FERRAMENTA EDUCACIONAL DE SUPORTE AO ENSINO DO MODELO *FORK-JOIN*

Trabalho de Conclusão de Curso

Discente: Lucas da Silva Marcos
Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Adamshuk Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Bacharelado em Engenharia de Software

2025

Programação Concorrente

- Um programa concorrente é um programa que contém dois ou mais processos que trabalham juntos para realizar uma tarefa [Andrews 2001].

Contexto

- Programação concorrente: Execução simultânea de múltiplos processos.
- Importância: Essencial para o desenvolvimento de sistemas robustos e escaláveis.
- Desafios: Complexidade e abstração dos conceitos, falta de experiência dos estudantes.

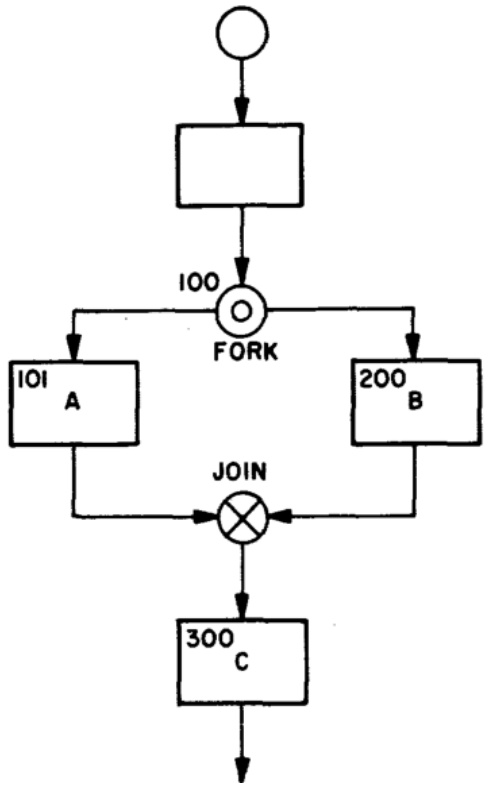
Programação Concorrente

- Programação concorrente permite a decomposição de tarefas complexas em subtarefas menores que podem ser executadas simultaneamente.

Fork-Join

- Paradigma de programação concorrente que permite a decomposição de um problema em tarefas independentes que podem ser executadas em paralelo e, posteriormente, reunidas em um único resultado [Conway 1963, Dennis e Van Horn 1966].

Fork-Join



[Conway, 1963]

FORK

- A sintaxe da instrução *FORK* (que realiza a criação de fluxos) é a seguinte:

```
FORK <rótulo>;
```

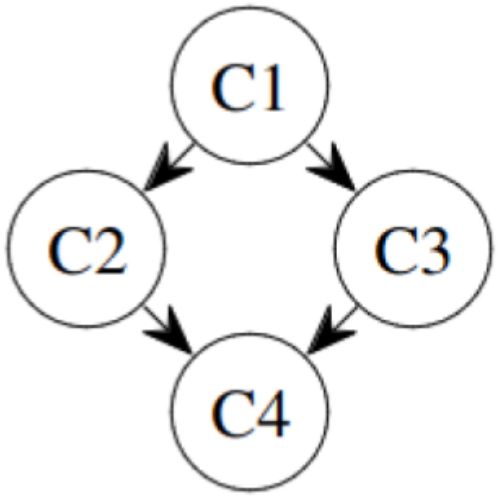
JOIN

- A sintaxe da instrução *JOIN* (que realiza a união de fluxos) é:

```
JOIN <variável-de-controle>, <rótulo-1>, <rótulo-2>;
```

Ensino do *Fork-Join*

- Pseudocódigo.




```
VAR_J = 2;
C1;
FORK ROT_C3;
C2;
JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;

ROT_C3:
 C3;
 JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;

ROT_C4:
  C4;
```

Compiladores

- Compiladores são programas de computador que traduzem código-fonte de uma linguagem de programação para outra, geralmente de uma linguagem de alto nível para código de máquina [Louden 2004].

Compiladores

- Gramática.
- Análise Léxica.
- Análise Sintática.
- Análise Semântica.
- Geração de Código Executável.

Gramática

- Define a estrutura sintática válida do código-fonte.
- Regras formais que determinam como os elementos da linguagem podem ser combinados.

```
source_file -> (statement)* ;
statement   -> fork | join;
fork        -> "FORK" label ";";
join        -> "JOIN" label "," label "," label ";";
label       -> [a-zA-Z][a-zA-Z0-9']* ;
```

Análise Léxica

- Converte o código-fonte em lexema, que são os elementos básicos da linguagem de programação.

