



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**



JOÃO GABRIEL SANTOS SILVA

**MODELAGEM DE PROCESSO CRÍTICO DE MANUFATURA UTILIZANDO
LINGUAGEM DE AUTÔMATOS PARA LIBERAÇÃO PARAMÉTRICA**

MANAUS - AM

2021

JOÃO GABRIEL SANTOS SILVA

**MODELAGEM DE PROCESSO CRÍTICO DE MANUFATURA UTILIZANDO
LINGUAGEM DE AUTÔMATOS PARA LIBERAÇÃO PARAMÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador: Prof. Dr. Cleonor Crescêncio das Neves

MANAUS - AM

2021

Dedico este trabalho aos meus pais
Denis Silva e Rejane Santos Silva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me proporcionado o dom da vida além de sabedoria e resiliência para que pudesse concluir mais esta etapa importante em minha vida. Em segundo lugar aos meus pais, Denis e Rejane, cujo apoio, motivação, conselhos e ensinamentos nunca estiveram ausentes durante toda minha jornada tanto acadêmica como pessoal.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Cleonor Crescêncio das Neves, pela paciência, expertise e maestria com que me orientou mesmo remotamente devido a situação de pandemia durante o ano de 2020.

Agradeço a toda minha família que direta ou indiretamente sempre me apoiaram e incentivaram, em especial para meu avô Daniel de Castro Silva que infelizmente não conseguirá me ver concluir minha jornada por não estar mais presente entre nós.

Agradeço aos professores por compartilharam seus conhecimentos e experiências conosco e que em muitos momentos não dávamos a relevância que mereciam, mas que na medida em que amadurecemos percebemos a real importância dos seus trabalhos para nosso aprendizado.

Aos meus amigos de curso que somaram muito para o meu crescimento pessoal e acadêmico além de compartilharem diversas realidades de vida com todas suas alegrias, tristezas, brincadeiras, desentendimentos, estresses em épocas de provas e momentos de lazer aos finais dos períodos.

Por fim, gostaria de agradecer a cada pessoa com que tive o prazer de conviver, interagir, conhecer e conversar ao longo de todos esses anos em que estive na instituição.

“Ler fornece ao espírito materiais para o conhecimento, mas só o pensar faz nosso o que lemos”. (John Locke)

RESUMO

O presente trabalho está focado em apresentar uma alternativa para melhoria de processos críticos de manufatura utilizando linguagens de autômatos capaz de possibilitar, através de liberação paramétrica, o aval de produtos que foram aprovados durante testes de qualidade e que não apresentaram durante sua confecção, nenhuma característica defeituosa desde o início até o último posto de embalagem do produto para o mesmo poder ser comercializado no mercado. Este estudo foi baseado em um projeto realizado em empresa do Polo Industrial de Manaus durante período de estágio, na qual foram utilizados critérios/padrões de qualidade para identificar etapas cruciais da cadeia produtiva, com intuito de utilizar conceitos voltados para linguagens de autômatos capazes de simular um processo existente em escala reduzida. A fim de permitir que determinados sistemas analisados controlem o avanço para a etapa seguinte somente em casos nos quais a condição anterior seja cumprida, foi desenvolvido um fluxo de execução do equipamento de modo que seja possível realizar o bloqueio de materiais ao longo de qualquer etapa de sua fabricação baseado na análise de parâmetros conformes e não-conformes em que seus componentes/equipamentos se encontram. Levando em consideração esta alternativa, torna-se viável propor um sistema capaz de garantir redução de custos com eventuais perdas de produção, realizar diferentes simulações para eventos que possam surgir devido a interferências externas ou do próprio equipamento, mapear os estados de cada componente durante todas suas etapas do processo de manufatura, além do aumentar a confiabilidade e segurança do produto acabado para o consumidor final.

Palavras-chave: Processos críticos, Parâmetros, Qualidade, Liberação e Autômatos.

ABSTRACT

The present work is focused on presenting an alternative to improve manufacturing processes using automata languages capable of enabling, through parametric release, the endorsement of products that were approved during quality tests and that did not present during their manufacture, any defective characteristics from the beginning until the last packaging station of the product so that it can be sold on the market. This study was based on a project carried out in a company from the Industrial Pole of Manaus during the internship period, in which quality criteria / standards were used to identify crucial stages of the production chain, in order to use concepts aimed at automaton languages capable of simulate an existing small-scale process. In order to allow fluid systems to control the advance to a stage to follow only in cases where a previous condition is met, a flow of execution of the equipment has been developed so that it is possible to perform the blocking of materials throughout any stage of its manufacture based on the analysis of conforming and non-conforming parameters in which its components / equipment if specified. Taking this alternative into consideration, it becomes feasible to propose a system capable of guaranteeing cost reduction with production losses, carrying out different simulations for events that may arise due to external interferences or from the equipment itself, mapping the states of each component during all its stages of the manufacturing process, in addition to increasing the reliability and safety of the finished product for the final consumer.

Keyword: Critical Processes, Parameters, Quality, Release, Automata.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Investimento e retorno econômico que envolve a Liberação Paramétrica	17
Figura 2 - Pilares da Gestão e Garantia de Qualidade	20
Figura 3 - Ciclo PDCA	22
Figura 4 - Sistema em malha aberta	30
Figura 5 - Sistema em malha fechada	30
Figura 6 - Computador pessoal	35
Figura 8 - O ciclo de realimentação do controle de supervisão, com G representando o sistema não controlado S o supervisor	37
Figura 9 - O ciclo de realimentação do controle de supervisão no caso de observação parcial	38
Figura 10 - Representação das etapas do sistema por blocos	38
Figura 11 - Fluxograma das atividades realizadas pelo bloco 1	39
Figura 12 - Ambiente virtual utilizado para realização de simulações	40
Figura 13 - Adição de estado em ambiente virtual	40
Figura 14 - Inclusão de estados do bloco 1	41
Figura 15 – Definição do evento inicial	41
Figura 16 – Mudança de nomenclatura de componente	42
Figura 17 - Estados do bloco 1 renomeados	43
Figura 18 - Adição de transição entre estados	44
Figura 19 - Janela de edição da transição	44
Figura 20 - Definição da linguagem de transição	45
Figura 21 - Componentes do bloco 1 renomeados e conectados entre si	45
Figura 22 - Transição dentro do mesmo estado	46
Figura 23 - Linguagem de transição no evento 2	46
Figura 24 - Representação de simulação do bloco 1	47
Figura 25 - Definição de estado final	48
Figura 26 - Representação do bloco 1 pronta para ser simulada	48
Figura 27 - Iniciar simulação do bloco	48
Figura 28 - Aba de simulação dentro do ambiente virtual	49
Figura 29 - Adição do algoritmo na Fila de Entrada	49
Figura 30 - Simulação do primeiro passo do algoritmo	50
Figura 31 - Configurações de autômatos obtidas ao final da simulação	51
Figura 32 - Simulação realizada com sucesso	52
Figura 33 - Fluxograma de atividades realizadas pelo bloco 2	53
Figura 34 - Componentes do bloco 2	54
Figura 35 - Ponto inicial no evento 2 e ponto final no Estado 4	55
Figura 36 - Adição de ponto final no Estado 2	55

Figura 37 - Representação do Bloco 2 em ambiente virtual.....	56
Figura 38 - Configurações de autômatos do algoritmo de espera/sucesso.....	57
Figura 39 - Configurações de autômatos do algoritmo de erro.....	58
Figura 40 - Fluxograma de atividades realizadas pelo bloco 3.....	59
Figura 41 - Componentes do bloco 3 representados em ambiente virtual	60
Figura 42 - Transições realizadas entre componentes do Bloco 3	61
Figura 43 - Configurações de autômatos obtidas após simulação do bloco 3.....	62
Figura 44 - Componentes adicionados em ambiente virtual	64
Figura 45 - Fluxo em ambiente virtual dos três blocos unificados.....	64
Figura 46 - Fluxo completo do processo com loop	66
Figura 47 - Sequência de configurações de autômatos em I.....	67
Figura 48 - Sequência de configurações de autômatos em II.....	67
Figura 49 - Sequência de configurações de autômatos em III.....	68
Figura 50 - Loop do processo de montagem/embalagem em larga escala.....	69
Figura 51 - Sequência de configurações de autômatos em IV.	70
Figura 52 - Sequência de configurações de autômatos em V.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo referências internacionais sobre o conceito da Liberação Paramétrica.....	18
Quadro 2 - Etapas bloco 1	42
Quadro 3 - Atividades do bloco 1	50
Quadro 4 - Etapas bloco 2	54
Quadro 5 - Etapas algoritmo de sucesso do bloco 2	57
Quadro 6 - Etapas algoritmo de erro do bloco 2.....	58
Quadro 7 - Resultados obtidos em simulações do Bloco 2	59
Quadro 8 - Etapas bloco 3	60
Quadro 9 - Configuração de autômato do bloco 3	62
Quadro 10 - Resultados obtidos em simulações do Bloco 3.....	63
Quadro 11 - Linguagens aceitas pelo bloco unificado.....	66
Quadro 12 - Linguagens aceitas pelo bloco unificado com loop.	69

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>L.P</i>	Liberação Paramétrica
Σ	Alfabeto
<i>L</i>	Linguagem
<i>W</i>	Cadeia
<i>X e Y</i>	Conjuntos
<i>Z</i>	Coleção de Conjuntos
<i>ISO</i>	International Organization for Standartization
<i>Q-Factors</i>	Fatores de Qualidade
<i>SED</i>	Sistemas de Eventos Discretos

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 MOTIVAÇÃO	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	15
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 LIBERAÇÃO PARAMÉTRICA E CONTROLE DE QUALIDADE	16
2.1 CRITÉRIOS DE LIBERAÇÃO.....	16
2.1.1 Conceito de Liberação Paramétrica	16
2.1.2 Princípios da Gestão de Qualidade	18
2.2 CONTROLE DE QUALIDADE	21
2.2.1 Evolução da Qualidade	21
2.2.2 Princípios da Qualidade Total	22
2.2.3 Controle de Qualidade e <i>Q-Factors</i>	23
3 TEORIA DE AUTÔMATOS E PROPOSTA DO TRABALHO	28
3.1 PROJETO DE AUTÔMATOS FINITOS.....	28
3.2 LINGUAGEM DE AUTÔMATOS.....	30
3.3 OPERAÇÕES COM AUTÔMATOS.....	31
4 METODOLOGIA	32
4.1 MÉTODO DO PROJETO.....	32
4.1.1 Tipos de Metodologia	32
4.1.2 Teoria do Projeto	33
4.2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	34
4.2.1 Ambiente Virtual	34
4.2.2 Materiais.....	34
5 PROJETO	36
5.1.1 Sistemas de Eventos Discretos.....	36
5.1.2 Desenvolvimento do Projeto.....	38
6 SIMULAÇÕES E RESULTADOS	63
6.1 INTRODUÇÃO.....	63
6.2 UNIFICAÇÃO DOS BLOCOS.....	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	72
8 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Pela definição da FDA (Food and Drug Administration) e a EMEA (European Agency for the Evaluation do Medicinal Product) a Liberação Paramétrica (*L.P*) remete a um conceito no qual os produtos, ao final do processo de fabricação, são expedidos sem a necessidade de testes específicos ao produto acabado [1,2]. Trata-se de um processo baseado em evidências documentais e informações estruturadas que comprovam que todos os controles são realizados atendendo aos parâmetros de qualidade, o que resulta em produtos seguros conforme suas especificações.

