```

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>
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    if(_number_of_loops >= W_LIMIT_SUBLOOP){
        fprintf(stderr, "Error (1): Max number of subloops achieved.\n");
        fprintf(stderr, "Please, increase W_LIMIT_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)
        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) _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) 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){
    /* Código de usuário para finalização */
}
}

```

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)` : Destrói 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:

```
#if W_TARGET == W_ELF
// 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;
#if defined(W_MULTITHREAD)
// Um mutex para que possamos usar o gerador em threads:
static pthread_mutex_t _sfmt_mutex;
#endif
#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) && W_TARGET == W_ELF
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) && W_TARGET == W_ELF
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 sequências de 128 bits, a semente que passaremos sempre terá 32 bits.

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```
{
#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);
    }
    // Colocamos a semente como primeiro valor na nossa sequência aleatória:
    _sfmt_sequence[0] = seed;
#else
    {
        struct timeb t;
        ftime(&t);
        seed = (uint32_t) t.time + (uint32_t) (t.millitm << 2);
    }
#endif
}
```

Vamos assumir que a sequência de números que iremos gerar são números de 32 bits (apesar de que mais adiante o algoritmo tratará a sequência 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):

```

#if W_TARGET == W_ELF
{
    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;
}
#endif

```

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):

```

#if W_TARGET == W_ELF
{
    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]++;
    }
}
#endif

```

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):

```
#if W_TARGET == W_ELF
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;
}
#endif
```

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:

```
#if W_TARGET == W_ELF
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);
}
}
#endif

```

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;
```

Resumindo, 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):

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

```
{
```

```
    _sfmt_index = -1;
```

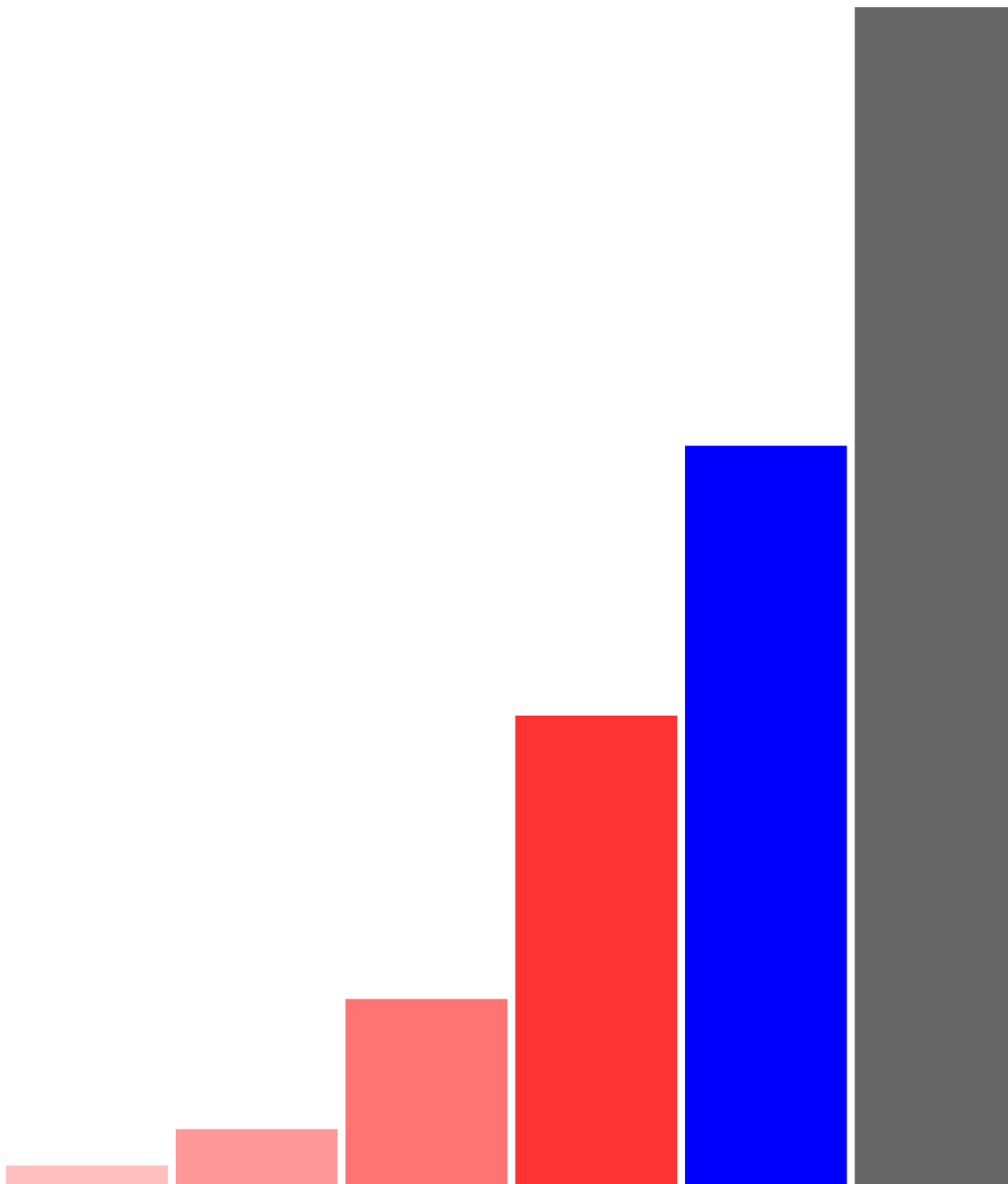
```
    _regenerate_sequence();
```

```
}
```

```
#endif
```

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 chamada diretamente, sem outras funções. A penúltima coluna é a nossa implementação do Mersenne Twister quando compilada usando o Mersenne Twister. E a última coluna é quando tentamos chamar do Emscripten a função `rand()` à partir de algum “wrapper” ao invés de chamá-la diretamente.

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 entanto, é uma má ideia usá-la se estivermos compilando o

jogo para Emscripten. As suas operações bit-a-bit foram projetadas para serem executadas mais próximas do hardware, não no Javascript.

Então se estivermos rodando no navegador, nosso gerador de números pseudo-aleatórios será o mesmo usado pela Glibc, o qual simplesmente executa um AND bit-a-bit após uma soma e multiplicação envolvendo constantes e o número gerado anteriormente. É por isso que nos códigos mostrados nós usamos macros condicionais para garantir que aquele código só fosse executado nativamente em Linux. Caso estejamos compilando para Emscripten, nosso código fica simplesmente:

Seção: Funções Numéricas: Inicialização (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
    srand((unsigned long) seed);
#endif
```

Seção: Funções Numéricas: Definições (continuação):

```
#if W_TARGET == W_WEB
inline unsigned long _random(void){
    return (unsigned long) rand();
}
#endif
```

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 e taxa de atualização:

Seção: Variáveis Weaver (continuação):

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

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.