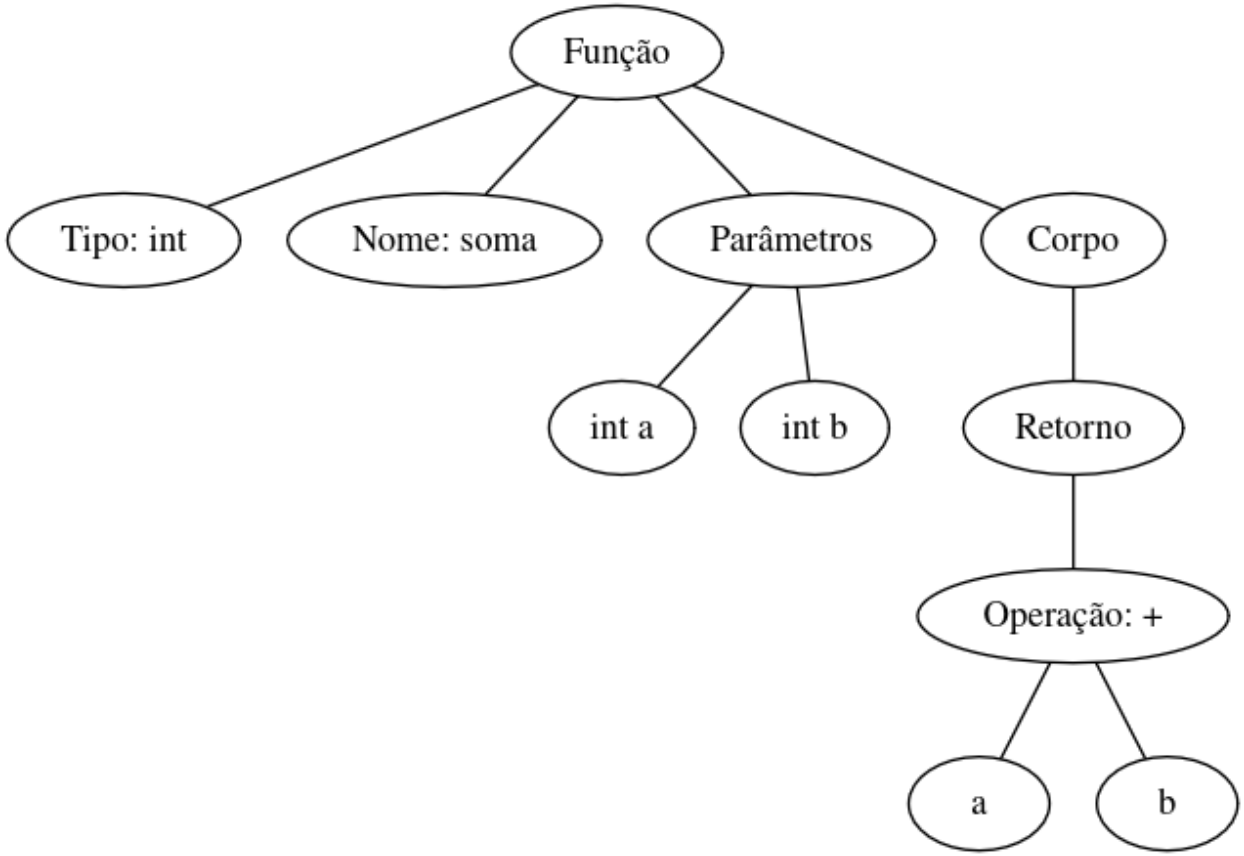
```
FORK A;

* [Palavra Reservada, "FORK"]
* [Identificador, "A"]
* [Ponto e vírgula]
```

Análise Sintática

- Organiza os lexemas em uma estrutura hierárquica, verificando a correção gramatical do código-fonte.

Exemplo em C

```
int soma(int a, int b) { return a + b; }
```



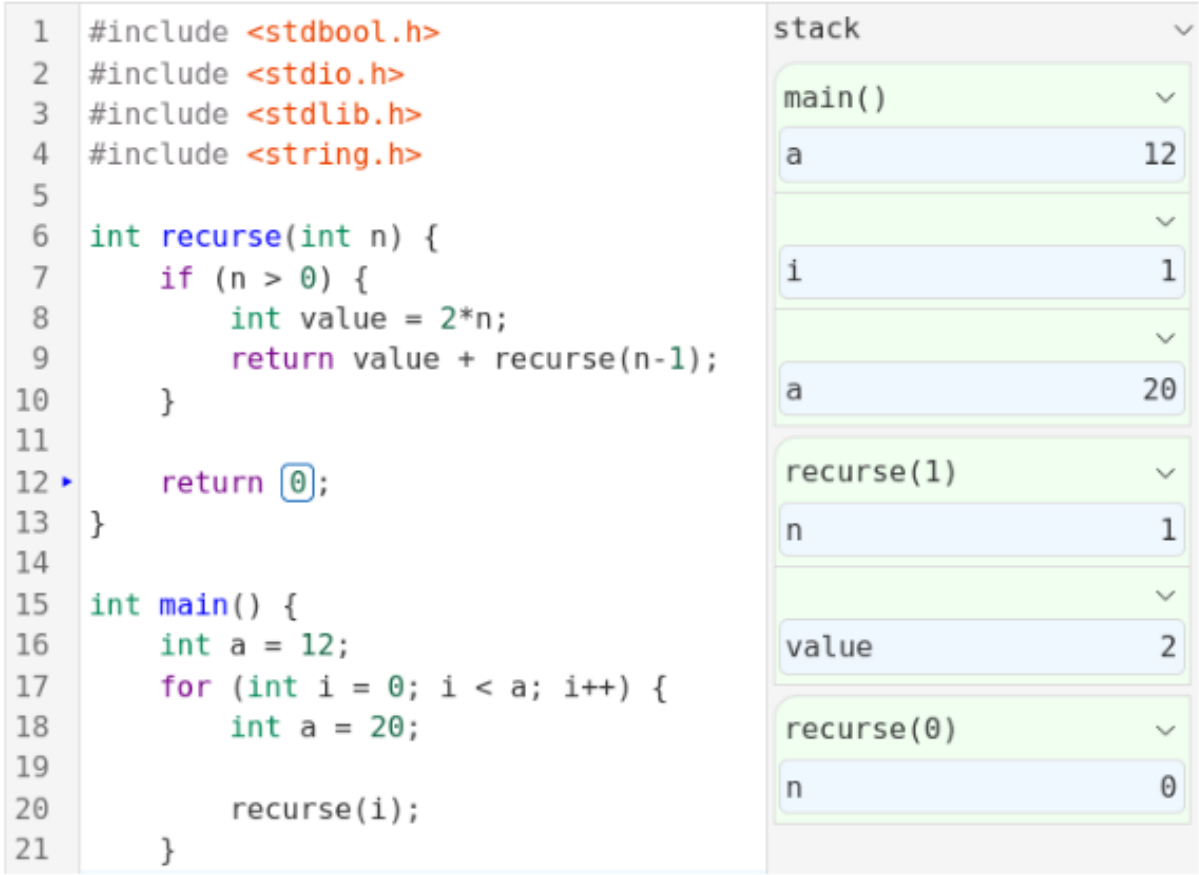
Análise Semântica

- Verifica a correção lógica do código após a análise sintática.

