**Introdução - MOCC (My Own C Compiler)**

Este relatório descreve o desenvolvimento de um compilador para uma linguagem fictícia no contexto da unidade curricular de Compilação (2024/25). A linguagem MOC adota uma sintaxe semelhante à linguagem C, com restrições e simplificações específicas que visam facilitar a construção de um compilador com ferramentas como **ANTLR4**, não nos vamos alongar na especificação que nos foi dada para a linguagem, mas aqui [link](https://elearning.uab.pt/pluginfile.php/3918150/mod_assign/introattachment/0/MOCC.pdf?forcedownload=1) do enunciado para contextualização:

Por motivos de compatibilidade e possíveis diferenças de comportamento entre versões, recomendamos ANTLR 4.13.2 e Python 3.1**X**, com as quais todos os testes foram realizados.

Sendo o foco desta atividade, a análise léxica e sintática, foram gerados os seguintes ficheiros:

* **main.py** – Ficheiro principal onde está o nosso menu que corre os comandos antlr4 necessários para compilar e verificar o código com as nossas customizações.
* **MOC.g4** – Ficheiro de gramática, inclui regras léxicas(tokens) e sintáticas(parser).
* **MOCErrorListener.py** – Ficheiro de erros customizáveis, traduzindo os erros do parser e lexer para erros mais “user-friendly”.
* **MOCVisitorDEBUG.py** – Ficheiro Visitor customizado com prints a cada momento, que criámos inicialmente para encontrar os problemas e aperfeiçoar a nossa gramática, embora não esteja correntemente a ser usado no nosso main.py.
* **reset\_antlr.sh** – Script auxiliar que criámos para limpar os ficheiros gerados pelo antrl4 e voltar a criar. Usado cada vez que temos de modificar a gramática.
* **README.md** – Instruções de uso e informação técnica do programa.

|  |
| --- |
| ############# Instruções de uso python3 main.py exemplo.txt // Valida a gramática  python3 main.py exemplo.txt -tree // Valida a gramática e gera a árvore sintática  python3 main.py exemplo.txt -gui // Valida a gramática e gera a árvore sintática com interface gráfica |

**Gramática**

**Começámos a definição da gramática pela análise léxica, através da implementação de tokens de gramática antlr, sendo a base que permite construir os elementos básios da nossa linguagem, segue aqui a sua definição:**

* **Palavras-chave**: *int, double, void, main, read, readc, reads, write, writec, writev, writes, if, else, while, for, return,*
* **Operadores**: *+, -, \*, /, %, <, <=, >, >=, ==, !=, &&, ||, !, =,*
* **Pontuação e símbolos**: *,, ;, [, ], {, }, (, ),*
* **Literais**: *números inteiros, números reais e strings,*
* **Identificadores**: *nomes de variáveis, funções, etc.*
* **Comentários**: *comentários de linha (//) e bloco (/\* ... \*/) – ignorados pelo lexer,*
* **Espaços em branco**: ignorados pelo lexer.

A seguir foram implementadas regras sintáxicas, através da implementação de regras de parser que definem se a estrutura dos programas é válida, definidas pelas seguintes regras:

* **programa**: estrutura global que combina os protótipos e o corpo principal do programa.
* **funcao, prototipo, funcaoPrincipal, prototipoPrincipal**: usas para definir e declarar funções, incluindo main.
* **declaracao, variavel:** regras para declaração de variáveis simples e vetores, com ou sem inicialização.
* **instrucao:** regra base para todas as instruções possíveis, incluindo blocos, condições, ciclos, leitura/escrita e retorno.
* **expressao:** criada para suportar operações, nomeadamente: aritméticas, lógicas, relacionais e também operações de casting, chamadas a funções e acessos a vetores.
* **chamadaFuncao:** criada para suportar funções comargumentos: suporte para chamadas como read(), fact(n) e leitura de strings.

Esta informação está toda disponível e comentada corretamente no ficheiro MOC.g4, abaixo segue uma breve explicação da lógica implementada em parser (o cérebro da operação):

O ponto de entrada do parser é a regra **programa**, que é responsável pela definição da estrutura principal da linguagem definida por esta gramática. Esta regra obriga a que o programa seja composto por dois elementos obrigatórios, um dos elementos é o protótipo e o outro o corpo, terminando com o fim do ficheiro. Relativamente aos protótipos, a ideia foi garantir que, exista pelo menos sempre o protótipo da função *main*, via prototipoPrincipal, podendo haver antes ou depois declarações dos outros protótipos, quando aplicável.