Por padrão, ambos serão definidos como zero, o que tem o efeito de deixar o programa 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):

```
#ifdef 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 (continuação):

```
static int screen;
```

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);
#if 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):

W.y = W.x = 0; // Na inicialização não é necessário ativar o mutex.
W.resolution_x = DisplayWidth(_dpy, screen);
W.resolution_y = DisplayHeight(_dpy, screen);
#if W_WIDTH > 0
W.width = W_WIDTH; // Obtendo largura da janela
#else
W.width = W.resolution_x;
#endif
#if W_HEIGHT > 0 // Obtendo altura da janela
W.height = W_HEIGHT;
#else
W.height = W.resolution_y;
#endif
{ /* 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
W.x, W.y, // Coordenadas da janela
W.width, // Largura da janela
W.height, // Altura da janela
0, 0, // Borda (espessura e cor)
0); // Cor padrão
W.window_resolution_x = W.width;
W.window_resolution_y = W.height;

```

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.

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 (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):

```
{
    at.override_redirect = True;
    // 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:

Seção: Janela: Inicialização (continuação):

```
XMapWindow(_dpy, _window);
{
    XEvent e;
    XNextEvent(_dpy, &e);
    while(e.type != MapNotify){
        XNextEvent(_dpy, &e);
    }
}
XSetInputFocus(_dpy, _window, RevertToParent, CurrentTime);
#ifdef W_PROGRAM_NAME
    XStoreName(_dpy, _window, W_PROGRAM_NAME);
#else
    XStoreName(_dpy, _window, W_PROG);
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    XInitThreads();
#endif
```

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;
    Bool ret;
    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);
}
}

```

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:

```
static GLXContext context;
```

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 3.0. 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 3.3
      GLX_CONTEXT_MAJOR_VERSION_ARB, 3,
      GLX_CONTEXT_MINOR_VERSION_ARB, 3,
      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 3.0 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 3.0 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 3.3
    SDL_GL_SetAttribute(SDL_GL_CONTEXT_MAJOR_VERSION, 3);
    SDL_GL_SetAttribute(SDL_GL_CONTEXT_MINOR_VERSION, 3);
    W.resolution_x = emscripten_run_script_int("window.innerWidth");
    W.resolution_y = emscripten_run_script_int("window.innerHeight");
    /* A taxa de atualização da tela não pode ser obtida no ambiente
       Emscripten. Vamos usar um valor fictício: */
    W.framerate = 60;
    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);
    }
    W.window_resolution_x = W.width;
    W.window_resolution_y = W.height;
}
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 à 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.x = config.x;
    W.y = config.y;
    W.width = config.width;
    W.height = config.height;
#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.window_resolution_x;
    old_height = W.window_resolution_y;
    W.window_resolution_x = width;
    W.window_resolution_y = height;
    glViewport(0, 0, W.window_resolution_x, W.window_resolution_y);
    <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;
    W.window_resolution_x = W.width;
    W.window_resolution_y = W.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, y);
    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? Um gerenciador de janelas pode ter uma operação associada com algumas sequências de tecla 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.

Para evitar isso, se estivermos ocupando mais da metade da altura ou da largura da tela e perdermos o foco, não devemos permitir que isso ocorra e devemos voltar para o jogo. Caso nossa janela não seja muito grande, o melhor é permitir que ela perca o foco, pois não deverá ser um problema para o usuário voltar nela depois usando o gerenciador de janelas.

Isso também nos permite lidar com o problema do usuário tentar usar um Alt+Tab para sair do jogo quando estivermos em tela-cheia, mas com uma resolução menor que o padrão. Neste caso é melhor que ele não veja a sua área de trabalho degradada visualmente com uma resolução menor que o normal.

Seção: API Weaver: Trata Evento Xlib:

```
if(event.type == FocusOut){  
    if(W.width > W.resolution_x / 2 ||  
       W.height > W.resolution_y / 2)  
        XSetInputFocus(_dpy, _window, RevertToParent, CurrentTime);  
    continue;  
}
```

Lembrando que se a nossa janela perder o foco, sempre podemos voltar até ela com um clique. Garantiremos isso no próximo capítulo quando tratarmos os eventos de entrada, tais como cliques de *mouse*.

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);  
// 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.resolution_x` : A resolução horizontal da janela em que estamos.
- `int W.resolution_y` : A resolução vertical da janela em que estamos.
- `int W.framerate` : A taxa de atualização do monitor.

- As seguintes 3 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.

`int W.fullscreen_mode(unsigned int id)` : Deixa a janela em tela-cheia usando uma das combinações de resolução e taxa de atualização presente em `W.modes` com a identificação de `id`.

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.