Recursos Educacionais

- Recursos educacionais adequados, como ferramentas de desenvolvimento e exercícios práticos são essenciais para auxiliar os alunos no desenvolvimento de habilidades sólidas na área de programação.

CVisualizer



[Rantanen, 2023]

Objetivo

- Desenvolver uma ferramenta educacional que facilite o ensino do modelo *fork-join*, utilizando conceitos de compiladores para verificar a sintaxe dos comandos e gerar o grafo de dependências.
- Auxiliar estudantes a compreenderem o modelo *fork-join*.
- Identificar erros sintáticos e lógicos no código.
- Visualizar o grafo de dependências gerado a partir do código inserido.

Ferramenta Web

- Criação de uma plataforma interativa que facilita o ensino e a aplicação prática do modelo *fork-join* em programação concorrente.

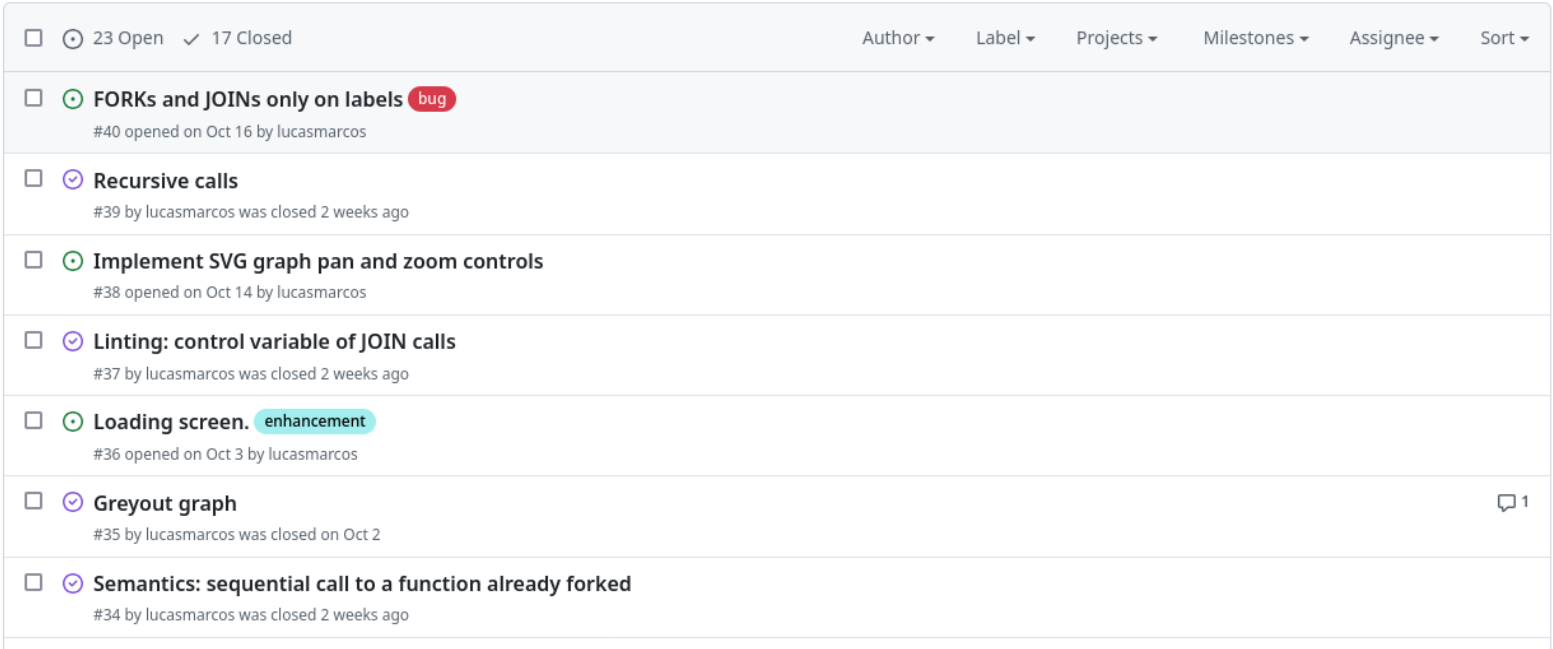
Requisitos Funcionais

- Editor de Código: Permite escrever e editar código *fork-join*.
- Análise Sintática em Tempo Real: Identificação imediata de erros.
- Geração de Grafo de Dependências: Representação visual das execuções paralelas.
- Detecção e Exibição de Erros: Mensagens claras para orientação do estudante.
- Sugestões de Correção: Ajuda a corrigir erros comuns.

