

Simulação de fabricante de peças realizada por autômatos finitos determinísticos, gramáticas e expressões regulares

Ana C. V. Alves¹, Endrew R. T. Hang¹, Thiago P. B. Silva¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Caixa Postal 631 – 89.219-710 – Joinville – SC – Brazil

{ana.cva, endrew.rth, thiago.pbs}@edu.udesc.br

Abstract. *This article describes through deterministic finite automata and other formalisms a simulation of the management of a part manufacturer. This paper also goes over a solution for the control of error and processes in the factory, as this model tries to verify all the production steps. The project uses the Javascript language to demonstrate using graphics the automata changing states and transitions, as well as using detailed files to show the grammar and words generated by a demand.*

Resumo. *Este artigo descreve por meio de autômatos finitos determinísticos e outros formalismos, uma simulação de um ambiente de gerenciamento de uma fábrica de peças. O mesmo trata-se de uma solução para controle de erros e processos da fábrica, pois esta modelagem se propõe a verificar todas as etapas demandadas. O projeto utiliza a linguagem Javascript para demonstrar graficamente os autômatos mudando os estados e transições para visualização das etapas, assim como arquivo detalhando a gramática e a palavra gerada por uma demanda.*

1. Introdução

Visando formalizar e ter uma ampla visão de falhas e processos em um ambiente de fabricação de peças, o trabalho apresenta, através de autômatos determinísticos finitos, um modelo de gerenciamento de etapas com a linguagem Javascript e auxílio das ferramentas d3 e Graphviz, além da library d3-graphviz. É definido o mapeamento de requisitos para produção de cada componente e peça. Após análises, é definido quais serão as estratégias e a modelagem é feita. Como resultado é demonstrado a simulação de AFDs através de um modelo em um site e a conclusão mostra qual nível de mapeamento feito, com possíveis melhorias e pontos apresentados.

2. Problema e detalhes da fábrica

O trabalho visa automatizar a fabricação de dois tipos de peças considerando todas as etapas e falhas do processo. Considerando os tipos de peças, cada uma necessita passar por diferentes caminhos até serem produzidas. Além de definição destes caminhos, precisamos considerar se o desenvolvimento foi falho, se as máquinas estão disponíveis e outros detalhes do processo.

Por exemplo, a esteira que liga as máquinas de produção só aceita uma peça por vez que

é acionada, portanto o controle de gerenciamento não pode mandar novos requisitos enquanto a esteira estiver ocupada.

Assim como a verificação de *buffers*, máquinas e robôs em estado livre deve ser feita antes de fazer novas ações que necessitem destes.

Para modelar este processo foi utilizado modelos de autômatos, definindo gramáticas e expressões regulares para dar autonomia ao gerenciamento de controle da fábrica.

2.1 Detalhes do processo de gerenciamento

Nesta parte do relatório é descrito as etapas do problema a serem planejadas para cada peça dada, e é descrito a seguir as fases para produção das mesmas.

2.1.1 Peça do tipo um

A peça do tipo um utiliza um componente de matéria prima, que está estocado no armazém da fábrica. É necessário levar a matéria prima através da esteira até a máquina de controle de qualidade com auxílio de sensores de posição, da esteira e robôs. Assim que os robôs e buffers utilizados nesta parte estão livres a peça percorre o caminho e é analisada. Se o componente apresentar defeito será devolvido ao armazém para ser descartada e avisado ao gerente, para caso exceda a taxa de peças defeituosas a máquina responsável seja posta em manutenção. Caso contrário, será levado a estação das máquinas de Mil e Turn. Após a peça estar pronta, a mesma é levada novamente ao controle de qualidade, respeitando as requisições anteriores da mesma forma. Caso a peça esteja com defeitos é tomada a mesma medida de defeito com sua matéria prima. Com a peça sem defeitos a mesma volta ao armazém como finalizada.

2.1.2 Peça do tipo dois

A peça do tipo dois utiliza três componentes como matéria prima, e estes estão estocados em locais específicos do armazém. Também é necessário levar tanto todos os componentes para o controle de qualidade quanto a peça finalizada. Se os componentes apresentarem defeito devem ser descartados, o gerente será informado e um novo componente do mesmo tipo será solicitado ao gerente. No caso em que a peça finalizada apresenta defeito deve ser movida até o armazém e descartada, também notificando ao gerente de suas condições por motivos já citados. O local de fabricação da peça é o estado das máquinas de colagem e parafusagem. O primeiro componente e o segundo são parafusados e posteriormente colados com o terceiro componente. Após a peça estar finalizada retorna ao armazém.

3. Linguagens e Autômatos

Conforme Ramos(2008) uma linguagem formal é um conjunto, finito ou infinito, de cadeias de comprimento finito, formadas pela concatenação de elementos de um alfabeto finito e não-vazio. Além das operações previamente definidas para conjuntos, como união, diferença, intersecção etc., outras operações, tais como a concatenação e os

fechamentos, também são fundamentais para a definição e o estudo das linguagens formais.

