

Lógica Computacional

- O sistema \mathcal{R} para a Lógica de Predicados
- Refutações no sistema \mathcal{R}
- Composição de Substituições
- Análise da Contradição: Respostas a Questões

Resolução na Lógica de Predicados

- Uma vez definidas as extensões necessárias em relação ao caso proposicional, podemos agora apresentar a extensão do sistema \mathcal{R}_p para a Lógica de Predicados.

Sistema de Resolução \mathcal{R}

O Sistema de Resolução \mathcal{R} tem as seguintes características:

1. Demonstrações através de **Refutações**: Para demonstrar uma fórmula φ a partir de um conjunto de premissas Φ , demonstra-se que o conjunto $\Phi \cup \{\varphi\}$ é insatisfazível. Isto é, que a partir de $\Phi \cup \{\varphi\}$ pode demonstrar-se o absurdo / **cláusula vazia**.
2. Todas as fórmulas utilizadas são cláusulas, ou seja disjunções obtidas a partir da forma CNF das matrizes de fórmulas **Prenex Skolemizadas**.
3. A única regra de inferência utilizada é a resolução, requerendo esta que os literais resolvidos sejam **unificados**.

Resolução na Lógica de Predicados

Exemplo 1: Se todos os dodecaedros são grandes e estão à frente do objecto a, e se existe um objecto que não está à frente de nenhum objecto, então existe um objecto que não é um dodecaedro.

$$\begin{array}{l|l} \mathbf{F1} & \forall \mathbf{x} (\text{Dodec}(\mathbf{x}) \rightarrow (\text{Large}(\mathbf{x}) \wedge \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))) \\ \mathbf{F2} & \exists \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \neg \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \\ \hline \mathbf{F3} & \exists \mathbf{x} \neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \end{array} \mathcal{R}$$

- Para demonstrar este argumento no sistema \mathcal{R} há que transformar as premissas e a negação da conclusão para a forma clausal. A fórmula **F1** requer os seguintes passos de transformação, originando as cláusulas **C1** e **C2**.

$$\begin{aligned} \mathbf{F1.} \quad & \forall \mathbf{x} (\text{Dodec}(\mathbf{x}) \rightarrow (\text{Large}(\mathbf{x}) \wedge \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))) \\ \rightarrow & \forall \mathbf{x} (\neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \vee (\text{Large}(\mathbf{x}) \wedge \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))) \\ \rightarrow & \forall \mathbf{x} ((\neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \vee \text{Large}(\mathbf{x})) \wedge (\neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \vee \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))) \\ \rightarrow & \forall \mathbf{x1} ((\neg \text{Dodec}(\mathbf{x1}) \vee \text{Large}(\mathbf{x1})) \wedge \\ & \forall \mathbf{x2} (\neg \text{Dodec}(\mathbf{x2}) \vee \text{FrontOf}(\mathbf{x2}, \mathbf{a}))) \\ \rightarrow & \mathbf{C1.} \neg \text{Dodec}(\mathbf{x1}) \vee \text{Large}(\mathbf{x1}) \\ & \mathbf{C2.} \neg \text{Dodec}(\mathbf{x2}) \vee \text{FrontOf}(\mathbf{x2}, \mathbf{a}) \end{aligned}$$

Resolução na Lógica de Predicados

Exemplo 1 (cont):

$$\begin{array}{l|l} \mathbf{F1} & \forall \mathbf{x} (\text{Dodec}(\mathbf{x}) \rightarrow (\text{Large}(\mathbf{x}) \wedge \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))) \\ \mathbf{F2} & \exists \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \neg \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \\ \hline \mathbf{F3} & \exists \mathbf{x} \neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \end{array} \quad \mathcal{R}$$

- A fórmula **F2** apenas requer a skolemização da variável **x**, devendo a constante de Skolem ser diferente da constante **a** já referida na fórmula **F1**.

$$\begin{array}{l} \mathbf{F2.} \quad \exists \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \neg \text{FrontOf}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \\ \quad \rightarrow \quad \mathbf{C3.} \quad \neg \text{FrontOf}(\mathbf{c}, \mathbf{x3}) \end{array}$$

- Finalmente a negação da conclusão substitui o quantificador existencial e evita a skolemização.

