

# Lógica Computacional

---

Axiomas do Mundo dos Blocos

Algumas Inferências Analíticas

Consistência e completude do sistema DN

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- A linguagem do mundo dos blocos que temos utilizado, chamemos-lhe Tarski, foi definida com os seguintes símbolos funcionais e predicativos:

**Tarski = <SF, SP>**

- **SF = SF<sub>0</sub>**
- Constantes: nomes que se podem dar a blocos
  - SF<sub>0</sub> = {a,b,c,d, ...}
- **SP = SP<sub>1</sub> ∪ SP<sub>2</sub> ∪ SP<sub>3</sub>**

Predicados Unários: Propriedades de tamanho e tipo dos blocos.

- SP<sub>1</sub> = { Cube, Tet, Dodec, Small, Medium, Large }
- Predicados Binários: Igualdade e Relações de tamanho, tipo, posição entre blocos
  - SP<sub>2</sub> = { =, Larger, Smaller, SameSize, SameShape, FrontOf, BackOf, SameRow, LeftOf, RightOf, SameCol, Adjoins }
- Predicados Ternários: Bloco entre 2 blocos (os 3 blocos alinhados)
  - SP<sub>3</sub> = { Between },

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Se a semântica associada aos predicados for axiomatizada, as inferências correspondentes a consequências analíticas passam a ser consequências lógicas das premissas e dos axiomas de Tarski.

## Axiomas de Forma

- Exclusividade: Não pode haver um bloco com duas formas diferentes

$$\begin{aligned} &\neg \exists \mathbf{x} (\text{Cube}(\mathbf{x}) \wedge \text{Tet}(\mathbf{x})) \\ &\neg \exists \mathbf{x} (\text{Tet}(\mathbf{x}) \wedge \text{Dodec}(\mathbf{x})) \\ &\neg \exists \mathbf{x} (\text{Dodec}(\mathbf{x}) \wedge \text{Cube}(\mathbf{x})) \end{aligned}$$

- Exaustividade : Apenas existem os três tipos de blocos

$$\forall \mathbf{x} (\text{Tet}(\mathbf{x}) \vee \text{Dodec}(\mathbf{x}) \vee \text{Cube}(\mathbf{x}))$$

- Na linguagem Traski, existe um outro predicado, **SameShape/2**, que tem de ser relacionado com este predicados unários.

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

## - Introdução de **SameShape/2**

$$\forall x \forall y ( (\text{Tet}(x) \wedge \text{Tet}(y)) \rightarrow \text{SameShape}(x, y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{Cube}(x) \wedge \text{Cube}(y)) \rightarrow \text{SameShape}(x, y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{Dodec}(x) \wedge \text{Dodec}(y)) \rightarrow \text{SameShape}(x, y) )$$

## - Eliminação de **SameShape/2**

$$\forall x \forall y ( (\text{SameShape}(x, y) \wedge \text{Tet}(x)) \rightarrow \text{Tet}(y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{SameShape}(x, y) \wedge \text{Cube}(x)) \rightarrow \text{Cube}(y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{SameShape}(x, y) \wedge \text{Dodec}(x)) \rightarrow \text{Dodec}(y) )$$

- O predicado **SameShape/2** corresponde a uma relação de equivalência, gozando das propriedades *reflexivas, simétrica e transitiva*

$$\forall x \text{ SameShape}(x, x)$$

$$\forall x \forall y ( \text{SameShape}(x, y) \rightarrow \text{SameShape}(y, x) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{SameShape}(x, y) \wedge \text{SameShape}(y, z)) \rightarrow \text{SameShape}(x, z) )$$

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Axiomas semelhantes podem ser definidos para os tamanhos dos cubos.

## Axiomas de Tamanho

- Exclusividade: Não pode haver um bloco com duas tamanhos diferentes

$$\begin{aligned} &\neg \exists x \text{ (Small}(x) \wedge \text{Medium}(x)) \\ &\neg \exists x \text{ (Small}(x) \wedge \text{Large}(x)) \\ &\neg \exists x \text{ (Medium}(x) \wedge \text{Large}(x)) \end{aligned}$$

- Exaustividade : Apenas existem os três tipos de tamanhos

$$\forall x \text{ (Small}(x) \vee \text{Medium}(x) \vee \text{Large}(x))$$

- Na linguagem Tarski, existe um outro predicado, **SameSize/2**, que tem de ser relacionado com este predicados unários.