De acordo com Villanueva(2016) um autômato é um modelo matemático de máquinas, com entradas e saídas discretas, que reconhece um conjunto de palavras sobre um dado alfabeto. Um autômato pode ser finito ou infinito e determinístico ou não determinístico. Nesse trabalho vamos utilizar os autômatos finitos e determinísticos. Um autômato finito consiste de um conjunto finito de estados, e um conjunto de transições de estados, que ocorrem a partir de símbolos de entrada escolhidos sobre um alfabeto . O estado inicial do autômato é o estado que se encontra antes de ler o primeiro símbolo. Alguns estados do autômato são definidos como estados finais ou marcados. Se para cada símbolo de entrada existe exatamente uma transição de saída de cada estado, então o autômato é determinístico.

3.1 Expressões Regulares

Em seu trabalho Palazzo(2007) definiu:

Uma expressão regular (ER) sobre um alfabeto Σ é indutivamente definida como se segue:

- a) \emptyset é uma ER que denota a linguagem vazia.
- b) ε é uma ER que denota a linguagem contendo exclusivamente a palavra vazia, ou seja $\{\varepsilon\}$.
- c) Qualquer símbolo x pertencente ao alfabeto Σ é uma ER e denota a linguagem contendo a palavra unitária x , ou seja $\{x\}$.
- d) Se r e s são ERs e denotam respectivamente as linguagens R e S , respectivamente, então:
 1. $(r+s)$ é ER e denota a linguagem $R \cup S$
 2. (rs) é ER e denota a linguagem $\{uv \mid u \in R \text{ e } v \in S\}$
 3. (r^*) é ER e denota a linguagem R^*

4. Implementação

Esta parte do trabalho demonstra quais estratégias utilizadas e a modelagem de cada autômato necessário para a produção. Além de descrever como foi utilizado em conjunto com a linguagem de programação Javascript o modelo final do projeto.

4.1 Linguagem de programação utilizada

A linguagem de programação utilizada foi Javascript, principalmente dois motivos. Primeiro é a facilidade de trabalhar com interfaces gráficas devido a linguagem estar associada a criação de páginas web, trabalhando facilmente com documentos html. O outro motivo é a renderização em tempo real que a library d3-graphviz proporciona para a linguagem, utilizando do graphviz(<https://www.graphviz.org/>) para renderização da linguagem dot e o d3(<https://d3js.org/>) para transição entre cada imagem renderizada

pelo graphviz, outras linguagens que testamos previamente como Java e Python foram incapazes de nos proporcionar benefícios como estes descritos.

4.2 Definição das Gramáticas e Autômatos utilizados

Com o auxílio da ferramenta Graphviz, o programa desenvolvido demonstra um autômato gerenciador de fabricação das peças, assim como mostra os autômatos de cada fase da fábrica. Esta parte do trabalho especifica os autômatos de cada parte da fábrica, explica suas funções e transições de estados.

4.2.1 Demanda

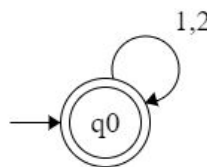


Figura 1. Autômato de demanda

Para uma demanda de dois tipos de peças foi definido através da expressão regular $(1+2)^*$, onde pode-se criar as mesmas, independente da ordem.

4.2.2 Máquina de análise de imagem para controle de qualidade

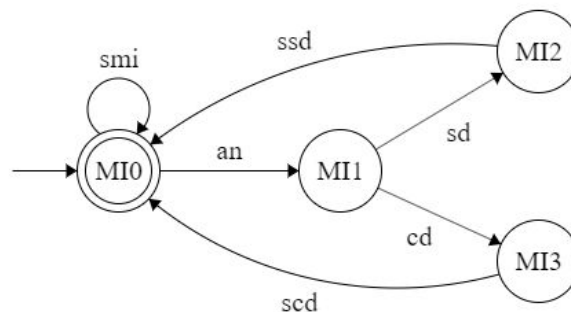


Figura 2. Autômato da máquina de análise de imagem para controle de qualidade.

O autômato da máquina de imagem analisa a peça, decide se tem defeito ou não, e envia uma saída para o gerente se a peça tem defeito ou não. A máquina de imagem também contém um sensor que avisa o gerente se está livre ou não.

Símbolo	Significado
an	Análise
sd	Sem defeito
cd	Com defeito

ssd	Saída sem defeito
scd	Saída com defeito
smi	Sensor da máquina de imagem

Tabela 1. Tabela de estados do Autômato para máquina de análise de imagem para controle de qualidade.

4.2.3 Máquina de análise de medidas por paquímetro para controle de qualidade

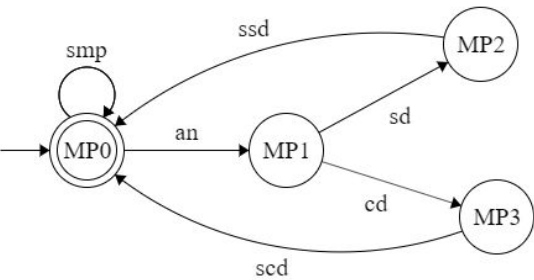


Figura 3. Autômato da máquina de análise por paquímetro.

O autômato da máquina do paquímetro analisa peça, decide se tem defeito ou não e envia uma saída para o gerente se a peça tem defeito ou não. O paquímetro também contém um sensor que avisa o gerente se está livre ou não.

Símbolo	Significado
an	Análise
sd	Sem defeito
cd	Com defeito
ssd	Saída sem defeito
scd	Saída com defeito
smi	Sensor da máquina do paquímetro

Tabela 2. Tabela de estados do Autômato para máquina de análise por paquímetro.

