Call Subsumption Mechanisms for Tabled Logic Programs

Flávio Cruz <flaviocruz@gmail.com>
Orientador: Ricardo Rocha <ricroc@dcc.fc.up.pt>

[1]Center for Research in Advanced Computing Systems
[2]Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

24 de Junho de 2010

Prolog e o método SLD

- Na programação em lógica, o método de resolução SLD é um método inerentemente não-deterministico e do tipo *top-down*.

Prolog e o método SLD

- Na programação em lógica, o método de resolução SLD é um método inerentemente não-deterministico e do tipo *top-down*.
- Em Prolog usa-se o método SLD de forma determinística, avaliando as cláusulas de cima para baixo e da esquerda para a direita.

Prolog e o método SLD

- Na programação em lógica, o método de resolução SLD é um método inerentemente não-deterministico e do tipo *top-down*.
- Em Prolog usa-se o método SLD de forma determinística, avaliando as cláusulas de cima para baixo e da esquerda para a direita.
- Esta forma de avaliação pode ser aplicado de forma eficiente em máquinas virtuais baseadas em stack, tais como a *Warren's Abstract Machine* (WAM).

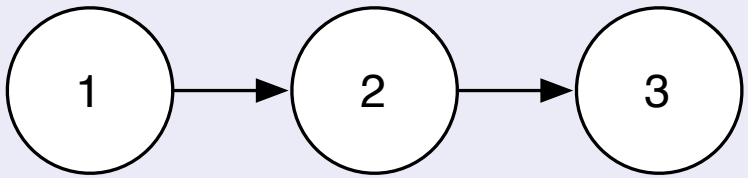
Prolog e o método SLD

- Na programação em lógica, o método de resolução SLD é um método inerentemente não-deterministico e do tipo *top-down*.
- Em Prolog usa-se o método SLD de forma determinística, avaliando as cláusulas de cima para baixo e da esquerda para a direita.
- Esta forma de avaliação pode ser aplicado de forma eficiente em máquinas virtuais baseadas em stack, tais como a *Warren's Abstract Machine* (WAM).
- No entanto, este método tem diversas limitações, tais como o tratamento de ciclos infinitos (positivos ou negativos) e computações redundantes.

Limitações do método SLD

Programa

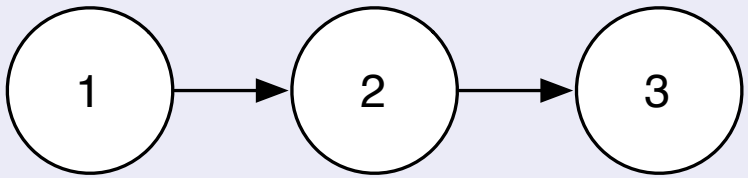
```
path(X, Z) :- path(X, Y),
              edge(Y, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Z).

edge(1, 2).
edge(2, 3).
```



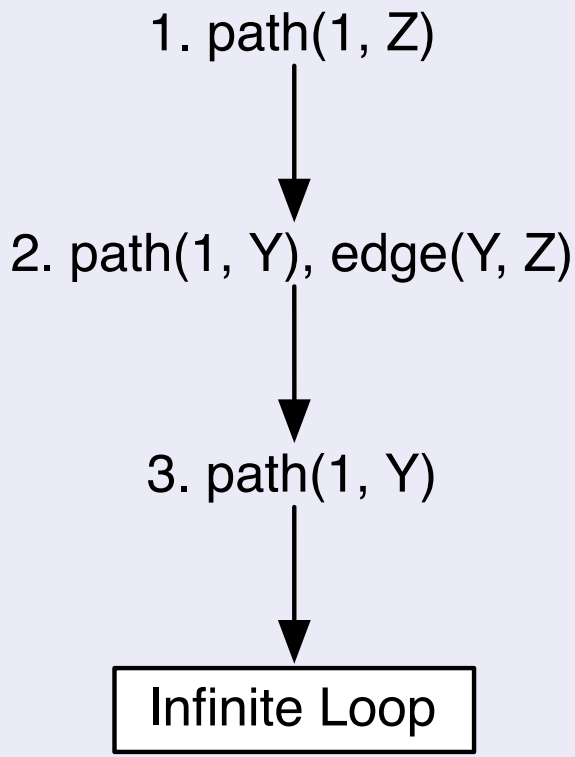
Limitações do método SLD

Programa

```
path(X, Z) :- path(X, Y),
              edge(Y, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Z).

edge(1, 2).
edge(2, 3).
```



?- path(1, Z)



Tabulação

- A tabulação é um refinamento do método de resolução SLD.

Tabulação

- A tabulação é um refinamento do método de resolução SLD.
- As primeiras chamadas a subgolos tabelados são avaliados normalmente através da execução do código do programa.

Tabulação

- A tabulação é um refinamento do método de resolução SLD.
- As primeiras chamadas a subgolos tabelados são avaliados normalmente através da execução do código do programa.
- As *chamadas similares* são avaliadas através do consumo das respostas guardadas na *tabela* e que foram geradas pelo subgolo similar correspondente.

Tabulação

- A tabulação é um refinamento do método de resolução SLD.
- As primeiras chamadas a subgolos tabelados são avaliados normalmente através da execução do código do programa.
- As *chamadas similares* são avaliadas através do consumo das respostas guardadas na *tabela* e que foram geradas pelo subgolo similar correspondente.
- Permite que programas válidos em termos lógicos sejam executáveis.

Similiaridade entre chamadas

Em geral, existem dois testes para verificar se um subgolo é similar a outro:

- *Tabulação por variantes:* A é similar a B quando eles são iguais por renomeação das variáveis.

Similiaridade entre chamadas

Em geral, existem dois testes para verificar se um subgolo é similar a outro:

- *Tabulação por variantes:* A é similar a B quando eles são iguais por renomeação das variáveis.

Example

$p(X, 1, Y)$ e $p(Y, 1, Z)$ são variantes porque ambas podem ser transformadas em $p(VAR_0, 1, VAR_1)$

Similiaridade entre chamadas

Em geral, existem dois testes para verificar se um subgolo é similar a outro:

- *Tabulação por variantes:* A é similar a B quando eles são iguais por renomeação das variáveis.

Example

$p(X, 1, Y)$ e $p(Y, 1, Z)$ são variantes porque ambas podem ser transformadas em $p(VAR_0, 1, VAR_1)$

- A maioria dos motores de tabulação, incluindo o YapTab, apenas suportam este teste

Similiaridade entre chamadas

- *Tabulação por subsumpção:* A é similar a B quando A é mais específico do que B (ou B é mais geral do que A).

Example

$p(X, 1, 2)$ é mais específico do que $p(Y, 1, Z)$ porque existe uma substituição $\{Y = X,\ Z = 2\}$ que torna $p(X, 1, 2)$ uma *instância* de $p(Y, 1, Z)$.

Similiaridade entre chamadas

- *Tabulação por subsumpção:* A é similar a B quando A é mais específico do que B (ou B é mais geral do que A).

Example

$p(X, 1, 2)$ é mais específico do que $p(Y, 1, Z)$ porque existe uma substituição $\{Y = X,\ Z = 2\}$ que torna $p(X, 1, 2)$ uma *instância* de $p(Y, 1, Z)$.

Theorem

Se A é mais específico do que B e S_A e S_B são os respectivos conjuntos de respostas, então $S_A \subseteq S_B$.

Similiaridade entre chamadas

- *Tabulação por subsumpção:* A é similar a B quando A é mais específico do que B (ou B é mais geral do que A).

Example

$p(X, 1, 2)$ é mais específico do que $p(Y, 1, Z)$ porque existe uma substituição $\{Y = X,\ Z = 2\}$ que torna $p(X, 1, 2)$ uma *instância* de $p(Y, 1, Z)$.

Theorem

Se A é mais específico do que B e S_A e S_B são os respectivos conjuntos de respostas, então $S_A \subseteq S_B$.

- Só o XSB Prolog implementa este tipo de tabulação, primeiro usando uma técnica chamada *Dynamic Threaded Sequential Automata* (DTSA) e mais recentemente usando a técnica de *Time Stamped Tries* (TST).

Exemplo por subsumpção

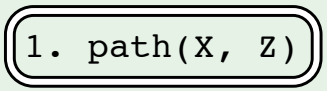
Respostas

- `path(X, Z)`:

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

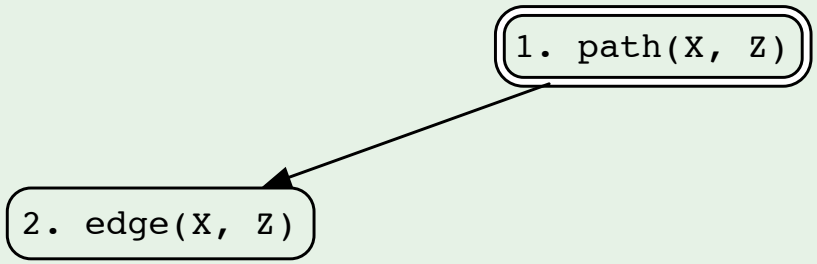
Respostas

- `path(X, Z)`:

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

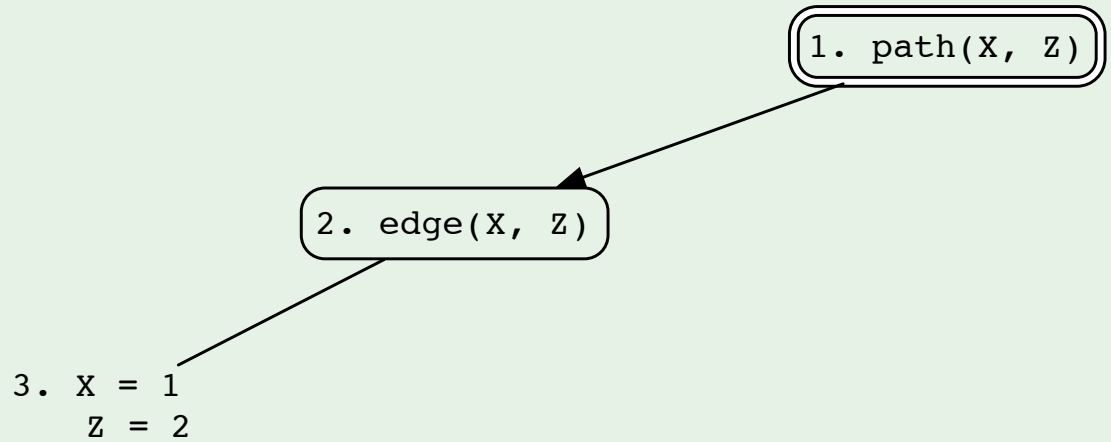
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2`

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

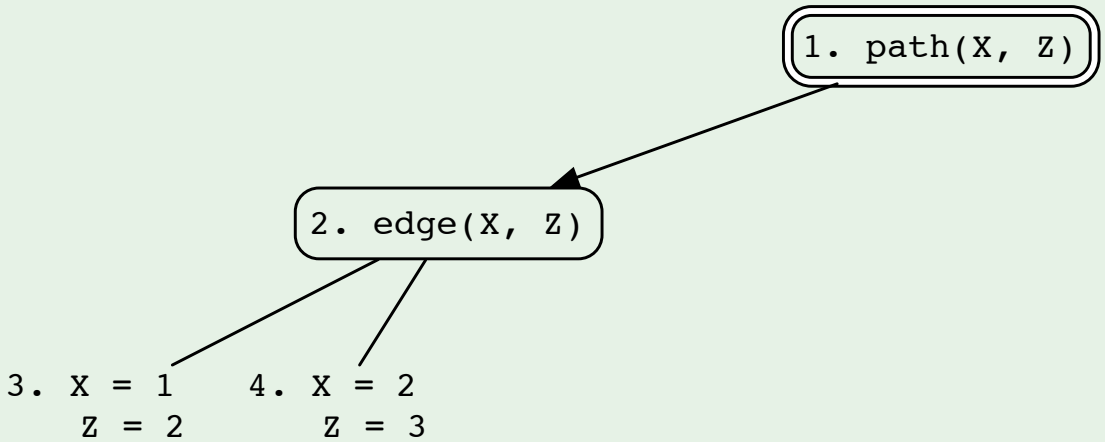
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3`