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

## - Introdução de **SameSize/2**

$$\forall x \forall y ((\text{Small}(x) \wedge \text{Small}(y)) \rightarrow \text{SameSize}(x, y))$$

$$\forall x \forall y ((\text{Medium}(x) \wedge \text{Medium}(y)) \rightarrow \text{SameSize}(x, y))$$

$$\forall x \forall y ((\text{Large}(x) \wedge \text{Large}(y)) \rightarrow \text{SameSize}(x, y))$$

## - Eliminação de **SameSize/2**

$$\forall x \forall y ((\text{SameSize}(x, y) \wedge \text{Small}(x)) \rightarrow \text{Small}(y))$$

$$\forall x \forall y ((\text{SameSize}(x, y) \wedge \text{Medium}(x)) \rightarrow \text{Medium}(y))$$

$$\forall x \forall y ((\text{SameSize}(x, y) \wedge \text{Large}(x)) \rightarrow \text{Large}(y))$$

- Tal como o predicado **SameShape/2**, também o predicado **SameSize/2** corresponde a uma relação de equivalência, gozando das propriedades *reflexivas*, *simétrica* e *transitiva*

$$\forall x \quad \text{SameSize}(x, x)$$

$$\forall x \forall y (\text{SameSize}(x, y) \rightarrow \text{SameSize}(y, x))$$

$$\forall x \forall y ((\text{SameSize}(x, y) \wedge \text{SameSize}(y, z)) \rightarrow \text{SameSize}(x, z))$$

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- No caso dos tamanhos há que considerar igualmente a ordenação dos tamanhos expressa na relação Larger/2 (e Smaller/2).

- Introdução de **Larger/2**

$$\forall x \forall y ( (\text{Medium}(x) \wedge \text{Small}(y)) \rightarrow \text{Larger}(x, y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{Large}(x) \wedge \text{Small}(y)) \rightarrow \text{Larger}(x, y) )$$

$$\forall x \forall y ( (\text{Large}(x) \wedge \text{Medium}(y)) \rightarrow \text{Larger}(x, y) )$$

- Eliminação de **Larger/2**

$$\forall x \forall y ( (\text{Larger}(x, y) \rightarrow ( (\text{Large}(x) \wedge \text{Medium}(y))$$

$$\vee (\text{Large}(x) \wedge \text{Small}(y))$$

$$\vee (\text{Medium}(x) \wedge \text{Small}(y)) ) )$$

- Equivalência de Larger/2 e Smaller/2

$$\forall x \forall y ( (\text{Larger}(x, y) \leftrightarrow \text{Smaller}(y, x) )$$

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Para os predicados de posição há que considerar as relações de equivalência estabelecidas pelos predicados **SameRow/2** e **SameCol/2**, com as suas propriedades reflexiva, simétrica e transitiva.

$$\forall \mathbf{x} \quad \text{SameRow}(\mathbf{x}, \mathbf{x})$$

$$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \quad (\text{SameRow}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rightarrow \text{SameRow}(\mathbf{y}, \mathbf{x}))$$

$$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \quad ((\text{SameRow}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \text{SameRow}(\mathbf{y}, \mathbf{z})) \rightarrow \text{SameRow}(\mathbf{x}, \mathbf{z}))$$

$$\forall \mathbf{x} \quad \text{SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{x})$$

$$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \quad (\text{SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \rightarrow \text{SameCol}(\mathbf{y}, \mathbf{x}))$$

$$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \quad ((\text{SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \text{SameCol}(\mathbf{y}, \mathbf{z})) \rightarrow \text{SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{z}))$$

