

PROJETO 2016

**Simulação dirigida por eventos:
Aplicação da técnica à simulação de
dispositivos do tipo autômato**

**Aplicação a dispositivos da classe autômato
(autômatos finitos, autômatos de pilha
estruturados e máquinas de Turing)**

Introdução

- A técnica de simulação dirigida por eventos é bastante simples, poderosa e geral.
- Sua área de aplicação mais usual costuma ser a simulação de fenômenos que envolvem episódios temporais.
- No entanto, a aplicabilidade dessa técnica é muito mais abrangente, bastando que as ocorrências de interesse exibam uma clara ordenação sequencial.
- Nessas condições, é possível equipará-las a eventos (interrupções), e tratá-las como tais.
- Assim, pode-se construir um simulador dirigido por eventos, de forma idêntica ao que se faz, por exemplo, na simulação de Sistemas Operacionais.
- O algoritmo que trata cada tipo de evento deve ser especificado através de um procedimento associado, único e bem estabelecido, de forma análoga ao que se faz quando se associa a ocorrência de uma interrupção à respectiva rotina de tratamento.

Atenção

- Este ano, o projeto aqui proposto para ser desenvolvido na disciplina *Lógica Computacional* poderá também ser reutilizado na disciplina *Sistemas Operacionais*, a qual igualmente emprega simuladores dirigidos por eventos em sua componente prática.
- Assim, alunos que estiverem cursando as duas disciplinas poderão dispendar melhor o tempo que empregarão na elaboração dos seus projetos.
- Da mesma forma, o uso conjunto deste projeto nas duas disciplinas tende a proporcionar para o aluno um desenvolvimento mais amplo da sua percepção acerca da abrangência da aplicabilidade das técnicas estudadas.

PCS 2427 – Lógica Computacional – Edição de 2016

ENUNCIADO DO PROJETO 2016

Regras

- Este é um material de apoio para a elaboração do **projeto** da disciplina **PCS 2427, edição de 2016**.
- Deseja-se que seja construído um **ambiente para simular** dispositivos formais da classe dos autômatos (**autômatos finitos, autômatos de pilha estruturados e máquinas de Turing**), usando para isso a técnica da simulação dirigida por eventos.
- Escolha um **formato padronizado para essas regras**, de forma que seja **compatível com os três tipos** de autômatos a serem simulados, de forma que os autômatos mais simples sejam tratados como casos particulares dos mais complexos.
- No **início do processamento**, o programa simulador deve, a partir de um arquivo .txt, **ler o conjunto de regras** que define o particular dispositivo a ser simulado.
- A partir das regras lidas, seu programa deve **preencher as estruturas de dados** do simulador, a serem interpretadas e aplicadas a **cadeias de entrada igualmente lidas de arquivos .txt** também fornecidos ao simulador.

Rastros

- Para **cada cadeia de entrada** fornecida, o simulador deve **aplicar o conjunto de regras do autômato** a ser utilizado em seu reconhecimento, fornecendo como saída um **rastro passo a passo do seu funcionamento**.
- Esse rastro deve **reportar cada variação ocorrida na configuração instantânea do autômato** com destaque ao **estado**, ao símbolo de **entrada** utilizado, e à **submáquina** e ao **topo da pilha** (quando for o caso), e também informando a **regra aplicada e seus efeitos**.
- Como entradas para esse ambiente, fornecer:
 - o **tipo de dispositivo** a utilizar
 - o **particular dispositivo** a simular e as **entradas a aplicar**
 - **opção de rastreamento** da operação (ligar/desligar)

Testes e relatório

- Exercite a ferramenta simulando **no mínimo três autômatos de cada tipo** (autômatos finitos, autômatos de pilha estruturados e máquinas de Turing), que apresentem **complexidades progressivas**.
- Visando à comprovação do funcionamento do projeto, devem ser utilizados **diversos casos de teste** para cada um desses autômatos ensaiados, cobrindo todos os recursos das linguagens representadas por tais formalismos.
- Elabore um **relatório técnico completo** para este projeto, incluindo a descrição do ambiente e dos simuladores, descrevendo os testes efetuados e comentando as saídas geradas nesses testes, e analisando os resultados obtidos.

ELEMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR

Considerações gerais

- Conforme foi dito anteriormente, este projeto tem como meta familiarizar o aluno com a técnica de simulação dirigida por eventos, que é muito simples e amplamente aplicável em inúmeras situações reais das profissões ligadas à computação.
- No projeto desta disciplina, em particular, o alvo da simulação são as máquinas de estados reconhecedoras (do tipo autômato), todas elas muito semelhantes, variando apenas quanto a pequenos detalhes em sua estrutura e em seu funcionamento.
- O objetivo deste projeto nesta disciplina é o exercício do aluno na observação dessas similaridades e diferenças, e em na obtenção de programas de propósito geral, que se aproveitem dessas semelhanças para a fatoração de códigos compartilháveis.
- Aos que forem reutilizar este programa na disciplina *Sistemas Operacionais*, recomendamos que levem em consideração suas especificações no desenvolvimento do presente trabalho.

Três tipos de autômatos

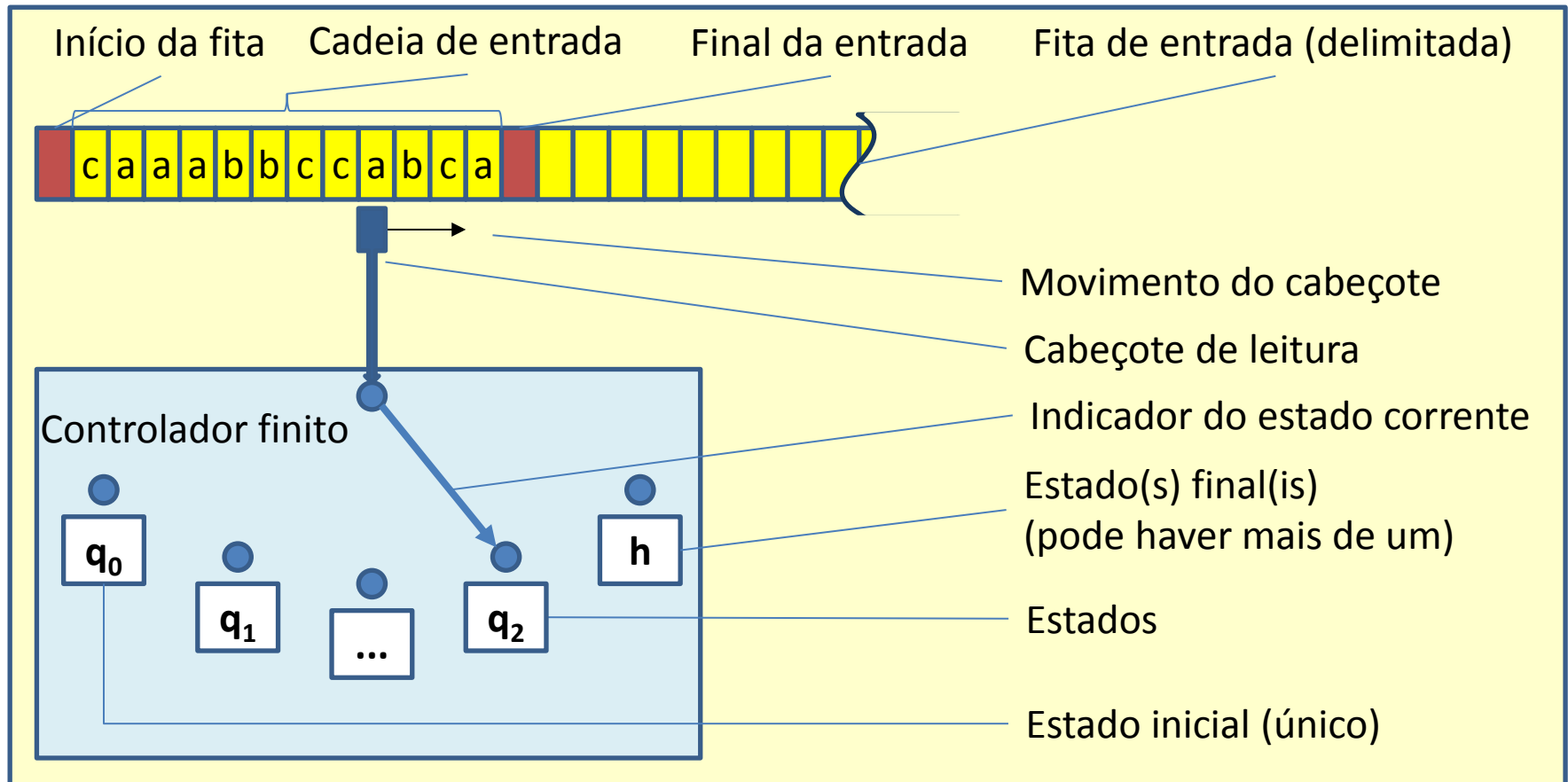
- A seguir, **a título de ilustração**, em direção à elaboração deste projeto, apresentam-se a seguir considerações técnicas sobre **autômatos finitos e máquinas de Turing**.
- Resta portanto **ao aluno complementar** esse estudo com a elaboração de um material similar acerca dos **autômatos de pilha estruturados**.
- Esse estudo complementar deve ser **incluído no relatório**, assim como o **levantamento** detalhado das **similaridades e diferenças** entre os **três formalismos** estudados.

