

[MAC0313]
Introdução aos Sistemas de Bancos de Dados
Aula 13
O Cálculo Relacional de Tuplas

Kelly Rosa Braghetto

DCC-IME-USP

20 de setembro de 2016

Cálculo Relacional

- ▶ É uma outra linguagem formal de consulta para o modelo relacional
- ▶ Tem duas variações: **Cálculo Relacional de Tuplas** e o **Cálculo Relacional de Domínio**
- ▶ Nele, especifica-se consultas por meio de *expressões declarativas*

Cálculo Relacional

- ▶ Uma expressão em cálculo relacional especifica *o que* deve ser recuperado (e não *como*)
- ▶ Já na álgebra relacional, as expressões definem uma sequência ordenada de operações → a consulta é expressa de modo *procedimental*
- ▶ O poder expressivo da **Álgebra Relacional Básica** é idêntico ao do **Cálculo Relacional**
 - ▶ qualquer recuperação que pode ser especificada em uma das linguagens também pode ser especificada na outra
- ▶ A maioria das linguagens de consulta usadas no SGBDRs são mais expressivas que a Álgebra Relacional Básica e o Cálculo Relacional

Cálculo Relacional de Tuplas

Cálculo Relacional de Tuplas

- ▶ Baseado na especificação de uma série de **variáveis de tuplas**
- ▶ Cada variável de tupla *percorre* uma relação do BD
 - ▶ ou seja, a variável pode assumir como seu valor qualquer tupla da relação
- ▶ Forma de um cálculo relacional de tuplas **simples**:

$$\{t \mid COND(t)\}$$

onde:

- ▶ t é uma variável de tupla
- ▶ $COND(t)$ é uma expressão condicional envolvendo os valores dos atributos de t que pode ter como resultado VERDADEIRO ou FALSO
- ▶ o resultado dessa consulta é conjunto de tuplas t para os quais a avaliação de $COND(t)$ resulta em VERDADEIRO

Exemplo de consulta no cálculo relacional de tuplas

$\{t \mid \text{FUNCIONARIO}(t) \text{ AND } t.\text{Salario} > 50.000\}$

- ▶ $\text{FUNCIONARIO}(t)$ especifica que a **relação de intervalo** de t é FUNCIONARIO
- ▶ A consulta recupera cada tupla t de FUNCIONARIO que satisfaz a condição $t.\text{Salario} > 50.000$
- ▶ Para cada t selecionado, a consulta recupera os valores para **todos** os atributos de FUNCIONARIO

FUNCIONARIO

Phome	Inicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	---------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Outro exemplo de cálculo relacional de tuplas

$\{t.Pnome, t.Unome \mid FUNCIONARIO(t) \text{ AND } t.Salario > 50.000\}$

- ▶ Para cada t selecionado, a consulta recupera apenas os valores para os atributos nome e sobrenome de *FUNCIONARIO*

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

O que deve aparecer em uma expressão do cálculo de tuplas:

- ▶ Para cada variável de tupla t , a **relação de intervalo** R de t
 - especificada como uma condição na forma $R(t)$
 - ▶ $R(t)$ restringe o domínio de t
 - ▶ Se a relação de intervalo não é especificada, então t percorrerá todas as tuplas possíveis 'no universo'
- ▶ Uma condição para selecionar combinações de tuplas em particular
- ▶ Um conjunto de atributos a serem recuperados
 - ▶ os valores desses atributos são recuperados para cada tupla selecionada

Exemplo de cálculo relacional de tuplas

$\{t.Datanasc, t.Endereco \mid FUNCIONARIO(t) \text{ AND } t.Pnome = 'João' \text{ AND } t.Minicial = 'B' \text{ AND } t.Unome = 'Silva'\}$

- ▶ Recupera a data de nascimento e o endereço do(s) funcionário(s) João B. Silva

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Expressão geral no cálculo relacional de tuplas

$$\{a_1, a_2, \dots, a_m \mid COND(t_1, t_2, \dots, t_n)\}$$

onde

- ▶ t_i , sendo $1 \leq i \leq n$, são variáveis de tupla
- ▶ a_j , sendo $1 \leq j \leq m$ é um atributo de uma relação em que alguma das tuplas t_i varia
- ▶ $COND$ é uma **fórmula** composta de **átomos** de cálculo de predicados