De acordo com Hock et al. e Korczynski a prática da *L.P* consiste em conhecer o processo e ter domínio total dos seus pontos críticos [3,4]. Embora seja um assunto recente, a prática da Liberação Paramétrica existe há mais de 25 anos, sendo aceita e praticada em países como Japão, Estados Unidos, Canadá e países da comunidade europeia [1,2,5].

Para conhecer os pontos críticos de um processo, ferramentas de análise de risco já consagradas na literatura como FMEA (Análise de Modos de Falha e seus Efeitos) e HACCP (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle) podem ser aplicadas a fim de se realizar uma análise estruturada dos dados do processo [6].

Portanto, com intuito de reduzir o impacto de fontes de variações tanto internas quanto externas nos equipamentos durante etapas críticas do processo de manufatura. além de possuir um critério de liberação eficiente e seguro incapazes de afetar os consumidores finais, diante deste cenário, este trabalho apresenta a elaboração de uma modelagem de monitoramento utilizando sistemas controlados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar a metodologia de modelagem baseado em linguagens de autômatos voltados para Liberação Paramétrica de produtos inseridos em processos de manufatura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar referências de Liberação Paramétrica.
- Apresentar parâmetros críticos de qualidade para Liberação Paramétrica.
- Diferenciar parâmetros críticos primários e secundários.
- Utilizar teoria de autômatos para elaborar a proposta do trabalho.
- Simular, em ambiente virtual, processo de manufatura aplicado na metodologia de Liberação Paramétrica.
- Identificar diferentes cenários em que o equipamento do processo pode se encontrar.
- Analisar os resultados obtidos.

1.3 MOTIVAÇÃO

Do ponto de vista do cliente, a qualidade está associada ao valor e à utilidade reconhecidos ao produto, estando em alguns casos ligada ao preço. Sob este aspecto, a qualidade não é unidimensional: o cliente, em geral, avalia um produto tendo em conta várias das suas características simultaneamente [6,7].

Já no ponto de vista das organizações, o conceito acordado de qualidade deve ser claro e objetivo, o que implica em a empresa fornecedora estar ciente das necessidades de seus clientes definindo os requisitos de qualidade do produto em função das mesmas. O processo necessita ser acompanhado e seu desempenho precisa ser avaliado por procedimentos focados nestas características de qualidade percebidas [7].

1.4 JUSTIFICATIVA

Inovação relaciona-se à ocorrência de novidades e mudanças, que podem ser ao produto, processos, formas de trabalho, tecnologias e negócios. Assim, destacam-se também as inovações que podem ser geradas dentro do processo de produção e que podem acarretar grandes benefícios tanto econômicos como de qualidade ao produto final [8].

Conforme exposto anteriormente, o conceito de Liberação Paramétrica considera-se como uma inovação, no que se refere a um novo meio de se liberar o produto ao mercado [9]. Com isso, estudos sugerem que por meio de sua aplicação em conjunto com modelos de controle durante as etapas de um processo manufatura, torna-se possível avaliar quais etapas são as mais críticas ao sistema e quais devem possuir um grau de controle mais elevado.

Sendo assim, torna-se possível elaborar um planejamento para a implementação da Liberação Paramétrica com base em um gerenciamento de risco estruturado de forma que os produtos ao serem finalizados tenham sido aprovados por todos os testes não só de segurança, mas também de qualidade.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em 6 capítulos, a seguir será realizado a descrição de cada um deles:

- Capítulo 1 – Introdução: Contém a contextualização, propostas, objetivos, motivações e justificativa para o desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 2 – Liberação Paramétrica e Controle de Qualidade: Abordará uma visão geral sobre o que é a *L.P* em paralelo com o papel da qualidade na utilização de critérios para liberação de produtos em ambientes de manufatura.

- Capítulo 3 – Teoria de Autômatos e Proposta do Trabalho: Apresentação da proposta de solução para o tema debatido ao longo do trabalho.
- Capítulo 4 – Metodologia: Detalhamento da metodologia utilizada, referências, softwares utilizados, simulações realizadas e descrição do projeto.
- Capítulo 5 – Projeto: Desenvolvimento das etapas do projeto através de blocos separados em conjunto com ilustração de suas simulações.
- Capítulo 6 – Simulações e Resultados: Apresentação dos resultados obtidos através da simulação dos blocos de forma individual e posteriormente de todos reunidos em um único bloco.
- Capítulo 7 – Considerações Finais e Trabalhos Futuros: Por fim, tratará sobre possíveis melhorias para projetos futuros expandindo horizontes para continuação de outras pesquisas.

2 LIBERAÇÃO PARAMÉTRICA E CONTROLE DE QUALIDADE

2.1 CRITÉRIOS DE LIBERAÇÃO

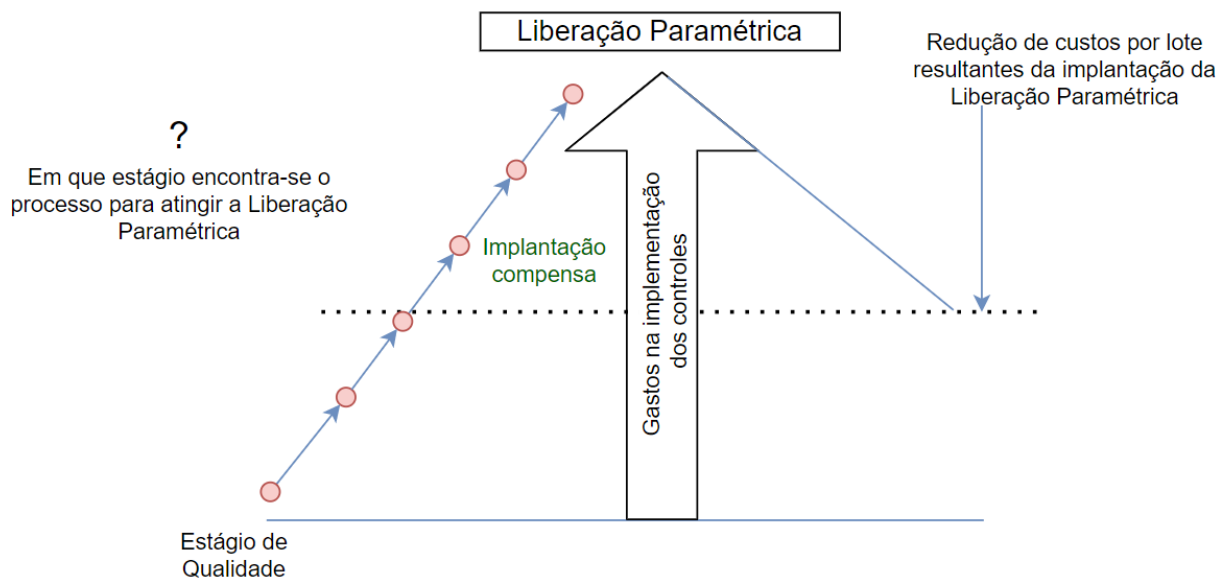
2.1.1 Conceito de Liberação Paramétrica

A Liberação Paramétrica, em sua definição, refere-se a “parâmetros”, ou seja, consiste na liberação de produtos, com base na comprovação efetiva de que todos os parâmetros do processo foram atendidos, obtendo produtos dentro dos critérios de qualidade [9].

Nesse contexto, a forma de liberar parametricamente um produto ao mercado, pode ser considerada uma alternativa mais efetiva e segura, quando comparada à técnica de liberação através da execução de testes específicos do produto acabado ao final do processo de fabricação, pois os testes específicos podem apresentar limitações para garantir a qualidade do produto final, podendo até

mesmo ser considerados desnecessários ao processo conforme apresentado na Figura 1 [9].

Figura 1 - Investimento e retorno econômico que envolve a Liberação Paramétrica



Fonte: Adaptação de [9]

Conforme guia da EMEA, Liberação Paramétrica pode resultar na eliminação de testes específicos do produto acabado ao final do processo [10]. A *L.P* para produtos surgiu como alternativa à deficiência do teste final dos mesmos, pois o teste apresenta limitações, não sendo capaz de garantir que todas as unidades do lote se encontram sem defeitos [5, 11, 12, 13, 14, 15].

Com objetivo de garantir segurança aos produtos, a responsabilidade do teste final assumiu uma visão global do processo, ou seja, garantir que o produto seja monitorado tendo pleno controle em todas as etapas da cadeia produtiva, retirando do teste final a responsabilidade de confirmação da qualidade do lote, baseando-se assim no contexto da *L.P* [13].