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 representam 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){
#ifdef 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){
#ifdef 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_ZERO        XK_0
#define W_ONE         XK_1
#define W_TWO         XK_2
#define W_THREE       XK_3
#define W_FOUR        XK_4
#define W_FIVE        XK_5
#define W_SIX         XK_6
```

```

#define W_SEVEN      XK_7
#define W_EIGHT      XK_8
#define W_NINE       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_ZERO	SDLK_0
#define	W_ONE	SDLK_1
#define	W_TWO	SDLK_2
#define	W_THREE	SDLK_3
#define	W_FOUR	SDLK_4
#define	W_FIVE	SDLK_5
#define	W_SIX	SDLK_6
#define	W_SEVEN	SDLK_7
#define	W_EIGHT	SDLK_8
#define	W_NINE	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 zero é razoável. Então não precisamos
    // checar se a função falha.
    W.mouse.x = root_x_return;
    W.mouse.y = root_y_return;
}
#endif
#ifdef W_TARGET == W_WEB
    SDL_GetMouseState(&(W.mouse.x), &(W.mouse.y));
#endif
W.mouse.ddx = W.mouseddy = 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) *
               1000;
W.mouseddy = (int) ((float) (W.mouse.dy - old_dy) / W.dt) *
               1000;
#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 = event.xmotion.y;
    dx = x - W.mouse.x;
    dy = y - W.mouse.y;
    W.mouse.dx = ((float) dx / W.dt) * 1000;
    W.mouse.dy = ((float) dy / W.dt) * 1000;
    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 = event.motion.y;
    dx = x - W.mouse.x;
    dy = y - W.mouse.y;
    W.mouse.dx = ((float) dx / W.dt) * 1000;
    W.mouse.dy = ((float) dy / W.dt) * 1000;
```

```

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 3 novas variáveis foram definidas:

`int W.fps` : A cada *frame* esta variável armazena a quantos *frames* por segundo o jogo está rodando. Variável somente para leitura, não a modifique.

`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

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.

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 podem 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 ativado 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
#ifndef 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* dee ser desativado.
- `W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS` : O número máximo de funções que executam periodica e automaticamente em cada subloop.

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;
#endif
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_t mutex;
#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;
#if W_DEBUG_LEVEL >= 1
    if(strlen(path) >= 128){
        fprintf(stderr, "ERROR: Plugin path bigger than 255 characters: %s\n",
            path);
        return;
    }
#endif
    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);
#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 `RTLD_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(&(amp;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(&(amp;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):

```

#if 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;
#ifdef 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):

```
#if 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 grande 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.
#ifdef 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 *) Wallocc(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.

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 inicializamos 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 - Adendo: Executando Código Periodicamente

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.periodic(W.reload_all_plugins, 1.0)`, que faz com que a função passada como argumento seja executada uma vez a cada 1 segundo.

Cada subloop deve ter então uma lista de funções que são executadas periodicamente. E podemos estipular em `W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS` o número máximo de funções periódicas que cada subloop pode ter. Então podemos usar uma estrutura como esta para armazenar funções periódicas:

Seção: Cabeçalhos Weaver:

```
struct{
    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
} _periodic_functions[W_LIMIT_SUBLOOP][W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS];
```

Isso precisa ser inicializado preenchendo os valores de cada `f` com `NULL` para marcarmos cada posição como vazia:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    int i, j;
    for(i = 0; i < W_LIMIT_SUBLOOP; i++)
        for(j = 0; j < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; j++)
            _periodic_functions[i][j].f = NULL;
}
```

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;  
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i ++)  
        _periodic_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;  
}
```

Além disso, quando encerramos um Subloop, também é necessário limpamos as suas funções periódicas para que elas aabem não sendo executadas novamente em outros subloops diferentes:

Seção: Código após sairmos de Subloop:

```
{  
    int i;  
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i ++)  
        _periodic_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;  
}
```

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;  
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i ++){  
        if(_periodic_functions[_number_of_loops][i].f == NULL)  
            break;  
        if(_periodic_functions[_number_of_loops][i].period <  
            W.t - _periodic_functions[_number_of_loops][i].last_execution){  
            _periodic_functions[_number_of_loops][i].f();  
            _periodic_functions[_number_of_loops][i].last_execution = W.t;  
        }  
    }  
}
```

E finalmente funções para interagir com código executado periodicamente:

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
void _periodic(void (*f)(void), float t); // Torna uma função periódica  
void _nonperiodic(void (*f)(void)); // Faz uma função deixar de ser periódica  
float _period(void (*f)(void)); // Obém o período de uma função periódica
```

Todas elas interagem sempre com as listas de funções periódicas do loop atual.

A função que adiciona uma nova função periódica segue abaixo. É a única que precisa se preocupar com o caso de não haver mais espaço para novas funções periódicas, caso em que ela imprime um erro na tela. Se estamos tornando periódica uma função que já é periódica, tudo o que estamos fazendo é atualizar seu valor de frequência para um novo valor.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```
void _periodic(void (*f)(void), float t){  
    int i;  
    unsigned long period = (unsigned long) (t * 1000000);  
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i ++){  
        if(_periodic_functions[_number_of_loops][i].f == NULL ||
```

```

    _periodic_functions[_number_of_loops][i].f == f){
    _periodic_functions[_number_of_loops][i].f = f;
    _periodic_functions[_number_of_loops][i].period = period;
    _periodic_functions[_number_of_loops][i].last_execution = W.t;
    return;
    }
}
fprintf(stderr, "ERROR (1): Can't use more periodic functions.");
fprintf(stderr,
        "Please, increase W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS in conf/conf.h\n");
}

```

Para fazer com que uma função deixe de ser periódica, o código é o abaixo. Chamar esta função para funções que não são periódicas deve ser inócuo.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

void _nonperiodic(void (*f)(void)){
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i++){
        if(_periodic_functions[_number_of_loops][i].f == f){
            for(; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS - 1; i++){
                _periodic_functions[_number_of_loops][i].f =
                    _periodic_functions[_number_of_loops][i+1].f;
                _periodic_functions[_number_of_loops][i].period =
                    _periodic_functions[_number_of_loops][i+1].period;
                _periodic_functions[_number_of_loops][i].last_execution =
                    _periodic_functions[_number_of_loops][i+1].last_execution;
            }
            _periodic_functions[_number_of_loops][i].f = NULL;
        }
    }
}

```

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 e retorna NaN se ela não for uma função periódica.