Átomo de cálculo de predicados

Pode ser da forma:

- ▶ $R(t_i)$, onde R é o nome de uma relação e t_i é uma variável de tupla.
 - ▶ É avaliado como VERDADEIRO se t_i é uma tupla em R , e como FALSO no caso contrário
- ▶ $t_i.A \text{ op } t_j.B$, onde t_i e t_j são variáveis de tupla, A é um atributo da relação em que t_i varia, B é um atributo da relação em que t_j varia e **op** é um operador de comparação
- ▶ $t_i.A \text{ op } c$ ou $c \text{ op } t_i.A$, onde c é um valor constante, t_i é uma variável de tupla, A é um atributo da relação em que t_i varia e **op** é um operador de comparação

Operadores de comparação: $=, \neq, <, \leq, >, \geq$

Composição de uma fórmula

- ▶ Uma fórmula (= condição booleana) é composta de um ou mais átomos conectados por meio de operadores lógicos
 - ▶ AND, OR e NOT
- ▶ Definição recursiva
 - ▶ **Regra 1:** todo átomo é uma fórmula
 - ▶ **Regra 2:** se F_1 e F_2 são fórmulas, então também são fórmulas:
 - ▶ F_1 AND F_2
 - ▶ F_1 OR F_2
 - ▶ NOT(F_1) e NOT(F_2)

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Para cada funcionário, recupere o nome e o sobrenome do funcionário e o nome e o sobrenome do seu supervisor imediato

FUNCIONARIO

Prnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
--------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Para cada funcionário, recupere o nome e o sobrenome do funcionário e o nome e o sobrenome do seu supervisor imediato

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

$$\{f.Pnome, f.Unome, s.Pnome, s.Unome \mid$$
$$Funcionario(f) \text{ AND } Funcionario(s) \text{ AND}$$
$$f.Cpf_supervisor = s.Cpf\}$$

Quantificador existencial (\exists) e quantificador universal (\forall)

Também pode aparecer em uma fórmula **quantificadores**:

- ▶ **Regra 3:** Se F é uma fórmula, então também é uma fórmula $(\exists t)(F)$, onde t é uma variável de tupla
 - ▶ $(\exists t)(F)$ é VERDADEIRO se **existir alguma tupla** que torne F verdadeiro
- ▶ **Regra 4:** Se F é uma fórmula, então também é uma fórmula $(\forall t)(F)$, onde t é uma variável de tupla
- ▶ $(\forall t)(F)$ é VERDADEIRO se **todas as tuplas no *universo* de tuplas** tornam F VERDADEIRO.

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o nome e o endereço de todos os funcionários que trabalham no departamento 'Pesquisa'

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o nome e o endereço de todos os funcionários que trabalham no departamento 'Pesquisa'

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

$$\{f.Pnome, f.Unome, f.Endereco \mid \text{FUNCIONARIO}(f) \text{ AND } (\exists d)(\text{DEPARTAMENTO}(d) \text{ AND } d.Nome = \text{'Pesquisa'} \text{ AND } d.Dnumero = f.Dnr)\}$$

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Para cada projeto localizado em Mauá, listar o número do projeto, o número do departamento de controle e o sobrenome, data de nascimento e endereço do gerente do departamento

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Para cada projeto localizado em Mauá, listar o número do projeto, o número do departamento de controle e o sobrenome, data de nascimento e endereço do gerente do departamento

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

$$\{p.ProjNumero, p.Dnum, g.Unome, g.Datanasc, g.Endereco \mid$$

$$PROJETO(p) \text{ AND } FUNCIONARIO(g) \text{ AND}$$

$$p.Projlocalizacao = 'Mauá' \text{ AND}$$

$$((\exists d)(DEPARTAMENTO(d) \text{ AND } p.Dnum = d.Dnumero \text{ AND}$$

$$d.Cpf_gerente = g.Cpf))\}$$

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o nome do funcionário que trabalha em *algum* projeto controlado pelo departamento número 5

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

TRABALHA_EM

<u>Fopf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o nome do funcionário que trabalha em *algum* projeto controlado pelo departamento número 5

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

TRABALHA_EM

<u>Fcpf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

$$\{f.Pnome, f.Unome \mid \text{FUNCIONARIO}(f) \text{ AND } ((\exists p)(\exists t)(\text{PROJETO}(p) \text{ AND } \text{TRABALHA_EM}(t) \text{ AND } p.Dnum = 5 \text{ AND } t.Fcpf = f.Cpf \text{ AND } p.Projnumero = t.Pnr)))\}$$

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o número de todos os projetos que envolvem um funcionário cujo o último nome é 'Silva', seja como um trabalhador ou como um gerente do departamento de controle do projeto.