No Brasil, a *L.P* encontra-se em processo de regulamentação por se tratar de um assunto relativamente recente. O início oficial da discussão de seu conceito ocorreu em 2010 com a abordagem do tema na Farmacopeia Brasileira e atualmente encontra-se em evidência, devido à publicação recente da Consulta

pública nº5, de 14 de fevereiro de 2014, que dispõe sobre uma possível aprovação e regulação a adoção da *L.P* no Brasil.

Mesmo já havendo uma proposta regulamentar da *L.P*, não existem muitas publicações e guias nacionais, que orientem quais são os passos necessários que a indústria deve seguir para poder implementá-la, em substituição ao teste de produto final, conforme pode ser observado NO Quadro 1 pela definição que alguns países atribuem para prática da *L.P* [16].

Quadro 1 - Resumo referências internacionais sobre o conceito da Liberação Paramétrica

	Estados Unidos	União Europeia	Japão
Documento	Farmacopeia Americana UPS 36	Europe Medicine Agency EMA/CHMP/QWP/811210/2009-Rev1	Farmacopeia Japonesa 16° Edição
Ano	1 de novembro de 2012	29 de março de 2012	24 de março de 2011
Definição de L.P	Liberação paramétrica é definida como uma liberação de lotes de produtos com esterelização terminal, baseada nas evidências dos parâmetros críticos do processo de esterelização, sem a necessidade de realizar o teste de esterilidade terminal. Para que seja possível a liberação a liberação paramétrica, o processo de esterelização deve ser bem conhecido, parâmetros do processo bem definidos e mensuráveis e o processo deve ser validado	Liberação paramétrica é baseada na evidência de validação bem sucedida do processo de fabricação e revisão da documentação sobre monitoramento de processos durante a fabricação, sem a medição direta de atributos de qualidade. Ele pode ser usado como uma alternativa operacional para terminar o teste do produto para medicamento, em certos casos, quando aprovada pela autoridade competente. Testes de esterilidade para medicamentos esterelizados terminalmente é um exemplo.	Liberação Paramétrica é um método que pode ser aplicado em casos onde o sistema de esterelização é muito bem definido e os pontos críticos de controle estão claramente especificados e o processo de esterelização deve ser validado com a utilização de um bioindicador apropriado. Processo de liberação baseado na avaliação dos relatórios da produção e nos parâmetros críticos de esterelização como: temperatura, umidade, pressão, tempo, baseado em um sistema validado, sem a necessidade de realizar o teste de esterilidade terminal.

Fonte: Adaptação de [9]

2.1.2 Princípios da Gestão de Qualidade

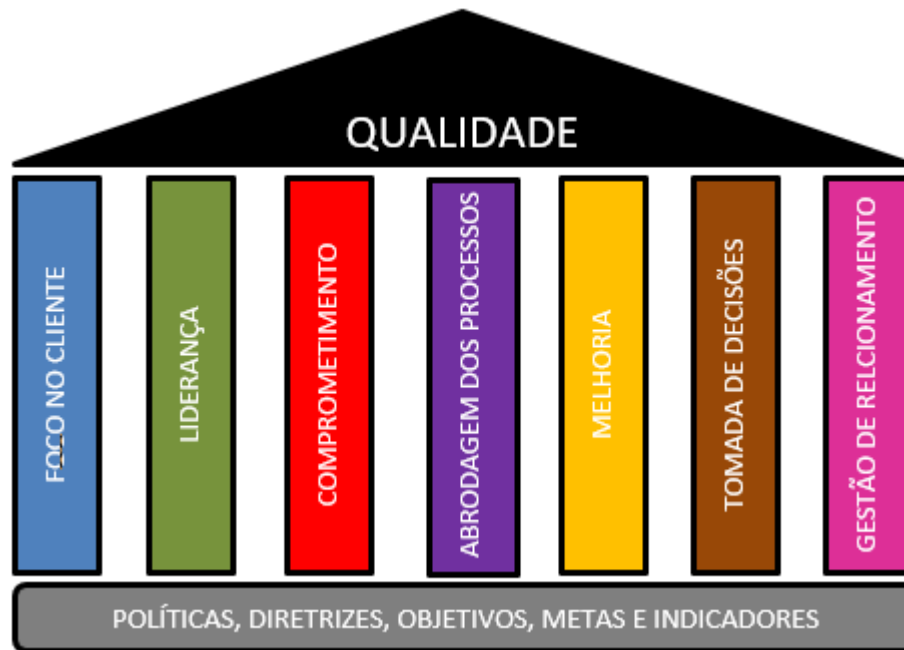
O aperfeiçoamento produtivo das organizações, atrelado a fatores advindos do conhecimento humano, favorece a automatização de processos, permitindo não só a redução de custos, mas também de recursos físicos e humanos nos mais variados setores. O foco principal da indústria 4.0, visa criar empresas com processos inteligentes com características de adaptabilidade em conjunto de uma maior eficiência dos recursos da produção [17].

Na indústria 4.0, termo usado para caracterizar o aumento da automatização de processos de manufatura em empresas, a qualidade também se faz relevante, uma vez que a precisão, a produtividade e os custos são elementos cada vez mais presentes neste cenário onde a flexibilidade dos sensores e softwares tornaram-se sinônimos tanto de eficiência quanto eficácia. Portanto, a gestão da qualidade mostra-se como um pré-requisito fundamental para o sucesso econômico e sustentável nas empresas [18].

Embora a gestão da qualidade em parceria com suas ferramentas seja utilizada no dia-a-dia das organizações, estas devem estar sempre preparadas para possíveis adequações conforme as necessidades advindas do mercado de um modo geral. O futuro das organizações demanda uma adequação e desenvolvimento de novas competências que serão requisitos para a criação de habilidades que nem sequer são ainda conhecidas [19].

O propósito de um sistema de gestão da qualidade consiste em elaborar atividades de gestão da produção que contribuam para evitar ocorrências de não conformidades, cooperando assim com satisfação dos clientes em paralelo com a redução de custos [20]. Sendo assim, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou em 1987 uma série de normas internacionais para Gestão e Garantia da Qualidade que posteriormente culminaram na criação dos pilares da gestão e garantia da qualidade, conforme exibido na Figura 2:

Figura 2 - Pilares da Gestão e Garantia de Qualidade



Fonte: Autoria Própria

Foco no cliente: Tendo como foco o usuário final, do princípio ao fim de qualquer processo, aumentam as chances de que o produto ou serviço atendam às necessidades e agreguem valor, porém é preciso que a liderança fomente a cultura que visa satisfazer o cliente final. A gestão da qualidade deve buscar no cliente a sua principal fonte de inspiração e ao mesmo tempo possuir o objetivo de satisfazê-lo [21].

Liderança: Não se trata de hierarquia, trata-se da capacidade que algumas pessoas têm de inspirar, incentivar, fomentar e executar processos eficientes. Essas pessoas devem ocupar posições estratégicas dentro de um sistema de gestão da qualidade, pois possuem papel de identificar as potencialidades e debilidades individuais e aproveitar o melhor de cada colaborador [21].

Comprometimento das pessoas: Identificar e desenvolver as potencialidades dos colaboradores é fundamental em um sistema de gestão da qualidade para conquistar o comprometimento das pessoas, uma vez que a empresa estimula o crescimento pessoal, os colaboradores se sentem envolvidos com os objetivos, desafios e metas da empresa [22].

Abordagem dos processos: Quando determinado os principais processos de negócio (entrada – atividade – saída) a qualidade e a eficiência tendem a ser maiores, pois quando se dedica maior tempo ao planejamento de um processo menos tempo será necessário para correções de tarefas mal planejadas [23].

Melhoria: A adoção de ações de melhoria permite à organização se posicionar de forma adequada mediante as situações transitórias que apareçam em sua rotina, além de incrementar a satisfação de seus clientes [22].

Tomada de decisão baseada em evidências: Uma vez que se monitora as atividades é necessário decidir em função das análises realizadas, pois para tomar as ações necessárias é fundamental analisar evidências, pois estas ajudam a tomar decisões sem caráter especulativo [21].

Gestão de relacionamento: Gerenciar relacionamento entre pessoas, processos e organizações trazem benefícios para a cadeia produtiva uma vez que a qualidade do relacionamento fortalece a marca, aumenta o volume de negócios e proporciona ambiente de trabalho agradável [21].

Quando um sistema de gestão da qualidade está estruturado nos sete pilares e assimilado por todos da organização, torna-se mais eficiente e eficaz a inclusão de inovações tecnológicas.

2.2 CONTROLE DE QUALIDADE

2.2.1 Evolução da Qualidade

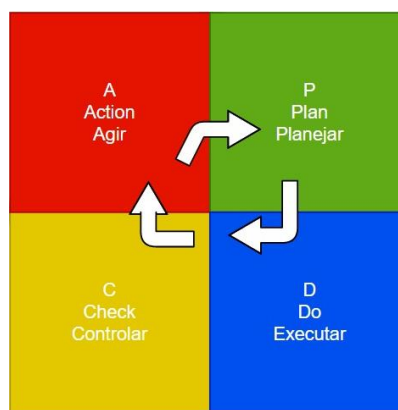
No século XIX a utilização real da qualidade total pelos gestores mostrava apenas uma ferramenta de simples controle nos processos geralmente aplicados em indústrias. Na prática tratava-se de um simples monitoramento efetuado por gerentes e supervisores das fábricas sobre o processo de produção. Com isto, a questão “qualidade”, foi tratada de forma simples e conforme a aplicação de seus conceitos apresentava muitas falhas, tornou-se comum o produto ser lançado e oferecido aos clientes junto com um kit de manutenção [24].

Na década de 20, o Dr. W Edwards Deming, em visita a algumas empresas verificou que estas realizavam inspeção nos produtos somente ao final do processo, para identificar erros. Logo em seguida, conheceu Walter A. Shewhart, engenheiro do departamento de controle de qualidade da empresa americana Western Electric

que foi o precursor na identificação da causa de variações nos processos de produção desenvolvendo métodos estatísticos que permitiam o controle das variações do produto [24].