- Adicionalmente há que estabelecer que dois objectos diferentes não podem ocupar a mesma posição

$$\forall \mathbf{x} \forall \mathbf{y} \quad ((\text{SameCol}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \wedge \text{SameRow}(\mathbf{x}, \mathbf{y})) \leftrightarrow \mathbf{x} = \mathbf{y})$$



# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Os predicados **FrontOf/2**, **BackOf/2** e **SameRow/2** gozam das seguintes propriedades:

- Exclusividade

$$\neg \exists x \exists y ( \text{BackOf}(x, y) \wedge \text{SameRow}(x, y) )$$

$$\neg \exists x \exists y ( \text{BackOf}(x, y) \wedge \text{FrontOf}(x, y) )$$

$$\neg \exists x \exists y ( \text{SameRow}(x, y) \wedge \text{FrontOf}(x, y) )$$

- Exaustividade:

$$\forall x \forall y ( \text{BackOf}(x, y) \vee \text{SameRow}(x, y) \vee \text{FrontOf}(y, x) )$$

- O predicados **BackOf/2** goza da propriedade *transitiva*.

$$\forall x \forall y ( ( \text{BackOf}(x, y) \wedge \text{BackOf}(y, z) ) \rightarrow \text{BackOf}(x, z) )$$

- O predicado **FrontOf/2** é equivalente ao predicado **BackOf/2** com os argumentos trocados.

$$\forall x \forall y ( \text{FrontOf}(x, y) \leftrightarrow \text{BackOf}(y, x) )$$

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Os predicados **RightOf/2**, **LeftOf/2** e **SameCol/2** têm propriedades semelhantes.
- Exclusividade

$$\begin{aligned} & \neg \exists x \exists y (\text{LeftOf}(x, y) \wedge \text{SameCol}(x, y)) \\ & \neg \exists x \exists y (\text{LeftOf}(x, y) \wedge \text{RightOf}(x, y)) \\ & \neg \exists x \exists y (\text{SameCol}(x, y) \wedge \text{RightOf}(x, y)) \end{aligned}$$

- Exaustividade:

$$\forall x \forall y (\text{LeftOf}(x, y) \vee \text{SameCol}(x, y) \vee \text{RightOf}(y, x))$$

- O predicados **LeftOf/2** goza da propriedade *transitiva*.

$$\forall x \forall y ((\text{LeftOf}(x, y) \wedge \text{LeftOf}(y, z)) \rightarrow \text{LeftOf}(x, z))$$

- O predicado **RightOf/2** é equivalente ao predicado **LeftOf/2** com os argumentos trocados.

$$\forall x \forall y (\text{RightOf}(x, y) \leftrightarrow \text{LeftOf}(y, x))$$

# Axiomas do Mundo dos Blocos

---

- Os predicados **Adjoins/2** e **Between/3** requerem uma representação mais completa sobre o número da linha e da coluna em que se encontra cada objecto.
- Apenas se apresenta abaixo um axioma definidor do predicado **Adjoins/2**

$$\begin{aligned} \forall x \forall y \text{ (Adjoins}(x, y) \leftrightarrow & \\ & ((\text{row}(x) = \text{row}(y) \wedge \text{col}(x) = \text{col}(y)+1) \vee \\ & (\text{row}(x) = \text{row}(y) \wedge \text{col}(x)+1 = \text{col}(y)) \vee \\ & (\text{row}(x) = \text{row}(y)+1 \wedge \text{col}(x) = \text{col}(y)) \vee \\ & (\text{row}(x)+1 = \text{row}(y) \wedge \text{col}(x) = \text{col}(y))) \end{aligned}$$

- Esta definição pressupõe que a linguagem Tarski seja estendida, nomeadamente com símbolos funcionais
  - $SF_0$  - A constante 1
  - $SF_1$  - Os símbolos funcionais **row/1** e **col/1**.
  - $SF_2$  - O símbolo funcional **+/2**

para além de alguma axiomatização da aritmética (propriedades da soma)

# Demonstrações "Analíticas"

---

- A partir dos axiomas do Mundo de Blocos podem deduzir-se logicamente algumas propriedades que anteriormente apenas se poderiam obter analiticamente.
- Por exemplo:

$\{ \text{Larger}(a,b) , \text{Medium}(b) \} \vdash_{\text{DN}} \text{Large}(a)$

$\{ \text{Tet}(a) , \text{Cube}(b) \} \vdash_{\text{DN}} a \neq b$

$\{ \text{Larger}(a,b) , \text{Larger}(b,c) \} \vdash_{\text{DN}} \text{Large}(a)$

$\{ \text{Larger}(a,b) , \text{Larger}(b,c) \} \vdash_{\text{DN}} \text{Medium}(b)$

$\{ \text{Adjoins}(a,b) , \text{LeftOf}(a,b) \} \vdash_{\text{DN}} \text{SameRow}(a,b)$

$\{ \text{Between}(a,b,c) , \text{LeftOf}(a,b) \} \vdash_{\text{DN}} \text{RightOf}(a,c)$

No entanto estas demonstrações são bastante "entediantes" como se pode ver no primeiro caso (os outros ficam para exercício)

# Demonstrações "Analíticas"

Exemplo:  $\{ \text{Larger}(a,b) , \text{Medium}(b) \} \models_{\text{DN}} \text{Large}(a)$   
 $(\text{Larger}(a,b) \wedge \text{Medium}(b)) \rightarrow \text{Large}(a)$

1.	$\text{Larger}(a,b) \wedge \text{Medium}(b)$	<b>Elim <math>\forall</math> : Axioma</b>	<b>&amp;</b>
2.	$\text{Larger}(a,b)$	<b>Elim <math>\rightarrow</math> : 2, Axioma'</b>	
3.	$(\text{Large}(a) \wedge \text{Medium}(b)) \vee (\text{Medium}(a) \wedge \text{Small}(b)) \vee (\text{Large}(a) \wedge \text{Small}(b))$		
4.	$\text{Large}(a) \wedge \text{Medium}(b)$		
5.	$\text{Large}(a)$		
6.	$\text{Medium}(a) \wedge \text{Small}(b)$		
7.	$\text{Small}(b)$		
8.	$\text{Medium}(b)$		
9.	$\exists x (\text{Small}(x) \wedge \text{Medium}(x))$	<b>Intr <math>\exists</math> : " 7 &amp; 8 "</b>	
10.	$\perp$	<b>Intr <math>\perp</math> : 9, Axioma</b>	
11.	$\text{Large}(a)$	<b>Elim <math>\perp</math> : 10</b>	
12.	$\text{Large}(a) \wedge \text{Small}(b)$		
13.	$\text{Large}(a)$		
14.	$\text{Large}(a)$	<b>Elim <math>\vee</math> : 3, 4-5, 6-11, 12-13</b>	

# Métodos de Demonstração com Quantificadores

**Exemplo:** Ordem de Quantificadores 1

$$\exists y \forall x \varphi(x, y) \rightarrow \forall x \exists y \varphi(x, y)$$

Se existe um bloco junto a todos os blocos, então todos os blocos têm um bloco junto deles!

1.	$\exists x \forall y \text{ Adjoins}(x, y)$	
2.	$a: \forall y \text{ Adjoins}(a, y)$	
3.	$b:$	
4.	$\text{Adjoins}(a, b)$	Elim $\forall$ : 2
5.	$\exists x \text{ Adjoins}(x, b)$	Intr $\exists$ : 4
6.	$\forall y \exists x \text{ Adjoins}(x, y)$	Intr $\forall$ : 3 - 5
7.	$\forall y \exists x \text{ Adjoins}(x, y)$	Elim $\exists$ : 1, 2 - 6

- Mas será que existe um bloco “junto a todos os blocos” ?
- Será que esse bloco está junto a si próprio?