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

TRABALHA_EM

<u>Fcpf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar o número de todos os projetos que envolvem um funcionário cujo o último nome é 'Silva', seja como um trabalhador ou como um gerente do departamento de controle do projeto.

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

TRABALHA_EM

<u>Fcpf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

$$\begin{aligned}
 & \{p.Projnumero \mid PROJETO(p) \text{ AND } (\\
 & ((\exists f)(\exists t)(FUNCIONARIO(f) \text{ AND } TRABALHA_EM(t) \text{ AND} \\
 & t.Pnr = p.Projnumero \text{ AND } f.Unome = 'Silva' \text{ AND } t.Fcpf = f.Cpf)) \\
 & \text{ OR} \\
 & ((\exists g)(\exists d)(FUNCIONARIO(g) \text{ AND } DEPARTAMENTO(d) \text{ AND} \\
 & p.Dnum = d.Dnumero \text{ AND} \\
 & d.Cpf_gerente = g.Cpf \text{ AND } g.Unome = 'Silva'))))\}
 \end{aligned}$$

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar os nomes dos gerentes que possuem pelo menos um dependente.

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

DEPENDENTE

<u>Fcpf</u>	<u>Nome_dependente</u>	Sexo	Datanasc	Parentesco
-------------	------------------------	------	----------	------------

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar os nomes dos gerentes que possuem pelo menos um dependente.

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

DEPARTAMENTO

Dnome	<u>Dnumero</u>	Cpf_gerente	Data_inicio_gerente
-------	----------------	-------------	---------------------

DEPENDENTE

<u>Fcpf</u>	<u>Nome_dependente</u>	Sexo	Datanasc	Parentesco
-------------	------------------------	------	----------	------------

$$\{f.Pnome, f.Unome \mid \text{FUNCIONARIO}(f) \text{ AND } ((\exists d)(\exists p)(\text{DEPARTAMENTO}(d) \text{ AND } \text{DEPENDENTE}(p) \text{ AND } d.Cpf_gerente = f.Cpf \text{ AND } p.Fcp = f.cpf))\}$$

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar os nomes dos funcionários que trabalham em *todos* os projetos controlados pelo departamento de número 5.

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

TRABALHA_EM

<u>Fopf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

Exemplos de consultas sobre o BD de Empresa

Listar os nomes dos funcionários que trabalham em *todos* os projetos controlados pelo departamento de número 5.

PROJETO

Projnome	<u>Projnumero</u>	Projlocal	Dnum
----------	-------------------	-----------	------

TRABALHA_EM

<u>Fcpf</u>	<u>Pnr</u>	Horas
-------------	------------	-------

FUNCIONARIO

Pnome	Minicial	Unome	<u>Cpf</u>	Datanasc	Endereco	Sexo	Salario	Cpf_supervisor	Dnr
-------	----------	-------	------------	----------	----------	------	---------	----------------	-----

$$\{f.Pnome, f.Unome \mid FUNCIONARIO(f) \text{ AND } ((\forall p)(NOT(PROJETO(p)) \text{ OR } NOT(p.Dnum = 5)) \text{ OR } ((\exists t)(TRABALHA_EM(t) \text{ AND } t.Fcpf = f.Cpf \text{ AND } p.Projnumero = t.Pnr))))\}$$

Passando de um quantificador universal para um existencial (e vice-versa)

Transformação geral (passos)

- ▶ transformar o quantificador no outro negado (= precedido por NOT)
- ▶ **AND** e **OR** substituem-se um ao outro
- ▶ uma fórmula negada torna-se não negada
- ▶ uma fórmula não-negada torna-se negada

Passando de um quantificador universal para um existencial (e vice-versa)