Roteiro

- Apenas como roteiro ilustrativo, aqui estão os títulos dos slides apresentados a seguir para autômatos finitos e máquinas de Turing:
 - Estrutura do formalismo / Elementos a considerar / Eventos a considerar / Configuração do formalismo / Notação / Categorias de eventos / Mudança de configuração (passo) / Definição formal de passo / Tratamento dos eventos / Leitura e Gravação de dados / Movimento do cabeçote / Início e final do processamento / Esboço da lógica do simulador do formalismo
- Use os slides seguintes como roteiro, para elaborar um material correspondente para autômatos de pilha estruturados (e o simulador de sistema operacional, para quem estiver cursando essa disciplina).

AUTÔMATO FINITO

Estrutura de um Autômato Finito



Elementos a considerar

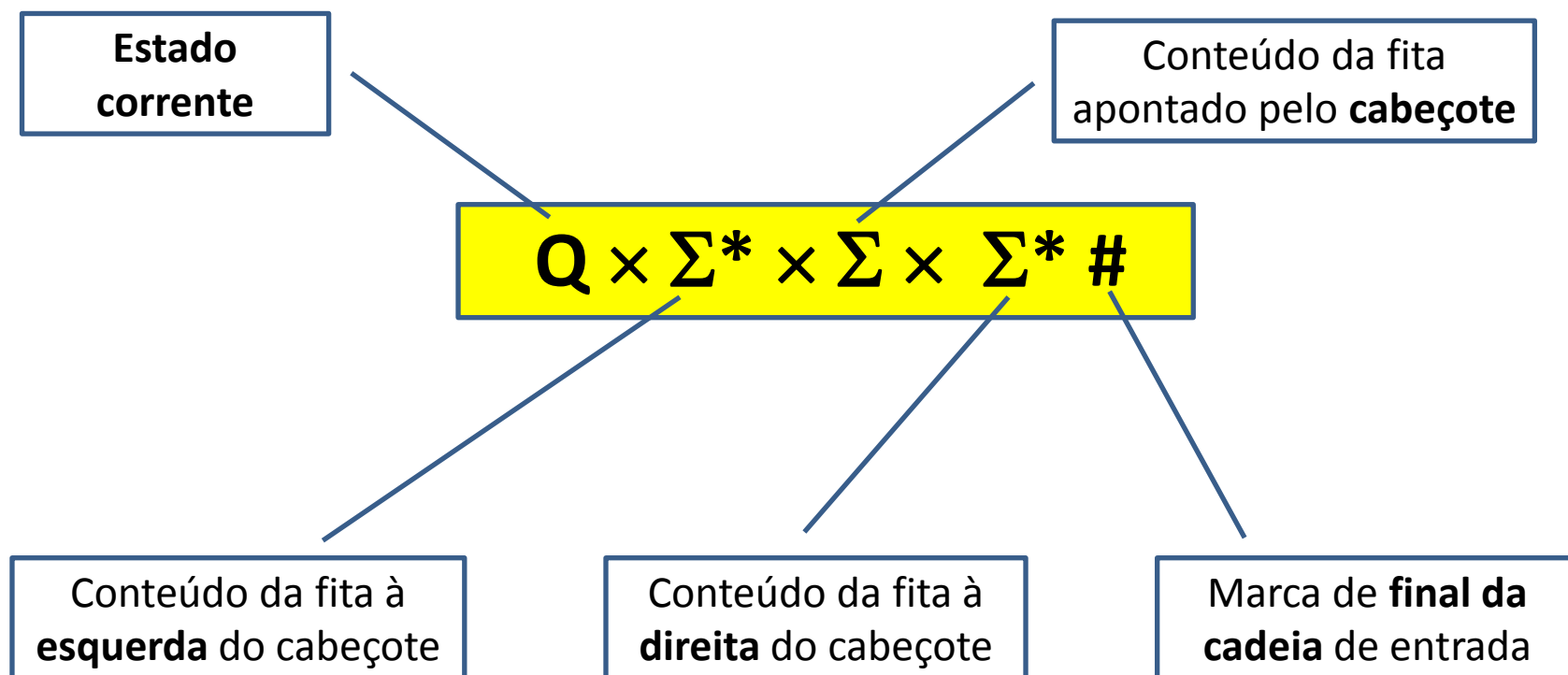
- Lista dos **eventos** a serem considerados.
- Especificação dos constituintes da **configuração** do dispositivo que deve processar os eventos.
- **Categorização dos eventos** de acordo com o tipo de tratamento a receber.
- Especificação da **mudança de configuração** do dispositivo como resultado da ação dos eventos.
- Especificação dos **tratamentos** a serem aplicados a cada categoria de evento.