$$\begin{array}{l} \mathbf{F3.} \quad \neg \exists \mathbf{x} \neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \\ \quad \rightarrow \quad \forall \mathbf{x} \neg \neg \text{Dodec}(\mathbf{x}) \\ \quad \rightarrow \quad \mathbf{C4.} \quad \text{Dodec}(\mathbf{x4}) \end{array}$$

Resolução na Lógica de Predicados

Exemplo 1 (cont):

F1		$\forall x \text{ (Dodec}(x) \rightarrow (\text{Large}(x) \wedge \text{FrontOf}(x, a)))$
F2		$\exists x \forall y \neg \text{FrontOf}(x, y)$
<hr/>		
F3		$\exists x \neg \text{Dodec}(x)$

- Uma vez obtida a forma clausal, pode passar-se à demonstração por refutação.

C1.		$\neg \text{Dodec}(x1) \vee \text{Large}(x1)$
C2.		$\neg \text{Dodec}(x2) \vee \text{FrontOf}(x2, a)$
C3.		$\neg \text{FrontOf}(c, x3)$
C4.		$\text{Dodec}(x4)$
<hr/>		
C5.		$\text{FrontOf}(x4, a) \quad \text{Res } 4, 2 \{x2/x4\}$
C6.		$\square \quad \text{Res } 5, 3 \{x4/c, x3/a\}$

- No final pode concluir-se a existência de um não-dodecaedro (**x4**). De facto, se todos os objectos **x4** fossem dodecaedros, o sistema de cláusulas **C1-C4** seria inconsistente. Especificamente, é possível instanciar **x4** a um dodecaedro para obter a inconsistência, pelo que se conclui que essa instância de **x4** não é um dodecaedro.
- Pelas substituições (**x4/c**), verifica-se que o **não-dodecaedro** é o objecto referido na fórmula **F2**, sem nenhum objecto à sua frente, e que skolemizamos com o nome **c**.

Resolução na Lógica de Predicados

Exemplo 1 (cont):

$$\begin{array}{l|l} \text{F1} & \forall x (\text{Dodec}(x) \rightarrow (\text{Large}(x) \wedge \text{FrontOf}(x, a))) \\ \text{F2} & \exists x \forall y \neg \text{FrontOf}(y, x) \\ \hline \text{F3} & \exists x \neg \text{Dodec}(x) \end{array} \quad \mathcal{R}$$

- Mas a unificação das cláusulas C2 e C4 pode ser feita com uma variante

$$\begin{array}{l|l} \text{C1.} & \neg \text{Dodec}(x1) \vee \text{Large}(x1) \\ \text{C2.} & \neg \text{Dodec}(x2) \vee \text{FrontOf}(x2, a) \\ \text{C3.} & \neg \text{FrontOf}(c, x3) \\ \text{C4.} & \text{Dodec}(x4) \\ \hline \text{C5.} & \text{FrontOf}(x2, a) \quad \text{Res 4, 2 } \{x4/x2\} \\ \text{C6.} & \square \quad \text{Res 5, 3 } \{x2/c, x3/a\} \end{array}$$

- Neste caso, a análise da demonstração mostra que a variável **x4** (o não-dodecaedro) foi inicialmente substituída por **x2** e esta subsequentemente substituída por **c**.
- Assim coloca-se a necessidade de definir a operação de **composição** de substituições, de forma a “seguir o rasto” das variáveis que vão sendo substituídas ao longo da derivação da cláusula vazia.

Composição de Substituições

- Informalmente, a composição de duas substituições σ e ρ garante que um termo a que sejam aplicadas essas substituições em sequência (σ seguida de ρ) fica idêntico ao que ficaria se lhe fosse aplicada directamente a sua composição. Mais formalmente,

Composição de Substituições:

Dadas duas substituições $\sigma = \{ v_1/\tau_1, \dots, v_m/\tau_m \}$ e $\rho = \{ \omega_1/\theta_1, \dots, \omega_n/\theta_n \}$ a sua composição, denotada por $\sigma \circ \rho$, é obtida substituindo em σ todas as ocorrências de qualquer ω_i pelo respectivo θ_i , e unindo o conjunto resultante com ρ .