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

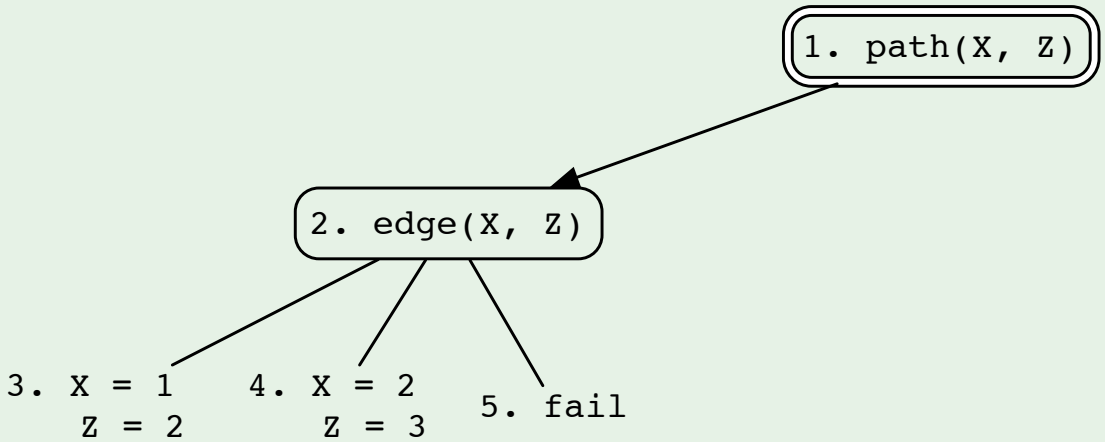
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3`

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

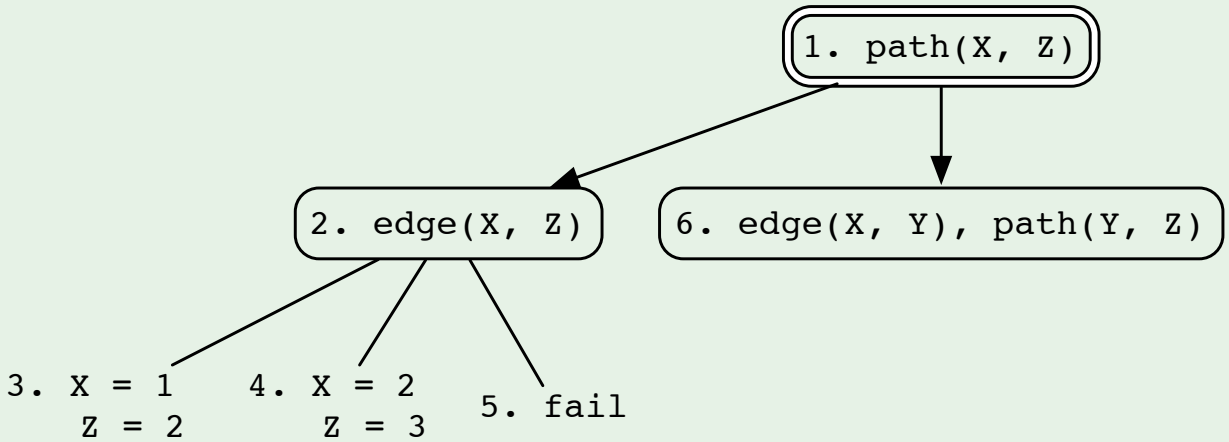
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3`

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

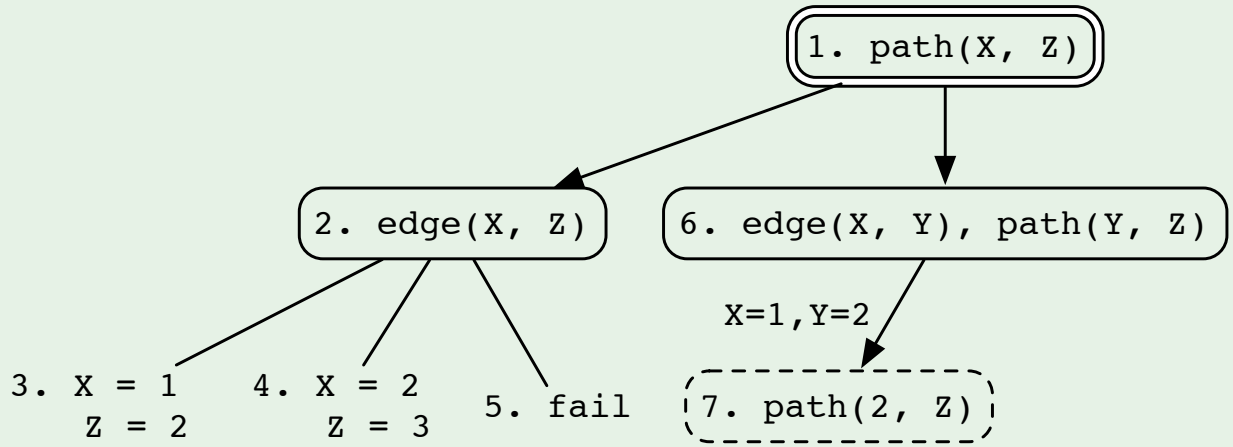
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3`
- `path(2, Z)`:

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

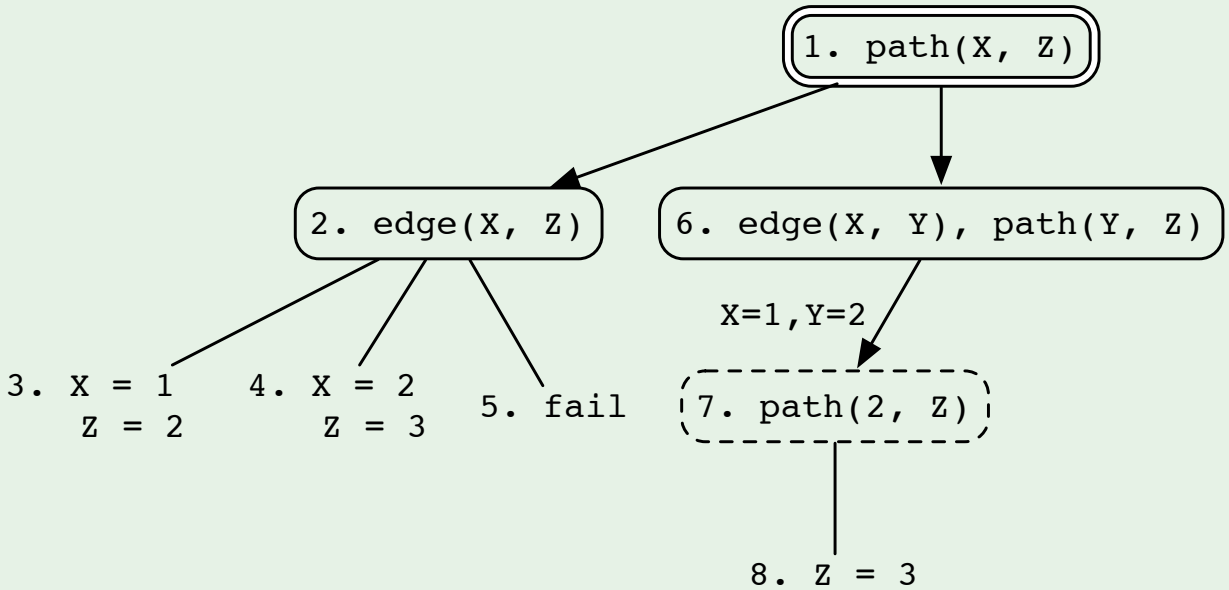
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3` (8) `X=1 Z=3`
- `path(2, Z)`: (8) `Z=3`

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

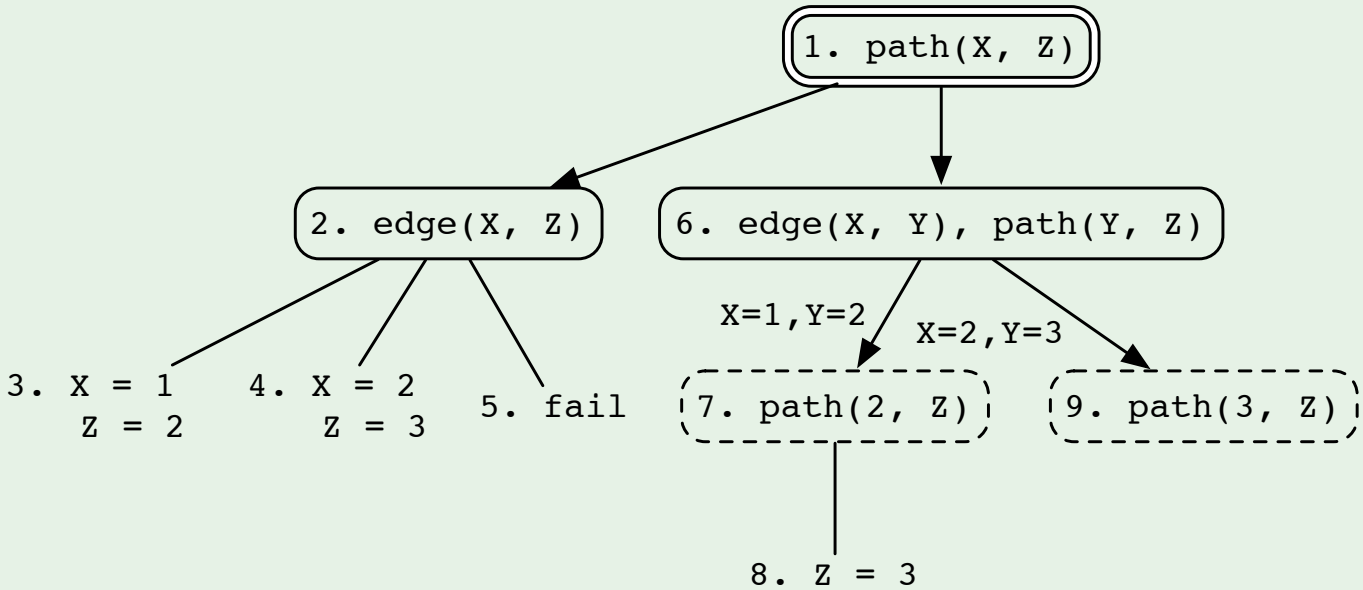
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3` (8) `X=1 Z=3`
- `path(2, Z)`: (8) `Z=3`
- `path(3, Z)`:

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

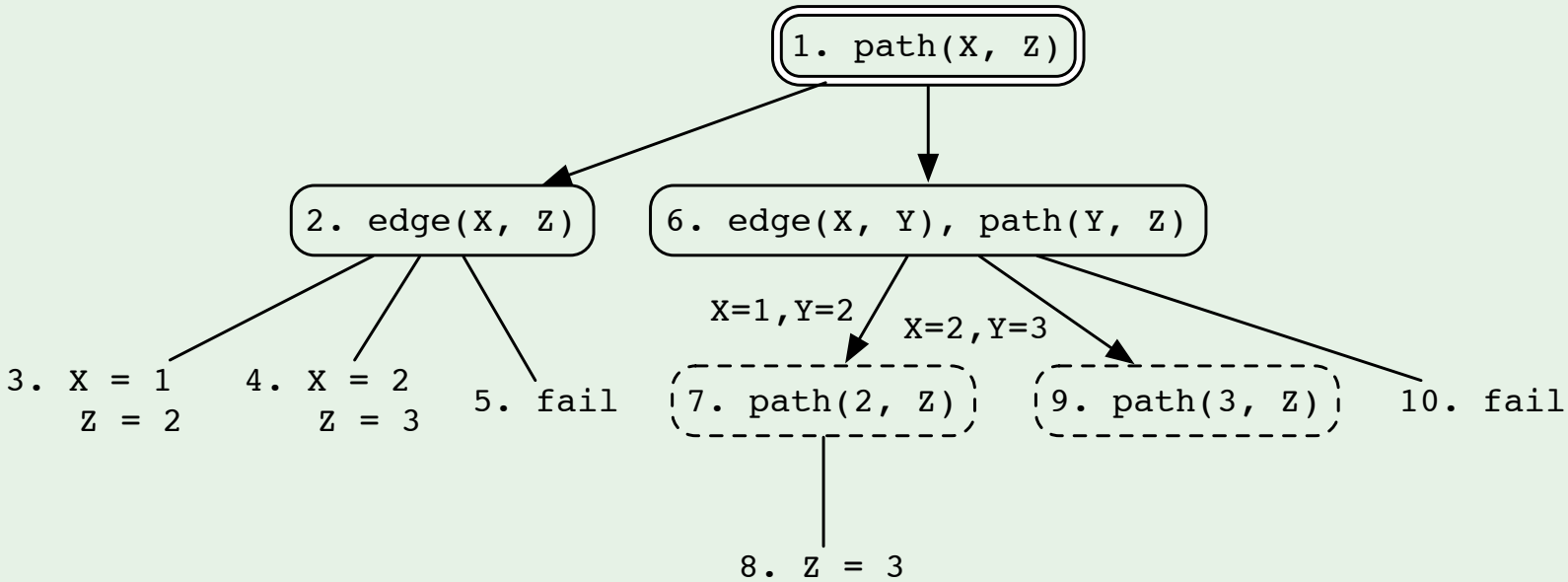
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3` (8) `X=1 Z=3`
- `path(2, Z)`: (8) `Z=3`
- `path(3, Z)`:

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Exemplo por subsumpção

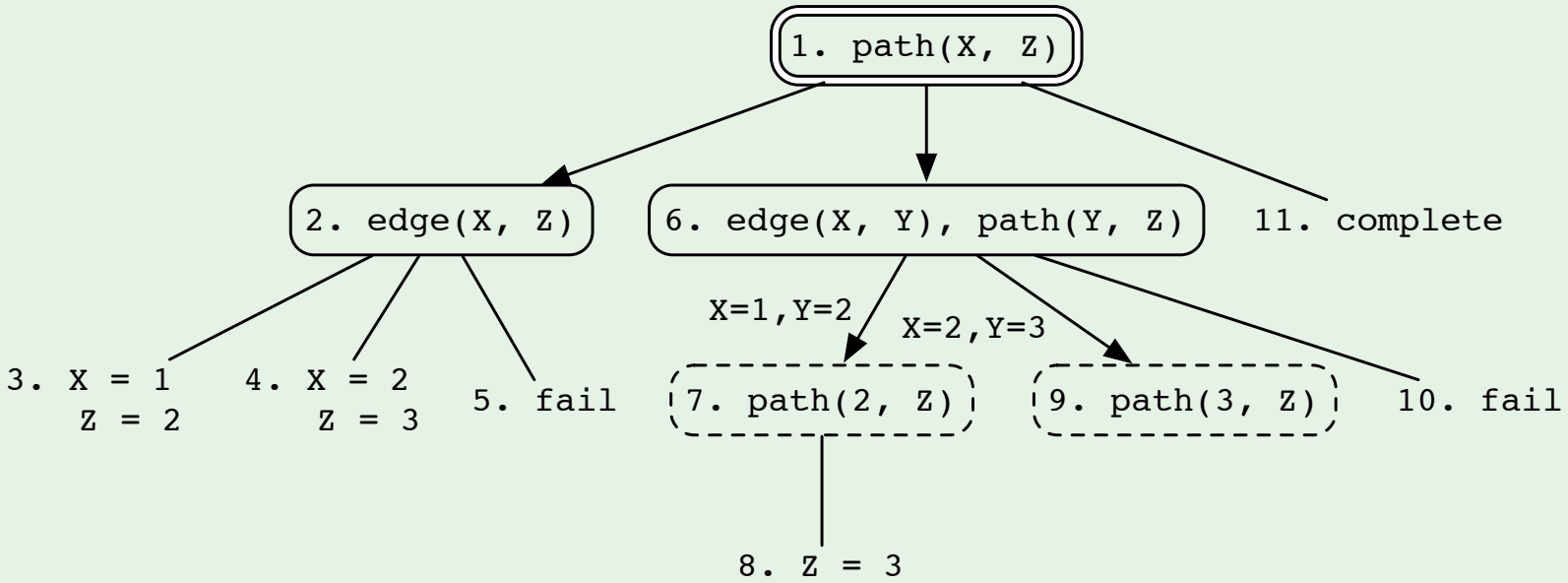
Respostas

- `path(X, Z)`: (3) `X=1 Z=2` (4) `X=2 Z=3` (8) `X=1 Z=3`
- `path(2, Z)`: (8) `Z=3`
- `path(3, Z)`: ∅

Programa

```
path(X, Z) :- edge(X, Z).
path(X, Z) :- edge(X, Y), path(Y, Z).

edge(1, 2). edge(2, 3).
```

Example



Espaço das tabelas

Como são implementadas as tabelas?

- Tries: estruturas em árvore onde os prefixos comuns dos termos são representados apenas uma vez.

Espaço das tabelas

Como são implementadas as tabelas?

- Tries: estruturas em árvore onde os prefixos comuns dos termos são representados apenas uma vez.
- Normalmente, existem dois níveis de tries:
  - *Subgoal trie*: guarda os subgolos para um certo predicado (por exemplo `path/2`).
  - *Answer trie*: guardas as respostas.

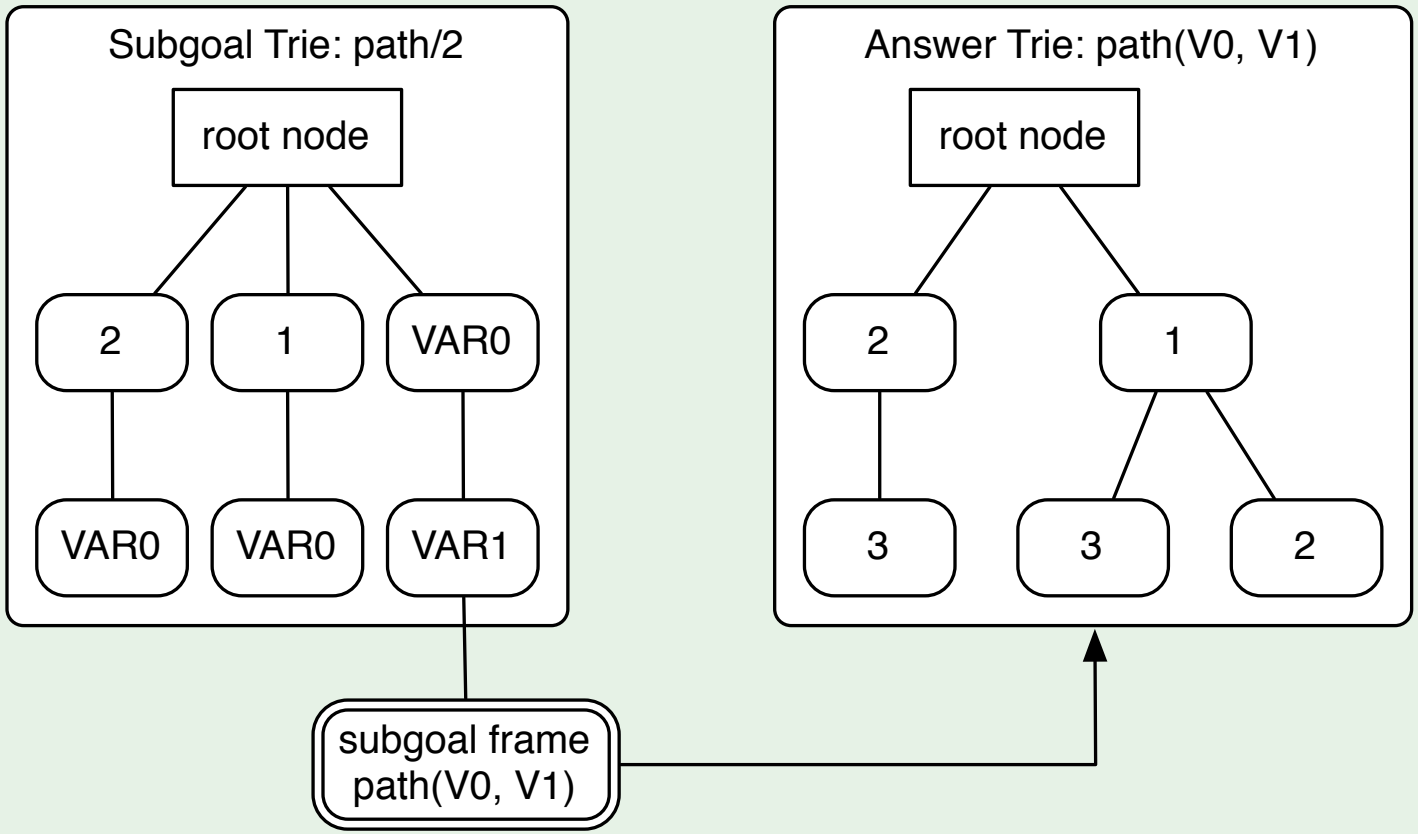
Espaço das tabelas

Como são implementadas as tabelas?

- Tries: estruturas em árvore onde os prefixos comuns dos termos são representados apenas uma vez.
- Normalmente, existem dois níveis de tries:
  - *Subgoal trie*: guarda os subgolos para um certo predicado (por exemplo `path/2`).
  - *Answer trie*: guardas as respostas.
- Num nó folha da subgoal trie existe uma estrutura chamada *subgoal frame* que contém informação sobre o subgolo respectivo.

Espaço das tabelas

Example



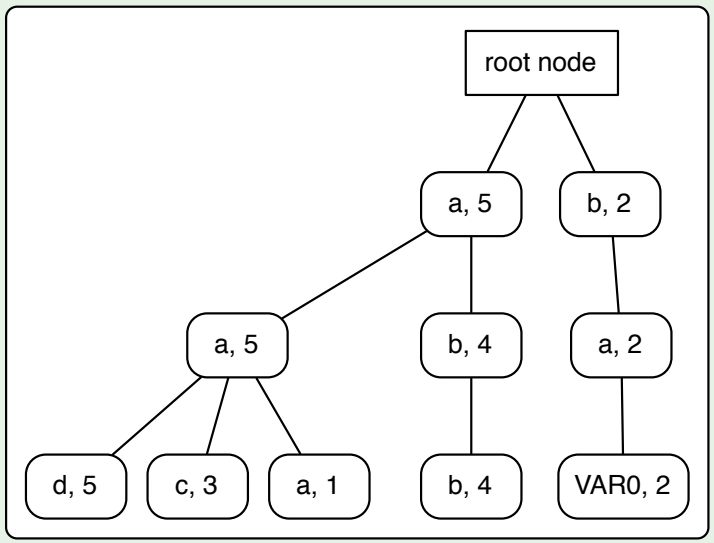
Time Stamped Tries

- Estende-se a answer trie com informação temporal: *timestamps*.
- Quando uma resposta é inserida, incrementa-se o timestamp da resposta.
- O objectivo é permitir uma pesquisa incremental de respostas para os subgolos mais específicos.
- O subgolo específico guarda o timestamp da última procura para evitar respostas repetidas no futuro.
- O algoritmo de pesquisa faz corte dos ramos pelo timestamp e através de operações de unificação ao longo da trie.