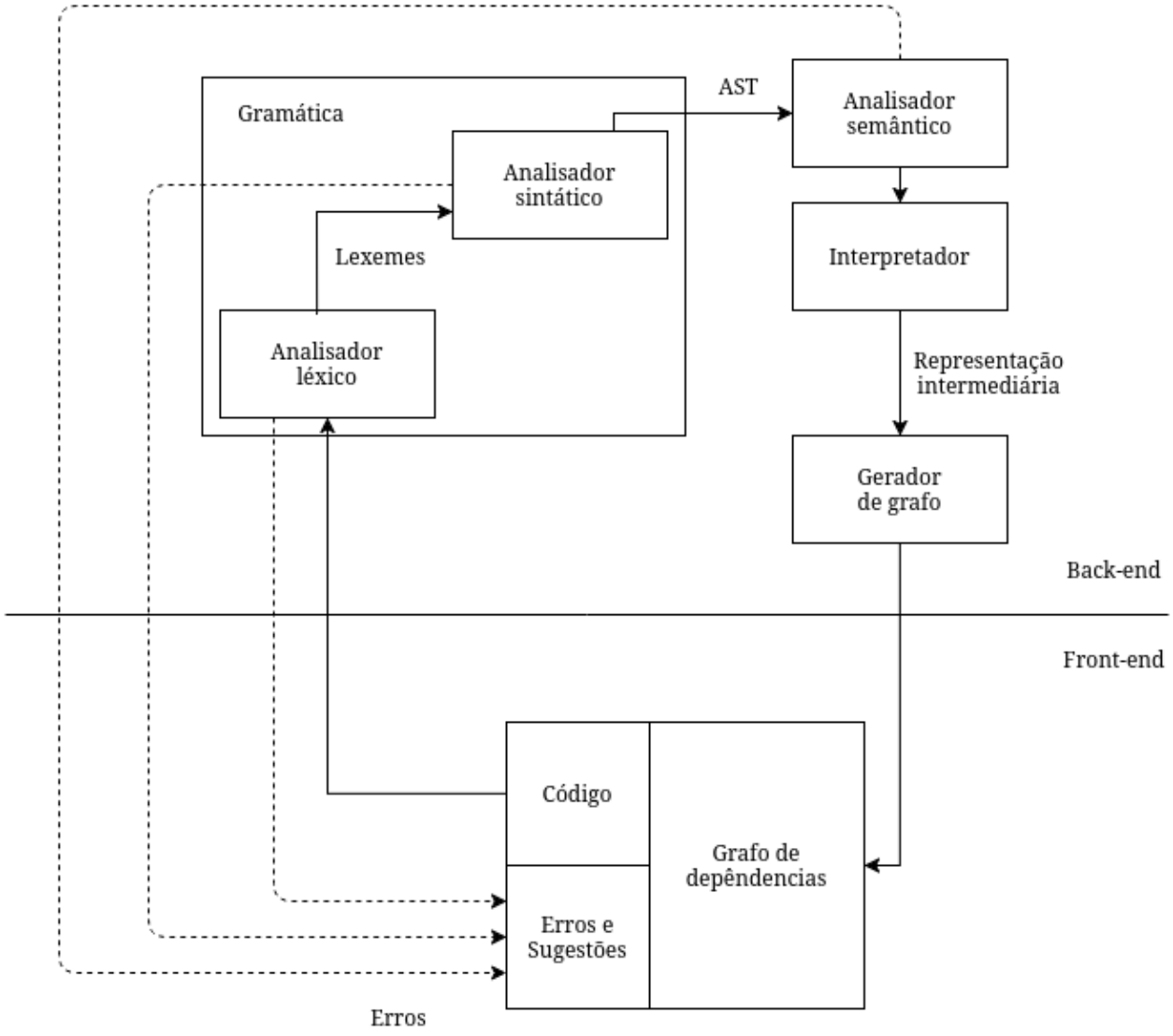
Requisitos Não Funcionais

- Desempenho: Atualizações em tempo real (< 100ms).
- Usabilidade: Interface intuitiva, adequada a diversos níveis de experiência.
- Compatibilidade: Suporte para diferentes navegadores e dispositivos.

Processo


23 Open
17 Closed
Author
Label
Projects
Milestones
Assignee
Sort
FORKs and JOINs only on labels
bug
#40 opened on Oct 16 by lucasmarcos
Recursive calls
#39 by lucasmarcos was closed 2 weeks ago
Implement SVG graph pan and zoom controls
#38 opened on Oct 14 by lucasmarcos
Linting: control variable of JOIN calls
#37 by lucasmarcos was closed 2 weeks ago
Loading screen.
enhancement
#36 opened on Oct 3 by lucasmarcos
Greyout graph
1
#35 by lucasmarcos was closed on Oct 2
Semantics: sequential call to a function already forked
#34 by lucasmarcos was closed 2 weeks ago