Nos anos de 30 a 40, Deming se dedicou ao aperfeiçoamento e aplicação prática de suas concepções. E com isto desenvolveu uma das bases mais solidificadas e utilizadas até os dias de hoje, no que se diz respeito a “QUALIDADE”. O ciclo PDCA, ou ciclo Deming (Figura 3) [7].

Figura 3 - Ciclo PDCA



Fonte: Adaptação de [7]

2.2.2 Princípios da Qualidade Total

O “Controle da Qualidade Total” vem sendo uma abordagem que tem prestado significativa contribuição às empresas na busca da excelência voltadas para padrões internacionais de qualidade. [7]

Trata-se de uma excelente ferramenta que engloba os aspectos de características de controle, ordenação, utilização regrada e sem desperdícios, limpeza, saúde e autodisciplina. Como resultado se tem pleno desenvolvimento aperfeiçoado e por consequência produtos e serviços oferecidos aos clientes com a qualidade e garantias esperadas [22].

A partir disso, forma-se um conceito de obrigatoriedade de qualidade, impactando fortemente nas ações gerenciais, processos operacionais e práticas de engenharia, abrindo caminho para a evolução nos anos 70 e servindo de base para os sistemas de qualidade modernos. [7]

2.2.3 Controle de Qualidade e *Q-Factors*

George e Weimerskirch [25] afirmam que o mercado geral e o desempenho dos negócios podem ser realizados por meio de produtos de longo prazo melhoria da qualidade e que esta é a parte fundamental da revolução da qualidade moderna nos mercados globais. Certificação de qualidade em conformidades com as mesmas, tornaram-se parte da vida diária na maioria das organizações de manufatura em todo o mundo em tentar garantir a qualidade consistente do produto para manter sua competitividade.

A importância da qualidade também se destaca por meio dos grandes impactos de custo para organizações por meio de reclamações de garantia, sucata interna produzida, perda de vendas devido à insatisfação dos clientes e em última análise, a reputação da marca conforme enfatizado por Ahire e Dreyfus [26] que as impressões dos clientes dos produtos de uma empresa são formadas com base em suas experiências atuais e passadas com esses produtos e podem ter impactos no valor da marca da empresa.

Além do mais, pesquisadores [27] descobriram que a experiência de satisfação de um consumidor com um produto leva a um menor número de clientes insatisfeitos, maior fidelidade do cliente e, por sua vez maior participação de mercado, o que destaca novamente a importância desse ponto para o valor da marca e sua participação de mercado, que estão, em última análise, todas ligadas pela qualidade.

Por meio de investigações preliminares, foram verificados que muitos fatores que afetam a qualidade são discutidos na literatura, mas que muitas organizações só levam alguns dos fatores "primários" ou Q-Factor Primários em consideração quando estão tentando melhorar a qualidade do produto e os fatores "secundários" ou Q-Factor Secundários às vezes nem são considerados, mas que estão longe de serem desprezados. Portanto, os seguintes passos devem ser considerados a fim de entender a relevância de cada parâmetro inserido em um processo de manufatura:

1. Identificar quais os possíveis *Q-Factors* presentes no sistema analisado.

2. Classificar parâmetros como *Q-Factors* Primários e Secundários baseados em sua ordem de importância ou efeito que eles têm na qualidade dentro de um processo de manufatura inserido em uma organização.

Para um parâmetro ser considerado um *Q-Factor* Secundário o mesmo deve apresentar uma característica que em determinada(as) etapa(s) do processo de confecção de um produto, não afetaria diretamente a qualidade, usabilidade ou segurança do consumidor final.

Entretanto, em casos em que este parâmetro possui irregularidades durante o funcionamento dos equipamentos e nenhuma ação seja tomada de imediato, o processo passará a trabalhar de maneira instável e a qualquer momento começará a produzir cada vez mais peças defeituosas. Dentre os principais *Q-Factors* Secundários que podem afetar a qualidade do produto, existem os seguintes tópicos:

- Cultura Organizacional - Organizações com um cultura organizacional de qualidade caracterizadas por serem inovadoras, ágeis, que antecipam e respondem as necessidades de seus cliente levando a um menor número de insatisfação e, portanto, a capacidade de ganhar e manter a liderança de mercado [33]
- Compromisso da força de trabalho – A ética do trabalho é vista através do compromisso dos funcionários como um todo pela empresa para a qual trabalham. Dow et al [34] descobriu que o compromisso da força de trabalho tem uma associação positiva significativa com a qualidade do produto.
- Trabalho em equipe e cooperação - Rahman & Bullock [35] descobriram que o trabalho em equipe é necessário para criar um ambiente em que sistemas de gestão da qualidade como o TQM possam ser implementados de forma eficaz.

- Envolvimento e capacitação do funcionário - Dow et al [34] descobriu que o envolvimento do funcionário rende benefícios substanciais em resultados de qualidade
- Treinamento - Estudos têm mostrado que treinamentos voltado para a qualidade são necessários para uma eficaz gestão em organizações. [36]
- Planejamento Estratégico - Rao et al [6] afirma que para melhorar a qualidade em uma empresa, em longo prazo, uma estratégia competitiva que requer o desenvolvimento de uma cultura de qualidade deve ser analisada. O planejamento estratégico é necessário para integrar a melhoria da qualidade no plano geral de negócios.
- Liderança - A qualidade do produto deve ser promovido ativamente pela gerência para que uma melhoria possa ocorrer (Everett & Sohal) [38] e Constant [39] fortemente enfatizam a importância disso, dizendo que “todos níveis de gestão devem reconhecer que quando uma empresa está fora de qualidade, está fora do mercado e portanto, a gestão deve garantir que a qualidade está embutida nas operações.”
- Comunicação - Rao et al [37] observou que a manutenção da qualidade dentro de uma organização exigia um fluxo contínuo de informações precisas sobre processos de trabalhadores, fornecedores e clientes, pois a análise desta informação permite uma tomada decisões eficazes, e isso requer uma cultura de comunicação e canais eficazes para facilitar o fluxo de informações.
- Relacionamentos - Os relacionamentos com fornecedores são importantes em qualidade, pois a entrada de mercadorias defeituosas pode afetar a a qualidade do produto e os atrasos na entrega podem afetar prazos de entrega ao cliente. Fornecedores de equipamentos também pode ter conhecimento valioso sobre os equipamentos do processo que afetam a qualidade.

- Orientação para o cliente - Dow et al [34] encontra uma alta correlação significativa entre o foco do cliente de uma empresa e a qualidade do produto que apoia as descobertas da pesquisa de Rao et al [39] que afirma que a orientação de uma organização não é impulsionada principalmente pelo custo e eficiência, mas sim pela satisfação do cliente permitindo que a organização seja responsiva aos *feedbacks* e requisitos dos clientes sobre a qualidade do produto.
- Competitividade de mercado - A prioridade competitiva volátil da qualidade de um produto é um fator importante para o mercado, fazendo assim com que as empresas em tais mercados precisem dar cada vez mais ênfase na qualidade de seus produtos [33].
- Recompensa – Recompensar desempenho de funcionários excepcionais pode ser uma ferramenta valiosa para alcançar qualidade em uma organização de manufatura [39]. Bowen e Lawler [40] descobriram que a seleção e o desenvolvimento de sistemas de recompensa nas organizações têm um impacto significativo no desempenho da qualidade.

Para um parâmetro ser considerado um *Q-Factor* Primário o mesmo deve apresentar uma característica que, em determinada(as) etapa(s) do processo de confecção de um produto, é crucial e que afetará negativamente a segurança e a usabilidade deste produto pelo consumidor final devido aos defeitos críticos que serão gerados.

Em casos em que estes parâmetros, de acordo com os limites de operação pré-estabelecidos pela companhia, não estejam aceitáveis para o funcionamento do processo da maneira correta, por se tratar de um ponto crítico, implica em apenas questão de tempo até a máquina analisada começar a produzir peças ou componentes com defeitos inaceitáveis e com isso, uma intervenção deve ser

realizada a fim de retorná-la para condições iniciais aceitáveis de operação. Dentre eles, se destacam os seguintes tópicos:

- Gerenciamento de Projeto de Produto e Processo - Em um estudo feito pela *American Quality Foundation* e *Ernst & Young* em 1992 descobriu-se que empresas que tiveram desempenho de alta qualidade investiram mais esforços em sua gestão de design do que empresas de baixa qualidade que se concentraram principalmente em inspeções em Produção [33].
- Análise de reivindicação de garantia - Cada reivindicação de garantia encontra-se vinculada a um componente individual para fins contábeis em muitas organizações, e estas informações devem ser usadas por engenheiros para mapear reclamações dos componentes e fazer o design do produto necessários ou mudanças de fabricação para reduzir garantias [41].
- Qualidade de conformidade - Gerencia a qualidade de conformidade dos processos de produção para confecção de produtos dentro da especificação. Implementação e registro ISO trata-se de um exemplo de sistema de qualidade com conformidade [23].
- Economia de custos - O caso do desastre do compressor rotativo da General Electric na década de 1980, onde uma apressada introdução de produtos defeituosos, sem consideração a capacidade de fabricação e os baixos custos de qualidade do processo, pode também levar a grandes custos de qualidade internos e externos [33].
- Complexidade do produto - Junto com a velocidade de desenvolvimento de um novo produto, a complexidade ou o número de componentes nele também foram identificados como uma dimensão da qualidade do produto que precisa ser considerada no projeto e gerenciamento de processos [27].

- Complexidade do processo - em processos mais complexos como trabalho em equipe de montagem de automóveis e computadores, a cooperação se torna mais significativa do que em processos de menor complexidade, como produtos químicos ou processamento de alimentos [41].
- Velocidade de desenvolvimento do produto - Terá uma influência no produto e nas etapas de design de processos que podem afetar a qualidade do produto [27].
- Engenharia simultânea e equipes multifuncionais - Interações iniciais entre marketing, design de produto, fabricação, qualidade e desenvolvimento de outros novos torna-se, portanto, essencial para desenvolver produtos que são relevantes, de alta qualidade técnica e economicamente viável [33].
- Manutenção - Ben-Daya e Duffuaa observam que com o aumento da automação e mecanização em indústria, muitos processos de produção estão mudando de trabalhadores para máquinas e, portanto, o papel de manutenção de equipamentos em quantidade de controle, qualidade e custos torna mais evidente e importante do que antes e devido a isso os equipamentos devem ser mantidos para que sejam capazes de operar em condições operacionais ideais [42].
- Ação disciplinar - a ação disciplinar deve ser tomada quando necessário para garantir que a qualidade de trabalho dos funcionários não permaneça em nível de baixa qualidade [35].