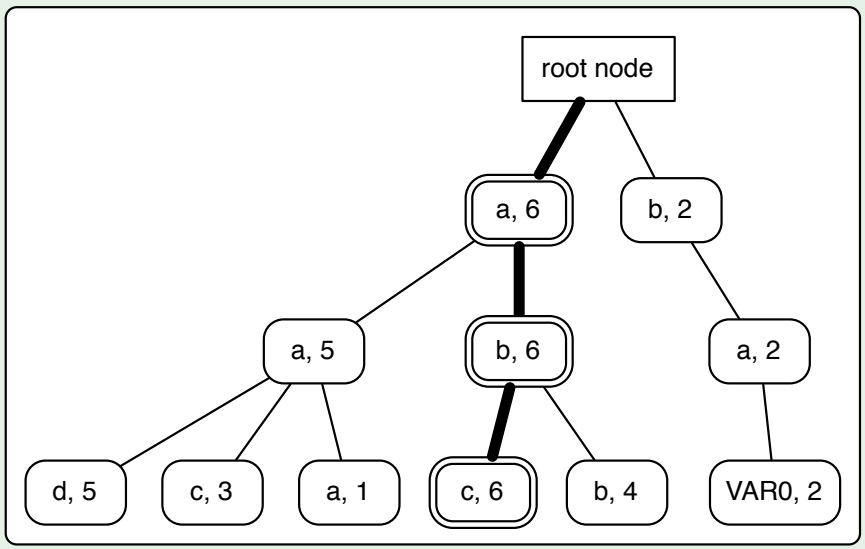
Time Stamped Tries

- Time stamped trie do subgolo `p(X, Y, Z)`:

Example (antes)



Example (inserir **p(a, b, c)**)



Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.

Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.
  - Cálculo do líder.

Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.
  - Cálculo do líder.
  - Nova chamada.

Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.
  - Cálculo do líder.
  - Nova chamada.
  - Nova resposta.

Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.
  - Cálculo do líder.
  - Nova chamada.
  - Nova resposta.
  - Calcular a próxima resposta a consumir.

Implementação no YapTab

- Reutilizou-se o código de forma quase integral do XSB Prolog: foram usados macros para permitir que ambos os sistemas Prolog usassem o mesmo código.
- As alterações nas operações principais de tabulação foram mínimas.
  - Cálculo do líder.
  - Nova chamada.
  - Nova resposta.
  - Calcular a próxima resposta a consumir.
- Todas as instruções da trie tiveram que ser alteradas para usar unificação por forma a serem usadas em subgolos específicos quando completas.
- O sistema permite usar uma mistura de predicados por variantes e por subsumpção.

Problemas na tabulação por subsumpção

- Apesar da tabulação por subsumpção atingir bons resultados, sofre de um problema: a ordem na qual os subgolos são chamados pode afectar a performance do sistema.

Example

Se `p(1,X)` for chamado antes de `p(X,Y)`, `p(1,X)` não usará as respostas de `p(X,Y)`, mas irá executar o código para gerar as suas próprias respostas.

- Assim, para existir partilha de respostas entre subgolos subsumptivos é estritamente necessário que o golo mais específico apareça depois do subgolo mais geral.

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).
- Quando um subgolo G é chamado, cortam-se os ramos de execução do subgolo mais específico G' para transformar G' num consumidor.
- Assim, G' passa a usar as soluções de G e deixa de gerar as suas próprias soluções.
- O corte de ramos de execução potencia ganhos de tempo de execução e a partilha de respostas ganhos em termos de utilização de memória.

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).
- Quando um subgolo G é chamado, cortam-se os ramos de execução do subgolo mais específico G' para transformar G' num consumidor.
- Assim, G' passa a usar as soluções de G e deixa de gerar as suas próprias soluções.
- O corte de ramos de execução potencia ganhos de tempo de execução e a partilha de respostas ganhos em termos de utilização de memória.
- Desafios:
  - Determinar que subgolos geradores e consumidores pertencem à execução do subgolo G'.

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).
- Quando um subgolo G é chamado, cortam-se os ramos de execução do subgolo mais específico G' para transformar G' num consumidor.
- Assim, G' passa a usar as soluções de G e deixa de gerar as suas próprias soluções.
- O corte de ramos de execução potencia ganhos de tempo de execução e a partilha de respostas ganhos em termos de utilização de memória.
- Desafios:
  - Determinar que subgolos geradores e consumidores pertencem à execução do subgolo G'.
    - ★ Construindo uma árvore das dependências dos subgolos.

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).
- Quando um subgolo G é chamado, cortam-se os ramos de execução do subgolo mais específico G' para transformar G' num consumidor.
- Assim, G' passa a usar as soluções de G e deixa de gerar as suas próprias soluções.
- O corte de ramos de execução potencia ganhos de tempo de execução e a partilha de respostas ganhos em termos de utilização de memória.
- Desafios:
  - Determinar que subgolos geradores e consumidores pertencem à execução do subgolo G'.
    - ⋆ Construindo uma árvore das dependências dos subgolos.
  - Manter a execução consistente devido aos cortes.

Como solucionar este problema?

- Tabulação por Subsumpção Retroactiva (TSR).
- Quando um subgolo G é chamado, cortam-se os ramos de execução do subgolo mais específico G' para transformar G' num consumidor.
- Assim, G' passa a usar as soluções de G e deixa de gerar as suas próprias soluções.
- O corte de ramos de execução potencia ganhos de tempo de execução e a partilha de respostas ganhos em termos de utilização de memória.
- Desafios:
  - Determinar que subgolos geradores e consumidores pertencem à execução do subgolo G'.
    - ⋆ Construindo uma árvore das dependências dos subgolos.
  - Manter a execução consistente devido aos cortes.
    - ⋆ Considerando intervalos de pontos de escolha.

Exemplo de TSR

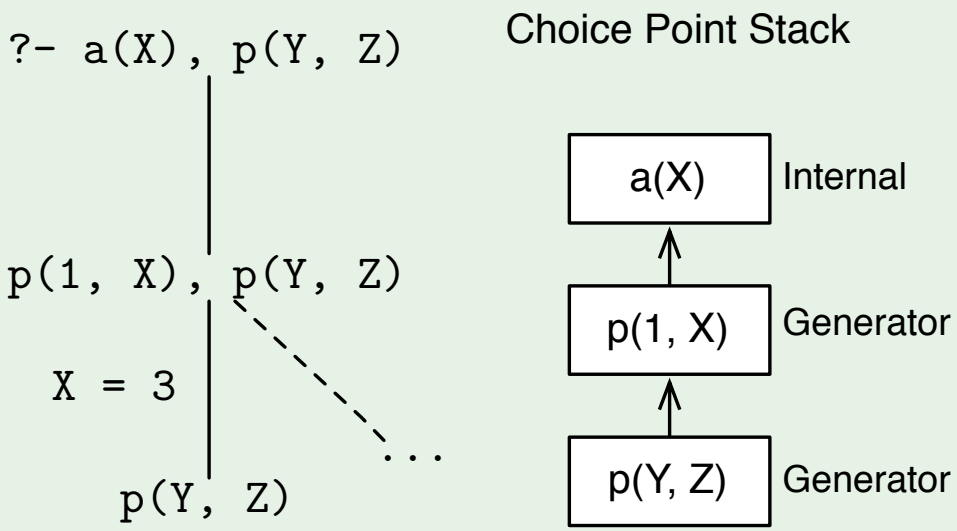
Programa

```
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X) :- p(1, X).

p(1, 3). p(2, 3). p(1, 2).
```

TSR

Subgolo `p(X,Y)` é mais geral que `p(1,X)`

Example



Exemplo de TSR

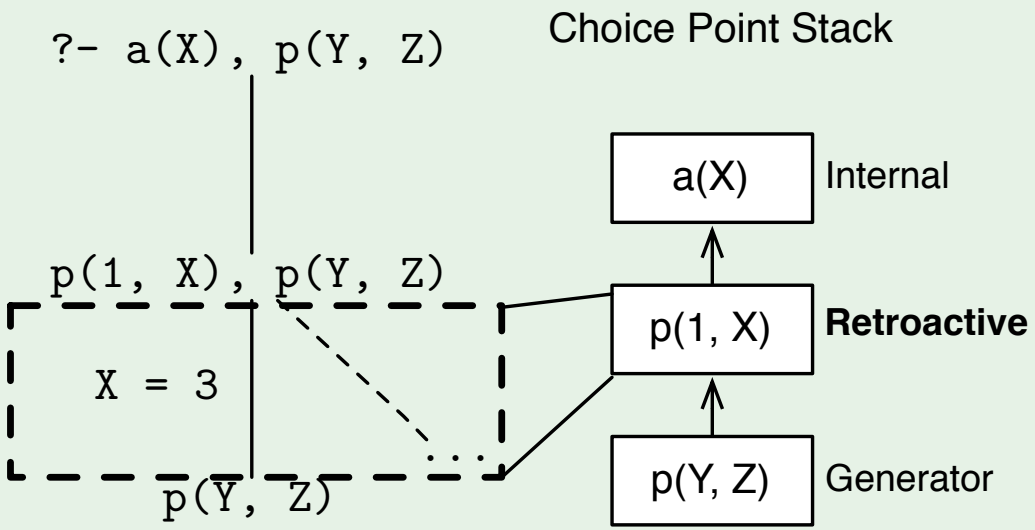
Programa

```
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X) :- p(1, X).

p(1, 3). p(2, 3). p(1, 2).
```

TSR

Subgolo `p(X,Y)` torna-se num nó retroactivo

Example



Exemplo de TSR

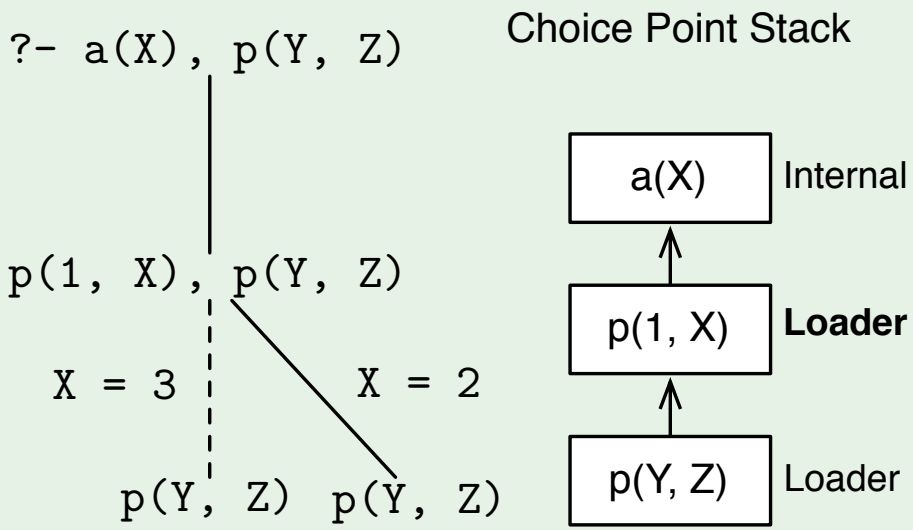
Programa

```
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X) :- p(1, X).

p(1, 3). p(2, 3). p(1, 2).
```

TSR

Dado que o subgolo mais geral completou, o nó retroactivo transforma-se num nó *loader* e carrega as soluções relevantes

Example



Corte da execução

- Existem dois tipos de corte dependendo onde o subgolo mais geral aparece relativamente ao subgolo específico:
  - Corte externo: se aparece fora.
  - Corte interno: se aparece dentro.

Corte da execução

- Existem dois tipos de corte dependendo onde o subgolo mais geral aparece relativamente ao subgolo específico:
  - Corte externo: se aparece fora.
  - Corte interno: se aparece dentro.
- Independente do tipo de corte, existe um conjunto de problemas que advém do corte da execução de geradores ou consumidores internos ao subgolo específico:
  - *Orphaned Consumers*
  - *Lost consumers*
  - *Pseudo-Completion*
  - *Leader Re-Computation*

Corte da execução

- Existem dois tipos de corte dependendo onde o subgolo mais geral aparece relativamente ao subgolo específico:
  - Corte externo: se aparece fora.
  - Corte interno: se aparece dentro.
- Independente do tipo de corte, existe um conjunto de problemas que advém do corte da execução de geradores ou consumidores internos ao subgolo específico:
  - *Orphaned Consumers*
  - *Lost consumers*
  - *Pseudo-Completion*
  - *Leader Re-Computation*
- Após o corte, o ponto de escolha do subgolo específico é transformado num nó retroactivo, para que possa haver *resolução retroactiva*.
  - A instrução que implementa resolução retroactiva é vital para a TSR, pois permite que os nós de execução sejam transformados em tipos de nós correctos e desta forma, permitir que a computação termine.