4.2.4 Máquina de colagem de peças do tipo dois

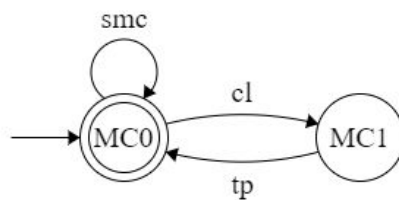


Figura 4. Autômato da máquina de colagem de peças do tipo dois.

O autômato da máquina de colar cola a peça e avisa que a peça está pronta. A máquina de colar também contém um sensor que avisa o gerente se está livre ou não.

Símbolo	Significado
cl	Colar
tp	Tá pronto
smc	sensor da máquina de colagem

Tabela 3. Tabela de estados do Autômato para máquina de colagem de peças tipo dois.

4.2.5 Máquina de parafusagem de peças do tipo dois

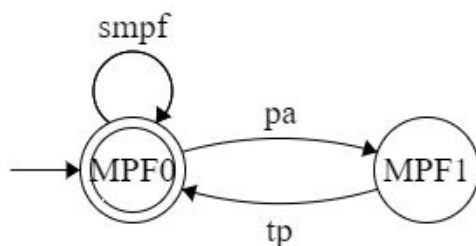


Figura 5. Autômato da máquina de parafusagem de peças do tipo dois.

O autômato da máquina demonstra as etapas para parafusar e avisar que a peça foi parafusada. A máquina de parafusar também contém um sensor que avisa o gerente se está livre ou não.

Símbolo	Significado
pa	Parafusar
tp	Peça pronta
smpf	Sensor da máquina de parafusar

Tabela 4. Tabela de estados do Autômato para máquina de parafusagem de peças do tipo dois.

4.2.6 Máquinas de Mil e Turn de peças do tipo um.

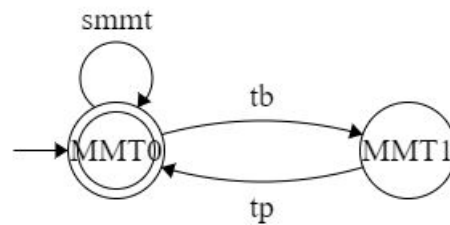


Figura 6. Autômato da máquina de Mil e Turn de peças do tipo um.

O autômato da máquina de Mill e Turn passa pelas etapas de trabalhar peça e avisar que peça foi trabalhada. A máquina de Mill e Turn também contém um sensor que avisa o gerente se está livre ou não.

Símbolo	Significado
tb	Trabalha peça
tp	Tá pronto
smmt	Sensor para máquina de Mil e Turn

Tabela 5. Tabela de estados do Autômato para máquina de Mil e Turn de peças do tipo um.

4.2.7 Esteira

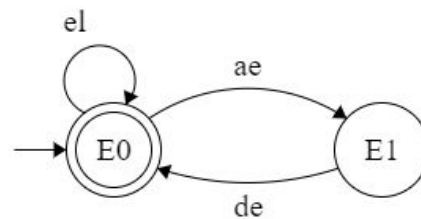


Figura 7. Autômato da Esteira.

O autômato da esteira aciona esteira e desliga esteira. A esteira também contém um sensor que avisa o gerente se a mesma está disponível.

Símbolo	Significado
ae	Aciona esteira
de	Desliga esteira
el	Esteira livre

Tabela 6. Tabela de estados do Autômato da Esteira.

4.2.8 Robô do Armazém

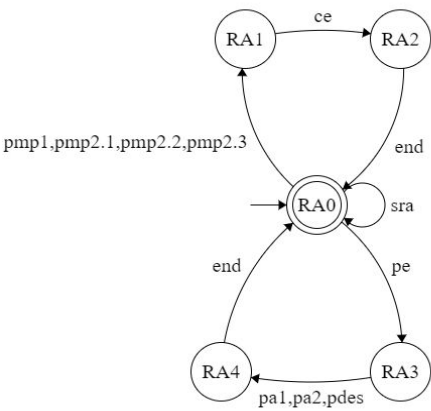


Figura 8. Autômato da robô do Armazém.

O autômato do robô do armazém pega matéria prima de P1 e coloca na esteira, pega matéria prima 1,2 ou 3 de P2 e coloca na esteira, pega da esteira e coloca no descarte e pega da esteira e coloca no armazém de P1 ou P2. Em todas essas etapas o robô sempre volta para seu estado inicial. O robô também contém um sensor que avisa o gerente se está disponível ou não.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
pmp1	Pega matéria prima P1	pdes	Põe no descarte
pmp2.1	Pega matéria 1 prima P2	sra	Sensor do armazem
pmp2.2	Pega matéria 2 prima P2	pe	Pega da esteira
pmp2.3	Pega matéria 3 prima P2	ce	Coloca na esteira
pa1	Põe no armazém 1	end	Movimento de finalização
pa2	Põe no armazém 2		

Tabela 7. Tabela de estados para Autômato da robô do Armazém.

4.2.9 Robô do Controle de Qualidade

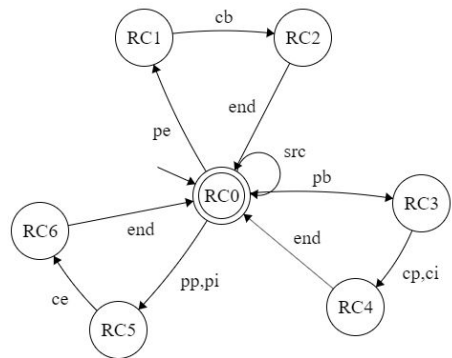


Figura 9. Autômato da robô do Controle de Qualidade.