# Métodos de Demonstração com Quantificadores

**Exemplo:** Ordem de Quantificadores 2

$$\exists y \forall x \varphi(x, y) \rightarrow \forall x \exists y \varphi(x, y)$$

- O problema não está na demonstração mas sim na premissa que viola os axiomas de posição. A mesma demonstração será válida com um predicado reflexivo, como por exemplo para o predicado `NearOf/2` definido como:

$$\forall x \forall y (\text{NearOf}(x, y) \leftrightarrow (\text{Adjoins}(x, y) \vee x = y))$$

1.	$\exists x \forall y \text{NearOf}(x, y)$	
2.	$a: \forall y \text{NearOf}(a, y)$	
3.	$b:$	
4.	$\text{NearOf}(a, b)$	Elim $\forall$ : 2
5.	$\exists x \text{NearOf}(x, b)$	Intr $\exists$ : 4
6.	$\forall y \exists x \text{NearOf}(x, y)$	Intr $\forall$ : 3 - 5
7.	$\forall y \exists x \text{NearOf}(x, y)$	Elim $\exists$ : 1, 2 - 6

# Métodos de Demonstração com Quantificadores

**Exemplo:** Ordem de Quantificadores 3

$$\neg ( \forall x \exists y \varphi(x,y) \rightarrow \exists y \forall x \varphi(x,y) )$$

Se todos os blocos têm um bloco ao pé de si, será que existe um bloco ao pé de todos os blocos?

- Claramente a resposta é não! E no entanto uma demonstração “errada” consegue provar este resultado.

1.	$\forall x \exists y \text{NearOf}(x,y)$	
2.	$a: \forall x \text{NearOf}(x,a)$	
3.	$\exists y \forall x \text{NearOf}(x,y)$	Intr $\exists$ : 3
4.	$\exists y \forall x \text{NearOf}(x,y)$	Elim $\exists$ : 1, 2 - 3

- O erro está na hipótese utilizada, que atribui um nome a uma variável que está quantificada existencialmente, mas em que o quantificador não é o primeiro da fórmula utilizada!



# Métodos de Demonstração com Quantificadores

## Exemplo: Paradoxo do Barbeiro

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

- Na realidade não pode existir tal situação como se prova na demonstração seguinte:

1.	$\exists x (B(x) \wedge \forall y (\neg B(y,y) \leftrightarrow B(x,y)))$	
2.	$b: B(b) \wedge \forall y (\neg B(y,y) \leftrightarrow B(b,y))$	
3.	$\forall y (\neg B(y,y) \leftrightarrow B(b,y))$	Elim $\wedge$ : 2
4.	$\neg B(b,b) \leftrightarrow B(b,b)$	Elim $\forall$ : 3
5.	$B(b,b)$	
6.	$\neg B(b,b)$	Elim $\leftrightarrow$ : 4,5
7.	$\perp$	Intr $\perp$ : 4,5
8.	$\neg B(b,b)$	Intr $\neg$ : 4,5
9.	$B(b,b)$	Elim $\leftrightarrow$ : 4,8
10.	$\perp$	Intr $\perp$ : 8,9
11.	$\perp$	Elim $\exists$ : 1, 2 - 10
12.	$\neg \exists x (B(x) \wedge \forall y (\neg B(y,y) \leftrightarrow B(x,y)))$	Intr $\neg$ : 1 - 11

# Sistema de Dedução Natural: Coerência e Completude

---

- O sistema de Dedução Natural **DN** apresentado contém regras de inferência de introdução e eliminação de operadores e quantificadores nomeadamente

$\wedge$ <b>Conjunção</b>	$\neg$ <b>Negação</b>	$\rightarrow$ <b>Implicação</b>	<b>= Igualdade</b>
$\vee$ <b>Disjunção</b>	$\perp$ <b>Contradição</b>	$\leftrightarrow$ <b>Equivalência</b>	<b><math>\forall</math> Q. Universal</b>
			<b><math>\exists</math> Q. Existencial</b>

- Adicionalmente verificamos que o sistema **T**, correspondendo ao sistema **DN** restrito aos 6 operadores iniciais  $\{\wedge, \vee, \neg, \perp, \rightarrow, \leftrightarrow\}$  é coerente e completo isto é, qualquer fórmula bem formada escrita com esses operadores pode ser demonstrada através das regras do sistema se e apenas se for uma consequência **tautológica** das premissas.