Corte Externo

Programa

```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

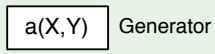
TSR

Novo gerador `a(X,Y)`

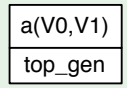
Example

```
?- a(X,Y), p(Z, W)
```

Choice Point Stack



Subgoal Frame Stack



Dependency Space

Corte Externo

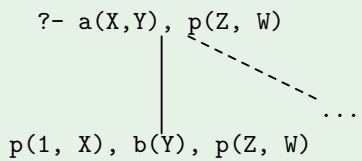
Programa

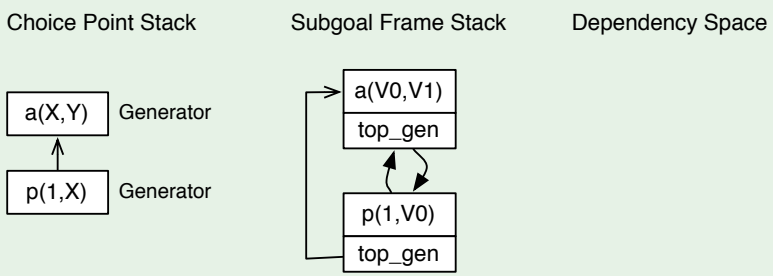
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Novo gerador `p(1,X)`

Example





Corte Externo

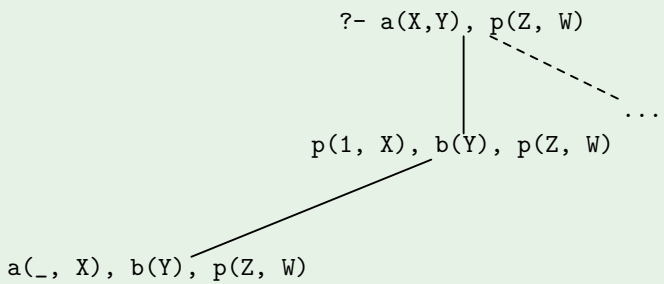
Programa

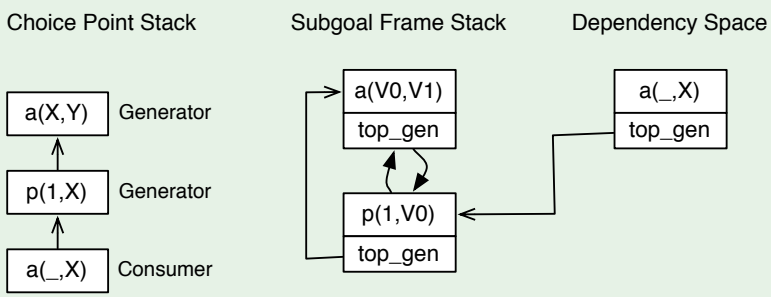
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Novo consumidor `a(_,X)`

Example





Corte Externo

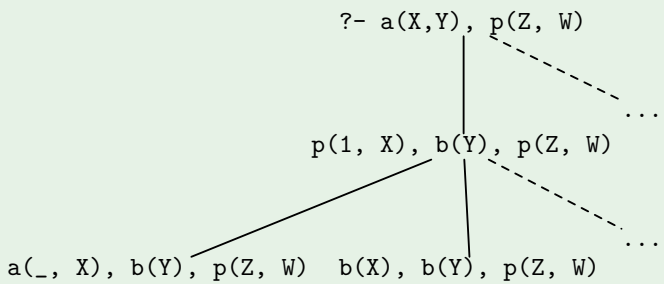
Programa

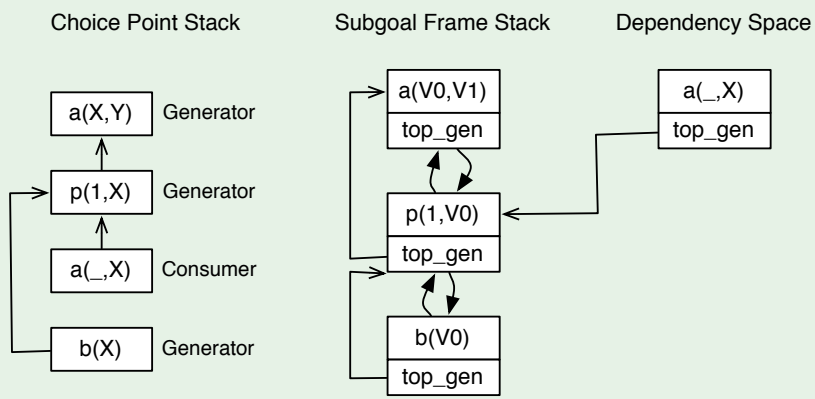
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Novo gerador `b(X)`

Example





Corte Externo

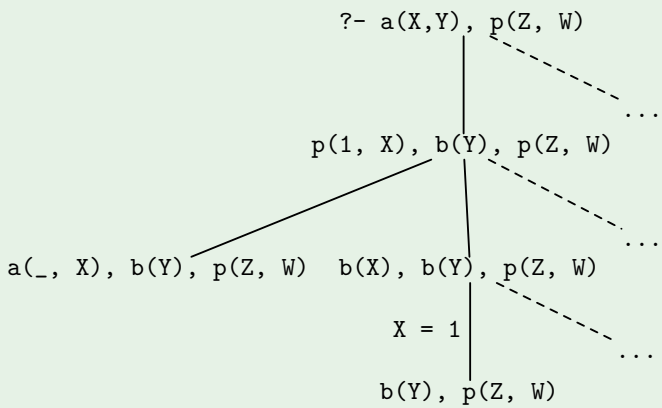
Programa

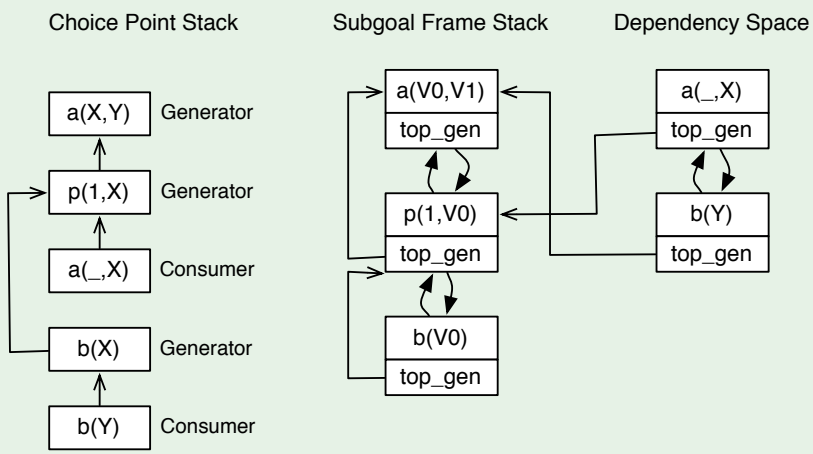
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Novo consumidor `b(Y)`

Example





Corte Externo

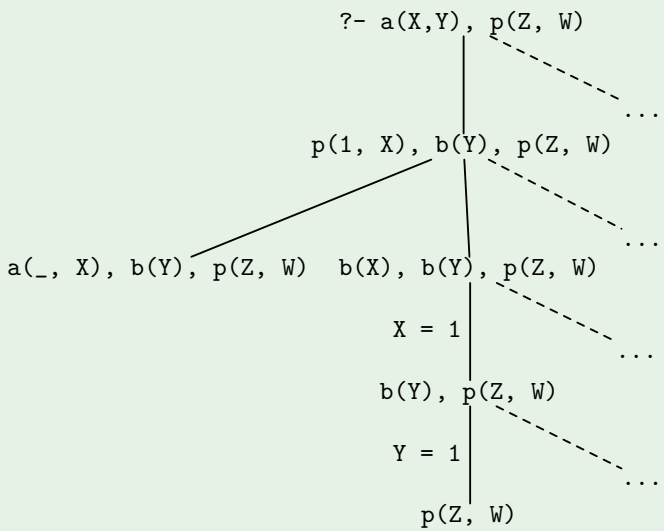
Programa

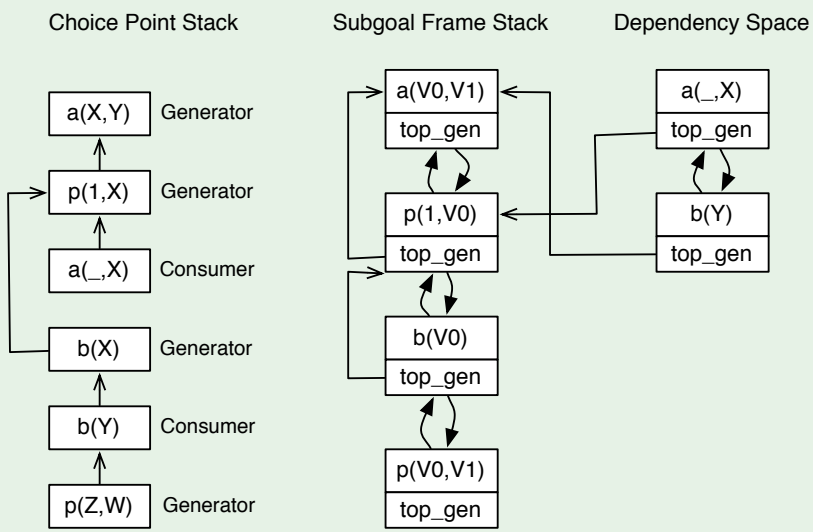
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Novo gerador mais geral `p(Z,W)`

Example





Corte Externo

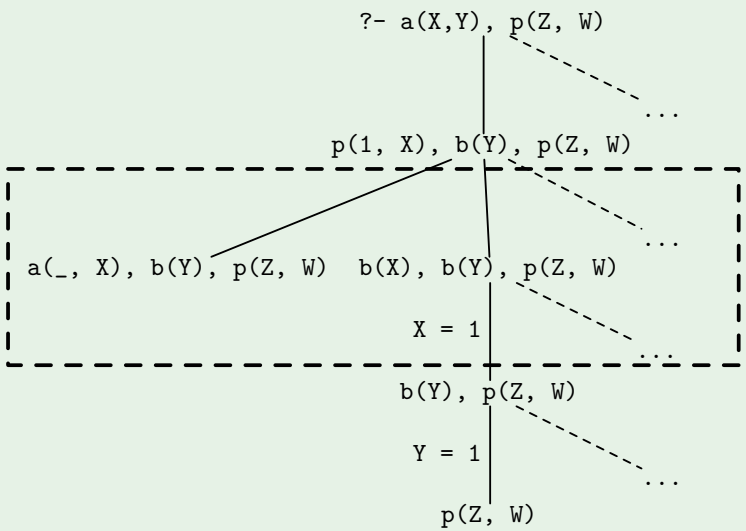
Programa

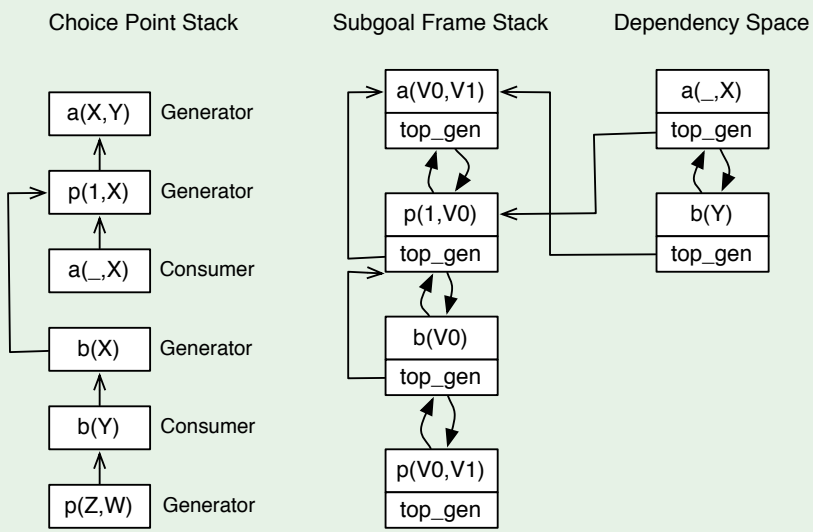
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

TSR

Determinar ramos a cortar

Example