Seção: API Weaver: Definições (continuação):

```

float _period(void (*f)(void)){
    int i;
    for(i = 0; i < W_MAX_PERIODIC_FUNCTIONS; i++){
        if(_periodic_functions[_number_of_loops][i].f == f)
            return (float) (_periodic_functions[_number_of_loops][i].period) /
                1000000.0;
    }
    return NAN;
}

```

E finalmente colocamos tudo isso dentro da estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver:

```

// Esta declaração fica dentro de "struct _weaver_struct{(...)} W;"
void (*periodic)(void (*f)(void), float);
void (*nonperiodic)(void (*f)(void));

```

```
float (*period)(void (*f)(void));
```

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
W.periodic = &_periodic;
```

```
W.nonperiodic = &_nonperiodic;
```

```
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){
    if(plugin_id >= _max_number_of_plugins ||
       !(_plugins[plugin_id].defined))
        return false;
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_lock(&(_plugins[plugin_id].mutex));
#endif
    _plugins[plugin_id].enabled = true;
    if(_plugins[plugin_id]._enable_plugin != NULL)
        _plugins[plugin_id]._enable_plugin(&W);
#ifdef 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
    _plugins[plugin_id].enabled = false;
    if(_plugins[plugin_id]._disable_plugin != NULL)
        _plugins[plugin_id]._disable_plugin(&W);
#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):

```

#ifdef 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 11 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.

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
        <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 a mesma convenção que já usamos para o cursor do mouse. Seu tamanho e posição será dado por números inteiros que representam valores em pixels. A posição de uma interface é a localização de seu canto superior esquerdo (todas as interfaces são retangulares). O canto superior direito da ela 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?
bool stretch_x, stretch_y; // A interface muda a largura e altura
                                // com a janela?
// Matriz de transformação OpenGL:
GLfloat _transform_matrix[16];
// O modo com o qual a interface é desenhada ao invocar glDrawArrays:
GLenum _mode;
/* Mutex: */
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_t _mutex;
#endif
} _interfaces[W_LIMIT_SUBLOOP][W_MAX_INTERFACES];
#ifdef W_MULTITHREAD
    // Para impedir duas threads de iserirem 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` conterá 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 preenchamos a nossa matriz de interfaces:

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

{
    int i, j;
    for(i = 0; i < W_LIMIT_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, ...);
```

Seção: Interface: Definições:

```
struct interface *_new_interface(int type, int x, int y, ...){
    int i;
    va_list valist;
#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){
            fprintf(stderr, "ERROR (0): Not enough space for interfaces. Please, "
                "increase the value of W_MAX_INTERFACES at conf/conf.h.\n");
#ifdef W_MULTITHREAD
            pthread_mutex_unlock(&_interface_mutex);
#endif
            Wexit();
        }
        _interfaces[_number_of_loops][i].type = type;
        _interfaces[_number_of_loops][i].visible = true;
        _interfaces[_number_of_loops][i].integer = 0;
        _interfaces[_number_of_loops][i].stretch_x = false;
        _interfaces[_number_of_loops][i].stretch_y = false;
        // 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;

        // Modo padrão de desenho de interface:
        _interfaces[_number_of_loops][i]._mode = GL_TRIANGLE_FAN;
#ifdef W_MULTITHREAD
        if(pthread_mutex_init(&(_interfaces[_number_of_loops][i]._mutex),
```

```

        NULL) != 0){
            perror("Initializing interface mutex:");
            Wexit();
        }
#endif
    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, y);
        _interfaces[_number_of_loops][i].width = (float) va_arg(valist, int);
        _interfaces[_number_of_loops][i].height = (float) va_arg(valist, int);
        _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);
        //<Seção a ser Inserida: Interface: Leitura de Argumentos e Inicialização>
        break;
    default:
        va_start(valist, y);
        _interfaces[_number_of_loops][i].width = (float) va_arg(valist, int);
        _interfaces[_number_of_loops][i].height = (float) va_arg(valist, int);
        va_end(valist);
    }

    <Seção a ser Inserida: Preenche Matriz de Transformação de Interface na Inicialização>
    <Seção a ser Inserida: Código logo após criar nova interface>
#ifdef W_MULTITHREAD
    pthread_mutex_unlock(&_interface_mutex);
#endif
    return &(_interfaces[_number_of_loops][i]);
}

```

Após a definirmos, atribuiremos esta função à estrutura `W`:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
struct interface *(*new_interface)(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)
        break;
    if(i == W_MAX_INTERFACES)
        return false; // Não encontrada
    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;
    }

    <Seção a ser Inserida: Código ao Remover Interface>
#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;
```

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. Para mudar seu comportamento em relação ao mouse, podemos também atribuir manualmente as funções na 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  
}
```

```
#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[3] = 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 (x_1, y_1) 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
}

```

```

#if 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
};

#if 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);
    #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
}

//} //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 sequenciais) 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){
            #if 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){
            #if 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;
    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{
#ifdef 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

            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);
#ifdef 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);
#ifdef 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{
        fread(vertex_source, sizeof(char), vertex_size, fd);
        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{
        fread(fragment_source, sizeof(char), fragment_size, fd);
        fragment_source[fragment_size - 1] = '\0';
        fclose(fd);
    }
}

// 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_LIMIT_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_LIMIT_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 conf/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:

```
{  
    // Lembrando que '_number_of_loops' contém em qual subloop nós  
    // estamos no momento.  
    int last_type;  
    int i;  
    bool first_element = true;  
    struct _shader *current_shader;  
    // Não usamos teste de profundidade ao desenhar interfaces:  
    glDisable(GL_DEPTH_TEST);  
    // Ativamos os vértices das interfaces:  
    glBindVertexArray(_interface_VAO);  
    // Agora iteramos sobre as interfaces 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 fim 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]);  
            }  
            else{  
                current_shader = &_amp;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,
            (float) W.t / (float) 1000000);
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);

// 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);
}

// 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 pode ou não esticar ou encolher de acordo com a mudança de tamanho da janela. Para isso, são os seus atributos `stretch_X` e `stretch_y` que definem isso.