Exemplo: Para $\sigma = \{ x_1/a, x_2/y_1, x_3/f(y_2) \}$ e $\rho = \{ y_1/b, y_2/y_3 \}$ temos

$$\begin{aligned}\sigma \circ \rho &= \{ x_1/a, x_2/y_1, x_3/f(y_2) \} \circ \{ y_1/b, y_2/y_3 \} \\ &= \{ x_1/a, x_2/b, x_3/f(y_3) \} \cup \{ y_1/b, y_2/y_3 \} \\ &= \{ x_1/a, x_2/b, x_3/f(y_3), y_1/b, y_2/y_3 \}\end{aligned}$$

- Aplicando as substituições σ e ρ em sequência ao termo \mathbf{T} : $P(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3)$
 $P(x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3) \sigma = P(a, y_1, f(y_2), y_1, y_2, y_3)$ e
 $P(a, y_1, f(y_2), y_1, y_2, y_3) \rho = P(a, b, f(y_3), b, y_3, y_3)$

claramente o resultado de aplicar directamente a substituição $\sigma \circ \rho$ ao termo \mathbf{T} .

Composição de Substituições

Exemplo 1 (cont):

C1. $\neg \text{Dodec}(x1) \vee \text{Large}(x1)$

C2. $\neg \text{Dodec}(x2) \vee \text{FrontOf}(x2, a)$

C3. $\neg \text{FrontOf}(c, x3)$

C4. $\text{Dodec}(x4)$

- Regressando ao exemplo inicial verifica-se que em ambos os casos, a composição das duas substituições feitas conduz ao mesmo resultado – o objecto c não pode ser um dodecaedro, contrariamente ao admitido na negação da conclusão. No primeiro caso,

C5. $\text{FrontOf}(x4, a)$ Res 4,2 {x2/x4}

C6. \square Res 5,3 {x4/c, x3/a}

por composição das substituições obtém-se

$$\{x2/x4\} \circ \{x4/c, x3/a\} = \{x2/c\} \cup \{x4/c, x3/a\} = \{x2/c, x3/a, x4/c\}$$

- No segundo caso,

C5. $\text{FrontOf}(x2, a)$ Res 4,2 {x4/x2}

C6. \square Res 5,3 {x2/c, x3/a}

obtemos

$$\{x4/x2\} \circ \{x2/c, x3/a\} = \{x4/c\} \cup \{x2/c, x3/a\} = \{x2/c, x3/a, x4/c\}$$

Factorização de Cláusulas

- Antes de apresentar outros exemplos existe ainda uma situação que precisa de ser analisada.
- Até agora as substituições eram usadas para permitir unificar literais complementares de **duas** cláusulas que seriam resolvidas após aplicação de um unificador mais geral.
- O próximo exemplo mostra que (raramente) pode ser necessário aplicar resolução **numa só** cláusula.
- Mais especificamente, isto pode ser necessário para **factorizar** ocorrências distintas, mas unificáveis, de um literal na mesma cláusula.

Exemplo 2: Paradoxo do Barbeiro

Este problema pode ser ilustrado com o “Paradoxo do Barbeiro”:

Numa aldeia existe um barbeiro que barbeia todas as pessoas que não se barbeiam a si próprios, e apenas essas pessoas.

em que se pretende provar, por contradição, que não existe tal barbeiro, isto é pretende demonstrar-se que se pode obter a contradição a partir da (negação da) fórmula

$$\{ \} \models \neg \exists x (B(x) \wedge \forall y (\neg B(y, y) \leftrightarrow B(x, y)))$$

Factorização de Cláusulas

Exemplo 2 (cont): Passando a fórmula para a forma clausal obtemos as cláusulas

$$\begin{aligned} F1. & \exists x \forall y (B(x) \wedge (\neg B(y, y) \leftrightarrow B(x, y))) \\ \rightarrow & \exists x \forall y (B(x) \wedge (B(y, y) \vee B(x, y)) \wedge (\neg B(y, y) \vee \neg B(x, y))) \\ \rightarrow & \forall y (B(b) \wedge (B(y, y) \vee B(b, y)) \wedge (\neg B(y, y) \vee \neg B(b, y))) \\ \rightarrow & B(b) \wedge \forall y (B(y, y) \vee B(b, y)) \wedge \forall y (\neg B(y, y) \vee \neg B(b, y)) \\ \rightarrow & C1. B(b) \\ & C2. B(y1, y1) \vee B(b, y1) \\ & C3. \neg B(y2, y2) \vee \neg B(b, y2) \end{aligned}$$