O autômato do robô do controle de qualidade pega peça da esteira e coloca no buffer, pega peça do buffer coloca na máquina de imagem ou no paquímetro, pega da máquina de imagem ou do paquímetro e coloca na esteira e pega da esteira e coloca na máquina de imagem ou paquímetro. Em todas essas etapas o robô sempre volta para seu estado inicial. O robô também contém um sensor que avisa o gerente se ele está disponível ou não .

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
pi	Pega matéria prima P1	pe	Pega da esteira
ci	Pega matéria 1 prima P2	ce	Coloca na esteira
pp	Pega matéria 2 prima P2	pb	Pega do buffer
cp	Pega matéria 3 prima P2	cb	Coloca no buffer
src	Põe no armazem 1	end	Movimento de finalização

Tabela 8. Tabela de estados do Autômato da robô do Controle de Qualidade.

4.2.10 Robô para máquina de Mil e Turn

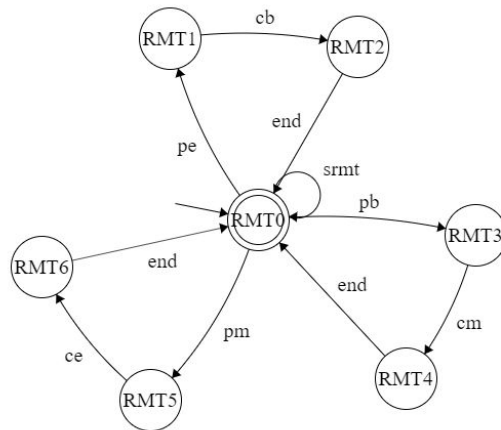


Figura 10. Autômato do robô para máquinas de Mil e Turn

O autômato do robô do Mill e Turn pega peça da esteira e coloca no buffer, pega peça do buffer coloca na máquina Mill e Turn, pega da máquina Mill ou Turn e coloca na esteira e pega da esteira e coloca na máquina Mill ou Turn. Em todas essas etapas o robô sempre volta para seu estado inicial. O robô também contém um sensor que avisa o gerente se ele está disponível ou não.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
pm	Pega da máquina	ce	Coloca na esteira
cm	Coloca na máquina	pb	Pega do buffer
srmt	Sensor do robo mill e turn	cb	Coloca no buffer
pe	Pega da esteira	end	Movimento de finalização

Tabela 9. Tabela de estados do Autômato do robô para máquinas de Mil e Turn.

4.2.11 Robô para as máquinas de Parafusagem e Colagem.

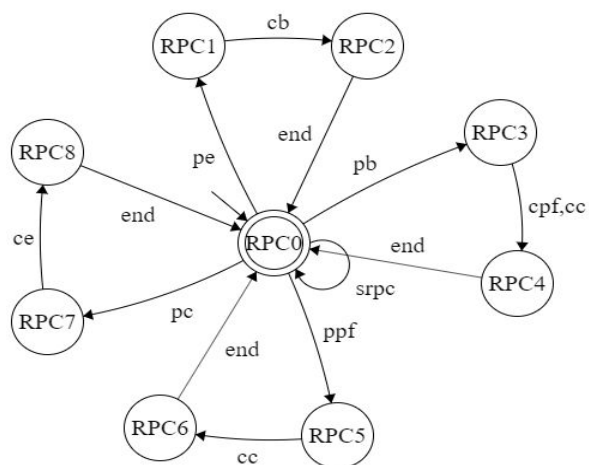


Figura 11. Autômato do robô para as máquinas de Parafusagem e Colagem.

O autômato do robô da máquina de parafusar e colar tem a função de pegar peça da esteira e colocar no buffer, pegar peça do buffer e colocar na máquina de parafusar, pegar peça do buffer e colocar na máquina de colar, pega da máquina de parafusar e coloca na colagem e pegar da máquina de colagem e colocar na esteira. Em todas essas etapas o robô sempre volta para seu estado inicial. O robô também contém um sensor que avisa o gerente se está disponível ou não.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
pc	Pega da colagem	pe	Pega da esteira
cc	Coloca na colagem	ce	Coloca na esteira
ppf	Pega da parafusagem	pb	Pega do buffer
cpf	Coloca na parafusagem	cb	Coloca no buffer
srpc	Sensor do robô parafusa e cola	end	Movimento de finalização

Tabela 10. Tabela de estados do Autômato do robô para as máquinas de Parafusagem e Colagem.

4.2.12 Sensores

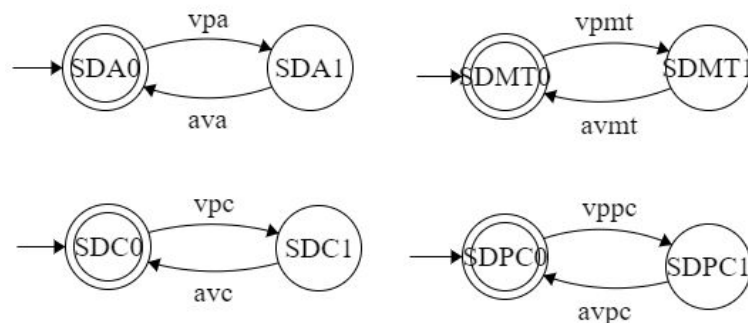


Figura 12. Autômato dos Sensores.