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_LIMIT_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));
        if(_interfaces[i][j].stretch_x)
            new_width = _interfaces[i][j].width *
                        ((float) width / (float) old_width);
        else new_width = _interfaces[i][j].width;
        if(_interfaces[i][j].stretch_y)
            new_height = _interfaces[i][j].height *
                        ((float) height / (float) old_height);
        else new_height = _interfaces[i][j].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;
    bool stretch_x, stretch_y;
}

```

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 5 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.

```
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: Mudança de Resolução

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. 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 ela tenha uma resolução menor que a tela. Assim podemos reduzir a resolução de nosso jogo caso ele seja muito pesado, tentando assim economizar o desempenho gasto para desenhar cada pixel na tela por meio do shader de fragmento.

A primeira coisa que precisamos é de um novo framebuffer não-padrão, o qual iremos declarar e gerar na inicialização.

Seção: Cabeçalhos Weaver (continuação):

```
// Abaixo saberemos se mudamos a nossa resolução e com isso precisamos
// renderizar no framebuffer de renderização não-padrão:
bool _use_non_default_render;
// E este é o framebuffer de renderização não-padrão:
GLuint _framebuffer;
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
{
    // Inicialmente iremos renderizar diretamente na tela. Se esta
    // variável mudar, aí sim renderizaremos no nosso framebuffer:
    _use_non_default_render = false;
    // Na inicialização geramos o nosso framebuffer de renderização
    // não-padrão:
    glGenFramebuffers(1, &_amp;_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, &_amp;_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. Nossa textura deverá ter a resolução que queremos para o nosso jogo:

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, &_amp;_texture);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _amp;_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 como serão passados
    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);
// Ligamos a nossa textura ao buffer de cor do framebuffer
// não-padrão:
glFramebufferTexture2D(GL_FRAMEBUFFER, GL_COLOR_ATTACHMENT0,
    GL_TEXTURE_2D, _amp;_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, e quem sabe de um buffer de stêncil. 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 _amp;_depth_stencil;

```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```

{
    glGenRenderbuffers(1, &_amp;_depth_stencil);
    glBindRenderbuffer(GL_RENDERBUFFER, _amp;_depth_stencil);
    glRenderbufferStorage(GL_RENDERBUFFER, GL_DEPTH24_STENCIL8,
        W.width, W.height);
    // Ligando o buffer de renderização ao framebuffer não-padrão:
    glFramebufferRenderbuffer(GL_FRAMEBUFFER, GL_DEPTH_STENCIL_ATTACHMENT,
        GL_RENDERBUFFER, _amp;_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, podemos checar se devemos renderizar na tela ou na nossa textura especial:

Seção: Antes da Renderização:

```

if(_amp;_use_non_default_render){

```



```

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. 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];
// Usamos um shader personalizado para a renderização final?
// Se sim, a variável abaixo tem o seu ID. Se não, seu valor é 0.
int _custom_final_shader;

```

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:  
    _custom_final_shader = 0;  
    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(_use_non_default_render){
    struct _shader *current_shader;
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0); // Usar framebuffer padrão
    glViewport(0, 0, W.resolution_x, W.resolution_y);
    glBindVertexArray(_interface_VAO);
    glDisable(GL_DEPTH_TEST); // Avaliar se é necessário
    if(_custom_final_shader){
        glUseProgram(_shader_list[_custom_final_shader - 1].program_shader);
        current_shader = &(_shader_list[_custom_final_shader - 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:

1) Ajustar a flag `_use_non_default_render` para verdadeiro. Apenas fazer isso já é o suficiente para que as cenas do jogo sejam renderizadas em duas etapas. Isso é preciso para mudar a resolução, mas ainda não muda a resolução em si.

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 preisar 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){
    int width, height, old_width = W.width, old_height = W.height;
    int i, j;
    _use_non_default_render = true;
    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, &_amp;texture);
    glGenTextures(1, &_amp;texture);
    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _amp;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);
    // Ligamos a nossa textura ao buffer de cor do framebuffer
    // não-padrão:
    glFramebufferTexture2D(GL_FRAMEBUFFER, GL_COLOR_ATTACHMENT0,
                           GL_TEXTURE_2D, _amp;texture, 0);
    // Agora geraremos novamente os buffers de profundidade e stêncil:
    glDeleteRenderbuffers(1, &_amp;depth_stencil);
    glGenRenderbuffers(1, &_amp;depth_stencil);
    glBindRenderbuffer(GL_RENDERBUFFER, _amp;depth_stencil);
    glRenderbufferStorage(GL_RENDERBUFFER, GL_DEPTH24_STENCIL8,
                          W.width, W.height);
    // Ligando o buffer de renderização ao framebuffer não-padrão:
    glFramebufferRenderbuffer(GL_FRAMEBUFFER, GL_DEPTH_STENCIL_ATTACHMENT,
                              GL_RENDERBUFFER, _amp;depth_stencil);
    glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);
    // Feito. Agora temos apenas que atualizar a posição das
```

```

// interfaces:
for(i = 0; i < W_LIMIT_SUBLOOP; i ++){
    for(j = 0; j < W_MAX_INTERFACES; j ++){
        if(_interfaces[i][j].type == W_NONE) continue;
        W.move_interface(&_amp;_interfaces[i][j],
                        _interfaces[i][j].x *
                        ((float) width) / ((float) old_width),
                        _interfaces[i][j].y *
                        ((float) height) / ((float) old_height));
        W.rotate_interface(&_amp;_interfaces[i][j],
                           _interfaces[i][j].rotation);
        // Se a interface possui os atributos stretch_x e
        // stretch_y como verdadeiros, o seu tamanho deve ser
        // mudado de acordo com a mudança da resolução:
        if(_interfaces[i][j].stretch_x || _interfaces[i][j].stretch_y){
            float new_height = _interfaces[i][j].height;
            float new_width = _interfaces[i][j].width;
            if(_interfaces[i][j].stretch_x)
                new_width *= (float) width / (float) old_width;
            if(_interfaces[i][j].stretch_y)
                new_height *= (float) height / (float) old_height;
            W.resize_interface(&_amp;_interfaces[i][j], new_width, new_height);
        }
    }
}

```

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 obtêm 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_shader(int type);
```