Na regra corpo, podemos ter, nenhuma ou várias unidades, que podem ser declarações de variáveis ou de definições de funções com corpo, no entanto, mesmo sem nenhuma unidade declarada, temos de ter a função principal, *main*, sempre presente.

Na definição dos protótipos e das funções identificamos os parametros que podem receber, através da regra **parâmetros**. Permite funções com ou sem argumentos e suporta parâmetros com ou sem identificadores, assim como vetores. Adicionalmente temos a regra **tipo**, que restringe os tipos suportados pela linguagem, *int*, *double* e *void*.

Devido á declaração de variáveis no corpo do programa para as funções existe também a regra **declaracao** que define que permite uma ou mais variáveis dos tipos indicados acima. As variáveis são agrupadas numa *listaVariaveis*, onde cada elemento é definido pela regra **variável**, permitindo maior flexibilidade para diferentes formas de declaração.

De seguida com a regra **expressão** é feita a análise que permitir a construção de instruções envolvendo operações aritméticas, lógicas, comparações, chamadas de função, acessos a vetores, e conversões de tipo (castings), dividida pelos tipos de forma a lidar com ambiguidade. Para permitir funções com múltiplos argumentos, a regra **argumentos** aceita uma lista de expressões separadas por vírgulas.

As funções de leitura utilizam a regra **chamadaFuncao**, que define chamadas sem argumentos e com sintaxe fixa.

Finalmente as instruções estão organizadas por tipo de estrutura, com regras especificas para tipos de condicionais e instruções emparelhadas e por emparelhar para melhor lidar com as especificidades de cada caso.

Durante o desenvolvimento da gramática, surgiram alguns desafios específicos que exigiram ajustes manuais, como por exemplo:

* Algumas palavras, como **main**, **read** e **writes**, causaram conflitos na gramática devido a serem identificadores válidos, e embora estivessem definidas como tokens, não eram reconhecidas corretamente pelo parser em algumas regras. Foram utilizadas literalmente nas regras do parser ('main', 'read', etc.), o que resolveu momentaneamente o nosso problema. Mais tarde, após uma análise teórica, compreendemos que a origem do conflito residia na posição incorreta dos tokens no lexer, o que gerava ambiguidade com outras regras, nomeadamente com o token **identificador**. A reorganização das declarações de tokens resolveu o problema de forma definitiva.
* As expressões v(i) (chamada de função) e v[i] (acesso a vetor) tinham sido construídas inicialmente como uma única regra, e apresentavam ambiguidade sintáxica, foi necessário **separar explicitamente** em regras distintas (**chamadaGenerica**, **acessoVetor**), garantindo que o parser conseguisse distinguir corretamente cada forma.
* A regra original de **expressao** tratava apenas operações simples e diretas, mas não reconhecia corretamente estruturas mais complexas como: fact(n), v[i] e castings de (int) x, (double) y. Estas construções fazem parte da base da hierarquia das expressões e, por isso, a limitação residia na definição da regra primary, que representa os elementos terminais de uma expressão. Neste caso tivemos de fazer uma total reformulação da regra primary e as suas ramificações, e forma a suportar expressões compostas e encadeadas, garantindo assim que é respeitado a precedência dos operadores e eliminado ambiguidades.
* Existiram alguns problemas com os protótipos. Sabíamos que tínhamos de garantir a obrigatoriedade da declaração dos protótipos antes das funções e isso foi rapidamente conseguido, mas da forma como o estávamos a fazer obrigava a que o protótipo declarado tivesse obrigatoriamente a função declarada também. E no nosso entendimento, e se a linguagem MOCC é uma derivação da linguagem C, onde, mesmo que o protótipo seja declarado, a função não precisa de existir, com excepção da função main, faria sentido recriar essa situação na nossa gramática. Porém, as várias tentativas levavam sempre a falha sempre que a função não existisse, mas o protótipo sim. Depois de algumas tentativas conseguimos contornar esse problema.
* Este ponto não se tratou tanto de desafios da nossa gramática, mas mais uma questão feita pelos professores na SS que nos deixou a pensar: a indentação. Ficámos a pensar que seria necessário tratar da indentação, tal como acontece com o a linguagem Python. Após alguma reflexão sobre as regras da linguagem C “verdadeira”, concluímos que não nos teríamos de preocupar com a indentação. Ao contrário do Python que é muito sensível a este tema, em C isso não ocorre, ou seja, se entendermos podemos colocar o código todo numa linha. É estupido e vai contra as boas práticas, mas não existe nenhuma limitação ao mesmo. Pelo que a indentação não foi considerada para ser analisada pela gramática.