Os autômatos dos sensores de detecção tem funções de identificar que alguma matéria prima ou peça chegou e enviar um aviso ao gerente.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
vpa	Visualiza peça no armazém	vppc	Visualiza peça no parafusa e cola
ava	Aviso ao gerente de peça no armazém	avpc	Aviso ao gerente de peça no parafusa e cola
vpc	Visualiza peça no controle	vpmt	Visualiza peça no Mill e Turn
avc	Aviso ao gerente de peça no controle	avmt	Aviso ao gerente de peça no mill e turn

Tabela 11. Tabela de estados do Autômato dos Sensores.

4.2.13 Buffer

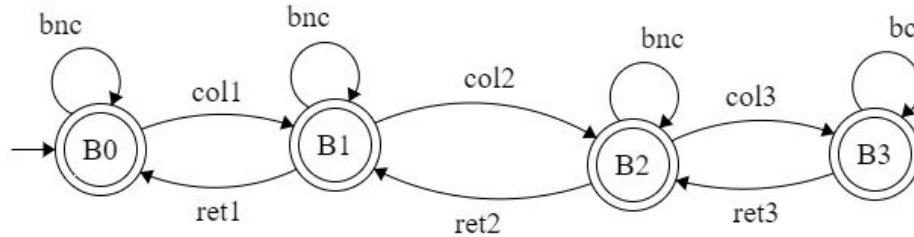


Figura 13. Autômato geral de buffer.

O modelo geral dos autômatos dos buffers tem as seguintes funções: Coloca peça em 1,2 ou 3; Retira peça em 1,2 ou 3. Os buffers também contém sensores que avisa o gerente se está cheio ou não.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
col1	Coloca em 1	ret2	Retira em 2
col2	Coloca em 2	ret3	Retira em 3
col3	Coloca em 3	bnc	Buffer não cheio
ret1	Retira em 1	bc	Buffer cheio

Tabela 12. Tabela de estados do Autômato geral de buffer.

4.2.14 Autômato gerenciador (*manager*)

A gramática utilizada neste autômato de gerenciamento da fabricação de peças do tipo um e dois, é resultante da 5-tupla a seguir:

$$M = (\Sigma, Q, \delta, A, \text{END})$$

$\Sigma = \{a.1, a.2, a.3, a.4, a.5, a.6, a.7, a.8, a.9, a.10, a.11, a.12, a.13, b.1, b.2, b.3, b.4, b.5, b.6, b.7, b.8, b.9, b.10, b.11, b.12, b.13, b.14, b.15, a.\text{def}, b.\text{def}, a.\text{ok}, b.\text{ok}, \text{fim}\}$

$Q = \{\text{Armazém, Esteira, rCol. e Paraf., bCol e Paraf., Col, Paraf, bQualidade, rQualidade, mPaquimetro, mImagem, rMil e Turn, bMil e Turn, mMil e Turn, END}\}$

$\delta = \text{tabelas 14, 15 e 16.}$

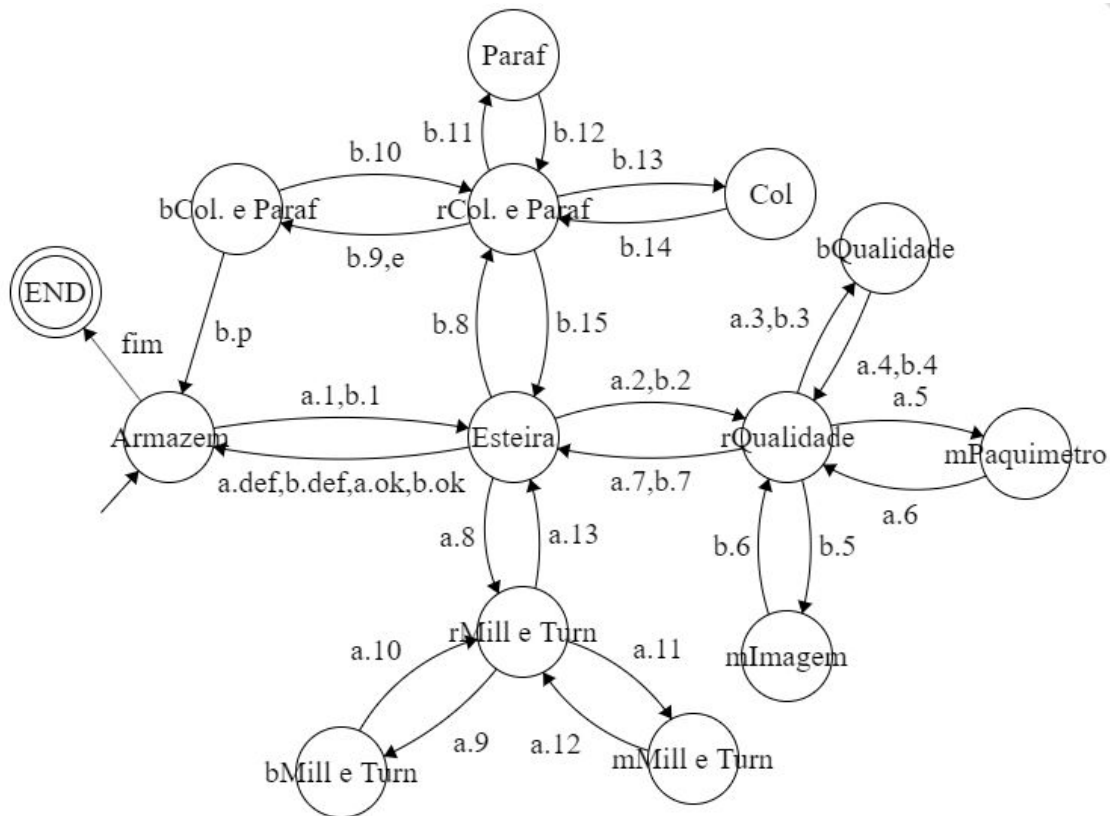


Figura 14. Autômato do *manager*.