Corte Externo

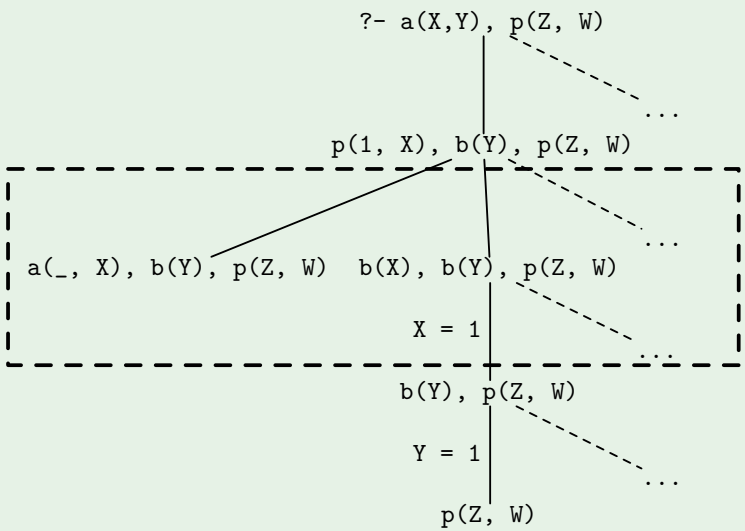
Programa

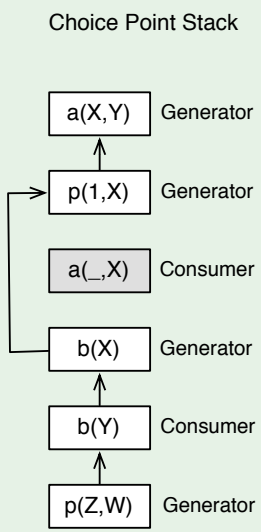
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

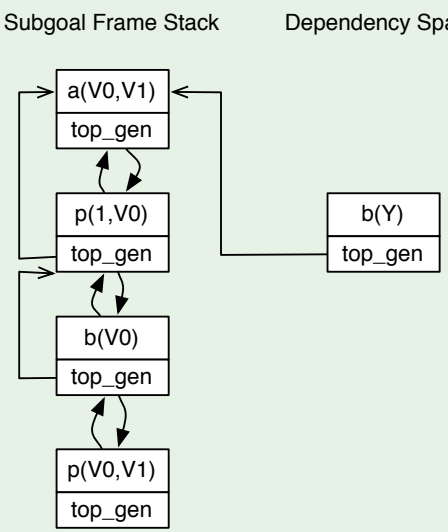
TSR

Consumidores como o `a(_,X)` são simplesmente removidos do *dependency space*

Example







Corte Externo

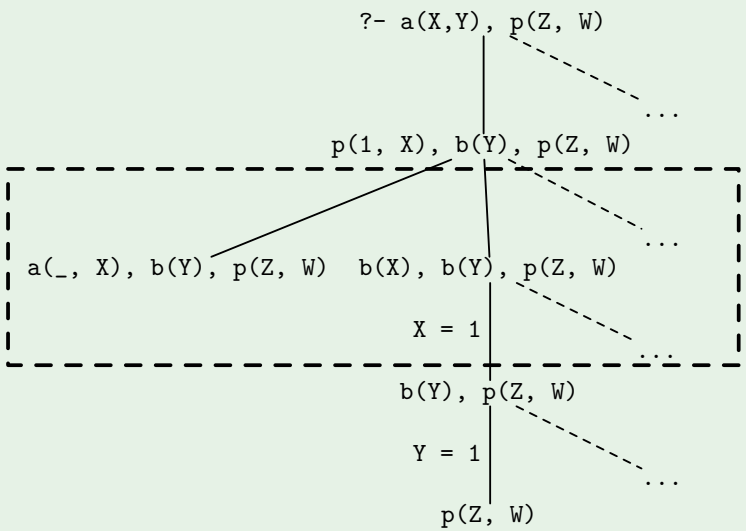
Programa

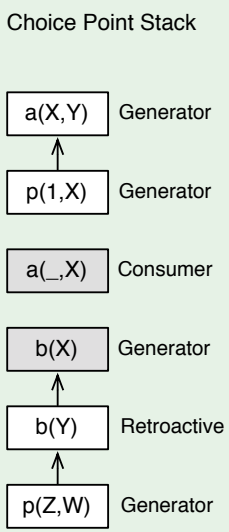
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

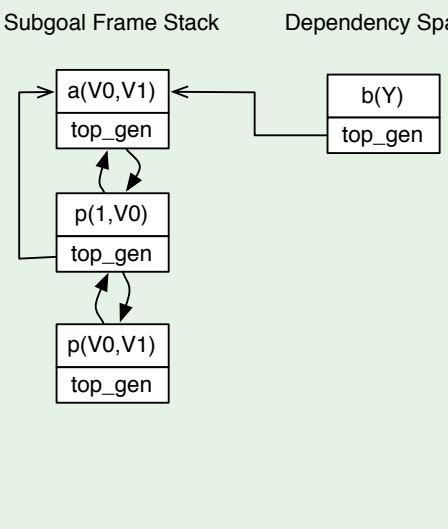
TSR

b(X) é um subgolo gerador interno, mudar o seu estado para *pruned*. Transformar *consumidores externos* (*orphaned consumers*) em nós retroactivos

Example







Corte Externo

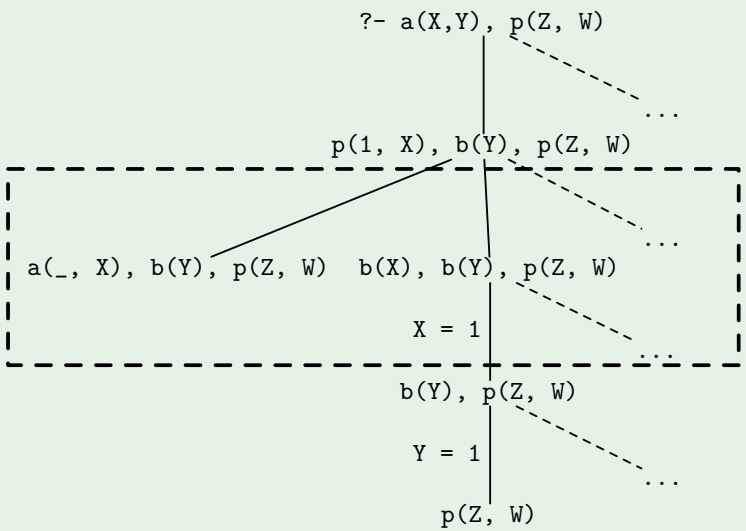
Programa

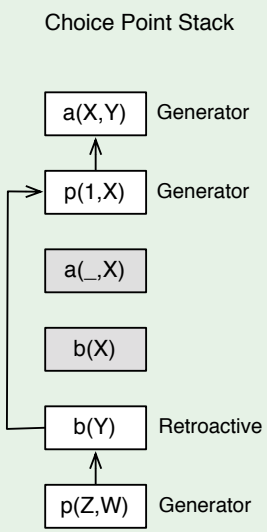
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

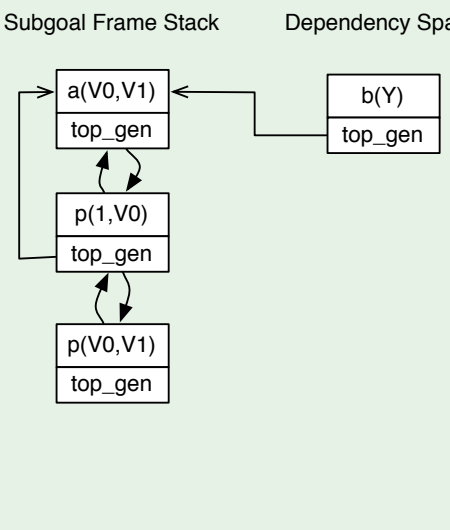
TSR

O nó `b(Y)` é um *nó fronteira*. É necessário ligá-lo ao nó `p(1,X)` para evitar que a execução salte para ramos mortos

Example







Corte Externo

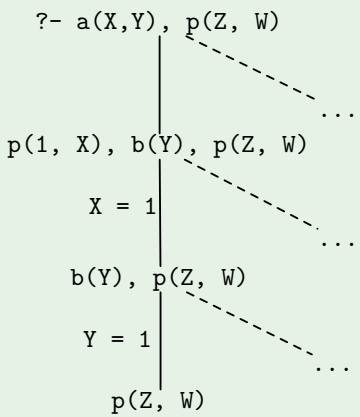
Programa

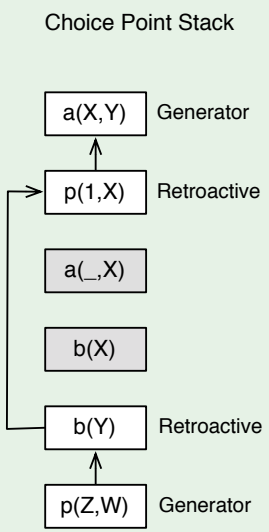
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

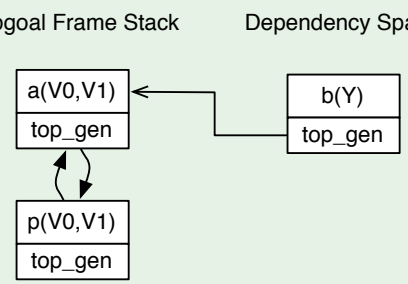
TSR

Transformar o nó `p(1,X)` em nó retroactivo e remover o *subgoal frame* da pilha respectiva

Example







Corte Externo

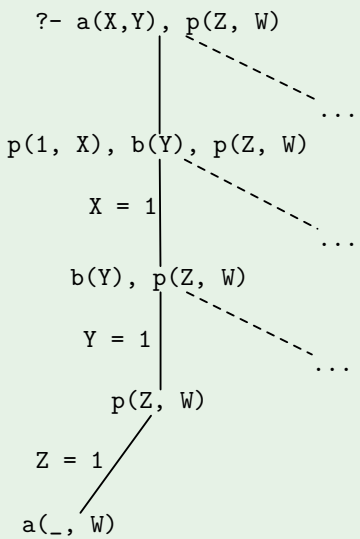
Programa

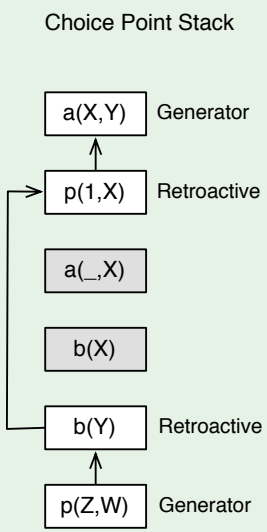
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