- Mas agora somos confrontados com um problema. Para resolver as cláusulas C2 e C3. eliminamos um literal positivo de C1 e um negativo de C2 e obtemos uma cláusula com um literal positivo e outro negativo, que sendo uma tautologia não nos pode conduzir à cláusula vazia. O exemplo abaixo mostra as 4 possíveis resolventes de C2 e C3

$$\begin{aligned} C2. & B(y1, y1) \vee B(b, y1) \\ C3. & \neg B(y2, y2) \vee \neg B(b, y2) \\ C4a. & B(b, y2) \vee \neg B(b, y2) && \text{Res } 2(1), 3(1) \{y1/y2\} \\ C4b. & B(b, b) \vee \neg B(b, b) && \text{Res } 2(1), 3(2) \{y1/b, y2/b\} \\ C4c. & B(b, b) \vee \neg B(b, b) && \text{Res } 2(2), 3(1) \{y1/b, y2/b\} \\ C4d. & B(b, y2) \vee \neg B(b, y2) && \text{Res } 2(2), 3(2) \{y1/y2\} \end{aligned}$$

Factorização de Cláusulas

Exemplo 2 (cont):

- Para ultrapassar este problema deveremos **factorizar** os literais das cláusulas, isto é aplicar-lhes um unificador mais geral e usar idempotência para eliminar um dos literais repetidos.
- O Paradoxo do Barbeiro pode ser resolvidos como ilustrado de seguida, já que negando a conclusão se obtém a cláusula vazia obtida trivialmente, uma vez factorizadas as cláusulas C2 e c3.

$$\{ \} \mid \neg_{\mathcal{R}} \neg \exists x \forall y (B(x) \wedge (\neg B(y, y) \leftrightarrow B(x, y)))$$

C1.	$B(b)$	
C2.	$B(y_1, y_1) \vee B(b, y_1)$	
C3.	$\neg B(y_2, y_2) \vee \neg B(b, y_2)$	
C4.	$B(b, b)$	Fact 2 {y1/b}
C5.	$\neg B(b, b)$	Fact 3 {y2/b}
C6.	\square	Res 4, 5

- Uma vez abordadas as componentes do sistema \mathcal{R} , podemos ilustrar o seu funcionamento num conjunto de demonstrações já utilizadas para o sistema \mathcal{DN} .

Factorização de Cláusulas

Exemplo 3: $\{ \exists x \forall y \text{ NearOf}(x,y) \} \vdash_{\mathcal{R}} \forall y \exists x \text{ NearOf}(x,y)$

- Existindo um objecto “perto” de todos os objectos, então todos os objectos estão perto de algum objecto.

F1. $\exists x \forall y \text{ NearOf}(x,y)$

→ C1. $\text{NearOf}(a,y1)$

F2. $\neg \forall y \exists x \text{ NearOf}(x,y)$

→ $\exists y \forall x \neg \text{NearOf}(y2,b)$

→ C2. $\neg \text{NearOf}(y2,b)$

- A demonstração exige um único passo de resolução:

C1. $\text{NearOf}(a,y1)$

C2. $\neg \text{NearOf}(y2,b)$

C3. \square

Res 1, 2 $\{y1/b, y2/a\}$

Factorização de Cláusulas

Exemplo 4: $\{ \forall y \exists x \text{ NearOf}(x, y) \} \vdash_{\mathcal{R}} \exists x \forall y \text{ NearOf}(x, y)$

- Já a inversa não é verdadeira. Se todos os objectos estão perto de algum objecto, não existe necessariamente um objecto “perto” de todos os objectos.

F1. $\forall y \exists x \text{ NearOf}(x, y)$

→ C1. $\text{NearOf}(f(y1), y1)$

F2. $\neg \exists x \forall y \text{ NearOf}(x, y)$

→ $\forall x \exists y \neg \text{NearOf}(x, y)$

→ C2. $\neg \text{NearOf}(x2, g(x2))$

- Mas agora com a Skolemização das fórmulas, a pseudo-demonstração exigiria que uma variável fosse substituída por um termo contendo essa variável, o que não é permitido numa substituição!

C1. $\text{NearOf}(f(y1), y1)$

C2. $\neg \text{NearOf}(x2, g(x2))$

C3a. $\square \{ x2 / f(g(x2)) \} ???$

C3b. $\square \{ y1 / g(f(y1)) \} ???$

Factorização de Cláusulas

Exemplo 5:

Sabendo que os dodecaedros estão todos à esquerda do objecto **a** e que os tetraedros estão todos à direita de **a**, então todos os objectos na mesma coluna que **a** são cubos.