**Listener**  
Divisão de erros Lexicos e Sintaticos

Ordem cronológica de eventos.

Exemplo de erro de antlr:****

Exemplo de erro mais user-friently e a dizer literalmente o símbolo esperado:  
****

**Validação e testes**

**A nossa estratégia de testes teve como objetivo cobrir os vários aspetos possíveis do compilador, começando por validar cada um dos cenários de sucesso (happy path) da gramática identificados no enunciado (declarações e atribuições) de modo unitário para nos ajudar a validar durante a construção. De seguida avançámos para testes de integração, tendo como dados iniciais os exemplos de programas completos providenciados, focando-nos finalmente nos casos de limite e falha.  
Nos Anexos podem encontrar um resumo mais completo dos testes concluídos.**

**Conclusão e comentários**

**Talvez por ambiguidade do enunciado, fez-nos perder algum tempo precioso com o estudo das Arvores sintáticas abstratas (AST), e com a criação do visitor para apanhar alguns erros que encontrámos. Porém esse estudo acabou por nos ajudar a compreender que alguns desses erros deveriam de ser corrigidos na gramática. Acabámos por usar esse visitor como debugging para nos ajudar a apanhar as falhas. Estamos satisfeitas com o trabalho apresentado, é certo que terá melhorias a fazer, talvez na simplificação de algumas regras na gramática que possam simplificar o trabalho seguinte, porém nesta fase já não conseguimos melhorar mais.**

**Cenas e coisas   
Falar do visitor**

**Copiar .pdfs e indentação perdida**

Andreia Romão (1702430)

Cátia Santos (1702194)

**Referências**

* **Universidade Aberta. (n.d.). Fórum da unidade curricular Compilação [Fórum Moodle]. Acedido através da plataforma Moodle da UAb.**
* **OpenAI. (2025). ChatGPT (versão utilizada para apoio ao desenvolvimento e validação do código).**
* **Aho, A. V., Lam, M. S., Sethi, R., & Ullman, J. D. (n.d.). Compiladores: Princípios, Técnicas e Ferramentas**
* ANTLR Documentation. (n.d.). *ANTLR Documentation*. Disponível em <https://github.com/antlr/antlr4/blob/master/doc>
* Tomassetti, F. (n.d.). *The ANTLR Mega Tutorial*. Disponível em <https://tomassetti.me/antlr-mega-tutorial/>