Seção: Shaders: Definições (continuação):

```

void _change_shader(int type){
    _use_non_default_render = true;
    _custom_final_shader = type;
}

```

E adicionando à estrutura W:

Seção: Funções Weaver (continuação):

```
void (*change_shader)(int);
```

Seção: API Weaver: Inicialização (continuação):

```
W.change_shader = &_amp_change_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!

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_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 a Som e Carregamento de Arquivos

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 a efeitos sonoros tridimensionais. Ela ajusta a atenuação do som de acordo com a distância da fonte emissora do som e da posição da câmera em um ambiente virtual em 3D. Além de suportar a simulação de efeitos físicos como o efeito Doppler.

Uma outra coisa que acabaremos tendo que tratar neste capítulo é o carregamento de arquivos. No nosso caso, de carregamento de arquivos de áudio. Mas a mesma infra-estrutura depois poderá ser aproveitada para carregar outros tipos de arquivos, tais como texturas e fontes. É importante que se possível carreguemos os arquivos paralelamente por meio de threads para fins de eficiência. Faremos isso se a macro `W_MULTITHREAD` estiver definida. Além disso, se ela estiver definida, checaremos o valor abaixo para saber se usaremos uma pool de threads e quantas threads terão a nossa pool:

- `W_THREAD_POOL` : O número de threads que usaremos na nossa pool de threads. O valor é ignorado se `W_MULTITHREAD` não estiver definida. Se o valor menor ou igual a zero, não usaremos pools de threads, apenas criaremos uma nova thread sempre que precisarmos para carregar um arquivo e destruiremos a thread logo em seguida. Um valor positivo determina o número de threads da pool.

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
#ifdef W_MULTITHREAD
#include <sched.h>
#include <pthread.h>
#endif
#include "sound.h"
#include "weaver.h"
```

```
// Previne warnings irritantes e desnecessários no Emscripten
#ifdef 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: 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: 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 **) Wallocc(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]);
    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;
```

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:

```
{
    ALenum 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

```

E agora impedimos que o Weaver abandone nosso loop antes de carregar todos os arquivos

Seção: Código antes de Loop, mas não de Subloop (continuação):

```

while(W.pending_files){
#ifdef W_TARGET == W_ELF
    struct timespec tim;
    // Espera 0,1 segundo
    tim.tv_sec = 0;
    tim.tv_nsec = 100000000L;
    nanosleep(&tim, NULL);
#else
    emscripten_sleep(1);
#endif
}

```

E repetimos a mesma coisa caso ao invés de trocarmos o loop atual, a gente encerre ele para voltar a um loop de nível anterior:

Seção: Código após sairmos de Subloop (continuação):

```

while(W.pending_files){
#ifdef W_TARGET == W_ELF
    struct timespec tim;
    // Espera 0,1 segundo
    tim.tv_sec = 0;
    tim.tv_nsec = 100000000L;
    nanosleep(&tim, NULL);
#else
    emscripten_sleep(1);
#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];
    data[0] = '\0';
    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;
    }
}

```

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];
    data[0] = '\0';
    fread(data, 1, 4, fp);
    data[4] = '\0';
    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):

```

{
    returned_data = Walloc((size_t) *size);
    if(returned_data == NULL){
        printf("WARNING(0): Not enough memory to read file: %s.\n",
               filename);
#ifdef 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;
    }
    fread(returned_data, *size, 1, fp);
}

```

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):

```

{
    ALenum status;
    ALuint format = 0;
    // 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. Sound may not work.\n");
        Wfree(returned_data);
        *error = true;
        fclose(fp);
        return 0;
    }

    // Determinando informações sobre o áudio antes de enviá-lo
    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;
    }

    // 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;
    struct sound *snd;
#if W_TARGET == W_ELF && !defined(W_MULTITHREAD)
    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");
#endif
    return NULL;
}

snd -> loaded = false;
complete_path = (char *) Walloc(strlen(filename) + strlen(dir) + 1);
if(complete_path == NULL){
    Wfree(snd);
    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
    return NULL;
}
strcpy(complete_path, dir);
strcat(complete_path, filename);
#if W_TARGET == W_WEB || defined(W_MULTITHREAD)
#if W_TARGET == W_WEB
    mkdir("sound/", 0777); // Emscripten
#endif
#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
    emscripten_async_wget2(complete_path, complete_path,
                           "GET", "", (void *) snd,
                           &onload_sound, &onerror_sound,
                           &onprogress_sound);
#else // Rodando assincronamente por meio de threads
    _multithread_load_file(complete_path, (void *) snd, &process_sound,
                           &onload_sound, &onerror_sound);
#endif
    Wfree(complete_path);
    return snd;
#else
    // 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);
    }
    if(ret){ // ret é verdadeiro caso um erro tenha acontecido
        Wfree(complete_path);
        Wfree(snd);
        return NULL;
    }
    Wfree(complete_path);
    snd -> loaded = true;
    return snd;
#endif
}

```

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);
    }
    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 mostra 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 nenhuma função de desalocação precisa ser criada.

9.5 - Lendo nos arquivos de áudio em threads

Se estivermos executando o programa nativamente com threads habilitadas, nós escrevemos acima um código que chama uma função misteriosa chamada `_multithread_load_file` que recebe como argumento o caminho para o arquivo de áudio a ser lido, um ponteiro para a estrutura de som já alocada e uma função de carregamento de áudio e outra para executar se ocorreu algum erro. Não é muito diferente de quando nós fazemos isso no Emscripten. A única diferença é que teremos que definir todas essas funções e elas deverão agir de forma diferente de acordo com a macro `W_THREAD_POOL`.

