

Lógica em Coq

Introdução ao assistente de provas Coq

Rodrigo Ribeiro

Lógica Proposicional em Coq

► Implicação

```
Variables A B C : Prop.
```

```
Theorem first_theorem : (A -> B) -> A -> B.
```

```
Proof....
```

Lógica Proposicional em Coq

- Estado inicial da prova

1 subgoal, subgoal 1 (ID 1)

A, B, C : Prop

=====

(A -> B) -> A -> B

Lógica Proposicional em Coq

- Após a execução da tática `intro Hab`.

```
1 subgoal, subgoal 1 (ID 2)
```

```
A, B, C : Prop
```

```
Hab : A -> B
```

```
=====
```

```
A -> B
```

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ Após a execução da tática `intro Hab`

1 subgoal, subgoal 1 (ID 3)

A, B, C : Prop

Hab : A -> B

Ha : A

=====

B

Lógica Proposicional em Coq

- Após a execução da tática `apply Hab`

1 subgoal, subgoal 1 (ID 3)

A, B, C : Prop

Hab : A -> B

Ha : A

=====

A

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ Ao executarmos a tática `assumption...`

No more subgoals.

`(dependent evars: (printing disabled))`

- ▶ Demonstração encerrada! Comando `Qed` encerra uma prova em Coq.

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ **Conjunção**

- ▶ Tática `split` divide a conclusão $A \wedge B$ em duas conclusões.
- ▶ Tática `destruct H as [Ha Hb]` divide a hipótese $H : A \wedge B$ nas hipóteses $Ha : A$ e $Hb : B$.

Lógica Proposicional em Coq

```
Lemma and_comm : A /\ B -> B /\ A.
```

```
Proof.
```

```
  intro Hab.
```

```
  destruct Hab as [Ha Hb].
```

```
  split.
```

```
  +
```

```
    assumption.
```

```
  +
```

```
    assumption.
```

```
Qed.
```

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ Bicondicional

- ▶ Tática `unfold` pode ser utilizada para substituir um nome por sua definição em uma hipótese ou conclusão.

`Definition iff (A B : Prop) : Prop := (A -> B) /\ (B -> A).`

Lógica Proposicional em Coq

```
Lemma and_comm_iff : (A /\ B) <-> (B /\ A).
```

```
Proof.
```

```
  unfold iff.
```

```
  split.
```

```
  +
```

```
    apply and_comm.
```

```
  +
```

```
    intro Hba.
```

```
    destruct Hba as [Hb Ha].
```

```
    split.
```

```
    *
```

```
      assumption.
```

```
    *
```

```
      assumption.
```

```
Qed.
```

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ Negação

- ▶ False: proposição para a qual não há demonstração.

Definition not (A : Prop) : Prop := A -> False.

Lógica Proposicional em Coq

Lemma modus_tollens : ((A -> B) /\ ~ B) -> ~ A.

Proof.

intro H.

destruct H as [Hb Hnb].

unfold not.

unfold not in Hnb.

intro Ha.

apply Hnb.

apply Hb.

assumption.

Qed.

Lógica Proposicional em Coq

- ▶ Contradição

- ▶ Tática `contradiction` resolve qualquer conclusão a partir das hipóteses A e $\sim A$, para qualquer proposição A

Lemma `contra` : $A \rightarrow \sim A \rightarrow B$.

Proof.

 intro Ha.

 intro Hna.

 contradiction.

Qed.

Lógica Proposicional em Coq

► Disjunção

- Tática `left` modifica a conclusão de $A \vee B$ para A .
- Tática `right` modifica a conclusão de $A \vee B$ para B .
- Se $H : A \vee B$ é uma hipótese, a tática `destruct H as [Ha | Hb]`, divide o estado de prova atual em dois: um contendo a hipótese $H_a : A$ e outro contendo a hipótese $H_b : B$.

Lógica Proposicional em Coq

```
Lemma or_comm : (A \/ B) -> (B \/ A).
```

```
Proof.
```

```
  intro Hab.
```

```
  destruct Hab as [Ha | Hb].
```

```
  +
```

```
    right.
```

```
    assumption.
```

```
  +
```

```
    left.
```

```
    assumption.
```

```
Qed.
```


Lógica de Predicados em Coq

- Definições de predicados, universo de discurso.

```
Hypothesis U : Set.
```

```
Hypothesis u : U.
```

```
Hypothesis P : U -> Prop.
```

```
Hypothesis Q : U -> Prop.
```

```
Hypothesis R : U -> Prop.
```

Lógica de Predicados em Coq

- ▶ Sobre universos: Set e Prop
 - ▶ Teoria de tipos como resposta às inconsistências descobertas por Russell.
 - ▶ Paradoxo de Russell: “Um certo barbeiro só faz a barba de quem não faz a própria barba. O barbeiro faz a própria barba?”
- ▶ Hierarquia de universos resolve essa inconsistência.

Lógica de Predicados em Coq

- Quantificador universal.

Lemma forall_and

```
: (forall x : U, P x /\ Q x) ->  
  ((forall x : U, P x) /\ (forall x : U, Q x)).
```

Proof.

```
  intro H.
```

```
  split.
```

```
  +
```

```
    intro y.
```

```
    destruct (H y).
```

```
    assumption.
```

```
  +
```

```
    intro y.
```

```
    destruct (H y).
```

```
    assumption.
```

Qed.

Lógica de Predicados em Coq

```
Lemma forall_modus_ponens
  : ((forall x : U, P x -> Q x) /\
      (forall y : U, Q y -> R y)) ->
      (forall z : U, P z -> R z).
```

Proof.

```
  intro Hpqr.
  destruct Hpqr as [Hpq Hqr].
  intro z.
  intro Hpz.
  apply Hqr.
  apply Hpq.
  assumption.
```

Qed.

Lógica de Predicados em Coq

► Quantificador existencial

Lemma ex_or :

(exists x : U, P x \vee Q x) ->

(exists x : U, P x) \vee (exists y : U, Q y).

Proof.

intro Hpq.

destruct Hpq as [x [Hpx | Hqx]].

+

left.

exists x.

assumption.

+

right.

exists x.

assumption.

Qed.

Lógica em Coq

- ▶ Táticas são idênticas a regras da dedução natural.
- ▶ Demonstrações que não dependem do terceiro excluído podem ser demonstrados pelas táticas apresentadas.