Eventos a considerar

- **Início do processamento.**
- **Movimento do cabeçote para a direita.**
- **Leitura de símbolo** do alfabeto, presente na célula da fita apontada pelo cabeçote.
- **Leitura de uma marca de final da cadeia** de entrada, presente na célula da fita apontada pelo cabeçote.
- **Atingir um estado final** (fim da computação).

Configuração do Autômato Finito

- A configuração de um Autômato Finito $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ é qualquer membro de:



Configuração

- A configuração da máquina de Turing compreende:
 - Estado corrente da máquina.
 - Posição do cabeçote sobre a fita.
 - Conteúdo da fita
 - Cadeia à esquerda do cursor
 - Símbolo apontado pelo cursor
 - Cadeia à direita do cursor
 - Marca de final da cadeia de entrada

Notação

- Pode-se denotar abreviadamente uma configuração (q, w, a, u) como (q, wau) , omitindo os símbolos separadores.
- O elemento sublinhado indica a posição do cabeçote sobre cadeia de entrada na fita de entrada do Autômato Finito.

Categorias de eventos

- **Leitura de dados na fita**
 - **Leitura de Símbolo** da cadeia presente na célula da fita, correntemente apontada pelo cabeçote.
 - Autômatos finitos não gravam dados na fita.
- **Movimento do cabeçote**
 - Movimento do cabeçote para a direita, após leitura.
 - Autômatos finitos não movem o cabeçote para a esquerda.
- **Início e final do processamento**
 - Partida inicial (estando o autômato no estado inicial).
 - **Rejeição**: Erro por não haver transição aplicável.
 - **Aceitação**: Chegada a um estado final, com o cabeçote apontando um marcador de final da cadeia de entrada.

Mudança de configuração (passo)

- **Configuração**

- Estado corrente .
- Conteúdo da fita.
- Posição do cabeçote sobre a fita.

- **Estímulo**

- Símbolo de entrada apontado pelo cursor na fita.
- Movimento de cabeçote à direita.

- **Parada**

- Aceitação (estado final, cabeçote no final da cadeia de entrada).
- Rejeição (inexistência de movimento viável).

Passos de transição

- Seja um Autômato finito $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, e (q_1, w_1, a_1, u_1) e (q_2, w_2, a_2, u_2) configurações de M . Lembrando que a_1 é o símbolo da cadeia de entrada apontado pelo cabeçote do autômato finito, um **passo de transição de M** é definido como:
$$(q_1, w_1, a_1, u_1) \vdash_M (q_2, w_2, a_2, u_2)$$
- Ocorrem diversas possíveis situações:
 - $\delta(q_1, a_1) = q_2$ para algum elemento $a_1 \in \Sigma$ [consumo de símbolo a_1]
 - $\delta(q_1, a_1) = q_2$ para $a_1 = \varepsilon$ e, neste caso, $w_2 = w_1$, $u_2 = u_1$ e $a_2 = a_1$, ou seja, ocorre apenas uma mudança de estado sem alterar os demais elementos da configuração do autômato finito. [transição em vazio]
 - $\delta(q_1, a_1)$ não está definido, e neste caso há uma rejeição da cadeia de entrada pelo autômato. [cadeia de entrada rejeitada]
 - No caso de q_2 ser um estado final, se a_2 for o marcador de final de cadeia de entrada e portanto $u_2 = \varepsilon$, então ocorre a aceitação da cadeia de entrada. [cadeia de entrada aceita]
 - Tanto neste caso como no de rejeição, a máquina M não mais transita, portanto sua sequência de transições termina. [Fim]

TRATAMENTO DOS EVENTOS

Leitura e Gravação de dados na fita

- **Leitura de Símbolo** da cadeia presente na fita
 - Atualiza o símbolo corrente.
- **Gravação de Símbolo** na posição do cursor
 - Remove o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Insere o símbolo a ser gravado.
 - Atualiza o símbolo corrente.