3 TEORIA DE AUTÔMATOS E PROPOSTA DO TRABALHO

3.1 PROJETO DE AUTÔMATOS FINITOS

Autômatos finitos pode ser definidos como máquina ou robô que se opera de maneira automática, na qual é composta por um alfabeto Σ contendo um conjunto de símbolos, uma cadeia W contendo uma sequência de símbolos de um alfabeto Σ e uma linguagem L contendo um conjunto de cadeias W sobre um alfabeto Σ [28].

Um autômato determinístico, denotado por G , pode ser definido pela sêxtupla:

$$G = (X, E, f, \Gamma, x_0, X_m)$$

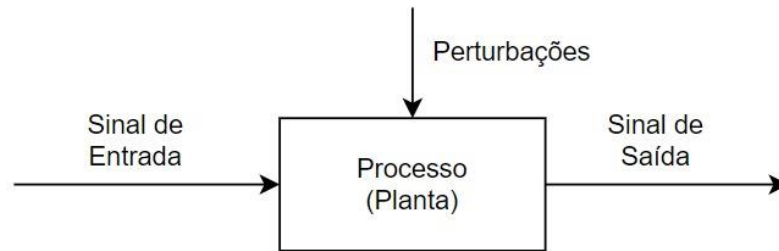
Onde:

1. X refere-se à representação do conjunto de estados;
2. E representa um conjunto finitos de eventos associados a G ;
3. f representa uma função de transição por um evento E do estado X para outro estado; Em geral, trata-se de uma função parcial em seu domínio.
4. Γ representa a função de evento ativa (ou função de evento viável); $\Gamma(x)$ é o conjunto de todos os eventos e para os quais $f(X,E)$ é definido e chamado de conjunto de eventos ativo (ou viável conjunto de eventos).
5. x_0 representa o estado inicial;
6. X_m representa o conjunto de estados marcados;

Considerando um processo de automação com características que englobam os *Q-Factors* descritos no capítulo anterior, este trabalho visa desenvolver um processo de automação industrial que garanta a qualidade final de um produto durante a sua montagem através da observação do desempenho dos seus parâmetros durante as etapas críticas utilizando sistemas de autômatos.

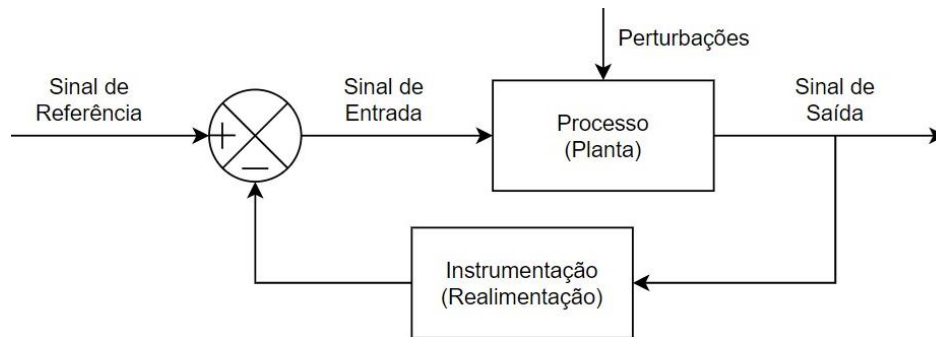
Para isso, a representação do modelo do processo de manufatura inserido no projeto utiliza o conceito de sistema em malha fechada a fim de obter, em sua saída, maior controle dos seus sinais mesmo que o equipamento sofra perturbações tanto internas quanto externas conforme pode ser analisado nas Figuras 4 e 5:

Figura 4 - Sistema em malha aberta



Fonte: Autoria própria

Figura 5 - Sistema em malha fechada



Fonte: Autoria própria

3.2 LINGUAGEM DE AUTÔMATOS

O estudo sistemático das linguagens formais teve um forte impulso no final da década de 1950, quando o linguista Noam Chomsky publicou artigos apresentando o resultado de suas pesquisas relativas à classificação hierárquica das linguagens. Até então, a teoria dos autômatos se apresentava razoavelmente evoluída, porém a das linguagens formais ainda não se havia, de fato, estabelecido como disciplina [29].

A classificação das linguagens, por ele proposta, conhecida como Hierarquia de Chomsky, tem como principal mérito agrupar as linguagens em classes, de tal forma que elas possam ser hierarquizadas de acordo com a sua complexidade relativa. Como resultado, é possível antecipar as propriedades fundamentais exibidas por uma determinada linguagem, ou mesmo vislumbrar os modelos de

implementação mais adequados à sua realização, conforme a classe a que pertença [31].

A ideia por trás da utilização da linguagem de autômatos vem do conceito de, através de uma linguagem pré-estabelecida, definir quais comandos devem ou não ser atendidos por um processo automatizado caso determinado evento venha a ocorrer, de maneira que seja possível desenvolver condições em diversos cenários a fim de atingir um nível em que o sistema esteja controlado. [29]

3.3 OPERAÇÕES COM AUTÔMATOS

As linguagens formais (ou linguagens estruturadas em frases) podem ser vistas como conjuntos. Consequentemente, muito da teoria e dos principais resultados da área de linguagens formais está baseado na ainda mais fundamental teoria dos conjuntos da matemática discreta [31].

Gramáticas lineares, geram linguagens denominadas regulares que constituem a classe de linguagens mais simples dentro da Hierarquia de Chomsky, a qual prossegue com linguagens de complexidade crescente até as linguagens mais gerais respeitando o seguinte teorema:

G1 é uma gramática linear e, portanto, compõe uma linguagem linear $L(G1)$.

Conjuntos e expressões regulares são notações alternativas utilizadas para representar a classe de linguagens mais simples, as linguagens regulares, sendo definidas sobre um alfabeto finito Σ da seguinte forma:

1. \emptyset é um conjunto regular sobre Σ ;
2. $\{\emptyset\}$ é um conjunto regular sobre Σ ;
3. $\{\sigma\}, \forall \sigma \in \Sigma$, é um conjunto regular sobre Σ ;

Se X e Y são conjuntos regulares sobre Σ , então também são conjuntos regulares sobre Σ :

4. (X) ;
5. $X \cup Y$;

6. $X \cdot Y$, também denotado XY ;

7. X^* .

Afirma-se então, que um determinado subconjunto de Σ^* é um conjunto regular se ele puder ser formulado através do uso combinado dessas regras apenas.

A concatenação de duas linguagens X e Y , denotada por $X \cdot Y$ ou simplesmente XY , corresponde a um conjunto Z formado pela coleção de todas as cadeias que possam ser obtidas pela concatenação de cadeias $x \in X$ com cadeias $y \in Y$, nesta ordem. Formalmente,

$$Z = X \cdot Y = XY = \{xy \mid x \in X \text{ e } y \in Y\}$$

A concatenação $\Sigma\Sigma$, que gera cadeias de comprimento 2 formadas sobre um alfabeto Σ , é também representada por Σ^2 . Analogamente, a concatenação $\Sigma\Sigma\Sigma$, que gera cadeias de comprimento 3 sobre o alfabeto Σ , é representada como Σ^3 , e assim sucessivamente generalizado da seguinte forma:

$$\Sigma^i = \Sigma\Sigma^{i-1}, i \geq 0$$

Portanto, dado um determinado sistema de eventos discretos inseridos em fluxo de processos de manufatura em malha fechada, a proposta deste trabalho é baseada em definir uma linguagem regular de autômatos finitos utilizando operações de concatenação para gerar sentenças de linguagem sobre um alfabeto pré-estabelecido a fim de mapear todas as etapas do fluxo de um processo de manufatura em escala reduzida.

4 METODOLOGIA

4.1 MÉTODO DO PROJETO

4.1.1 Tipos de Metodologia

A metodologia de pesquisa científica pode apresentar diferentes abordagens como: quantitativa (geralmente feita através da coleta de dados e utilização de

técnicas estatísticas para tratar as informações e expor os resultados por meio de tabelas e gráficos), qualitativa (serve de instrumento para entender, descrever, classificar e explicar fenômenos e a relação existente entre as variáveis) e a quali-quantitativa que consiste na combinação das duas abordagens. [30]

As concepções quantitativas não são baseadas radicalmente em números, pois existe a influência de pressupostos teóricos e limitações. Para o autor, é necessário “recorrer-se ao empirismo e à quantificação para melhor conhecer a realidade”. [30]

Esse procedimento, contudo, deve ser associado à análise qualitativa, pois somente ela permite o aprofundamento do conhecimento e a acumulação do saber, que são elementos essenciais na ciência. Baptista diz que as duas abordagens devem coexistir pacificamente no estudo e não estabelecer uma oposição sobre qual é mais eficaz exercendo assim um exercício de cooperação mútua.

Sendo assim, este projeto tem o propósito de se basear no método quali-quantitativo para demonstrar o desempenho de um sistema de eventos discretos utilizando autômatos finitos para controle e supervisão de um processo de manufatura em empresa do Polo Industrial de Manaus.

4.1.2 Teoria do Projeto

Existem áreas da Ciência da Computação nas quais não há um consenso sobre como definir certos conceitos. A área de Teoria da Computação, nesse sentido, não é exceção: mesmo conceitos tão importantes à área quanto autômatos finitos e outros mecanismos reconhedores apresentam divergências entre os autores quanto às suas definições [29].

Diante de tal divergência, este projeto tomou como base teórica para conceitos e definições de autômatos o livro “Introduction to Discrete Event Systems” [31] e para testes e simulações o programa “Simulador de Autômatos” [32].