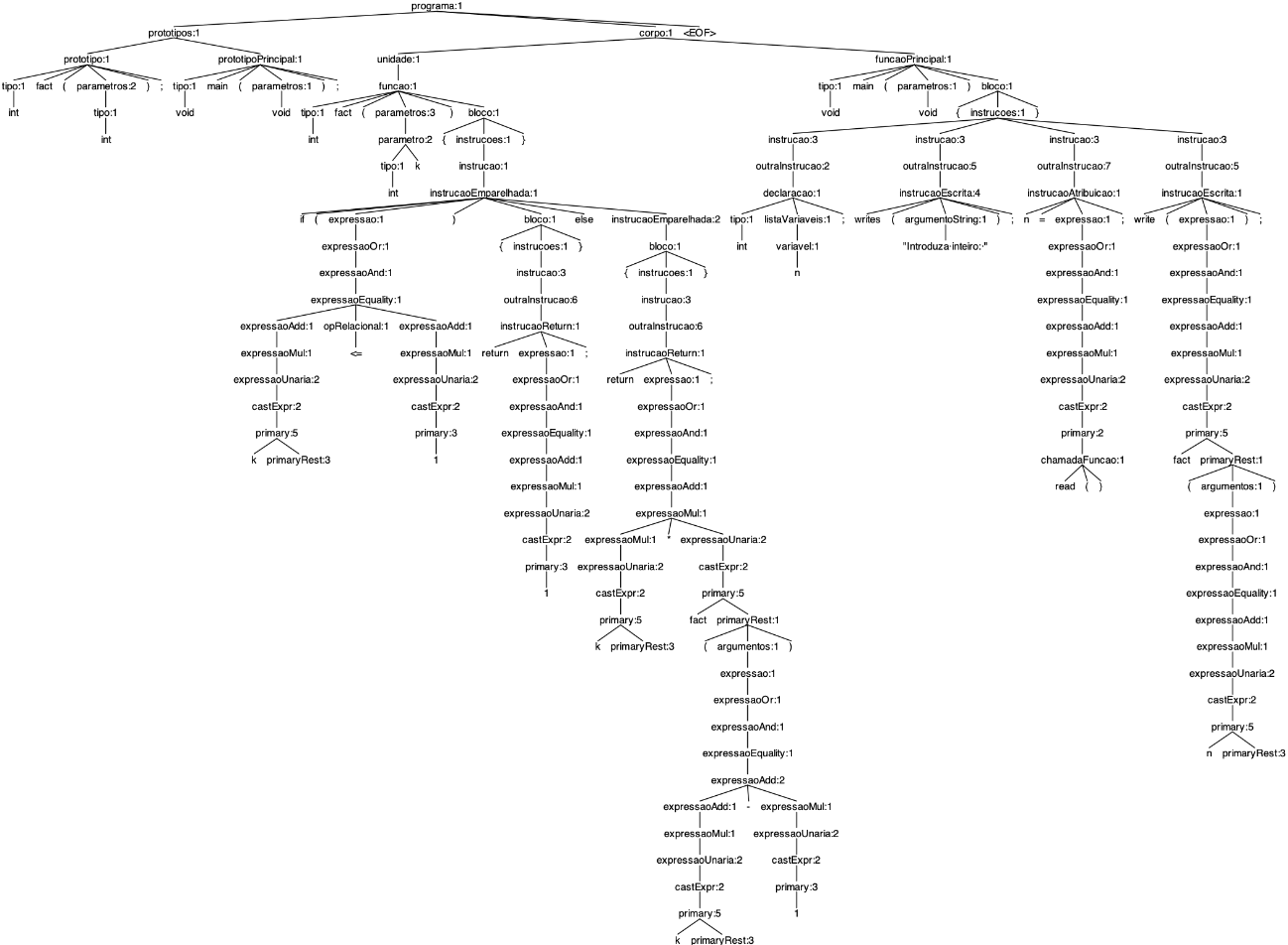
**Anexos**

**Em todos os testes são corridos os comandos do antlr para verem os erros da gramática, e o nosso programa, para compararem com a nossa adaptação do Listener.**

**Execução dos exemplos de sucesso de *chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://elearning.uab.pt/pluginfile.php/3959004/mod\_resource/content/1/caso\_sucesso.pdf***

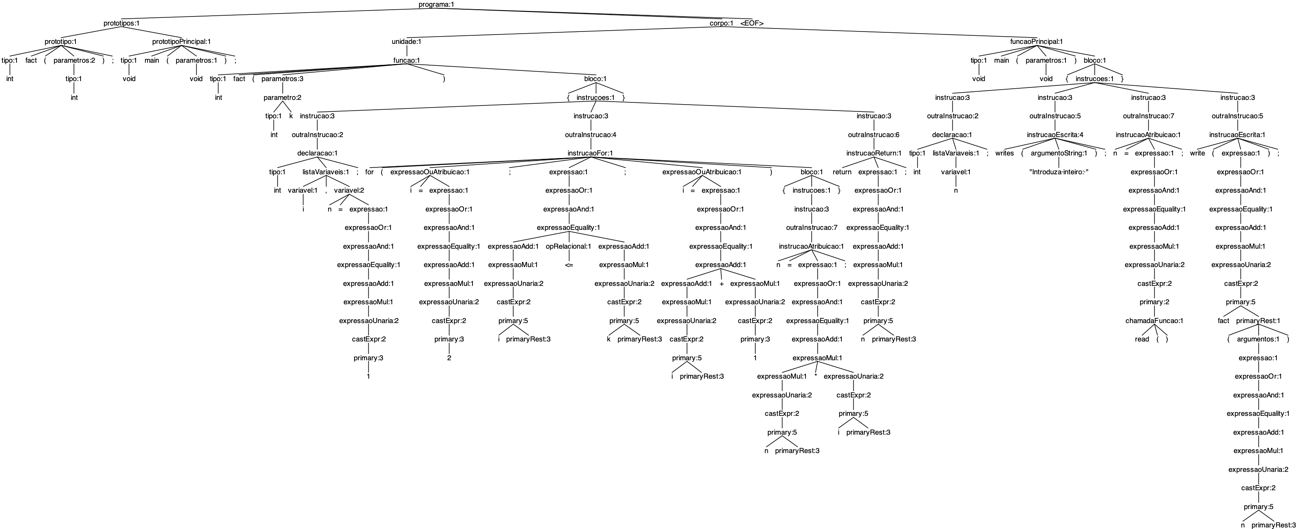
**Exemplo 1 – casos\_sucesso.pdf (corretamente formatado)**