Movimento do cabeçote (1)

- Cabeçote **para a direita**
 - Concatenar o símbolo corrente à direita do conteúdo da fita à esquerda do cabeçote.
 - Destacar o primeiro símbolo da cadeia presente na fita à direita do cabeçote e posicionar o cabeçote sobre ele.
 - Se a cadeia à direita do cabeçote estiver vazia, avançar para a direita uma célula em branco.
 - Caso contrário, atualizar a cadeia à direita do cabeçote removendo-lhe o primeiro símbolo.

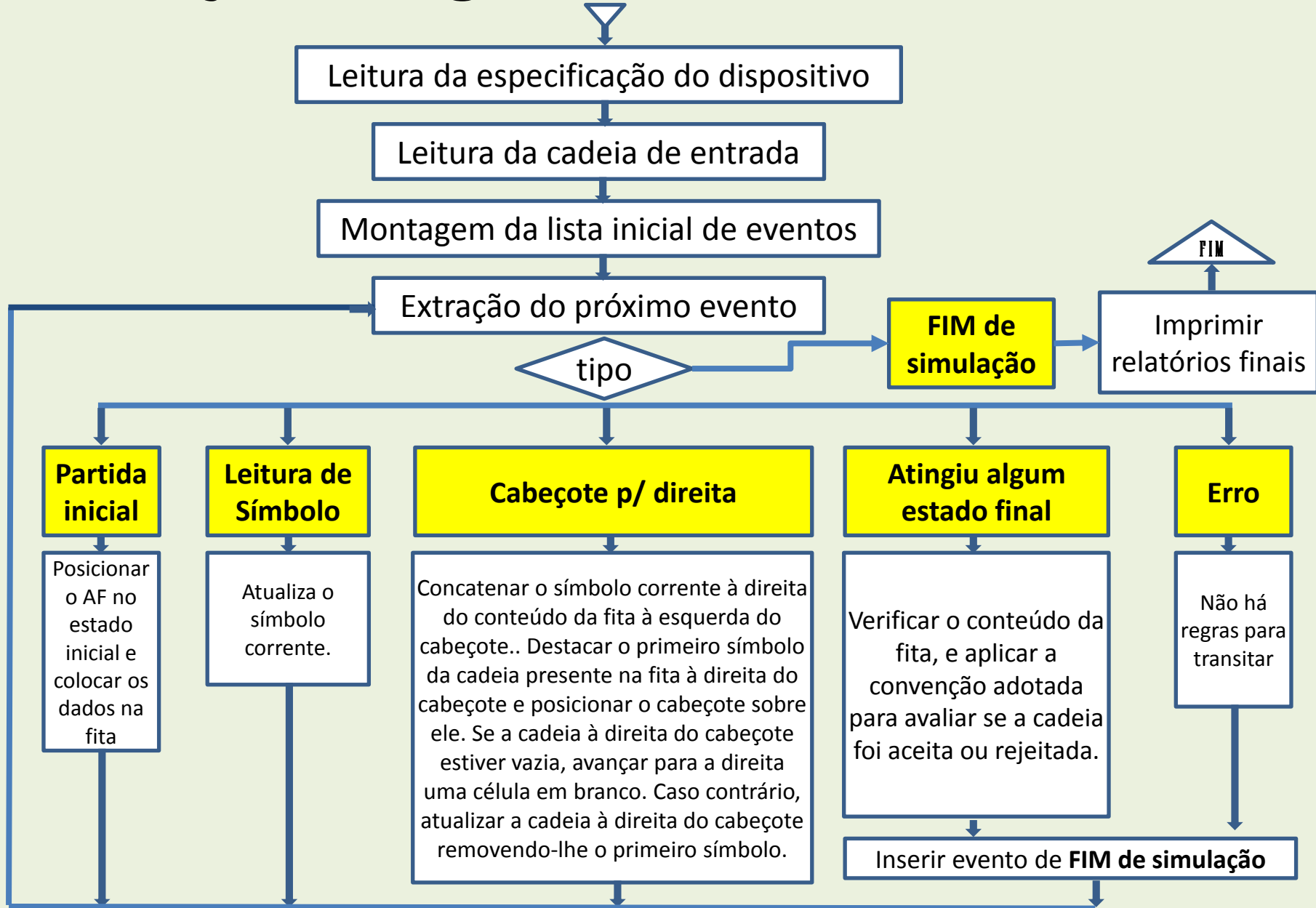
Movimento do cabeçote (2)

- Cabeçote para a esquerda
 - Se a cadeia à esquerda do cabeçote estiver vazia, terminar o processamento bloqueando a máquina.
 - Caso contrário,
 - Concatenar, à esquerda da cadeia presente na fita à direita do cabeçote, o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Destacar o último símbolo da cadeia à esquerda do cabeçote e posicionar o cabeçote sobre ele.
 - Atualizar o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Atualizar a cadeia presente à esquerda do cabeçote.