Para o símbolo a.1 ou b.1 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato do *buffer* de destino (sendo para controle de qualidade, mil e turn ou colagem e parafusagem) reconhece a palavra “bnc”, que significa que há espaço para a próxima peça ser produzida. No caso do robô do armazém, o reconhecimento seria a palavra “sramp1ceend” ou “sramp2.1ceend” ou “sramp2.2ceend” ou “sramp2.3ceend”, que significa que o procedimento para colocar a matéria prima solicitada na esteira foi cumprido. Em relação a esteira, a palavra reconhecida seria “el”, que significa esteira em estado livre.

Para o símbolo a.2 ou b.2 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do controle de qualidade reconhece “vpcavc”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo.

Para o símbolo a.3 ou b.3 o autômato gerente acionaria outros da seguinte forma:

Para o autômato do robô do controle de qualidade a palavra reconhecida é “srcpecbend” que significa que a peça ou matéria prima pode ser recebida e é colocada no *buffer*. No caso do autômato do *buffer* pode-se reconhecer diferentes modos de possibilidade de espaço, respeitando sua limitação reconhecendo “col1”, “col2” ou “col3”.

Para o símbolo a.4 o autômato gerente acionaria outros da seguinte forma:

Com o robô do controle de qualidade livre, reconhecendo a palavra “srcpbcpnd”, leva o objeto do buffer para verificação no paquímetro de elemento com defeito. O autômato do *buffer* volta pro estado anterior com “ret1”, “ret2” ou “ret3”.

Para o símbolo a.5 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da máquina do paquímetro reconhece a seguinte palavra “smpansdssd”, se o objeto analisado não tiver defeito, ou “smpandscsd”, se o objeto analisado apresentar defeito.

Para o símbolo a.6 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

A esteira reconhece “el”, esteira livre e o buffer do mill e turn “bnc”, que significa que a espaço no buffer.

Para o símbolo a.7 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O robô do controle de qualidade reconhece a palavra “srcppceend”, pega do paquímetro e coloca na esteira se o robô estiver disponível.

Para o símbolo a.8 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Mill e Turn reconhece “vpmtavmt”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo.

Para o símbolo a.9 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato do robô do Mill e Turn tem como palavra reconhecida “srmtpecbend” que significa que a peça pode ser recebida e é colocada no *buffer*. No caso do autômato do *buffer do Mill e Turn* pode-se reconhecer diferentes modos de possibilidade de espaço, respeitando sua limitação reconhecendo “col1”, “col2” ou “col3”.

Para o símbolo a.10 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

Com o robô do Mill e Turn, reconhecendo a palavra “srmtpbcmend”, para mover a matéria prima do buffer para a máquina do Mill e Turn. O autômato do *buffer* volta pro estado anterior com “ret1”, “ret2” ou “ret3”.

Para o símbolo a.11 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

A máquina do Mill e Turn descreve a palavra “smmttbtp” no seu autômato , isso significa que a máquina estava livre, a peça foi trabalhada e o gerente foi informado que a peça está pronta.

Para o símbolo a.12 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

A esteira reconhece “el”, esteira livre e o buffer do controle de qualidade “bnc”, que significa que a espaço no buffer.

Para o símbolo a.13 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O robô do Mill e Turn reconhece a palavra “srmtpmceend”, pega da máquina e coloca na esteira se o robô estiver disponível.

Para o símbolo a.ok o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Armazém reconhece “vpaava”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo. Por fim o robô do armazém reconhece a palavra “srapepalend”, quando ele estiver livre pega peça da esteira e coloca no compartimento de P1’s prontas.

Para o símbolo a.def o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Armazém reconhece “vpaava”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo. Por fim o robô do armazém reconhece a palavra “srapepdesend”, quando ele estiver livre pega peça da esteira e coloca no descarte.

Para o símbolo b.4 o autômato gerente acionaria outros da seguinte forma:

Com o robô do controle de qualidade livre, reconhecendo a palavra “srcpbciend”, leva o objeto do buffer para verificação de imagem. O autômato do *buffer* volta pro estado anterior com “ret1”, “ret2” ou “ret3”.

Para o símbolo b.5 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da máquina de verificação por imagem gera “smiancdscd” ou “smiansdssd” dependendo se o elemento apresenta defeito ou não, respectivamente.

Para o símbolo b.6 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

Com o autômato do robô da esteira reconhecendo a mesma livre com “el”, e o *buffer* em estado “B0”, “B1” ou “B2” o gerente garante que poderá mandar o elemento para o destino.