|  |
| --- |
| /\* exemplo 1  fatorial versão recursiva \*/  int fact(int);  void main(void);  int fact(int k) {  if (k <= 1) {  return 1;  } else {  return k \* fact(k - 1);  }  }  void main(void) {  int n;  writes("Introduza inteiro: ");  n = read();  write(fact(n));  } |



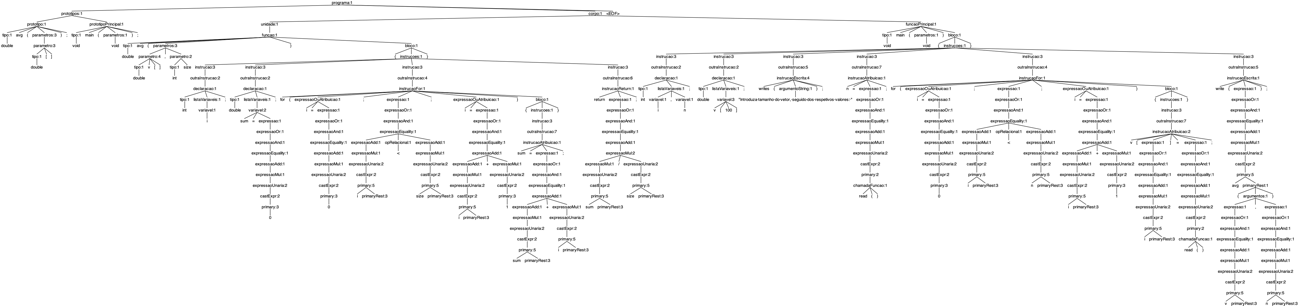
**Exemplo 2 – casos\_sucesso.pdf (corretamente formatado)**

|  |
| --- |
| /\* exemplo 2 \*/  int fact(int);  void main(void);  int fact(int k) {  int i, n = 1;  for (i = 2; i <= k; i = i + 1) {  n = n \* i;  }  return n;  }  void main(void) {  int n;  writes("Introduza inteiro: ");  n = read();  write(fact(n));  } |

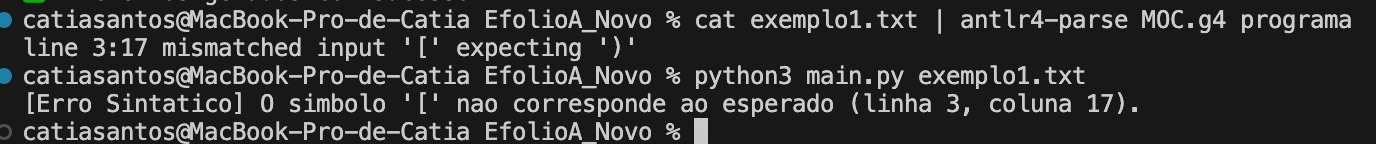


**Exemplo 3 – casos\_sucesso.pdf (corretamente formatado)**

|  |
| --- |
| /\* exemplo 3  média de uma lista de valores positivos \*/  double avg(double[]);  void main(void);  double avg(double v[], int size) {  int i;  double sum = 0;  for (i = 0; i < size; i = i + 1) {  sum = sum + i;  }  return sum / size;  }  void main(void) {  int i, n;  double v[100];  writes("Introduza tamanho do vetor, seguido dos respetivos valores: ");  n = read();  for (i = 0; i < n; i = i + 1) {  v[i] = read();  }  write(avg(v, n));  } |