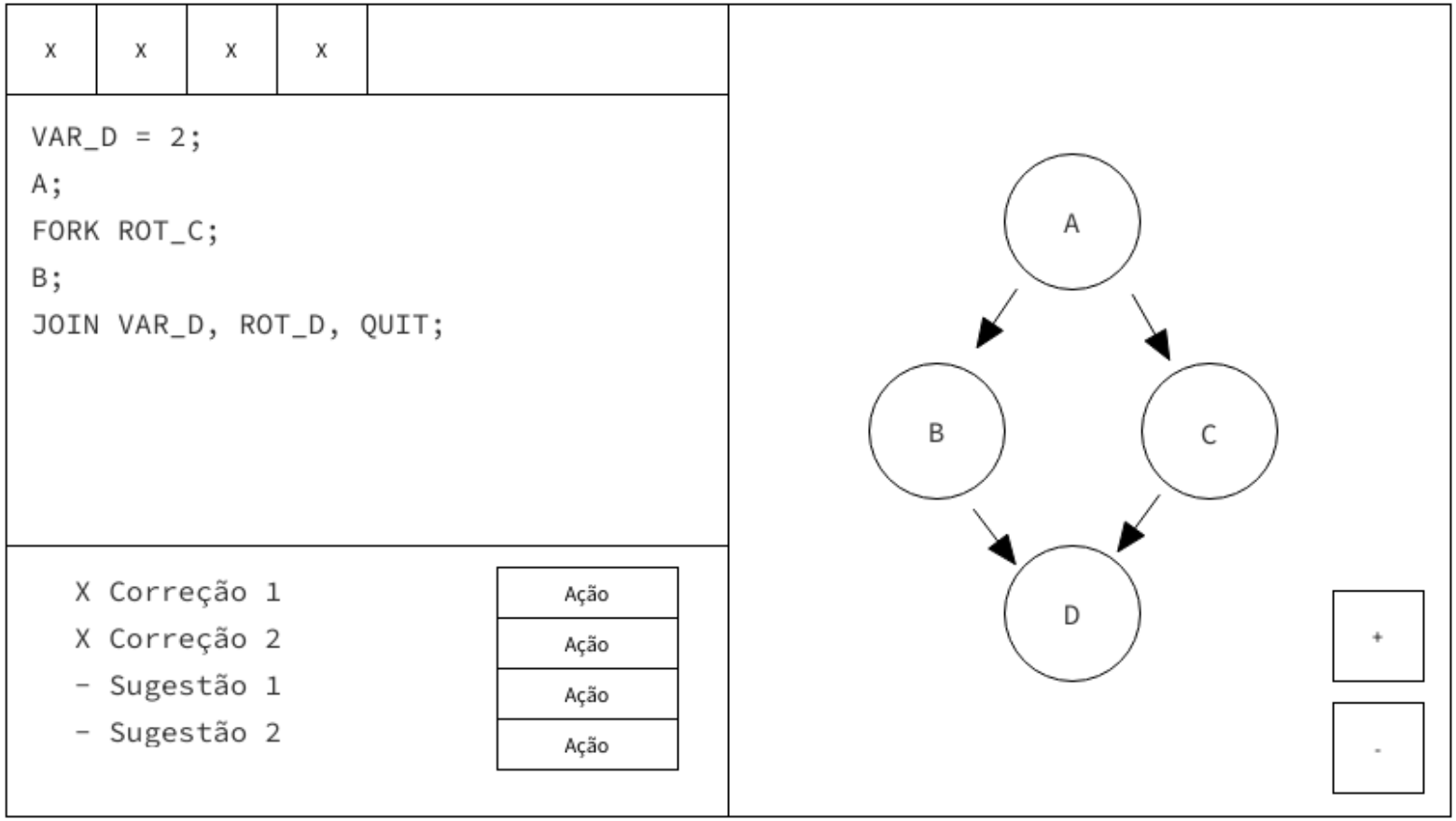
Arquitetura



Front-end

- Editor de código (*CodeMirror*).
- Visualização de grafo (*Graphviz*).
- Painel de erros e sugestões.

Wireframe

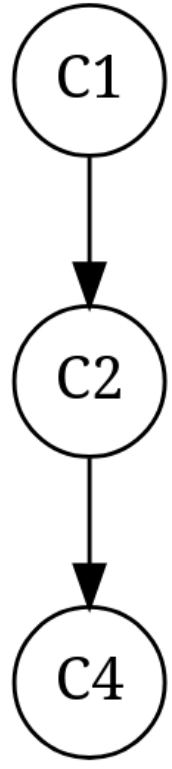

x
x
x
x
VAR_D = 2;
A;
FORK ROT_C;
B;
JOIN VAR_D, ROT_D, QUIT;
X Correção 1
X Correção 2
- Sugestão 1
- Sugestão 2
Ação
Ação
Ação
Ação
A
B
C
D
+
-

Interface

```
1  //
2  // Bem-vindo à ferramenta educacional para aprendizado do modelo de
3  // programação paralela fork-join! Esta é uma ferramenta interativa
4  // onde você pode digitar seu código fork-join neste painel.
5  // A ferramenta irá auxiliar você na correção e identificação de
6  // erros comuns. No painel lateral, você poderá visualizar o
7  // grafo de dependências do seu código, permitindo entender melhor
8  // o fluxo de execução paralela e as relações entre as tarefas.
9  //
10
11 VAR_J = 3;
12
13 C1;
14 FORK ROT_C33;
15 C2;
16 JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;
17
18 ROT_C3:
19   C3;
20   JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;
21
22 ROT_C4:
23   C4;
```

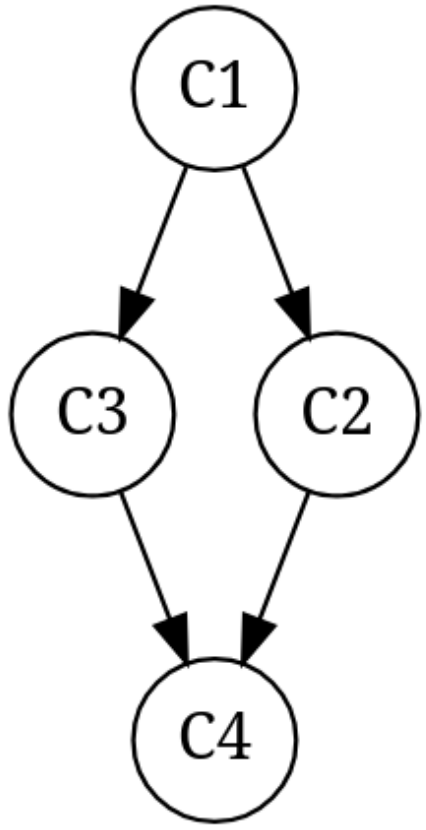
O valor da variável de controle não corresponde ao número de JOINs ×
Corrigir

Chamada FORK para rótulo que não existe Criar



Boas-vindas

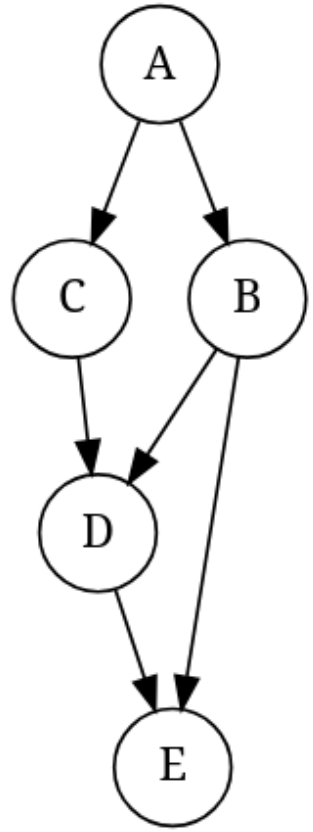
```
1  //
2  // Bem-vindo à ferramenta educacional para aprendizado do modelo de
3  // programação paralela fork-join! Esta é uma ferramenta interativa
4  // onde você pode digitar seu código fork-join neste painel.
5  // A ferramenta irá auxiliar você na correção e identificação de
6  // erros comuns. No painel lateral, você poderá visualizar o
7  // grafo de dependências do seu código, permitindo entender melhor
8  // o fluxo de execução paralela e as relações entre as tarefas.
9  //
10
11 VAR_J = 2;
12
13 C1;
14 FORK ROT_C3;
15 C2;
16 JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;
17
18 ROT_C3:
19   C3;
20   JOIN VAR_J, ROT_C4, QUIT;
21
22 ROT_C4:
23   C4;
24
```