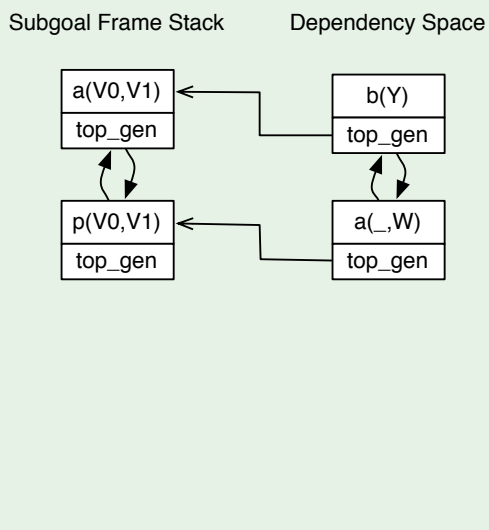
TSR

Novo consumidor `a(_,W)`

Example







Corte Externo

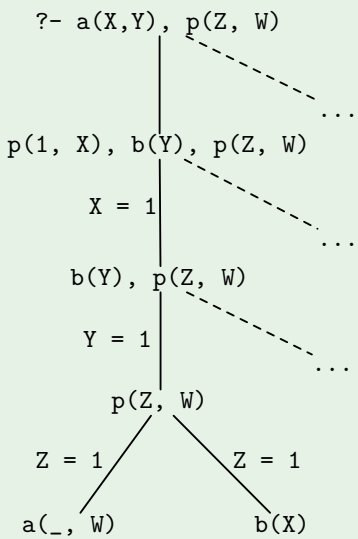
Programa

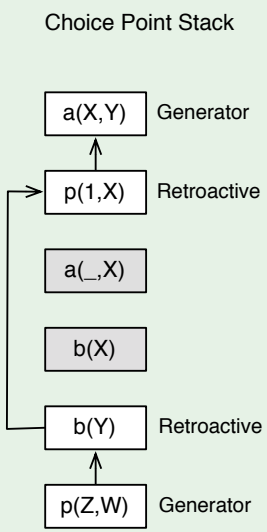
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

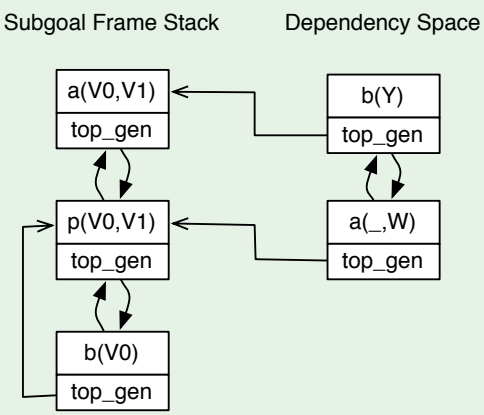
TSR

Gerador `b(V0)` é reactivado e completa

Example







Corte Externo

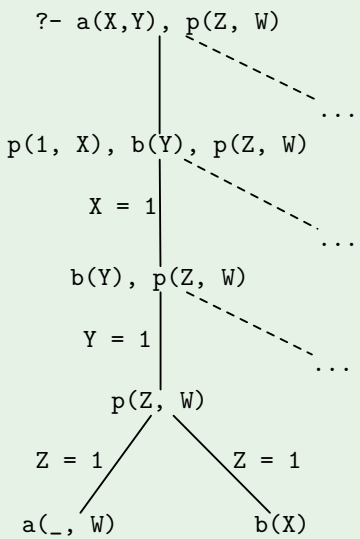
Programa

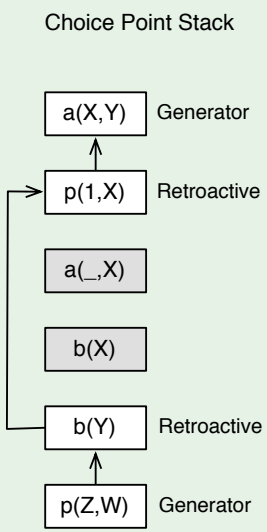
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

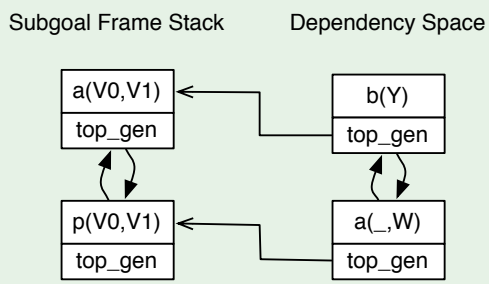
TSR

Subgolo `p(Z,W)` tenta completar mas não é líder

Example







Corte Externo

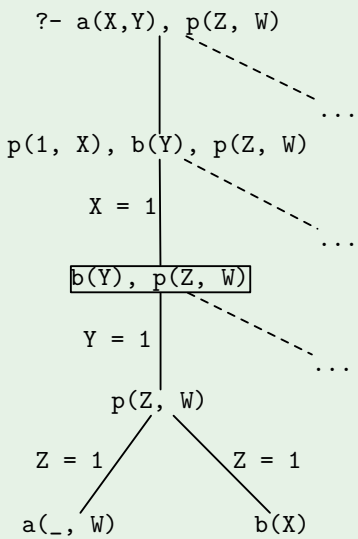
Programa

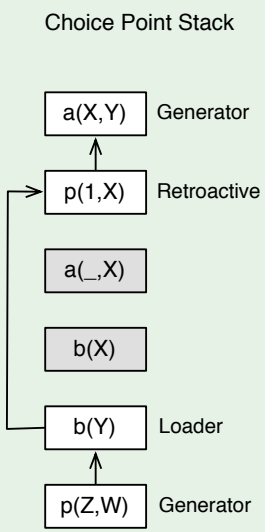
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

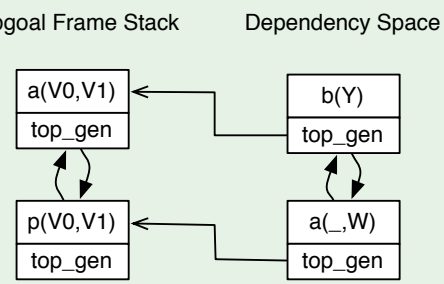
TSR

Após backtracking, o nó retroactivo `b(Y)` executa a instrução de resolução retroactiva e transforma-se num nó carregador (*loader*)

Example







Corte Externo

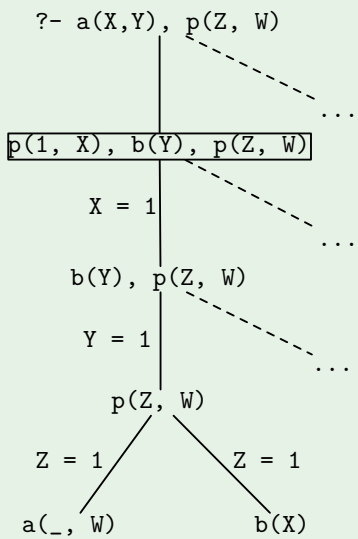
Programa

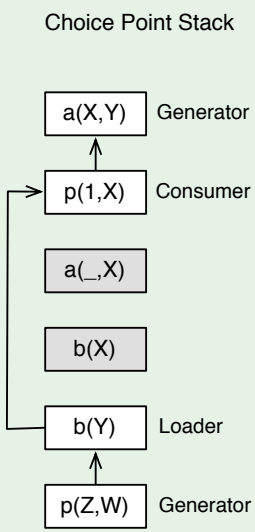
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

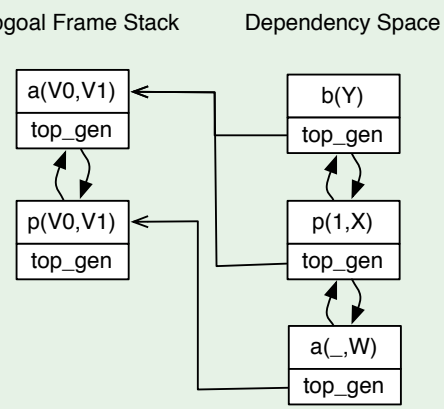
TSR

Ao chegar-mos ao nó `p(1,X)`, este é transformado num consumidor, pois `p(Z,W)` ainda não completou

Example







Corte Externo

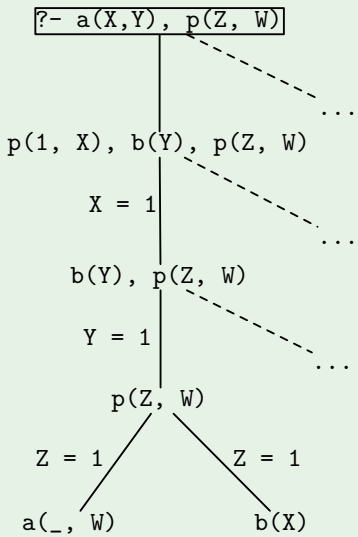
Programa

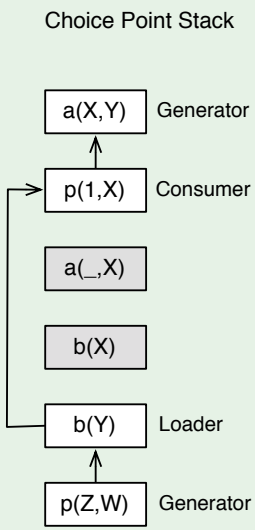
```
:- use_variant_tabling [a/2, b/1].
:- use_retroactive_tabling p/2.