Para o símbolo b.7 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O robô do controle de qualidade reconhece a palavra “srcpiceend”, pega da máquina da imagem e coloca na esteira.

Para o símbolo b.8 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Parafusa e Cola reconhece “vppcavpc”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo.

Para o símbolo b.9 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato do robô do Parafusa e Cola tem como palavra reconhecida “srpcpecbend” que significa que a peça pode ser recebida e é colocada no *buffer*. No caso do autômato do *buffer* pode-se reconhecer diferentes modos de possibilidade de espaço, respeitando sua limitação reconhecendo “col1”, “col2” ou “col3”.

Para o símbolo b.p o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O gerente solicita a próxima matéria prima para a produção da P2. O buffer reconhece a palavra “bnc”.

Para o símbolo b.10 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

Com o robô do Parafusa e Cola, reconhecendo a palavra “srpcpbcpfend”, para mover a matéria prima 1 ou 2 do buffer para a máquina de parafusar. O autômato do *buffer* reconhece a palavra “ret2” ou “ret3”.

Para o símbolo e o autômato gerente não realiza nada, movimento vazio.

Para o símbolo b.11 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

A máquina de parafusar descreve a palavra “smpfpap” no seu autômato, isso significa que a máquina estava livre, as matérias primas foram parafusadas e o gerente foi informado que a peça está pronta.

Para o símbolo b.12 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

Com o robô do Parafusa e Cola, reconhecendo a palavra “srpcppfccend”, para mover as matérias primas coladas da parafusagem para a máquina de colar.

Para o símbolo b.13 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

Com o robô do Parafusa e Cola, reconhecendo a palavra “srpcpbccend”, para mover a matéria prima 3 do buffer para a máquina de colar. O autômato do *buffer* reconhece a palavra “ret1”.

Para o símbolo b.14 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da máquina de parafusar reconhece a palavra “smccltp”, portanto ele estava livre, colou a matéria prima 3 nas matérias primas parafusadas e avisou o gerente que a peça está pronta.

Para o símbolo b.15 o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O robô parafusa e cola reconhece a palavra “srpcpcceend”, pega da máquina de colagem e coloca na esteira se o robô estiver disponível.

Para o símbolo b.ok o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Armazém reconhece “vpaava”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo. Por fim o robô do armazém reconhece a palavra “srapepa2end”, quando ele estiver livre pega peça da esteira e coloca no compartimento de P2's prontas.

Para o símbolo b.def o autômato gerente aciona outros da seguinte forma:

O autômato da esteira reconhece a palavra “aede”, logo a esteira foi acionada e desligada. O autômato do sensor de detecção do Armazém reconhece “vpaava”, traduzido como identifica que um objeto chegou e avisa o gerente sobre a chegada do mesmo. Por fim o robô do armazém reconhece a palavra “srapepdesend”, quando ele estiver livre pega peça ou matéria prima da esteira e coloca no descarte, no caso das matérias primas é solicitado ao gerente a produção de uma nova do mesmo tipo.

Para demonstrar a tabela delta é necessário algumas abreviações de nomes dos estados para melhor visualização da mesma, e isso é representado a seguir.

Estado	Abreviação	Estado	Abreviação
Armazém	A	rQualidade	rQ
Esteira	E	mPaquímetro	mP
rCol. e Paraf.	rC	mImagem	mI
bCol. e Paraf	bC	rMill e Turn	rM
Col	C	bMill e Turn	bM
Paraf	P	mMill e Turn	mM
bQualidade	bQ	END	END

δ	fim
A	END

[illegible]

[illegible][illegible]

m M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
bM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
rC	-	-	-	-	-	-	-	-	bC	-	P	-	C	-	E	b C	-	-	-
bC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rC	-	-	-	-	-	-	A	-	-
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rC	-	-	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	rC	-	-	-	-	-	-	-
E N D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 16. Tabela delta número três para Autômato do *manager*.

4.3 Resultados

A aplicação feita é em forma de site em Javascript para demonstração de mudança de estados dos autômatos como forma de simular as etapas das peças. Foi desenvolvido uma forma de visualização de vários autômatos de gerenciamento - cada um representando o autômato de cada peça - por meio de um modelo único, porém com cada peça definida com uma determinada cor gerada aleatoriamente. Nota-se que a cada demanda nova, a cor muda para cada nova peça pedida. Caso uma demanda for inválida, ou seja, símbolos diferentes de “1” e “2”, a aplicação mostra mensagem de demanda inválida. Em baixo do modelo de autômato de gerenciamento é demonstrado a legenda de cores e com a porcentagem de erro de cada peça.

As funcionalidades do projeto incluem 3 botões principais: start/restart, stop, continue, o botão de start irá ler a demanda inserida e caso ela seja válida irá iniciar a renderização, caso stop seja pressionado durante a apresentação o usuário poderá mover as peças com a tecla ‘ArrowRight’ (-->) do teclado, se ele desejar será possível retornar as transições utilizando a tecla ‘ArrowLeft’ (<--), apertando o botão continue ele continuará as transições da posição atual.

Ao lado da aplicação estão presentes 12 botões, cada um representando um dos autômatos utilizados no projeto, ao clicar será apresentado ao usuário uma nova aba onde está presente o respectivo autômato.