Se `W_THREAD_POOL` for maior do que zero, nós leremos os arquivos assincronamente por meio de uma pool de threads que suportará um número de threads igual ao valor desta macro. Primeiro precisamos de uma estrutura que conterá todas as informações que uma thread precisa para azer o seu trabalho de ler um arquivo e retornar os dados extraídos dele de maneira adequada:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF
struct _thread_file_info{
    char filename[256]; // Arquivo a ser lido
    void *target; // Onde armazenar a informação extraída
    void *(*onload)(void *); // Função a ser chamada para ler o
        // arquivo. Ela receberá esta própria
        // struct como argumento
    void *(*onerror)(void *); // Função a ser chamada em caso de erro,
        // ela receberá NULL ou esta própria
        // struct como argumento
    // E abaixo a função que realmente irá abrir e interpretar o
    // arquivo. Seu argumento será sempre esta própria struct:
    void *(*process)(void *);
    bool valid_info; // Essa struct em inormações válidas?
#if W_THREAD_POOL > 0
    pthread_mutex_t mutex; // Para que a thread da pool responsável por
        // esta estrutura possa ser bloqueada por
        // |wait| e |signal|
    pthread_mutex_t struct_mutex; // Mutex para quando esta estrutura for mudada
    pthread_cond_t condition; // Idem.
    bool _kill_switch; // Se verdadeiro, faz a thread se encerrar.
#endif
};
#endif
```

Agora se estivermos usando uma pool de threads, vamos precisar de um array que funcionará como uma lista de arquivos a serem tratados pelas threads. A lista deverá ter um mutex que precisará ser acionado sempre que ela for modificada (um elemento é adicionado ou removido da fila). Como haverá uma thread para cada posição da lista, vamos precisar também de uma lista de igual tamanho para conter as próprias threads. Por fim, um inteiro será incrementado sempre que

houver uma nova inserção para que assim cada arquivo a ser lido seja colocado em uma posição diferente da lista e assim possa ser lido por uma thread diferente.

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
struct _thread_file_info _file_list[W_THREAD_POOL];
pthread_t _thread_list[W_THREAD_POOL];
int _file_list_count; // Usado para determinar qual thread vai receber a tarefa
pthread_mutex_t _file_list_count_mutex; // Mutex para _file_list_count
#endif
```

Tais valores precisam ser inicializados:

Seção: API Weaver: Inicialização:

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_THREAD_POOL; i++){
        _file_list[i].valid_info = false; // Marca posição como vazia
        _file_list[i]._kill_switch = false;
        if(pthread_mutex_init(&(_file_list[i].mutex), NULL) != 0){
            fprintf(stderr, "ERROR: Failed to create mutex for file list.\n");
            exit(1);
        }
        if(pthread_mutex_init(&(_file_list[i].struct_mutex), NULL) != 0){
            fprintf(stderr, "ERROR: Failed to create mutex for file list.\n");
            exit(1);
        }
        if(pthread_cond_init(&(_file_list[i].condition), NULL) != 0){
            fprintf(stderr, "ERROR: Failed to create condition variable for thread "
                        "synchronization.\n");
            exit(1);
        }
    }
    // Inicializa mutex:
    if(pthread_mutex_init(&(_file_list_count_mutex), NULL) != 0){
        fprintf(stderr, "ERROR: Failed to create mutex for file list.\n");
        exit(1);
    }
    // Inicializando o contador. Não usamos o mutex porque ainda não
    // foram criadas as primeiras threads que podem modificá-lo:
    _file_list_count = 0;
}
#endif
```

E precisa também ser encerrados no fim do programa:

Seção: API Weaver: Encerramento (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_THREAD_POOL; i++){
        // Começamos matando a thread:
```

```

pthread_mutex_lock(&(_file_list[i].struct_mutex));
_file_list[i]._kill_switch = true;
pthread_mutex_unlock(&(_file_list[i].struct_mutex));
pthread_cond_signal(&(_file_list[i].condition));
pthread_join(_thread_list[i], NULL);
// Agora que a thread morreu, destruimos seu mutex:
pthread_mutex_destroy(&(_file_list[i].mutex));
pthread_mutex_destroy(&(_file_list[i].struct_mutex));
pthread_cond_destroy(&(_file_list[i].condition));
}
pthread_mutex_destroy(&(_file_list_count_mutex));
}
#endif

```

O que qualquer thread fará será conhecer qual posição da lista é associada a ela e ficará sempre esperando a posição ficar cheia para poder trabalhar:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
void *_file_list_thread(void *p);
#endif

```

Seção: Som: Definições (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
void *_file_list_thread(void *p){
    struct _thread_file_info *file_info = (struct _thread_file_info *) p;
    for(;;){
        pthread_mutex_lock(&(file_info -> mutex));
        while(!file_info -> valid_info && !file_info -> _kill_switch){
            pthread_cond_wait(&(file_info -> condition), &(file_info -> mutex));
        }
        // Primeiro checamos se devemos encerrar:
        if(file_info -> _kill_switch){
            pthread_exit(NULL);
        }
        // Se não, fazemos o trabalho esperado:
        file_info -> process(p);
        file_info -> valid_info = false;
        pthread_mutex_unlock(&(file_info -> mutex));
    }
}
#endif

```

Sabendo o que realmente fará cada thread, podemos então inicializar todas elas:

Seção: API Weaver: Inicialização:

```

#ifdef W_MULTITHREAD && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
{
    int i;
    for(i = 0; i < W_THREAD_POOL; i++){
        pthread_create(&(_thread_list[i]), NULL, &_amp;_file_list_thread,
            (void *) &(_file_list[i]));
    }
}

```

```
}
```

```
#endif
```

Vamos definir então a `_multithread_load_file`:

Seção: Som: Declarações (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF
```

```
void _multithread_load_file(const char *filename, void *snd,  
                           void *(*process)(void *),  
                           void *(*onload)(void *),  
                           void *(*onerror)(void *));
```