Erro

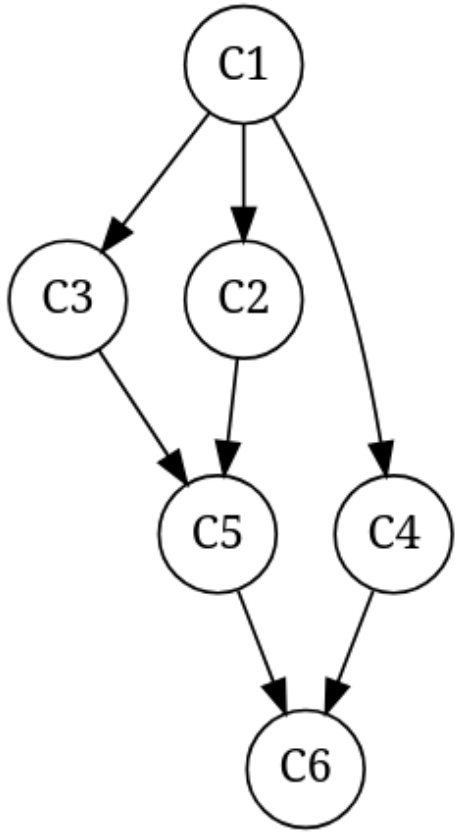
```
1  VAR_D = 1;
2  VAR_E = 2;
3
4  A;
5  FORK ROT_C;
6  B;
7  FORK ROT_E';
8  JOIN VAR_D, ROT_D, QUIT;
9
10 ROT_C: C;
11   JOIN VAR_D, ROT_D, QUIT;
12
13 ROT_D: D;
14   JOIN VAR_E , ROT_E , QUIT ;
15
16 ROT_E': JOIN VAR_E, ROT_E, QUIT;
17
18 ROT_E: E;
19   QUIT;
```

O valor da variável de controle não corresponde ao número de JOINs Corrigir ×



Fluxos Distintos

```
1  VAR_C5=2;
2  VAR_C6=2;
3
4  C1;
5  FORK ROT_C3;
6  FORK ROT_C4;
7  C2;
8  JOIN VAR_C5, ROT_C5, QUIT;
9
10 ROT_C3: C3;
11   JOIN VAR_C5, ROT_C5, QUIT;
12
13 ROT_C4: C4;
14   JOIN VAR_C6, ROT_C6, QUIT;
15
16 ROT_C5: C5;
17   JOIN VAR_C6, ROT_C6, QUIT;
18
19 ROT_C6: C6;
20   QUIT;
```



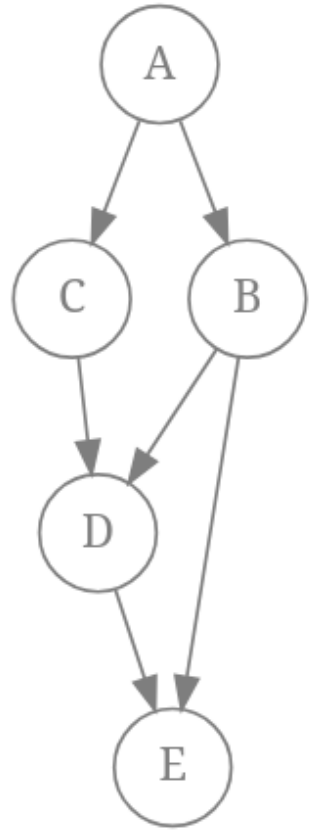
Ponto e vírgula

```
1  VAR_D = 1
2  VAR_E = 2;
3
4  A
5  FORK ROT_C;
6  B
7  FORK ROT_E';
8  JOIN VAR_D, ROT_D, QUIT;
9
10 ROT_C: C;
11   JOIN VAR_D, ROT_D, QUIT;
12
13 ROT_D: D;
14   JOIN VAR_E , ROT_E , QUIT ;
15
16 ROT_E': JOIN VAR_E, ROT_E, QUIT;
17
18 ROT_E: E;
19   QUIT;
```