- **Coerência do sistema T:**

- O sistema restrito de dedução natural **T**, é *tautologicamente* coerente.

$$\Phi \vdash_{\mathbf{T}} \varphi \quad \Rightarrow \quad \Phi \models_{\mathbf{T}} \varphi$$

- **Completude do sistema T:**

- O sistema restrito de dedução natural **T**, é *tautologicamente* completo.

$$\Phi \models_{\mathbf{T}} \varphi \quad \Rightarrow \quad \Phi \vdash_{\mathbf{T}} \varphi$$

# Sistema de Dedução Natural: Coerência e Completude

---

- As limitações de representação e de regras de demonstração do sistema T garantiam que apenas se poderiam considerar universos (domínios de discurso) finitos.
- Neste contexto, e assumindo que as fórmulas atómicas têm apenas dois valores de verdade possíveis {Verdade, Falso} existem um número finito de valorações para um conjunto de premissas envolvendo  $n$  fórmulas atómicas, mais exactamente  $2^n$ .
- Apesar de este número crescer muito rapidamente com  $n$ ,  $2^n$  é um número finito, e portanto é possível avaliar **em tempo finito** se uma fórmula  $\varphi$  é uma consequência tautológica de um conjunto de premissas  $\Phi$ .
- No caso do sistema de Dedução Natural DN os pressupostos acima já não são válidos. Em particular, fórmulas quantificadas, mesmo que de tamanho finito, podem referir-se a um conjunto infinito de objectos.
- Por exemplo, as fórmulas abaixo definem o conjunto (infinito) de números inteiros
  - **Integer (0)**
  - **$\forall x$  (Integer(x)  $\rightarrow$   $\exists y$  (Integer(y)  $\wedge$  suc(y,x)))**

# Sistema de Dedução Natural: Coerência e Completude

---

- No caso do sistema de Dedução Natural DN os pressupostos acima já não são válidos. Em particular um problema que se coloca é o de saber se será possível verificar em tempo finito se uma fórmula é ou não uma consequência lógica de um conjunto de premissas. “Infelizmente”, tal não é em geral possível.

## Teorema da Incompletude (de Gödel)

Qualquer sistema com um poder de expressão pelo menos igual ao necessário para axiomatizar a aritmética **não é decidível**, isto é, existem fórmulas  $\Phi$  e  $\varphi$  para as quais não é possível determinar, em tempo finito ou infinito, se  $\Phi \models \varphi$ .

- No entanto, em muitos casos de interesse, esta questão pode ser resolvida em tempo finito (caso contrário, a aritmética não podia ter sido desenvolvida!).
- Nestes casos coloca-se a questão de saber se será possível obter demonstrações finitas de uma fórmula  $\varphi$  a partir de um conjunto de premissas  $\Phi$ , sendo estas fórmulas todas FBFs de uma linguagem de primeira ordem.

# Sistema de Dedução Natural: Coerência e Completude

---

- De facto as propriedades de Coerência e Completude podem ser obtidas para o sistema DN de Dedução Natural, contendo as regras de introdução e de eliminação dos operadores

$\wedge$ <b>Conjunção</b>	$\neg$ <b>Negação</b>	$\rightarrow$ <b>Implicação</b>	<b>= Igualdade</b>
$\vee$ <b>Disjunção</b>	$\perp$ <b>Contradição</b>	$\leftrightarrow$ <b>Equivalência</b>	<b><math>\forall</math> Q. Universal</b>
			<b><math>\exists</math> Q. Existencial</b>

O sistema **DN** é **coerente** e **completo** isto é, qualquer fórmula bem formada escrita com esses operadores pode ser demonstrada através das regras do sistema se e apenas se for uma consequência **lógica** (FO) das premissas.

## Coerência do sistema DN:

- O sistema restrito de dedução natural DN, é coerente logicamente (FO).

$$\Phi \vdash_{\text{DN}} \varphi \implies \Phi \models_{\text{FO}} \varphi$$

## Completude do sistema DN:

- O sistema restrito de dedução natural DN, é completo logicamente (FO).

$$\Phi \models_{\text{FO}} \varphi \implies \Phi \vdash_{\text{DN}} \varphi$$