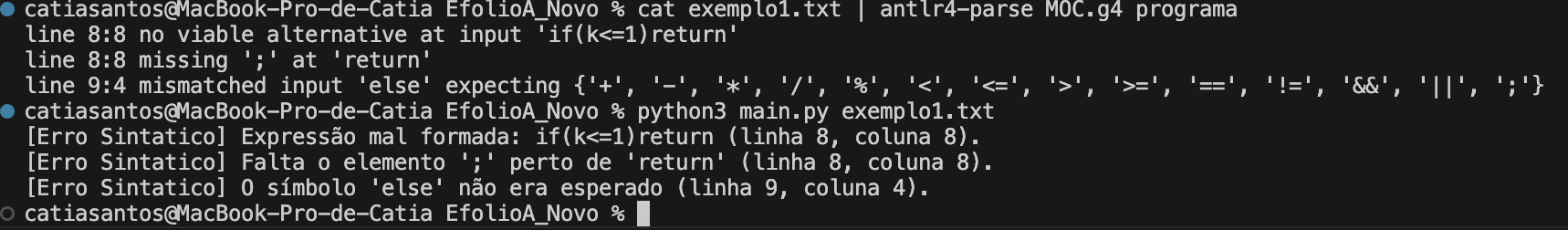
**Já agora a título de mostrar um pouco a funcionalidade do nosso ErrorListener e gramática, de acordo com o problema de protótipos que tínhamos mencionado para este exemplo no Moodle, caso não tivesse sido declaro como parâmetro, este seria o erro do parser vs o erro tratado pelo listener:**

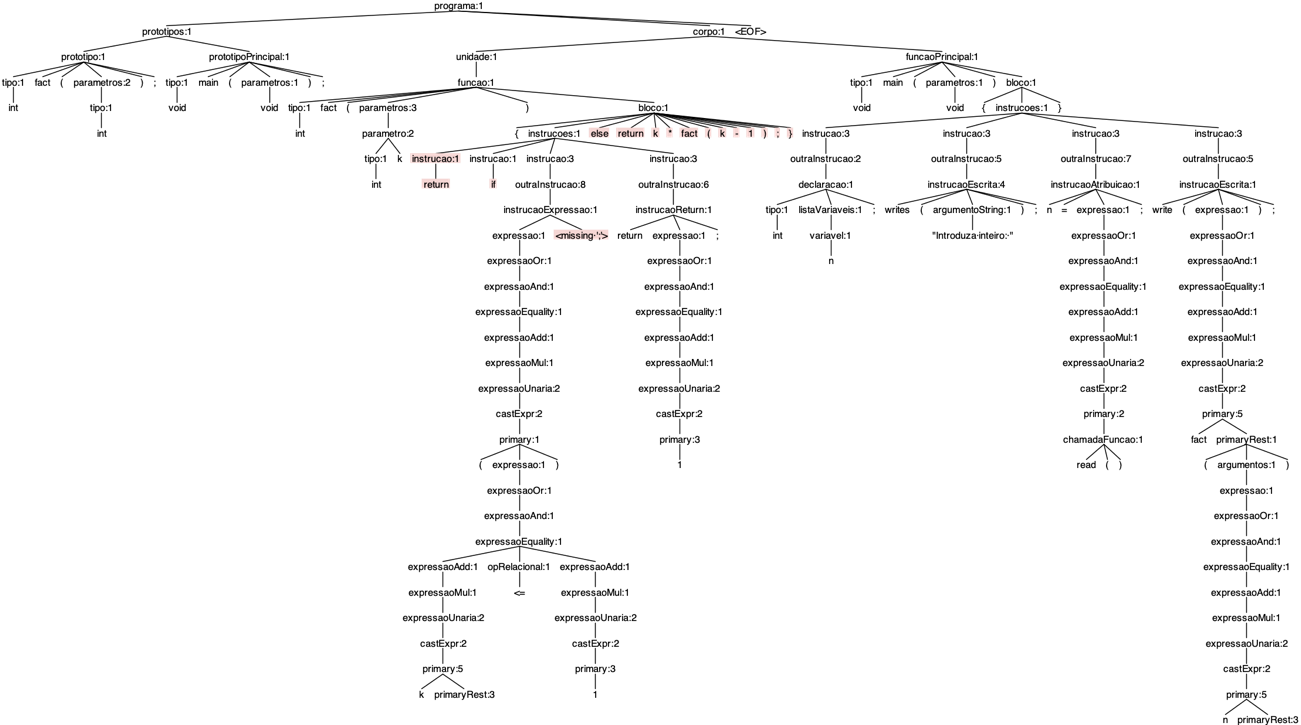


**E agora os testes iniciais do enunciado, testes de falha disponíveis em:** <https://elearning.uab.pt/pluginfile.php/3918150/mod_assign/introattachment/0/MOCC.pdf?forcedownload=1>