4.2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

4.2.1 Ambiente Virtual

Os testes e simulações realizadas neste trabalho serão feitos em um ambiente virtual chamado “Simulador de Autômatos” desenvolvido como projeto de Iniciação Científica (disciplina de Teoria da Computação) e depois continuado como Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia da Computação) por alunos da Universidade de Uberaba - UNIUBE. [32]

Esta plataforma trata-se de uma ferramenta para criação, simulação e conversão de modelos formais, desenvolvida com o objetivo de auxiliar o aprendizado de Linguagens formais de autômatos, sendo capaz de reconhecer e simular os seguintes modelos:

- Autômatos Finitos Determinísticos (AFD);
- Autômatos Finitos Não-Determinísticos (AFN);
- Autômatos com Pilha (AP);
- Máquinas de Turing (MT);
- Gramáticas Regulares (GR).

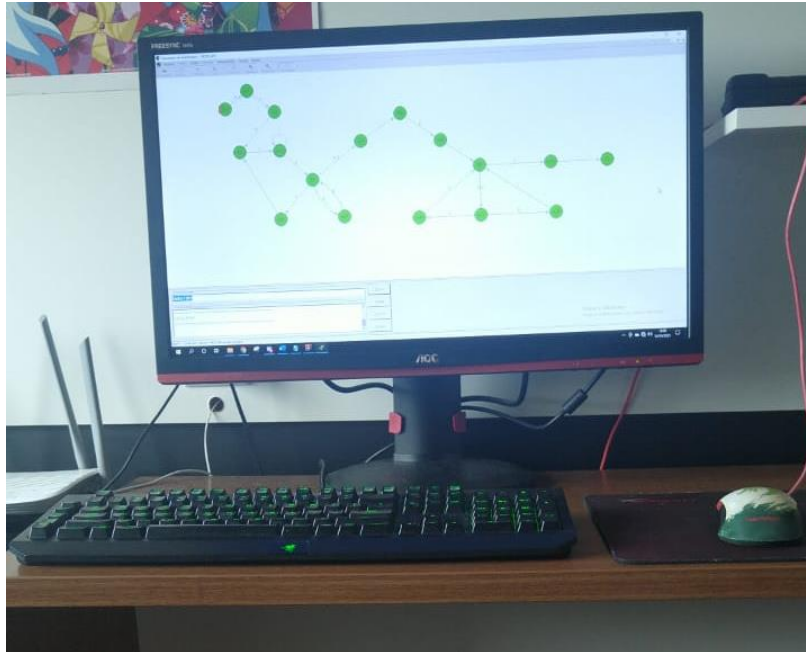
Neste trabalho será dado ênfase somente aos Autômatos Finitos para fins de desenvolvimento do projeto, simulações e resultados.

4.2.2 Materiais

Para realização deste projeto foram utilizados 1 computador pessoal com as seguintes configurações:

- Processador: Intel(R) Core(TM) i7-4770K CPU @ 3.50GHz 2.30 GHz
- Memória RAM instalada: 8,0 GB
- Tipo de sistema: Sistema operacional de 64 bits, processador baseado em x64
- Edição: Windows 10 Pro

Figura 6 - Computador pessoal



Fonte: Autoria própria

Foram utilizadas como base teórica, 3 Apostilas de treinamentos de autoria da própria empresa disponibilizadas e utilizadas para capacitação de novos funcionários a fim de explicar a importância dos parâmetros críticos do processo e o papel crucial que a gestão da qualidade exerce sobre o mesmo, por questões de confidencialidade por parte da empresa as apostilas de treinamento não puderam ser divulgadas:

Por fim, foi utilizado o software “Simulador de Autômatos” para representar etapas do fluxo de material produzido ao longo da cadeia de manufatura e consequentemente simular linguagens, configurações e transições entre estados e eventos dos equipamentos da empresa analisada [32].

5 PROJETO

5.1.1 Sistemas de Eventos Discretos

OS SED em processos industriais normalmente realizam uma série de etapas para que um conjunto de atividades seja concluída, podendo ser através de operações de transição de um estado de um autômato (operação unitária), exclusão de um evento em específico que não seja acessível sem afetar a linguagem gerada (parte acessível), bloqueio de determinada etapa de um evento (co-acessível) além de marcações e self-loops para todos os eventos de determinado estado (projeção e projeção inversa). [31]

Sendo assim, para elaborar o modelo deste trabalho foi utilizada a definição de linguagem em autômatos, combinando os conceitos de autômatos de Moore e de Mealy, para representar não só a sequência de eventos que ocorrem dentro do sistema de eventos discreto analisado, mas também suas entradas, saídas e transições em cada estado.

Outra forma bastante utilizada para averiguar se o conjunto de atividades foi concluída ou não, é através de conjuntos de autômatos que operam simultaneamente quando duas ou mais transições entre os estados estão sincronizadas (operação de composição) onde podem ser utilizadas tanto para eventos comuns como para eventos privados.

Além dessas, há outras operações que são aplicáveis a linguagens (L) uma vez que elas façam parte de um conjunto, mas de maneira geral, o modelo adotado neste trabalho foi baseado no conceito de concatenação por definir de forma clara e simplificada a sequência dos eventos do processo analisado, sendo:

$$L1L2 := \{S \in E: (S = S1S2) \text{ e } (S1 \in L1) \text{ e } (S2 \in L2)\}$$

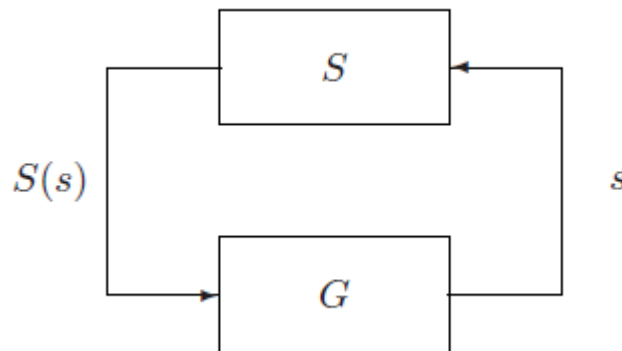
No qual, através de palavras, uma string está em $L1L2$ se puder ser escrita como a concatenação de uma string em $L1$ com uma string em $L2$.

Sendo assim, o modelo matemático proposto foi definido utilizando este conceito para um sistema em malha fechada contendo 6 estados e 10 eventos com intuito de representar as etapas do processo de manufatura de um componente do

estágio inicial em que a máquina inicia sua atividade de montagem até o seu último estágio em que o mesmo se encontra finalizado e embalado.

Nos casos de estados dentro de um SED que possuem comportamentos não controlados, serão atribuídas sub-linguagens de autômatos para supervisionar quais condições do sistema podem ocasionar falhas em seu funcionamento e definir as atividades que devem ser atendidas para que todas elas sejam admissíveis dentro de um ambiente controlado e assim garantindo uma execução segura.

Figura 7 - O ciclo de realimentação do controle de supervisão, com G representando o sistema não controlado S o supervisor.

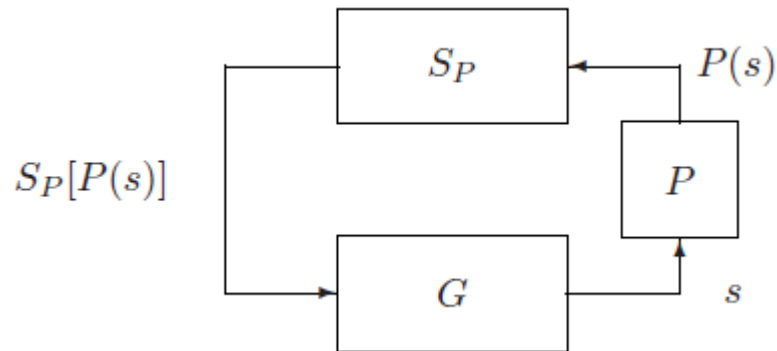


Fonte [31]

Entretanto, conforme existem diversos fatores tanto internos quanto externos que podem acabar interferindo em seu funcionamento, por mais que o sistema seja supervisionado durante a maioria das etapas, é inevitável que em alguns pontos ocorram falhas que não foram detectadas por nenhum dos agentes supervisores e com isso o sistema passa a ficar em um estado não controlado.

Nestas ocasiões será incluída dentro da realimentação da malha do sistema uma projeção (P) com objetivo de sobrescrever uma sequência de eventos menores que não foram observadas dentro do conjunto maior, a fim de que o supervisor de observação parcial realize uma ação de controle instantaneamente a partir do momento em que um evento observável ocorra.

Figura 8 - O ciclo de realimentação do controle de supervisão no caso de observação parcial.



Fonte [31]

Ao ponto que todas as especificações conhecidas pelo sistema, as mesmas podem ser modeladas como autômatos de acordo com os conceitos de Estados ilegais, Divisão de Estado, Eventos Alternados e Substring ilegal.

5.1.2 Desenvolvimento do Projeto

O projeto consiste em analisar os estados e eventos críticos inseridos no processo de montagem e embalagem de peças de uma empresa do Polo Industrial de Manaus tomando como base o diagrama do fluxo de produção que o material realiza desde a inicialização dos equipamentos até a embalagem final do produto. O diagrama está dividido da seguinte forma:

Figura 9 - Representação das etapas do sistema por blocos



Fonte: Autoria própria

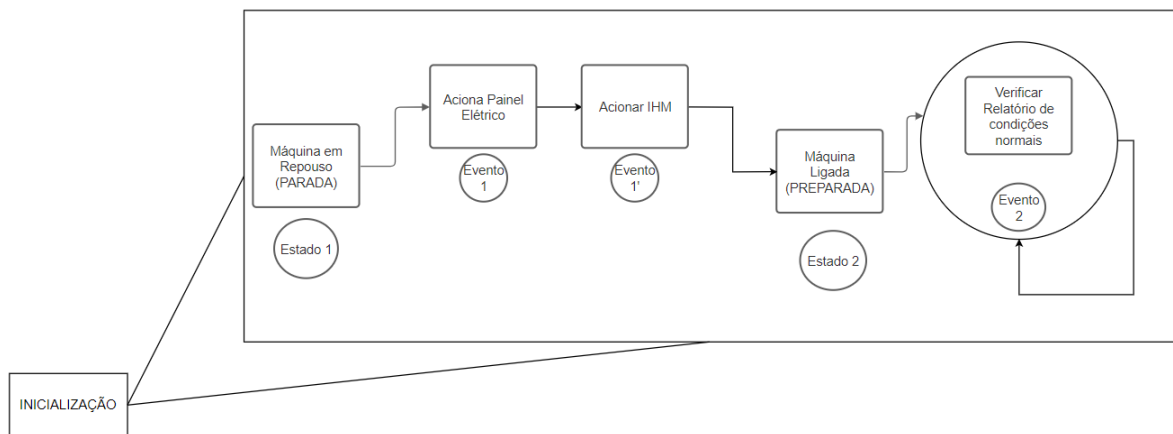
Cada um dos blocos será exibido de maneira separada com intuito de detalhar ao máximo todas as atividades desempenhadas ao longo dos estados e eventos que o compõem.

