

# O algoritmo de conversão de Autômato Finito Não-Determinístico - AFND para Expressão Regular - ER

Eduardo Couto Dinarte,  
Iago Gade Gusmao Carrazzoni,  
Lucca Maciel de Moraes

16 de Novembro de 2018

## Resumo

Este artigo consiste na apresentação e explicação de um algoritmo para converter um autômato finito não determinístico num autômato finito determinístico e, por fim, converter este numa expressão regular. O método consiste em apresentar a teoria com imagens dos três estados da conversão seguida de um exemplo prático. O objetivo deste texto é fixar o conteúdo de conversão de autômatos e familiarizar os autores com a produção de artigos científicos utilizando a linguagem Latex.

## 1 Introdução aos Autômatos

Um autômato é uma máquina abstrata que deve operar entre estados previamente definidos. É um modelo matemático utilizado para representar programas ou circuitos lógicos. É bem definido por uma quintupla, cujos elementos são:

- Conjunto de estados ( $K$ );
- Alfabeto ( $A$ );
- Estado inicial ( $S$ );
- Conjunto de estados finais ( $F$ );
- Função de transição (ou função delta).

A função de transição, por sua vez, é representada por uma tripla ordenada, onde os elementos são:

- Estado inicial;
- Transição;
- Estado final;

## 2 Introdução ao Autômato Finito Não-Determinístico - AFND

Autômato finito não determinístico é aquele em que, em algum momento, não se tem certeza de qual é o estado atual, ou seja, é aquele que tem a palavra vazia ligando algum de seus estados.



## 3 Introdução ao Autômato Finito Determinístico - AFD

Autômato finito determinístico é aquele em que se sabe exatamente qual o estado atual, ou seja, é aquele que não tem estados simultâneos ( estados ligados por palavras vazias).



## 4 Introdução à Expressão Regular - ER

Expressão regular é uma cadeia de caracteres que engloba todas as palavras aceitas pelo autômato. Um autômato reduzido a expressão regular possui apenas um estado inicial e um estado final, ligados pela expressão regular.



No tipo citado, é comum a aparição do caractere  $\vee$ , assim como o parêntese. Este se aplica da mesma forma que na matemática. Aquele é o conectivo lógico 'ou', que se aplica da mesma forma que na lógica.

Também é comum a aparição do caractere '\*' na expressão regular. Ele se chama estrela de Kleene, e denota zero ou mais repetições do caractere ( ou cadeia de caracteres ) ao qual foi aplicado.

No exemplo acima, a estrela de Kleene foi aplicada ao caractere 'a' e à expressão  $(b \vee c)$ . Neste, quer dizer que zero ou mais repetições da cadeia denotada serão aceitas, enquanto naquele, zero ou mais repetições do caractere denotado serão aceitos.

## 5 Conversão de AFND para AFD

Para essa conversão, é utilizado o Algoritmo de Conversão de um Autômato Finito Não-determinístico (AFND) em um Autômato Finito Determinístico, que consiste em:

- Identificar os estados simultâneos do AFND;
- Identificar o estado inicial  $P_0$ , o qual seu conjunto possui apenas o estado inicial da AFND;
- Aplicar em  $P_0$  a leitura de todo o alfabeto. O conjunto novo será composto pelo lugar da chegada;
- Identificar os estados resultantes;
- Para cada estado resultante criado, aplica-se o alfabeto;
- Repetir o procedimento até que não existam mais estados novos;
- Identificar os estados finais, que serão aqueles estados que possuírem os estados finais da AFND;
- Montar a quintupla do AFD;
- Por fim, esboçar o grafo.

Para exemplificar, será realizada a conversão do AFND a seguir, cuja quintupla é:

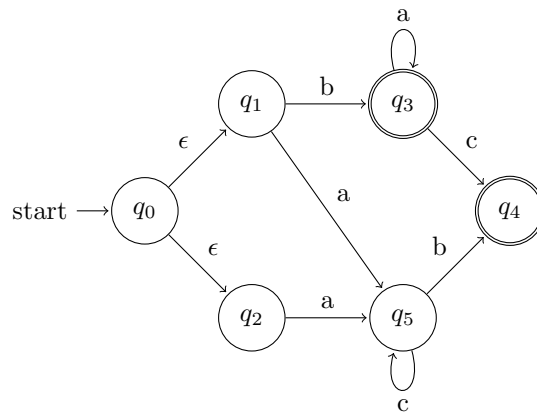
$K = 0, 1, 2, 3, 4, 5$

$A = a, b, c$

$S = 0$

$F = 3, 4$

$D = (0, \epsilon, 1),$   
 $(0, \epsilon, 2),$   
 $(1, b, 3), (1, a, 5),$   
 $(2, a, 5)$   
 $(3, a, 3),$   
 $(3, c, 4),$   
 $(5, c, 5),$   
 $(5, b, 4).$