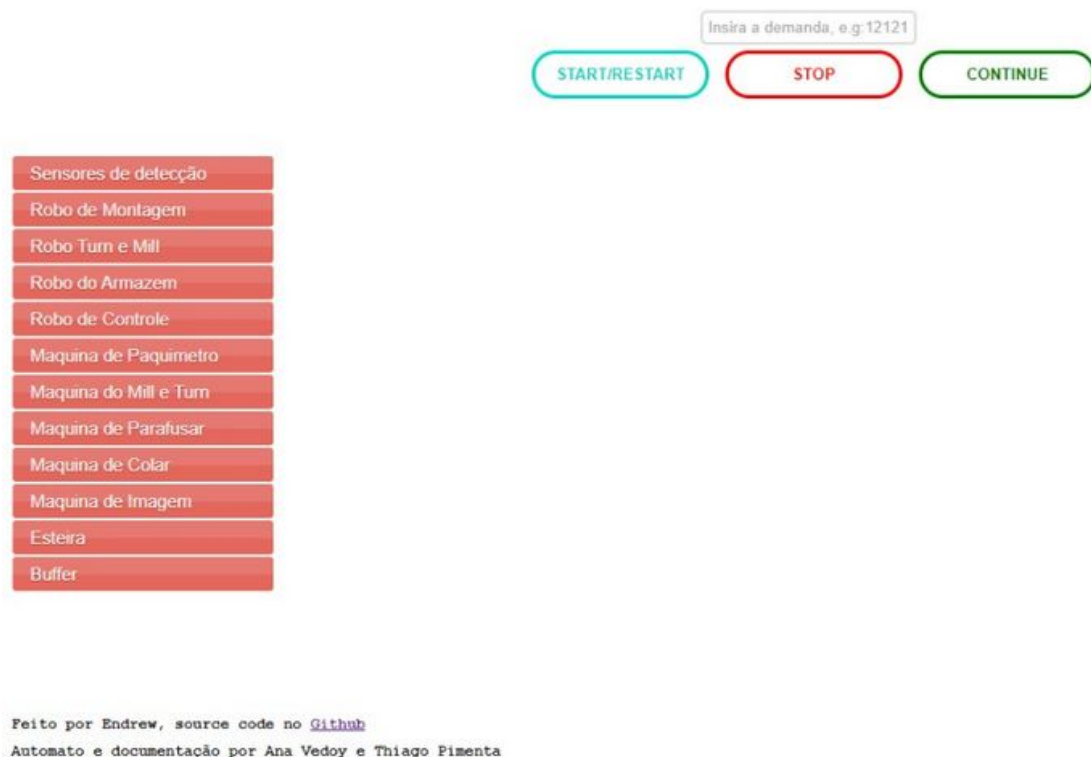


Figura 15. Tela inicial da aplicação.

Foi demonstrado apenas o autômato de gerenciamento para simulação, e para possíveis projetos futuros os outros autômatos também seriam animados por meio de demanda. No presente trabalho é possível ver o autômato de cada componente da fábrica em uma outra aba. Abaixo segue uma imagem da aplicação:

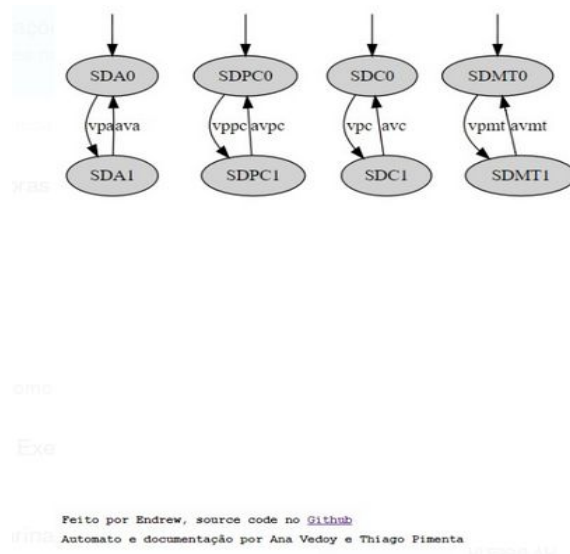


Figura 16. Tela da aplicação mostrando autômatos de sensores.

5. Conclusão

Pela análise de resultados foi possível concluir que autômatos finitos determinísticos simulam processos e etapas para que seja possível uma modelagem mais detalhista e real. Dentro de formalismos como linguagens regulares e autômatos das mesmas, podemos definir novas formas de produção e controlar diversos sistemas e suas variáveis. No caso do presente trabalho podemos perceber a simulação de uma fábrica simplória, porém o mesmo modelo pode-se aplicar a outros casos. Concluímos a simulação contribuiu para o aprofundamento de novos conhecimentos sobre controle e modelagem de autômatos. Também podemos definir que as análises atuais demonstraram praticidade em relação a todos os autômatos presentes.

Referências

- Villanueva, J. (2016) “Teoria de Linguagens Formais e Autômatos”,
<http://www.cear.ufpb.br/juan/wp-content/uploads/2016/08/Aula-4a-Linguagens-Formais-e-Autômatos.pdf>, Outubro.
- Ramos, M. (2008) “Linguagens Formais e Autômatos”,
<http://www2.fct.unesp.br/docentes/dmec/olivete/lfa/arquivos/Apostila.pdf>, Abril.
- Palazzo, L. (2007) “Expressões Regulares e Gramáticas Regulares”
<http://infocat.ucpel.tche.br/disc/lfa/docs/LFA-T02.pdf>, Março.