- Como vimos anteriormente, a conclusão **C** apenas se torna uma consequência lógica das premissas, se elas incluírem não só as fórmulas **F1** e **F2**, como alguns axiomas de Tarski, nomeadamente **A1**, **A2** e **A3**.

F1.	$\forall \mathbf{x} \text{ (Dodec}(\mathbf{x}) \rightarrow \text{LeftOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))$
F2.	$\forall \mathbf{x} \text{ (Tet}(\mathbf{x}) \rightarrow \text{RightOf}(\mathbf{x}, \mathbf{a}))$
A1.	$\forall \mathbf{x} \text{ (Tet}(\mathbf{x}) \vee \text{Cube}(\mathbf{x}) \vee \text{Dodec}(\mathbf{x}))$
A2.	$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \neg \text{(SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \text{LeftOf}(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$
A3.	$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \neg \text{(SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \text{RightOf}(\mathbf{x}, \mathbf{y}))$
C	$\forall \mathbf{x} \text{ (SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \rightarrow \text{Cube}(\mathbf{x}))$

\mathcal{R}

Factorização de Cláusulas

Exemplo 5 (cont):

- Para demonstrar a conclusão, há que passar para a forma clausal quer as premissas quer a negação da conclusão.

$$F1. \forall x (Dodec(x) \rightarrow LeftOf(x, a))$$

$$\rightarrow C1. \neg Dodec(x1) \vee LeftOf(x1, a)$$

$$F2. \forall x (Tet(x) \rightarrow RightOf(x, a))$$

$$\rightarrow C2. \neg Tet(x2) \vee RightOf(x2, a)$$

$$A1. \forall x (Tet(x) \vee Cube(x) \vee Dodec(x))$$

$$\rightarrow C3. Tet(x3) \vee Cube(x3) \vee Dodec(x3)$$

$$A2. \forall x \forall y \neg (SameCol(x, y) \wedge LeftOf(x, y))$$

$$\rightarrow C4. \neg SameCol(x4, y4) \vee \neg LeftOf(x4, y4)$$

$$A3. \forall x \forall y \neg (SameCol(x, y) \wedge RightOf(x, y))$$

$$\rightarrow C5. \neg SameCol(x5, y5) \vee \neg Right(x5, y5)$$

$$\neg C. \neg \forall x (SameCol(x, a) \rightarrow Cube(x))$$

$$\rightarrow \exists x \neg (\neg SameCol(x, a) \vee Cube(x))$$

$$\rightarrow \exists x (SameCol(x, a) \wedge \neg Cube(x))$$

$$\rightarrow SameCol(c, a) \wedge \neg Cube(c)$$

$$\rightarrow C6. SameCol(c, a)$$

$$C7. \neg Cube(c)$$

Factorização de Cláusulas

Exemplo 5 (cont):

- Uma vez obtidas as cláusulas pode obter-se a cláusula vazia, por exemplo com a seguinte resolução linear.

C1.	$\neg \text{Dodec}(x1) \vee \text{LeftOf}(x1, a)$	
C2.	$\neg \text{Tet}(x2) \vee \text{RightOf}(x2, a)$	
C3.	$\text{Tet}(x3) \vee \text{Cube}(x3) \vee \text{Dodec}(x3)$	
C4.	$\neg \text{SameCol}(x4, y4) \vee \neg \text{LeftOf}(x4, y4)$	
C5.	$\neg \text{SameCol}(x5, y5) \vee \neg \text{RightOf}(x5, y5)$	
C6.	$\text{SameCol}(c, a)$	
C7.	$\neg \text{Cube}(c)$	
<hr/>		
C8.	$\text{Tet}(c) \vee \text{Dodec}(c)$	Res 7,3 {x3/c}
C9.	$\text{RightOf}(c, a) \vee \text{Dodec}(c)$	Res 8,2 {x2/c}
C10.	$\neg \text{SameCol}(c, a) \vee \text{Dodec}(c)$	Res 9,5 {x5/c, y5/a}
C11.	$\text{Dodec}(c)$	Res 10,6 { }
C12.	$\text{LeftOf}(c, a)$	Res 11,1 {x1/c}
C13.	$\neg \text{SameCol}(c, a)$	Res 12,4 { }
C14.	\square	Res 13,6 { }

Factorização de Cláusulas

Exemplo 6:

Sabendo que:

- a) Qualquer objecto ao lado de um cubo é mais pequeno (que o cubo);
- b) Qualquer dodecaedro tem um cubo junto a si; e
- c) A relação “junto de” é simétrica (axioma de Tarski);

então pode concluir-se que para qualquer dodecaedro existe um objecto maior do que ele (o dodecaedro).

$$\begin{array}{l|l} \text{F1.} & \forall x (\text{Cube}(x) \rightarrow \forall y (\text{Adjoins}(y,x) \rightarrow \text{Larger}(x,y))) \\ \text{F2.} & \forall x (\text{Dodec}(x) \rightarrow \exists y (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(y,x))) \\ \text{A1.} & \forall x \forall y (\text{Adjoins}(x,y) \rightarrow \text{Adjoins}(y,x)) \\ \hline \text{C.} & \forall y (\text{Dodec}(x) \rightarrow \exists y \text{Larger}(y,x)) \end{array} \quad \mathcal{R}$$

Como anteriormente passemos as premissas e a negação da conclusão para a forma clausal.

Nota: Por contradição deveremos encontrar um dodecaedro que não tem nenhum objecto maior que ele!

Factorização de Cláusulas

Exemplo 6 (cont):

F1. $\forall x (\text{Cube}(x) \rightarrow \forall y (\text{Adjoins}(x,y) \rightarrow \text{Larger}(x,y)))$

→ $\forall x (\neg \text{Cube}(x) \vee \forall y (\neg \text{Adjoins}(x,y) \vee \text{Larger}(x,y)))$

→ $\forall x \forall y (\neg \text{Cube}(x) \vee \neg \text{Adjoins}(x,y) \vee \text{Larger}(x,y))$

→ **C1. $\neg \text{Cube}(x1) \vee \neg \text{Adjoins}(x1,y1) \vee \text{Larger}(x1,y1)$**

F2. $\forall x (\text{Dodec}(x) \rightarrow \exists y (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(x,y)))$

→ $\forall x \exists y (\neg \text{Dodec}(x) \vee (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(x,y)))$

→ **C2. $\neg \text{Dodec}(x2) \vee \text{Cube}(c(x2))$**

→ **C3. $\neg \text{Dodec}(x3) \vee \text{Adjoins}(x3,c(x3))$**

A1. $\forall x \forall y (\text{Adjoins}(x,y) \rightarrow \text{Adjoins}(y,x))$

→ **C4. $\neg \text{Adjoins}(x4,y4) \vee \text{Adjoins}(y4,x4)$**

¬C. $\neg \forall x (\text{Dodec}(x) \rightarrow \exists y \text{Larger}(y,x))$

→ $\neg \forall x \exists y (\neg \text{Dodec}(x) \vee \text{Larger}(y,x))$

→ $\exists x \forall y (\text{Dodec}(x) \wedge \neg \text{Larger}(y,x))$

→ $\forall y (\text{Dodec}(a) \wedge \neg \text{Larger}(y,a))$

→ **C5. $\text{Dodec}(a)$**

→ **C6. $\neg \text{Larger}(y6,a)$** % Nota: O **dodec a** não tem nenhum objecto maior que ele?

Factorização de Cláusulas

Exemplo 6 (cont):

- Uma vez obtidas as cláusulas pode obter-se a cláusula vazia.

C1.	$\neg \text{Cube}(x1) \vee \neg \text{Adjoins}(x1, y1) \vee \text{Larger}(x1, y1)$	
C2.	$\neg \text{Dodec}(x2) \vee \text{Cube}(c(x2))$	
C3.	$\neg \text{Dodec}(x3) \vee \text{Adjoins}(x3, c(x3))$	
C4.	$\neg \text{Adjoins}(x4, y4) \vee \text{Adjoins}(y4, x4)$	
C5.	$\text{Dodec}(a)$	
C6.	$\neg \text{Larger}(y6, a)$	
C7.	$\neg \text{Cube}(x1) \vee \neg \text{Adjoins}(x1, a)$	Res 6, 1 {y6/x1, y1/a}
C8.	$\neg \text{Dodec}(x2) \vee \neg \text{Adjoins}(c(x2), a)$	Res 7, 2 {x1/c(x2)}
C9.	$\neg \text{Adjoins}(c(a), a)$	Res 8, 5 {x2/a}
C10.	$\neg \text{Adjoins}(a, c(a))$	Res 9, 4 {x4/a, y4/c(a)}
C11.	$\neg \text{Dodec}(a)$	Res 10, 3 {x3/a}
C12.	\square	Res 11, 6 { }

- **Nota:** O objecto $y6 = x1 = c(x2) = c(a)$, isto é o cubo que está junto ao **dodecaedro a**, é o objecto que é **maior que a** (o não ser maior conduziu à contradição).