Faltando ponto e vírgula Adicionar ×

Faltando ponto e vírgula Adicionar

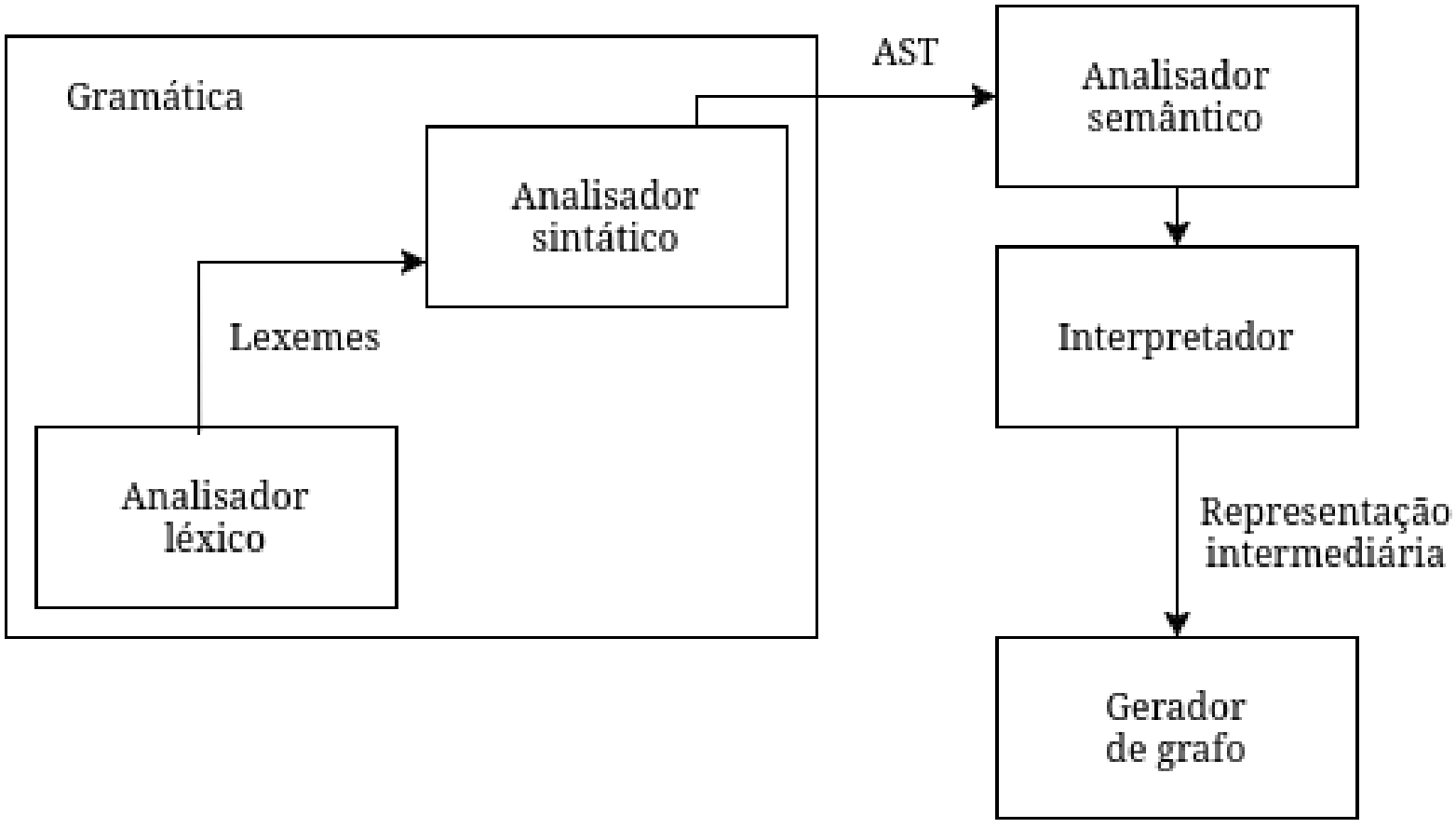
Faltando ponto e vírgula Adicionar



Back-end

- Análise sintática (*Tree-Sitter*) e semântica.
- Geração do grafo de dependências.

Back-end


Gramática
Analisador sintático
Lexemes
Analisador léxico
AST
Analisador semântico
Interpretador
Representação intermediária
Gerador de grafo

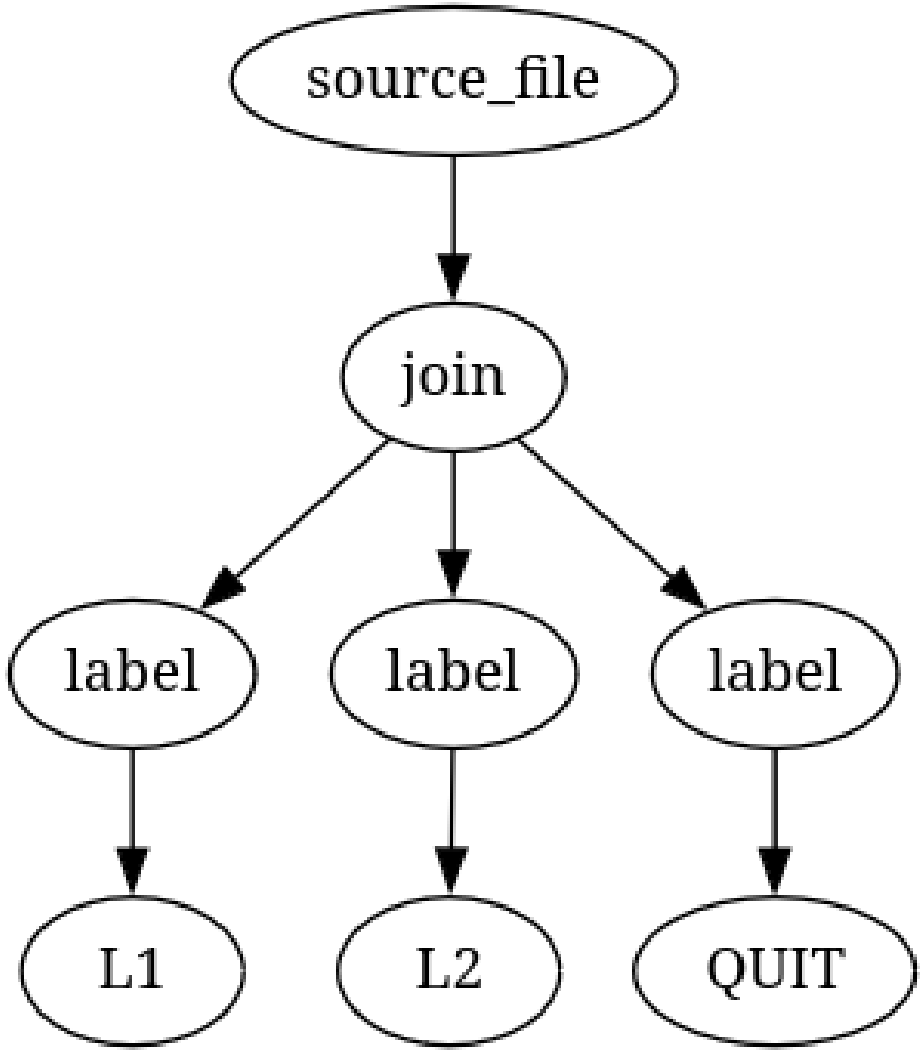
Gramática

- Especificação Formal.

Análise

```
JOIN L1, L2, QUIT;

(source_file
    (join
        (label "L1")
        (label "L2")
        (label "QUIT")))
```

Árvore Sintática Abstrata



Analise Semântica

- Identifica erros semânticos, como:
  - Uso de rótulos inexistentes em *FORK* ou *JOIN*.
  - Instruções inválidas após *QUIT*.
  - Variáveis definidas, mas não utilizadas.
- Gera sugestões de correção para o usuário.