Início e final do processamento

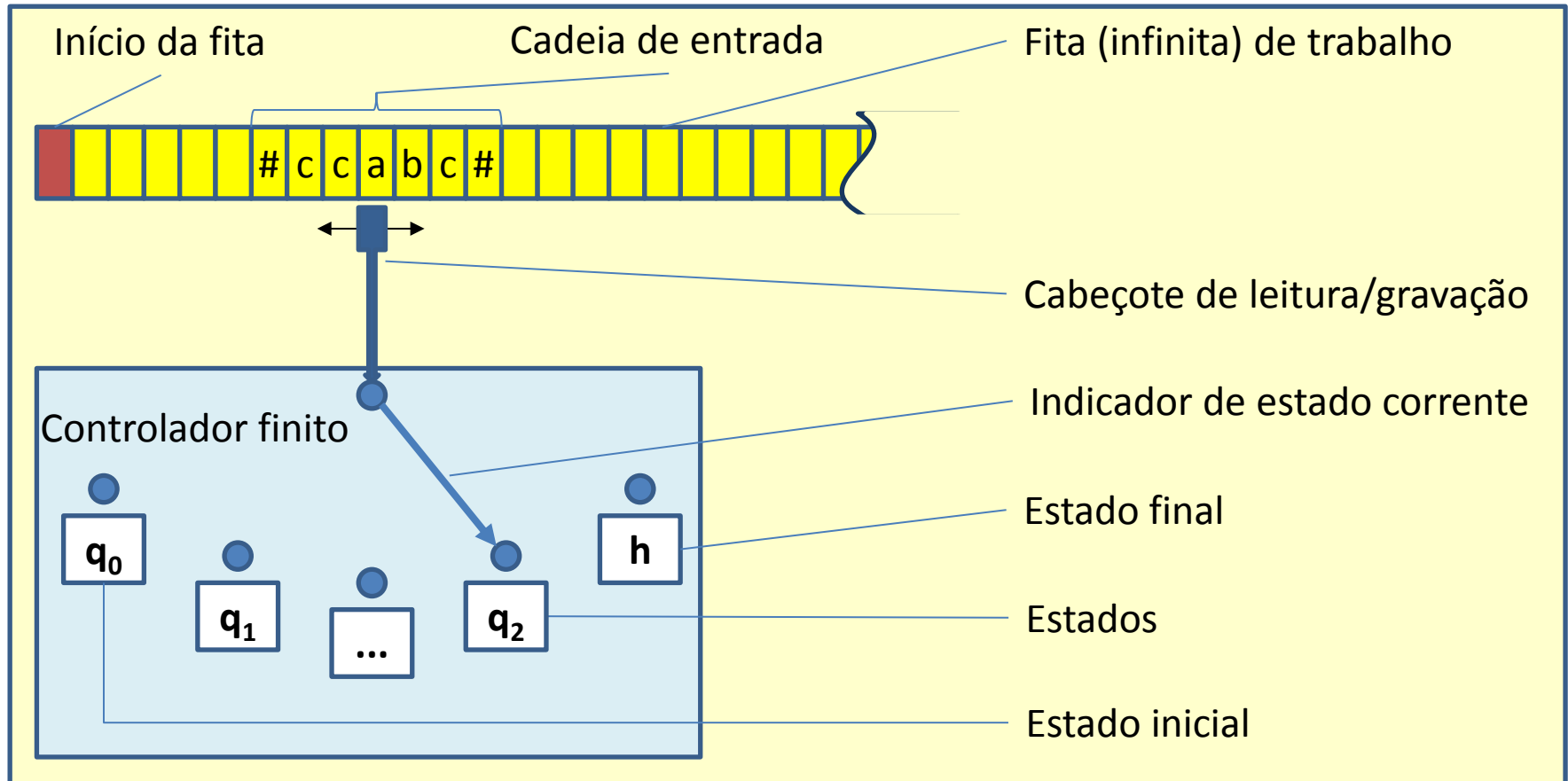
- **Partida inicial**
 - Posicionar o autômato no estado inicial.
 - Preencher a fita de trabalho com a cadeia a analisar.
 - Acionar pela primeira vez a execução de uma regra.
- **Ausência de transição viável**
 - Parada por erro (cadeia de entrada não pertence à linguagem representada pela máquina de Turing).
- **Chegada ao estado de Halt**
 - Verificar o conteúdo da fita, e aplicar a convenção adotada para avaliar se a cadeia foi aceita ou rejeitada.
- **Tentativa de recuar à esquerda do início da fita**
 - Bloqueio da máquina de Turing por movimento proibido.