Casos especiais

- ▶ $(\forall x)(P(x)) \equiv \text{NOT}(\exists x)(\text{NOT}(P(x)))$
- ▶ $(\exists x)(P(x)) \equiv \text{NOT}(\forall x)(\text{NOT}(P(x)))$
- ▶ $(\forall x)(P(x) \text{ AND } Q(x)) \equiv$
 $\text{NOT}(\exists x)(\text{NOT}(P(x)) \text{ OR } \text{NOT}(Q(x)))$
- ▶ $(\forall x)(P(x) \text{ OR } Q(x)) \equiv$
 $\text{NOT}(\exists x)(\text{NOT}(P(x)) \text{ AND } \text{NOT}(Q(x)))$
- ▶ $(\exists x)(P(x) \text{ OR } Q(x)) \equiv$
 $\text{NOT}(\forall x)(\text{NOT}(P(x)) \text{ AND } \text{NOT}(Q(x)))$
- ▶ $(\exists x)(P(x) \text{ AND } Q(x)) \equiv$
 $\text{NOT}(\forall x)(\text{NOT}(P(x)) \text{ OR } \text{NOT}(Q(x)))$

Exemplo 1: passando de um quantificador universal para um existencial

Listar os nomes dos funcionários que trabalham em *todos* os projetos controlados pelo departamento de número 5.

$$\begin{aligned}
 & \{f.Pnome, f.Unome \mid \text{FUNCIONARIO}(f) \text{ AND} \\
 & ((\forall p)(\text{NOT}(\text{PROJETO}(p)) \text{ OR } \text{NOT}(p.Dnum = 5) \text{ OR} \\
 & ((\exists t)(\text{TRABALHA_EM}(t) \text{ AND} \\
 & t.Fcpf = f.Cpf \text{ AND } p.Projnumero = t.Pnr))))))\} \\
 & \equiv \\
 & \{f.Pnome, f.Unome \mid \text{FUNCIONARIO}(f) \text{ AND} \\
 & (\text{NOT}(\exists p)(\text{PROJETO}(p) \text{ AND } (p.Dnum = 5) \text{ AND} \\
 & (\text{NOT}(\exists t)(\text{TRABALHA_EM}(t) \text{ AND} \\
 & t.Fcpf = f.Cpf \text{ AND } p.Projnumero = t.Pnr))))))\}
 \end{aligned}$$

Exemplo 2: passando de um quantificador existencial para um universal

Listar os nomes dos funcionários que não possuem dependentes.

Exemplo 2: passando de um quantificador existencial para um universal

Listar os nomes dos funcionários que não possuem dependentes.

$$\begin{aligned} & \{f.Pnome, f.Unome \mid FUNCIONARIO(f) \text{ AND} \\ & (NOT(\exists d)(DEPENDENTE(d) \text{ AND } d.Fcpf = f.Cpf))\} \\ & \equiv \\ & \{f.Pnome, f.Unome \mid FUNCIONARIO(f) \text{ AND} \\ & ((\forall d)(NOT(DEPENDENTE(d)) \text{ OR } NOT(d.Fcpf = f.Cpf)))\} \end{aligned}$$

Expressões seguras

- ▶ **Expressão segura** em cálculo relacional é uma que garante a geração de um número finito de tuplas como resposta
- ▶ Exemplo de expressão **não segura**:

$$\{t \mid NOT(FUNCIONARIO(t))\}$$

- ▶ Essa expressão gera todas as infinitas tuplas no universo que não estão em FUNCIONARIO
- ▶ Expressões que envolvem quantificadores ou negação de predicados podem não ser seguras

Criando expressões seguras

Domínio de uma expressão de cálculo relacional de tuplas

- ▶ É o conjunto de todos os valores que aparecem como valores constantes na expressão ou existem em qualquer tupla presente nas relações referenciadas na expressão
- ▶ Exemplo: o domínio de $\{t \mid NOT(FUNCIONARIO(t))\}$ é o conjunto de todos os valores de atributo que aparecem em alguma tupla de *FUNCIONARIO*

Uma expressão é considerada segura se todos os valores em seu resultado forem do domínio da expressão.

- ▶ Assim, $\{t \mid NOT(FUNCIONARIO(t))\}$ não é segura porque inclui tuplas de fora da relação *FUNCIONARIO*.

Referências Bibliográficas

- ▶ *Sistemas de Bancos de Dados* (6ª edição), Elmasri e Navathe. Pearson, 2010. – Capítulo 6

Cenas dos próximos capítulos...

Mais sobre linguagens de consulta para BDs Relacionais

- ▶ SQL – *Structured Query Language*