Interpretador

- Executa o código passo a passo, analisando sua estrutura e comportamento.
- Simula a execução do modelo *fork-join*, garantindo que os fluxos sigam a lógica esperada.
- Identifica e sinaliza erros de execução.

Representação Intermediária

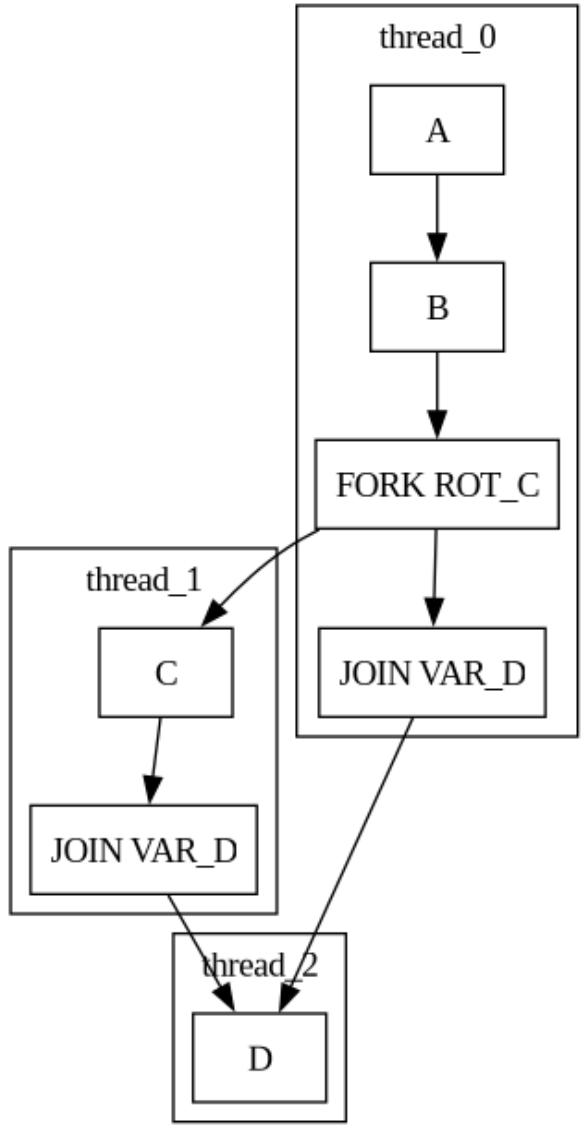
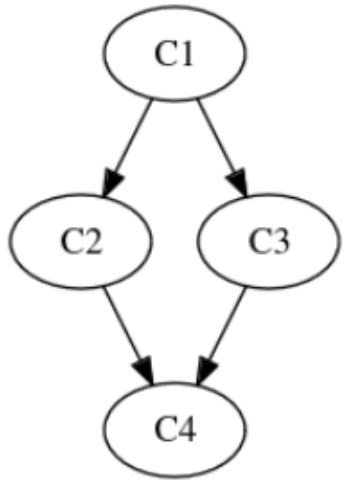


Tabela de Sugestões

Sugestão	**Ação**
Chamada *FORK* para rótulo que não existe	Criar
Chamada *JOIN* para rótulo que não existe	Criar
A última chamada em um *JOIN* deve ser *QUIT*	Trocar
Chamadas recursivas não são permitidas	Sem ação
Chamada de função após o *QUIT*	Remover
Variável de controle é definida e não utilizada	Remover
Falta de ponto e vírgula	Adicionar

Gerador de Grafo

```
digraph {
  C1 -> C2;
  C1 -> C3;
  C2 -> C4;
  C3 -> C4;
}
```



Linguagem *DOT* do *Graphviz*.

Testes

- Cada requisito funcional foi associado a pelo menos um caso de teste.
- Construídos com base em exemplos.
- Validação da Sintaxe.
- Transformação em Grafo.
- Identificação de Erros.

Avaliação

- Aplicada em sala de aula com estudantes de Engenharia de Software.
- Coleta de opiniões via formulário online aplicado a estudantes da disciplina de Programação Concorrente.

Questionário

- Perguntas com escala *Likert* (Discordo Totalmente -> Concordo Totalmente).
- Opção de comentários para sugestões de melhorias.

Questionário

- Usabilidade
- Interface Gráfica
- Desempenho
- Aprendizado
- Identificação de Erros

Questionário

- Maioria dos estudantes considerou a ferramenta intuitiva e útil.
- A visualização em grafo ajudou na compreensão das relações de dependência.
- Sugestões para melhorias na detecção de erros.

Trabalhos Futuros

- Documentação.
- Extensibilidade.
- *Parbegin/Parend*.
- Acessibilidade.

Conclusão

- Relevância da programação concorrente no desenvolvimento de sistemas modernos.
- Necessidade de ferramentas educacionais para suporte ao ensino.
- A ferramenta facilita o aprendizado de programação concorrente.
- Visualização de grafos e correção de erros ajudam na compreensão do *fork-join*.
- Potencial para evoluir e abranger novos paradigmas de concorrência.

Referências

- Andrews, G. (2001). Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming. Addison-Wesley.
- Conway, M. E. (1963). A multiprocessor system design. In Proceedings of the November 12-14, 1963, fall joint computer conference, pages 139–146.
- Dennis, J. B. e Van Horn, E. C. (1966). Programming semantics for multiprogrammed computations. Communications of the ACM, 9(3):143–155.
- Rantanen, V. M. (2023). An Interactive C Code Execution and Visualization Tool for Online Learning (Master's thesis).

FERRAMENTA EDUCACIONAL DE SUPORTE AO ENSINO DO MODELO *FORK-JOIN*

Trabalho de Conclusão de Curso

Discente: Lucas da Silva Marcos
Orientador: Prof. Dr. Rodolfo Adamshuk Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Bacharelado em Engenharia de Software

2025