**Exemplo 1 – MOOC.pdf (corretamente formatado)**

|  |
| --- |
| /\* exemplo 1  fatorial versão recursiva \*/  int fact(int);  void main(void);  int fact(int k) {  if (k <= 1)  return 1;  else  return k \* fact(k - 1);  }  void main(void) {  int n;  writes("Introduza inteiro: ");  n = read();  write(fact(n));  } |

****



**O Exemplo 2 e Exemplo 3 do MOOC.pdf são os mesmos do casos\_sucesso.pdf , mais acima**

**Seguem também todos os testes unitários executados, divididos em tipo Sucesso (casos de sucesso) e Falha (casos de falha propositada, para ver casos limite), numa tabela com a informação resumida, seguida da execução e árvore para cada exemplo.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **N.ª** | **Descrição** |  | **Tipo** | **Estado** |
| **1.1** | **Teste 1 – Diretivas Pré-processuais**  **Regra: Não pode haver diretivas (ex.: “#include”) no código.** | Sem diretivas | **Sucesso** | **OK** |
| **1.2** | **Contém diretiva proibida “**#include” | **Falha** | **OK** |
| **2.1** | **Teste 2 – Ordem – Protótipos Antes de Declarações**  **Regra: Todos os protótipos devem vir antes de qualquer declaração ou definição.** | Protótipos declarados no início | **Sucesso** | **OK** |
| **2.2** | Variável declarada antes dos protótipos | **Falha** | **OK** |
| **3.1** | **Teste 3 – Declaração de Variáveis: Tipos e Sintaxe**  **Regra: Apenas os tipos "int" e "double" e “void” são permitidos.** | **Uso de tipos permitidos (int, double e void)** | **Sucesso** | **OK** |
| **3.2** | **Uso de tipo não permitido: (float)** | **Falha** | **OK** |
| **4.1** | **Teste 4 – Inicialização de Variáveis**  **Regra: As variáveis podem ser inicializadas com expressões aritméticas ou com valores lidos.** | **Inicialização Aritmética e com leitura** | **Sucesso** | **OK** |
| **4.2** | **Erro de sintaxe: falta parênteses na chamada de read** | **Falha** | **OK** |
| **5.1** | **Teste 5 – Funções de Leitura e Escrita**  **Regra: As funções de leitura devem ser chamadas com parênteses: read(), readc(), reads().**  **Para escrita, usamos: write() para variáveis simples, writev() para vetores, e writes() para strings.** | **Uso correcto de todos os write()** | **Sucesso** | **OK** |
| **5.2** | **Faltam parênteses e aspas ausentes em string Usado o write() incorrecto para strings** | **Falha** | **OK** |
| **6.1** | **Teste 6 – Blocos de Instrução: Obrigatoriedade de Chavetas**  **Regra: Todos os blocos de instrução (mesmo com uma única instrução) devem estar entre chavetas.** | **Blocos de instrução com chavetas** | **Sucesso** | **OK** |
| **6.2** | **Falta de chavetas no condicional e de escrita** | **Falha** | **OK** |
| **7.1** | **Teste 7 – Ciclo While**  **Regra: O ciclo while deve ter a forma “while (expressão) { bloco }”.** | **Ciclo while bem definido** | **Sucesso** | **OK** |
| **7.2** | **Ciclo while com parenteses em falta** | **Falha** | **OK** |
| **8.1** | **Teste 8 – Ciclo For**  **Regra: O ciclo for deve ter a forma “for (inicialização; condição; atualização) { bloco }” e não pode usar operadores não permitidos (como i++).** | **Ciclo for bem definido** | **Sucesso** | **OK** |
| **8.2** | **Ciclo for com uso de i++** | **Falha** | **OK** |
| **9.1** | **Teste 9 – Condições Simplificadas**  **Regra: As condições devem ser simples (ou uma única expressão ou uma comparação simples “Expr op Expr”), sem composições ambíguas.** | **Condição simples de comparação** | **Sucesso** | **OK** |
| **9.2** | **Condição complexa com 3 variáveis** | **Falha** | **OK** |
| **10.1** | **Teste 10 – Função main com Protótipo**  **Regra: A função main (ponto de entrada) deve ter o seu protótipo declarado antes de sua definição.** | **Função main com protótipo declarado** | **Sucesso** | **OK** |