Factorização de Cláusulas

Exemplo 7:

Sabendo que:

- a) Todo o cubo que tem um objecto ao seu lado é pequeno;
- b) Existem um dodecaedro e um cubo ao lado um do outro;
- c) A relação “junto de” é simétrica (axioma de Tarski);

então pode concluir-se que existe um objecto pequeno.

F1.	$\forall x ((\text{Cube}(x) \wedge \exists y \text{Adjoins}(y,x)) \rightarrow \text{Small}(x))$	
F2.	$\exists x (\text{Dodec}(x) \wedge \exists y (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(x,y)))$	
A1.	$\forall x \forall y (\text{Adjoins}(x,y) \rightarrow \text{Adjoins}(y,x))$	
C.	$\exists x \text{Small}(x)$	\mathcal{R}

Como anteriormente passemos as premissas e a negação da conclusão para a forma clausal.

Nota: Por contradição deveremos encontrar um objecto que não é pequeno. Qual?.

Factorização de Cláusulas

Exemplo 7 (cont):

- F1. $\forall x ((\text{Cube}(x) \wedge \exists y \text{Adjoins}(y,x)) \rightarrow \text{Small}(x))$
→ $\forall x (\neg(\text{Cube}(x) \wedge \exists y \text{Adjoins}(y,x)) \vee \text{Small}(x))$
→ $\forall x (\neg\text{Cube}(x) \vee \neg \exists y \text{Adjoins}(y,x) \vee \text{Small}(x))$
→ $\forall x (\neg\text{Cube}(x) \vee \forall y \neg\text{Adjoins}(y,x) \vee \text{Small}(x))$
→ $\forall x \forall y (\neg\text{Cube}(x) \vee \neg\text{Adjoins}(y,x) \vee \text{Small}(x))$
→ **C1. $\neg\text{Cube}(x) \vee \neg\text{Adjoins}(y,x) \vee \text{Small}(x)$**
- F2. $\exists x (\text{Dodec}(x) \wedge \exists y (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(x,y)))$
→ $\exists x \exists y (\text{Dodec}(x) \wedge (\text{Cube}(y) \wedge \text{Adjoins}(x,y)))$
→ **C2. $\text{Dodec}(d)$**
→ **C3. $\text{Cube}(c)$**
→ **C4. $\text{Adjoins}(d,c)$**
- A1. $\forall x \forall y (\text{Adjoins}(x,y) \rightarrow \text{Adjoins}(y,x))$
→ **C5. $\neg\text{Adjoins}(x_5,y_5) \vee \text{Adjoins}(y_5,x_5)$**
- \neg C. $\neg \exists x \text{Small}(x)$
→ $\forall x \neg\text{Small}(x)$
→ **C6. $\neg\text{Small}(x_6)$**

Factorização de Cláusulas

Exemplo 7 (cont):

- Uma vez obtidas as cláusulas pode obter-se a cláusula vazia.

C1.	$\neg \text{Cube}(x1) \vee \neg \text{Adjoins}(y1, x1) \vee \text{Small}(x1)$	
C2.	$\text{Dodec}(d)$	
C3.	$\text{Cube}(c)$	
C4.	$\text{Adjoins}(c, d)$	
C5.	$\neg \text{Adjoins}(x5, y5) \vee \text{Adjoins}(y5, x5)$	
C6.	$\neg \text{Small}(x6)$	
C7.	$\neg \text{Cube}(x1) \vee \neg \text{Adjoins}(y1, x1)$	Res 6, 1 {x6/x1}
C8.	$\neg \text{Adjoins}(y1, c)$	Res 7, 3 {x1/c}
C9.	$\neg \text{Adjoins}(c, y1)$	Res 8, 5 {x5/c, y5/y1}
C10.	\square	Res 9, 5 {y1/d}

- **Nota:** Similarmente ao caso anterior, $x6 = x1 = c$, isto é, o cubo que está junto ao **dodecaedro d**, é o objecto que é **pequeno** (o facto de não o ser, conduziu à cláusula vazia / contradição).