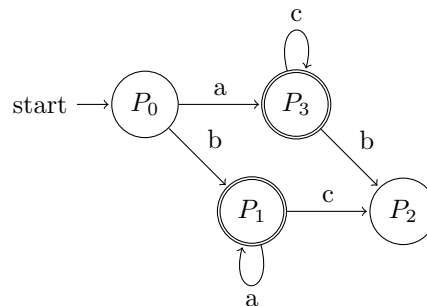
Daqui em diante as seguintes notações serão usadas:

- $E(x)$ : denota o conjunto de estados simultâneos a  $x$ ;
- $P(x)$ : denota um estado maior, que engloba vários outros;
- $D(P(x), A)$ : denota a função delta de  $P(x)$  aplicando o alfabeto.

Seguindo o algoritmo, o procedimento será o seguinte:

- Identificar os estados simultâneos do AFND:  
 $E(0) = 0, 1, 2$   
 $E(1) = 1$   
 $E(2) = 2$   
 $E(3) = 3$   
 $E(4) = 4$   
 $E(5) = 5$
- identificar o estado inicial  $P_0$ , o qual seu conjunto possui o estado inicial da AFND:  
 $P(0) = E(0) = 0, 1, 2$
- aplicar em  $P_0$  a leitura de todo o alfabeto. O conjunto novo será composto pelo lugar da chegada:  
 $D(P(0), a) = (1, a, 5) \cup (2, a, 5) = E(5) \cup E(5) = 5$   
 $D(P(0), b) = (1, b, 3) = E(3) = 3$   
 $D(P(0), c) = \text{vazio}$

- Identificar os estados resultantes:  
 $P(1) = D(P(0), a) = E(5) = 5$   
 $P(2) = D(P(0), b) = E(3) = 3$
- para cada estado resultante criado, aplica-se o alfabeto:  
 $D(P(1), a) = \text{vazio}$   
 $D(P(1), b) = (5, b, 4) = E(4) = 4$   
 $D(P(1), c) = (5, c, 5) = E(5) = 5$   
 $D(P(2), a) = (3, a, 3) = E(3) = 3$   
 $D(P(2), b) = \text{vazio}$   
 $D(P(2), c) = (3, c, 4) = E(4) = 4$
- repetir o procedimento até que não existam mais estados novos:  
 $D(P(1), b) = P(3) = E(4) = 4$   
 $D(P(1), c) = P(1) = E(1) = 1$   
 $D(P(2), a) = P(2) = E(2) = 2$   
 $D(P(2), c) = P(3) = 4$   
  
 $D(P(3), a) = \text{vazio}$   
 $D(P(3), b) = \text{vazio}$   
 $D(P(3), c) = \text{vazio}$
- identificar os estados finais, que serão aqueles estados que possuírem os estados finais do AFND:  
 $F = P(1), P(3)$
- montar a quintupla do AFD:  
 $K = P(0), P(1), P(2), P(3)$   
 $A = a, b, c$   
 $S = P(0)$   
 $F = P(1), P(3)$   
Pode ser difícil observar os elementos da função delta. Eles serão todos os  $D(P(x), \text{'caractere'})$  que calculamos. Assim:  
 $D =$   
 $(P(0), a, P(1)),$   
 $(P(0), b, P(2)),$   
 $(P(1), b, P(3)),$   
 $(P(1), c, P(1)),$   
 $(P(2), a, P(2)),$   
 $(P(2), c, P(3)).$



## 6 Conversão AFD - ER

Nessa conversão, o número de transições que o estado inicial possui será muito importante: a ER será uma composição das expressões obtidas seguindo cada um dos caminhos a partir do estado inicial. Por exemplo, se o estado inicial possui 3 transições para outros estados, a ER será uma composição de três expressões, separadas, na ER final, pelo conectivo lógico 'OU'. Em suma, se há três caminhos, é possível seguir pelo primeiro OU pelo segundo OU pelo terceiro. Essa lógica se mantém na ER. Esclarecida esta questão, inicia-se o algoritmo.

- Identificar a quantidade de transições do estado inicial que levam a outros estados.