| **10.2** | **Função main sem protótipo declarado** | **Falha** | **OK** |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 1.1:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a) { return a; }  void main(void) { }  Exemplo de Falha 1.2:  #include <stdio.h> // <-- Isto deve causar erro  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a) { return a; }  void main(void) { } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 2.1:  int foo(int);  void main(void);  int m, n; // <-- Declaração de variáveis após os protótipos  int foo(int a) { return a; }  void main(void) { }  Exemplo de Falha 2.1:  int m, n; // <-- Não é permitido antes dos protótipos  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a) { return a; }  void main(void) { } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 3.1:  int foo(int);  void main(void);  int a, b, v[10];  double x, y, z;  int foo(int a){ return a; }  void main(void){ }  Exemplo de Falha 3.2:  int foo(int);  void main(void);  float a; // <-- 'float' não está definido na gramática  int foo(int a){ return a; }  void main(void){ } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 4.1:  int foo(int);  void main(void);  int m = 1, n = 2 \* m;  double x = 3.14, y = x / 2;  int a = read();  int foo(int a){ return a; }  void main(void){ }  Exemplo de Falha 4.2:  int foo(int);  void main(void);  int m = 1, n = 2 \* m;  double x = 3.14, y = x / 2;  int a = read; // <-- Falta os parênteses  int foo(int a){ return a; }  void main(void){ } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 5.1:  int foo(int);  void main(void);  int c = read();  int s[] = reads();  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int v[3] = {97,98,99};  write(v[0]); // para número  writec(v[0]); // para carácter  writev(v); // para vetor  writes("abc"); // para string  }  Exemplo de Falha 5.2:  int foo(int);  void main(void);  // Uso incorreto: faltam parênteses e aspas ausentes em string  int c = read; // <-- Falta parênteses  int s[] = reads; // <-- Falta parênteses  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int v[3] = {97,98,99};  write("abc"); // <-- Para escrever string, deve usar writes()  } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 6.1:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){  if(a < 0) {  return b;  } else {  return a;  }  }  void main(void){  if(1 < 2) {  writes("ok");  }  }  Exemplo de Falha 6.2:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){  if(a < 0)  return b; // <-- Falta chavetas no if  else  return a;  }  void main(void){  if(1 < 2)  writes("ok"); // <-- Falta chavetas  } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 7.1:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int x = 10;  while(x > 0) {  x = x - 1;  }  }  Exemplo de Falha 7.2:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int x = 10;  while x > 0 { // <-- Faltam os parênteses  x = x - 1;  }  } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 8.1:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int i, s;  for(i = 0; i < 10; i = i + 1) {  s = s + i;  }  }  Exemplo de Falha 8.2:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int i, s;  for(i = 0; i < 10; i++) { // <-- Uso de i++ ou i++ shorthand não é permitido  s = s + i;  }  } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso 9.1:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int x = 5, y = 10;  if (x < y) {  writes("ok");  }  }  Exemplo de Falha 9.2:  int foo(int);  void main(void);  int foo(int a){ return a; }  void main(void){  int x = 5, y = 10, z = 15;  if (x < y < z) { // <-- Expressão "x < y < z" não é permitida  writes("erro");  }  } |

|  |
| --- |
| Exemplo de Sucesso:  int fact(int);  void main(void);  int fact(int k) {  if (k <= 1) {  return 1;  } else {  return k \* fact(k - 1);  }  }  void main(void) {  int n;  writes("Introduza inteiro: ");  n = read();  write(fact(n));  }  Exemplo de Falha:  int fact(int);  // --> Falta o protótipo de main    int fact(int k) {  if (k <= 1) {  return 1;  } else {  return k \* fact(k - 1);  }  }  void main(void) { // main definida, mas sem protótipo  int n;  writes("Introduza inteiro: ");  n = read();  write(fact(n));  } |