```
#endif
```

Não iremos declarar esta função como estática, pois ela poderá ser útil mais tarde para carregar outros tipos de arquivos além de som. As funções `onload` e `onerror` deverão ser chamadas respectivamente se a thread criada terminar com sucesso ou se terminar em caso de erro.

E aqui vemos como a nossa função que gerencia as threads cria tal estrutura, a preenche e passa adiante. Primeiro definimos como ela funcionaria sem usar a pool de threads, criando uma nova thread para cada arquivo a ser lido:

Seção: Som: Definições (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL == 0
```

```
void _multithread_load_file(const char *filename, void *snd,  
                           void *(*process)(void *),  
                           void *(*onload)(void *),  
                           void *(*onerror)(void *)){  
    int return_code;  
    pthread_t thread;  
    struct _thread_file_info *arg;  
    // Registramos a existência do arquivo a ser carregado:  
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));  
    W.pending_files ++;  
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));  
    arg = (struct _thread_file_info *) Wallocc(sizeof(struct _thread_file_info));  
    if(arg != NULL){  
        // Se conseguimos alocar a estrutura preenchemos ela. Se não  
        // conseguimos, passaremos NULL adiante e invocaremos a função de  
        // erro.  
        strncpy(arg -> filename, filename, 255);  
        arg -> target = snd;  
        arg -> onload = onload;  
        arg -> onerror = onerror;  
        arg -> process = process;  
        arg -> valid_info = true;  
    }  
    else{  
        return_code = pthread_create(&thread, NULL, onerror, NULL);  
        if(return_code != 0){  
            perror("Failed while trying to create a thread to read files.");  
            exit(1);  
        }  
    }  
}
```

```

// Na inexistência de erros, rodamos isso:
return_code = pthread_create(&thread, NULL, process, (void *) arg);
if(return_code != 0){
    perror("Failed while trying to create a thread to read files.");
    exit(1);
}
}
#endif

```

Isso é para o caso de não usarmos uma pool de threads. Se usamos, nosso código fica bastante diferente:

Seção: Som: Definições (continuação):

```

#ifdef W_MULTITHREAD && W_TARGET == W_ELF && W_THREAD_POOL > 0
void _multithread_load_file(const char *filename, void *snd,
                           void *(*process)(void *),
                           void *(*onload)(void *),
                           void *(*onerror)(void *)){
    int thread_number;
    // Registramos a existência do arquivo a ser carregado:
    pthread_mutex_lock(&(W._pending_files_mutex));
    W.pending_files ++;
    pthread_mutex_unlock(&(W._pending_files_mutex));
    // Primeiro vamos obter e copiar localmente qual thread receberá
    // nossa tarefa e incrementamos o valor do contador que indica isso
    // para que a próxima thread que for fazer isso peça para uma thread
    // diferente:
    pthread_mutex_lock(&(_file_list_count_mutex));
    thread_number = _file_list_count;
    _file_list_count = (_file_list_count + 1) % W_THREAD_POOL;
    pthread_mutex_unlock(&(_file_list_count_mutex));
    // Agora que sabemos para qual thread pedir a tarefa, esperaremos
    // até que a thread esteja disponível. Somente a inicialização e a
    // thread responsável pode tornar a variável abaixo falsa. Se ela
    // for verdadeira, é porque os dados de outro pedido estão
    // preenchidos e a thread ainda está trabalhando neles:
    pthread_mutex_lock(&(_file_list[thread_number].struct_mutex));
    while(_file_list[thread_number].valid_info == true)
        sched_yield();
    strncpy(_file_list[thread_number].filename, filename, 255);
    _file_list[thread_number].target = snd;
    _file_list[thread_number].onload = onload;
    _file_list[thread_number].onerror = onerror;
    _file_list[thread_number].process = process;
    _file_list[thread_number].valid_info = true;
    pthread_mutex_unlock(&(_file_list[thread_number].struct_mutex));
    // Agora que preenchemos todas as informações, é só sinalizar
    // chamando a thread que a missão foi cumprida:
    pthread_cond_signal(&(_file_list[thread_number].condition));
}
#endif

```

Terminamos agora de fazer todas as funções genéricas responsáveis por invocar threads para processar arquivos. Mas agora precisamos das funções específicas para processar os arquivos de áudio. Para isso vamos enfim definir as três funções que temos que passar para a função acima como argumentos. A primeira é a responsável por ler e processar o arquivo de áudio:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```
#if defined(W_MULTITHREAD) && W_TARGET == W_ELF
static void *process_sound(void *p){
    char *ext;
    bool ret = true;
    struct _thread_file_info *file_info = (struct _thread_file_info *) p;
    struct sound *my_sound = (struct sound *) (file_info -> target);
    ext = strrchr(file_info -> filename, '.');
    if(! ext){
        file_info -> onerror(p);
    }
    else if(!strcmp(ext, ".wav") || !strcmp(ext, ".WAV")){ // Suportando .wav
        my_sound -> _data = extract_wave(file_info -> filename, &(my_sound -> size),
                                         &(my_sound -> freq),
                                         &(my_sound -> channels),
                                         &(my_sound -> bitrate), &ret);
    }
    if(ret){ // ret é verdadeiro caso um erro de extração tenha ocorrido
        file_info -> onerror(p);
    }
    else{
        file_info -> onload(p);
    }
    // Finalização:
#if W_THREAD_POOL == 0
    Wfree(p); // Sem pool de threads, nosso argumento foi alocado
              // dinamicamente e precisa ser destruído.
#endif
#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
    return NULL;
}
#endif
```

Agora as funções de finalização que fazem algo em caso de sucesso caso tenhamos terminado de carregar o som e caso tenha ocorrido algum erro:

Seção: Som: Funções Estáticas (continuação):

```
#if W_TARGET == W_ELF && defined(W_MULTITHREAD)
static void *onload_sound(void *p){
    struct _thread_file_info *file_info = (struct _thread_file_info *) p;
    struct sound *my_sound = (struct sound *) (file_info -> target);
```

```

my_sound -> loaded = true;
return NULL;
}
static void *onerror_sound(void *p){
    struct _thread_file_info *file_info = (struct _thread_file_info *) p;
    fprintf(stderr, "Warning (0): Failed to load sound file: %s\n",
        file_info -> filename);
    return NULL;
}
#endif

```

E isso é tudo.

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.