a(X, Y) :- p(1, X), b(Y).
a(3, 4).
b(1). b(2).
p(1, X) :- a(_, X).
p(1, X) :- b(X).
```

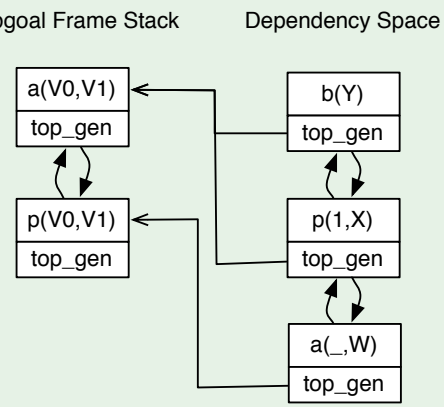
TSR

O subgolo `a(X,Y)` como líder poderá depois completar a computação em segurança

Example







Corte Interno

- O corte interno acontece quando o subgolo mais geral G aparece dentro da execução do subgolo específico G'.
- Nesta situação cortam-se os ramos referentes a G', excepto a parte que irá computar as soluções do subgolo G.

[1] O subgolo executa usando *local scheduling*

Corte Interno

- O corte interno acontece quando o subgolo mais geral G aparece dentro da execução do subgolo específico G'.
- Nesta situação cortam-se os ramos referentes a G', excepto a parte que irá computar as soluções do subgolo G.
- G executa normalmente mas não devolve as soluções para o ambiente externo [1].
- Quando G ou completar ou não conseguir completar por ser o líder, salta-se para o ponto de escolha do subgolo G', onde este poderá carregar as suas soluções relevantes ou transformar-se em consumidor.

[1] O subgolo executa usando *local scheduling*

Corte Interno

- O corte interno acontece quando o subgolo mais geral G aparece dentro da execução do subgolo específico G'.
- Nesta situação cortam-se os ramos referentes a G', excepto a parte que irá computar as soluções do subgolo G.
- G executa normalmente mas não devolve as soluções para o ambiente externo [1].
- Quando G ou completar ou não conseguir completar por ser o líder, salta-se para o ponto de escolha do subgolo G', onde este poderá carregar as suas soluções relevantes ou transformar-se em consumidor.
- O nosso sistema é capaz de detectar situações de cortes internos múltiplos.

[1] O subgolo executa usando *local scheduling*

Espaço das tabelas

- *Single Time Stamped Trie*
- Uma *answer trie* única por predicado.

Espaço das tabelas

- *Single Time Stamped Trie*
- Uma *answer trie* única por predicado.
- As respostas são representas apenas uma vez e referenciadas pelos subgolos que as usam.
- Usa-se um timestamp por cada subgolo de forma a facilitar a transformação de gerador para consumidor.
  - Situações em que diferentes subgolos estão a inserir respostas na trie requerem cuidado.

Espaço das tabelas

- *Single Time Stamped Trie*
- Uma *answer trie* única por predicado.
- As respostas são representas apenas uma vez e referenciadas pelos subgolos que as usam.
- Usa-se um timestamp por cada subgolo de forma a facilitar a transformação de gerador para consumidor.
  - Situações em que diferentes subgolos estão a inserir respostas na trie requerem cuidado.
- Permite que se possam reutilizar respostas relevantes a um novo subgolo gerador antes de executar o código.
  - Esta é uma forma elegante de reutilizar respostas e resolver o problema das tabelas incompletas.

Espaço das tabelas

- *Single Time Stamped Trie*
- Uma *answer trie* única por predicado.
- As respostas são representas apenas uma vez e referenciadas pelos subgolos que as usam.
- Usa-se um timestamp por cada subgolo de forma a facilitar a transformação de gerador para consumidor.
  - Situações em que diferentes subgolos estão a inserir respostas na trie requerem cuidado.
- Permite que se possam reutilizar respostas relevantes a um novo subgolo gerador antes de executar o código.
  - Esta é uma forma elegante de reutilizar respostas e resolver o problema das tabelas incompletas.
- Tem como desvantagem a necessidade de representar todos os argumentos de um dado subgolo e não apenas o valor das variáveis.

Procura de subgolos específicos

- Uma componente importante da TSR é o algoritmo que percorre a *subgoal trie* para encontrar subgolos mais específicos.

Procura de subgolos específicos

- Uma componente importante da TSR é o algoritmo que percorre a *subgoal trie* para encontrar subgolos mais específicos.
- O problema resume-se a encontrar atribuições para as variáveis do subgolo mais geral.

Procura de subgolos específicos

- Uma componente importante da TSR é o algoritmo que percorre a *subgoal trie* para encontrar subgolos mais específicos.
- O problema resume-se a encontrar atribuições para as variáveis do subgolo mais geral.
- A pesquisa é feita navegando pela trie e usando backtracking sempre que a pesquisa falhar.
- Usa-se uma pilha de nós alternativos de pesquisa.

Procura de subgolos específicos

- Dado que é necessário construir termos Prolog e registar atribuições de variáveis durante a pesquisa, usa-se estruturas da máquina virtual, tais como a heap e a trilha.

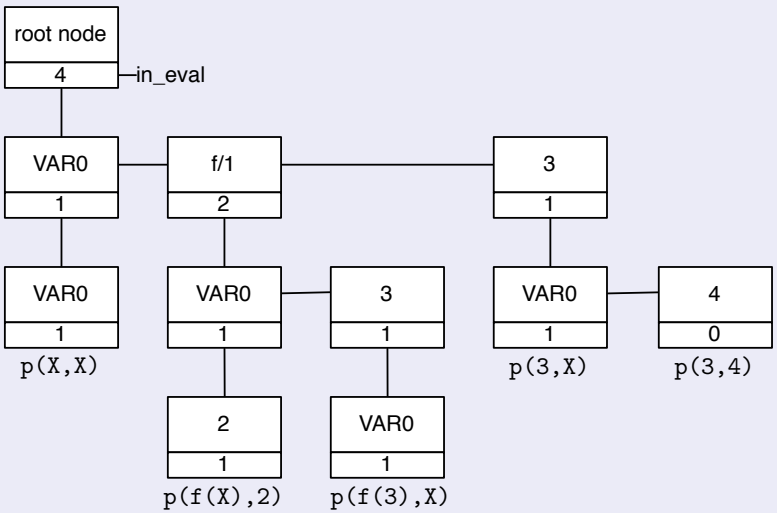
Procura de subgolos específicos

- Dado que é necessário construir termos Prolog e registar atribuições de variáveis durante a pesquisa, usa-se estruturas da máquina virtual, tais como a heap e a trilha.
- Para melhorar a eficiência, estendeu-se cada nó da *subgoal trie* com um campo chamado `in_eval` que registo o número de subgolos sobre aquele ramo da trie que estão a executar.

Procura de subgolos específicos

- Dado que é necessário construir termos Prolog e registar atribuições de variáveis durante a pesquisa, usa-se estruturas da máquina virtual, tais como a heap e a trilha.
- Para melhorar a eficiência, estendeu-se cada nó da *subgoal trie* com um campo chamado `in_eval` que registo o número de subgolos sobre aquele ramo da trie que estão a executar.

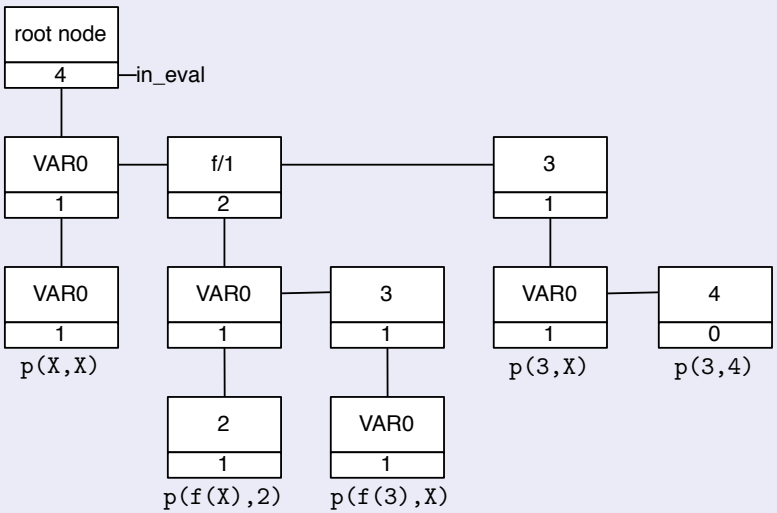
Subgoal trie



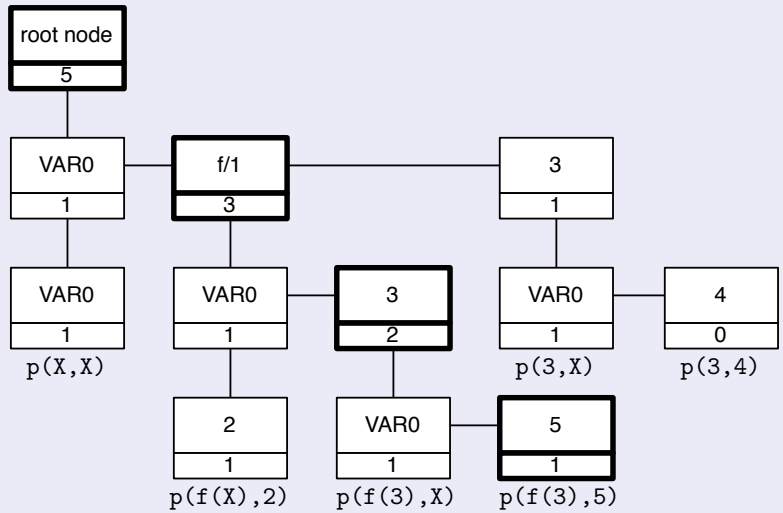
Procura de subgolos específicos

- Dado que é necessário construir termos Prolog e registar atribuições de variáveis durante a pesquisa, usa-se estruturas da máquina virtual, tais como a heap e a trilha.
- Para melhorar a eficiência, estendeu-se cada nó da *subgoal trie* com um campo chamado `in_eval` que registo o número de subgolos sobre aquele ramo da trie que estão a executar.

Subgoal trie



Novo gerador



Tabulação por subsumpção

- Avaliou-se o desempenho do motor de tabulação por subsumpção e comparou-se com o motor de tabulação do XSB Prolog.
- Sendo que ambos usam os mesmos algoritmos e estruturas de dados, o desempenho é muito parecido.

Tabulação por subsumpção

- Avaliou-se o desempenho do motor de tabulação por subsumpção e comparou-se com o motor de tabulação do XSB Prolog.
- Sendo que ambos usam os mesmos algoritmos e estruturas de dados, o desempenho é muito parecido.

Programa	**XSB Prolog** *Speedup médio*	**Yap Prolog** *Speedup médio*
left_first	0.78	**1.02**
left_last	0.77	**0.96**
right_first	**1.01**	**1.01**
right_last	0.94	**1.07**
double_first	1.37	**1.48**
double_last	1.31	**1.40**
samegen	**339.76**	1.03
genome	559.54	**648.51**
reach_first	**0.96**	0.94
reach_last	**0.97**	0.90

Custo da TSR

- Foi medido o desempenho da TSR para programas que não tiram vantagens de usar os novos mecanismos.
- Comparou-se o desempenho com tabulação por subsumpção tradicional e tabulação por variantes.

Custo da TSR

- Foi medido o desempenho da TSR para programas que não tiram vantagens de usar os novos mecanismos.
- Comparou-se o desempenho com tabulação por subsumpção tradicional e tabulação por variantes.

Programa	**Yap Prolog**	
	Retro / Var	*Retro / Sub*
left_first	1.06	1.01
left_last	1.07	1.03
right_first	**0.97**	**0.95**
right_last	1.25	**0.94**
double_first	1.01	1.16
double_last	1.04	1.16
samegen	1.19	1.14
reach_first	1.11	1.04
reach_last	1.17	1.04
Média Total	1.10	1.05

Ganhos da TSR

- Por outro lado, comparou-se o desempenho para programas onde usar TSR é vantajoso.

Ganhos da TSR

- Por outro lado, comparou-se o desempenho para programas onde usar TSR é vantajoso.

Programa	**Yap Prolog**	
	Var / Retro	*Sub / Retro*
left_first	0.89	0.95
left_last	0.88	0.90
double_first	1.07	**1.09**
double_last	1.05	**1.10**
genome	450.33	0.74
reach_first	2.54	**1.76**
reach_last	3.22	**1.87**
flora	3.17	**1.17**
fib	1.95	**2.02**
big	13.26	**13.66**

- Para os programas do tipo `path/2` usou-se o golo `path(X,1)`.

Conclusões

- Contribuições:
  - YapTab suporta tabulação por subsumpção.
  - Mecanismos e algoritmos que controlam a execução retroactiva.
  - Algoritmo de pesquisa de subgolos específicos.
  - Espaço de tabelas inovador que permite uma maior reutilização de respostas.
  - Suporte para uma mistura de métodos de avaliação: retroactivo, variantes e subsumpção.

Conclusões

- Contribuições:
  - YapTab suporta tabulação por subsumpção.
  - Mecanismos e algoritmos que controlam a execução retroactiva.
  - Algoritmo de pesquisa de subgolos específicos.
  - Espaço de tabelas inovador que permite uma maior reutilização de respostas.
  - Suporte para uma mistura de métodos de avaliação: retroactivo, variantes e subsumpção.
- Trabalho futuro:
  - Integrar o trabalho na distribuição oficial do Yap Prolog.
  - Melhoramento dos algoritmos do espaço das tabelas.
  - Maior experimentação com aplicações reais.
  - Explorar outros métodos de avaliação, como o *Call Abstraction*.

Conclusões

- Contribuições:
  - YapTab suporta tabulação por subsumpção.
  - Mecanismos e algoritmos que controlam a execução retroactiva.
  - Algoritmo de pesquisa de subgolos específicos.
  - Espaço de tabelas inovador que permite uma maior reutilização de respostas.
  - Suporte para uma mistura de métodos de avaliação: retroactivo, variantes e subsumpção.
- Trabalho futuro:
  - Integrar o trabalho na distribuição oficial do Yap Prolog.
  - Melhoramento dos algoritmos do espaço das tabelas.
  - Maior experimentação com aplicações reais.
  - Explorar outros métodos de avaliação, como o *Call Abstraction*.

Artigos Publicados

- Retroactive Subsumption-Based Tabled Evaluation of Logic Programs, Flávio Cruz and Ricardo Rocha. 12th European Conference on Logics in Artificial Intelligence (JELIA 2010), Springer-Verlag. Helsinki, Finland, September 2010.
- Submetidos:
  - Efficient Instance Retrieval of Executing Subgoals for Tabled Evaluation, Flávio and Ricardo Rocha. 17th International Conference on Logic for Programming, Artificial Intelligence and Reasoning (LPAR 17), Yogyakarta, Indonesia, October 2010.
  - Efficient Retrieval of Subsumed Subgoals in Tabled Logic Programs, Flávio Cruz and Ricardo Rocha. Compilers, Programming Languages, Related Technologies and Applications (CORTA 2010), Braga, Portugal, September 2010.