Esboço da lógica do simulador do A.F.



MÁQUINA DE TURING

Estrutura da Máquina de Turing



Elementos a considerar

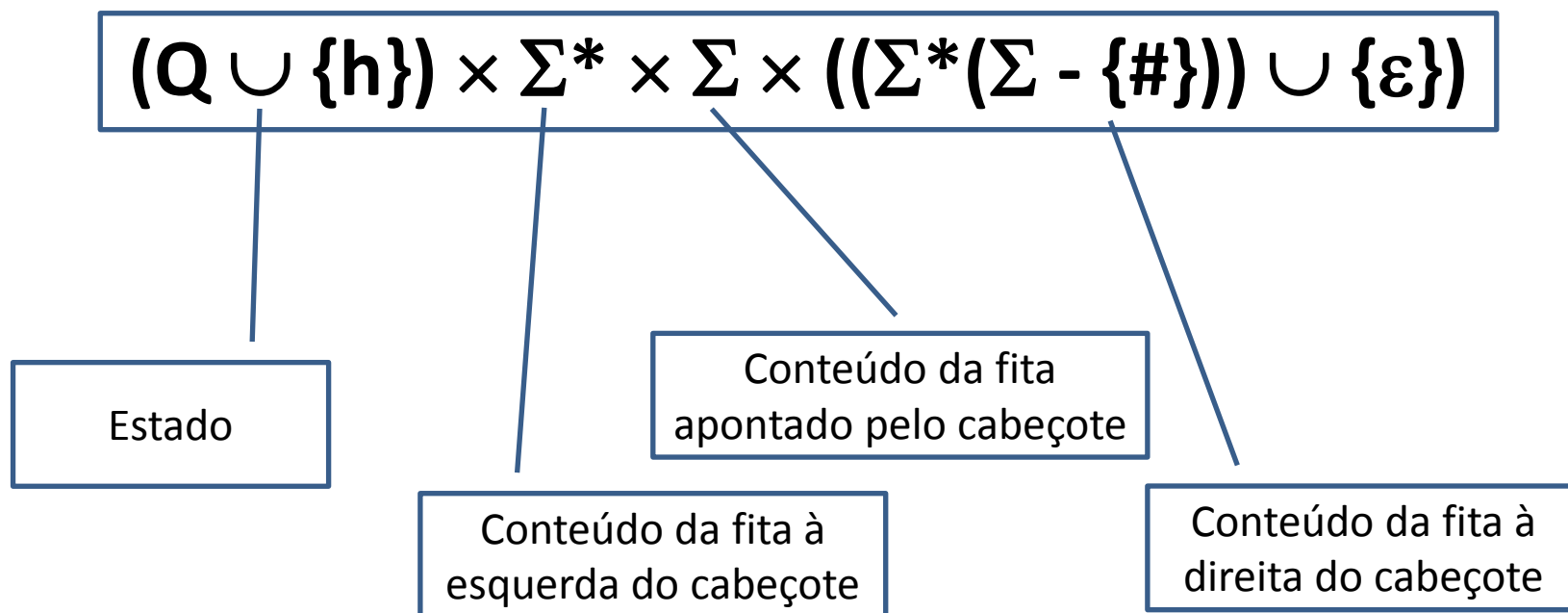
- Lista dos **eventos** a serem considerados.
- Especificação dos constituintes da **configuração** do dispositivo que deve processar os eventos.
- **Categorização dos eventos** de acordo com o tipo de tratamento a receber.
- Especificação da **mudança de configuração** do dispositivo como resultado da ação dos eventos.
- Especificação dos **tratamentos** a serem aplicados a cada categoria de evento.

Eventos a considerar

- Início do processamento.
- Leitura de símbolo do alfabeto, presente na célula da fita apontada pelo cabeçote.
- Gravação de símbolo do alfabeto, na célula da fita apontada pelo cabeçote.
- Movimento do cabeçote para a esquerda (L).
- Movimento do cabeçote para a direita (R).
- Tentativa de recuar para antes do início da fita.
- Atingir o estado de Halt (fim da computação).

Configuração da Máquina de Turing

- A configuração de uma Máquina de Turing $M = (Q, \Sigma, \delta, s)$ é qualquer membro de:



Configuração

- A configuração da máquina de Turing compreende:
 - Estado corrente da máquina.
 - Posição do cabeçote sobre a fita.
 - Conteúdo da fita
 - Cadeia à esquerda do cursor
 - Símbolo na posição do cursor
 - Cadeia à direita do cursor

Notação

- Pode-se denotar abreviadamente uma configuração (q, w, a, u) como (q, wau) , omitindo os símbolos separadores.
- O elemento sublinhado indica a posição do cabeçote sobre cadeia de entrada na fita da Máquina de Turing.

Categorias de eventos

- **Leitura e Gravação de dados na fita**
 - Leitura de Símbolo da cadeia presente na fita.
 - Gravação de Símbolo na posição do cursor.
- **Movimento do cabeçote**
 - Cabeçote para a esquerda.
 - Cabeçote para a direita.
- **Início e final do processamento**
 - Partida inicial.
 - Erro por não haver transição aplicável.
 - Chegada ao estado de Halt.
 - Bloqueio por tentativa de mover aquém do início da fita.

Mudança de configuração (passo)

- **Configuração**

- Estado corrente .
- Conteúdo da fita.
- Posição do cabeçote sobre a fita.

- **Estímulo**

- Símbolo de entrada apontado pelo cursor na fita.
- Movimento de cabeçote à esquerda.
- Movimento de cabeçote à direita.

- **Parada**

- Final normal (estado Halt).
- Final bloqueado (tentativa de transpor o início da fita).
- Final com erro (inexistência de transição viável).

Definição formal de passo

- Seja uma Máquina de Turing $M = (Q, \Sigma, \delta, s)$, e sejam (q_1, w_1, a_1, u_1) e (q_2, w_2, a_2, u_2) configurações de M , então um passo de M é definido como:
- $(q_1, w_1, a_1, u_1) \vdash_M (q_2, w_2, a_2, u_2)$ se e somente se ocorre, em uma das opções seguintes, $\delta(q_1, a_1) = (q_2, b)$, para algum elemento $b \in (\Sigma \cup \{L, R\})$:
 - Ou $b \in \Sigma$, $w_1 = w_2$, $u_1 = u_2$, $a_2 = b$;
 - Ou $b = L$, $w_1 = w_2 a_2$, e uma das opções abaixo ocorre:
 - a) $u_2 = a_1 u_1$, se $a_1 \neq \#$ ou $u_1 \neq \varepsilon$;
 - b) $u_2 = \varepsilon$, se $a_1 = \#$ e $u_1 = \varepsilon$;
 - Ou $b = R$, $w_2 = w_1 a_1$, e uma das opções abaixo ocorre:
 - a) $u_1 = a_2 u_2$;
 - b) $u_2 = \varepsilon$, $u_1 = \varepsilon$ e $a_2 = \#$;

TRATAMENTO DOS EVENTOS

Leitura e Gravação de dados na fita

- **Leitura de Símbolo** da cadeia presente na fita
 - Atualiza o símbolo corrente.
- **Gravação de Símbolo** na posição do cursor
 - Remove o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Insere o símbolo a ser gravado.
 - Atualiza o símbolo corrente.

Movimento do cabeçote (1)

- Cabeçote **para a direita**
 - Concatenar o símbolo corrente à direita do conteúdo da fita à esquerda do cabeçote.
 - Destacar o primeiro símbolo da cadeia presente na fita à direita do cabeçote e posicionar o cabeçote sobre ele.
 - Se a cadeia à direita do cabeçote estiver vazia, avançar para a direita uma célula em branco.
 - Caso contrário, atualizar a cadeia à direita do cabeçote removendo-lhe o primeiro símbolo.

Movimento do cabeçote (2)

- Cabeçote para a esquerda
 - Se a cadeia à esquerda do cabeçote estiver vazia, terminar o processamento bloqueando a máquina.
 - Caso contrário,
 - Concatenar, à esquerda da cadeia presente na fita à direita do cabeçote, o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Destacar o último símbolo da cadeia à esquerda do cabeçote e posicionar o cabeçote sobre ele.
 - Atualizar o símbolo apontado pelo cabeçote.
 - Atualizar a cadeia presente à esquerda do cabeçote.

Início e final do processamento

- **Partida inicial**
 - Posicionar o autômato no estado inicial.
 - Preencher a fita de trabalho com a cadeia a analisar.
 - Acionar pela primeira vez a execução de uma regra.
- **Ausência de transição viável**
 - Parada por erro (cadeia de entrada não pertence à linguagem representada pela máquina de Turing).
- **Chegada ao estado de Halt**
 - Verificar o conteúdo da fita, e aplicar a convenção adotada para avaliar se a cadeia foi aceita ou rejeitada.
- **Tentativa de recuar à esquerda do início da fita**
 - Bloqueio da máquina de Turing por movimento proibido.

Esboço da lógica do simulador da M.T.