5.1.2.1 Bloco 1 - Inicialização

Este bloco contempla as etapas de: Mudança de estado do equipamento de repouso para ativada, acionamento da alimentação do painel elétrico e da IHM, mudança do estado de ativada para preparada e verificação de relatório de condições iniciais de necessárias para funcionamento.

O fluxograma abaixo representa o papel que cada uma dessas atividades exerce durante o processo:

Figura 10 - Fluxograma das atividades realizadas pelo bloco 1

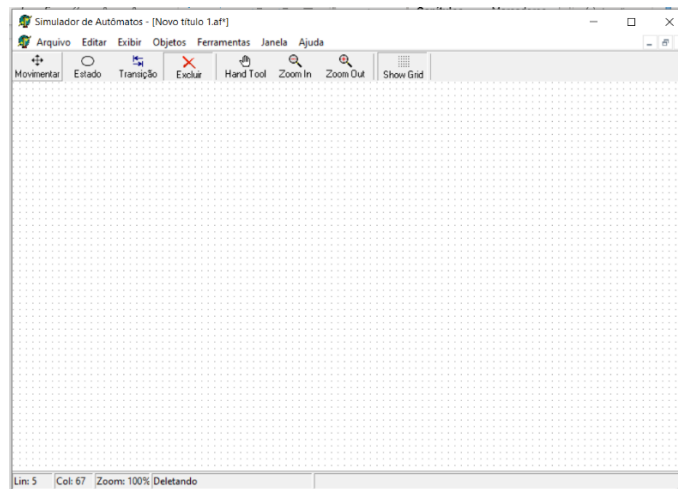


Fonte: Autoria própria

Um detalhe desse bloco é que caso o Evento 2, por algum motivo, encontre um problema no equipamento e não consiga fazer a verificação das condições normais, o próprio equipamento repetirá este evento quantas vezes forem necessárias até que os parâmetros iniciais sejam satisfatórios para então poder seguir para o próximo bloco.

Tendo isso em mente e a fim de comprovar se este bloco consegue executar todas as suas etapas sem maiores problemas, o próximo passo é entrar no ambiente virtual “Simulador de Autômatos” para simular o seu funcionamento, ao abrir o software pela primeira vez será exibida a seguinte tela:

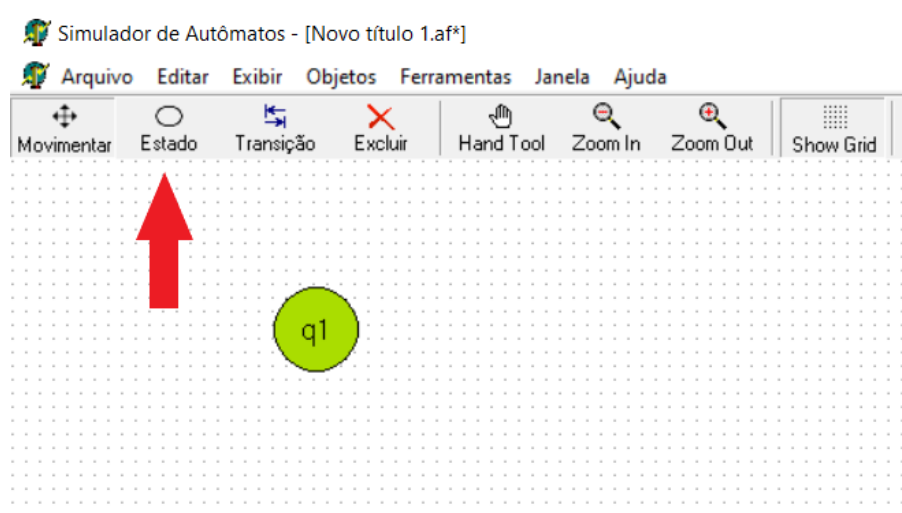
Figura 11 - Ambiente virtual utilizado para realização de simulações



Fonte: Autoria própria

Para realizar simulações nesse ambiente, o primeiro passo foi adicionar, através do botão “Estado”, ícones que farão referências aos estados e eventos que compõem o bloco 1 da seguinte forma:

Figura 12 - Adição de estado em ambiente virtual



Fonte: Autoria própria

Por padrão, sempre que um novo estado é inserido o mesmo recebe a nomenclatura q_i e conforme mais estados forem incluídos a nomenclatura segue a regra $q_i + 1$:

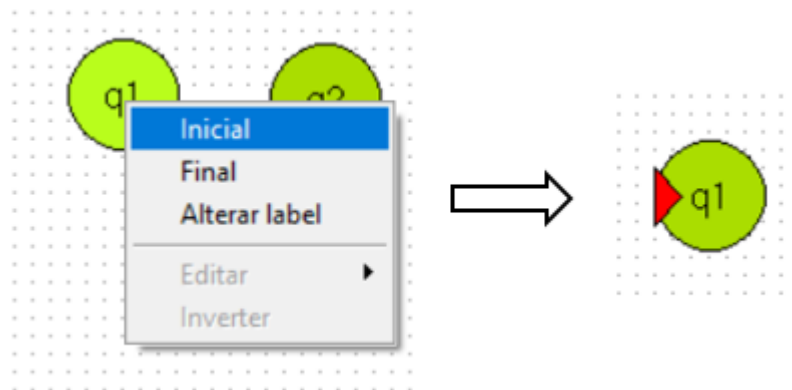
Figura 13 - Inclusão de estados do bloco 1



Fonte: Autoria própria

Definiu-se o estado q1 como estado inicial do sistema, ao clicar em cima do seu ícone com o botão direito do mouse e selecionando a opção “Inicial”, o símbolo de start em vermelho aparece ao lado esquerdo do ícone conforme abaixo:

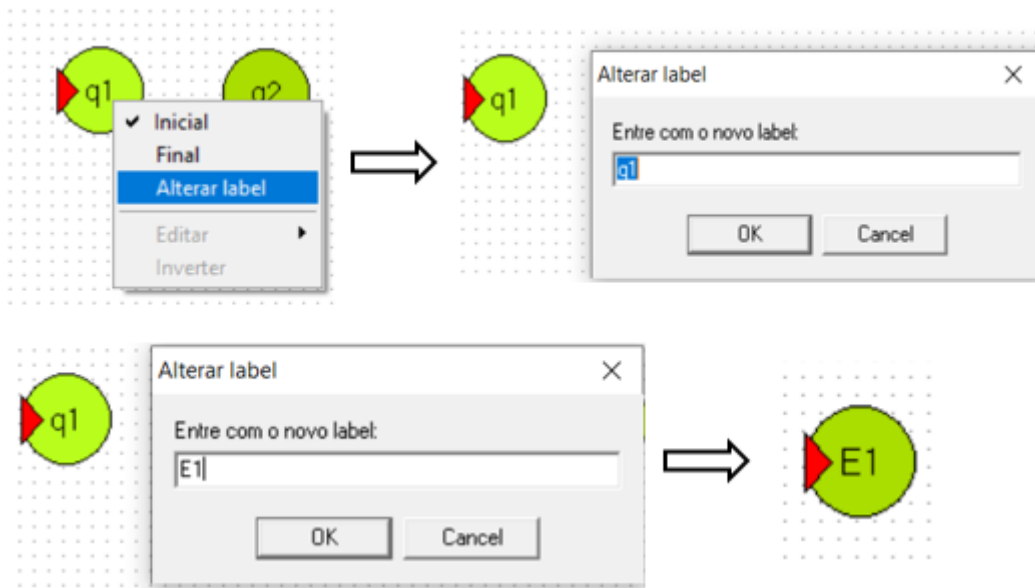
Figura 14 – Definição do evento inicial



Fonte: Autoria própria

Este é o “modos operandi” do ambiente virtual, porém há possibilidades para adaptar esses estados pros parâmetros do projeto, ao clicar com o botão direito do mouse sobre cada um deles e selecionando a opção “Alterar label” podem ser inseridos novos ícones para representar cada etapa do bloco conforme sequência demonstrada na Figura 16:

Figura 15 – Mudança de nomenclatura de componente



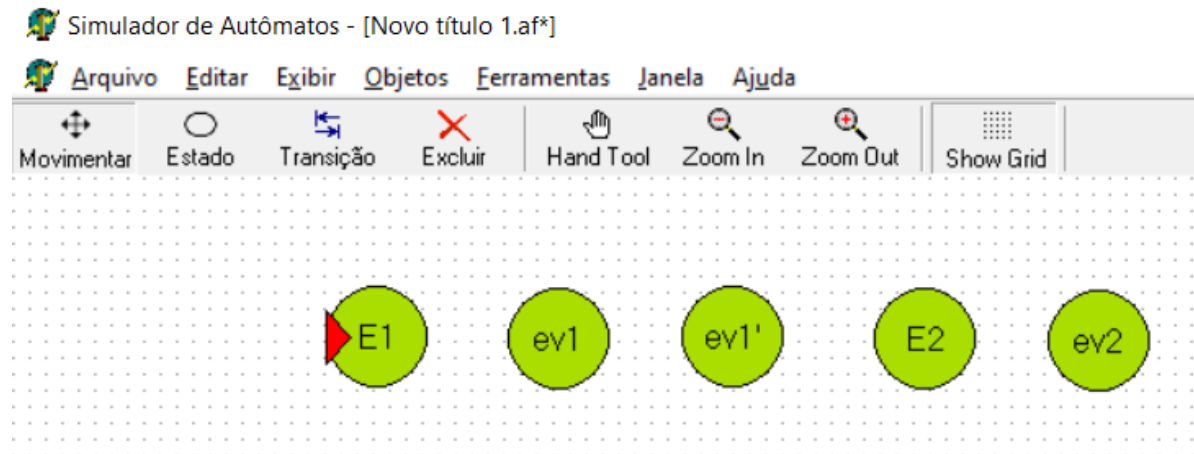
Fonte: Autoria própria

Sendo assim, repetindo o processo de mudança das siglas do estado q1 nos demais estados e realizando todas as mudanças necessárias, a representação de todos eles no bloco 1 foram definidas como:

Quadro 2 - Etapas bloco 1

Sigla	Nome	Atividade
E1	Estado 1	Máquina parada (repouso)
ev1	Evento 1	Acionar painel elétrico
ev1'	Evento 1'	Acionar IHM
E2	Estado 2	Máquina ligada (preparada)
ev2	Evento 2	Verificar relatório de condições normais

Figura 16 - Estados do bloco 1 renomeados

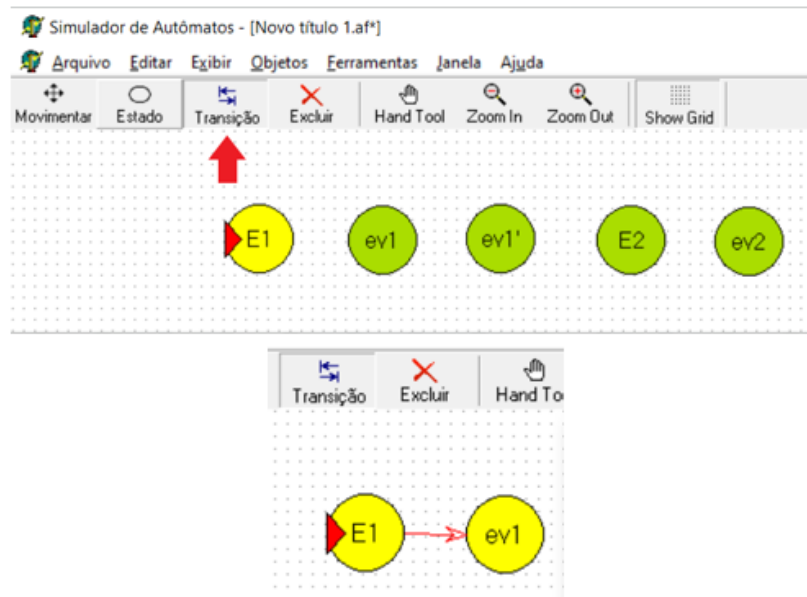


Fonte: Autoria própria

Conforme os estados e eventos do bloco 1 foram definidos no ambiente virtual, é necessário correlacioná-los entre si para que seja possível permitir a mudança entre seus estados e eventos durante o funcionamento do equipamento analisado. Para isso, a opção “Transição” é selecionada e através dela define-se qual o ponto de partida desse processo no equipamento deve ser seguido até o ponto final em que ele deve alcançar.

Com a opção selecionada, ao clicar com botão esquerdo do mouse sobre o estado E1, o mesmo foi escolhido como estado de partida e logo em seguida clicou-se sobre o estado ev1, ambos sendo destacados com a cor amarela no software e uma seta vermelha indicando a correlação entre eles (Figura 18).

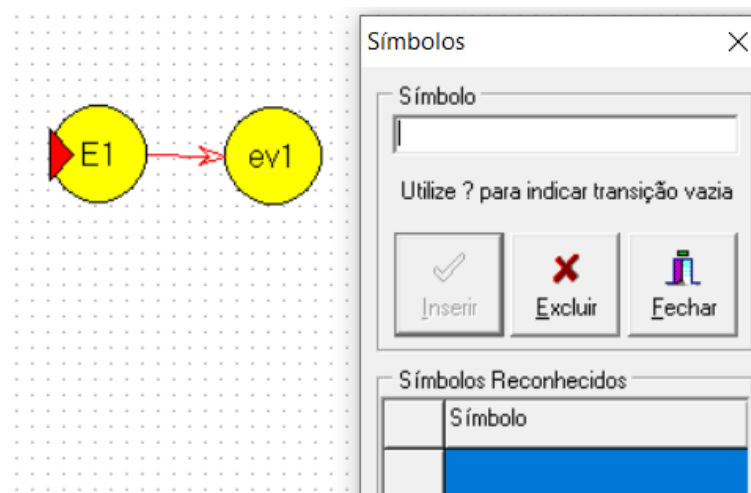
Figura 17 - Adição de transição entre estados



Fonte: Autoria própria

Feito isso, uma janela abre e pede que seja informado um símbolo para que essa transição ocorra, este símbolo nada mais é do que a linguagem que o autômato irá utilizar em sua memória para identificar o momento em que deve ser feita a transição do Estado 1 para o evento 1:

Figura 18 - Janela de edição da transição

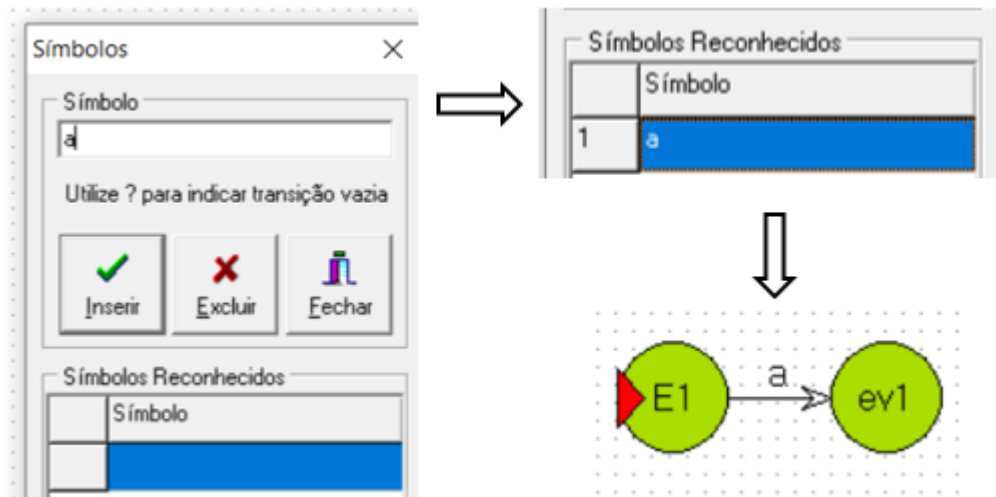


Fonte: Autoria própria

Para fins de simulação, foi definida que a linguagem de transição entre estes dois pontos é "a", o que significa dizer que o sistema apenas irá realizar a mudança caso o mesmo apresente esta linguagem, caso contrário a simulação resultará em

erro de compilação. Após isso foi inserida a simbologia conforme sequência de prints abaixo:

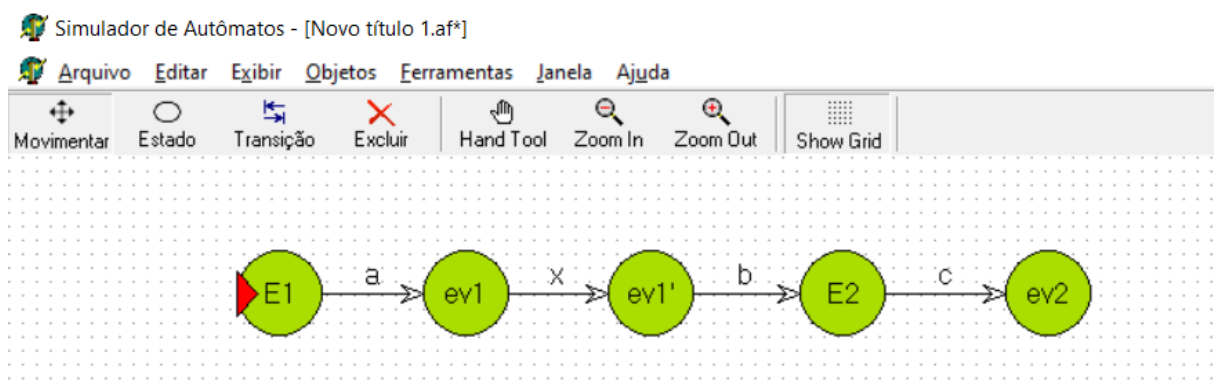
Figura 19 - Definição da linguagem de transição



Fonte: Autoria própria

Realizando as mesmas associações de transições feitas entre E1 e ev1 para os demais pontos do sistema respeitando o fluxo do bloco 1, resultou na seguinte cadeia:

Figura 20 - Componentes do bloco 1 renomeados e conectados entre si



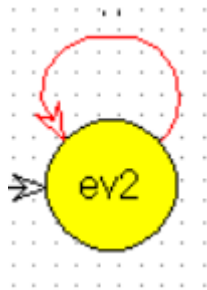
Fonte: Autoria própria

Com isso, o sistema passa a ter todos os seus estados e eventos correlacionados e sua simulação pode ser realizada. Entretanto, um detalhe deve

ser observado, durante a elaboração do fluxo do bloco 1 foi definido que quando o processo alcançasse a etapa do ev2 – evento 2, o sistema então deveria realizar a verificação das condições iniciais e caso não estivessem de acordo deveria ser feita uma nova verificação.

Portanto a simulação atual não englobaria esta etapa que ev2 possa vir a ter. Então torna-se necessário incluir uma nova transição para este evento de forma que esse critério possa ser respeitado. Para isso acontecer, ev2 necessita de uma realimentação conforme abaixo.

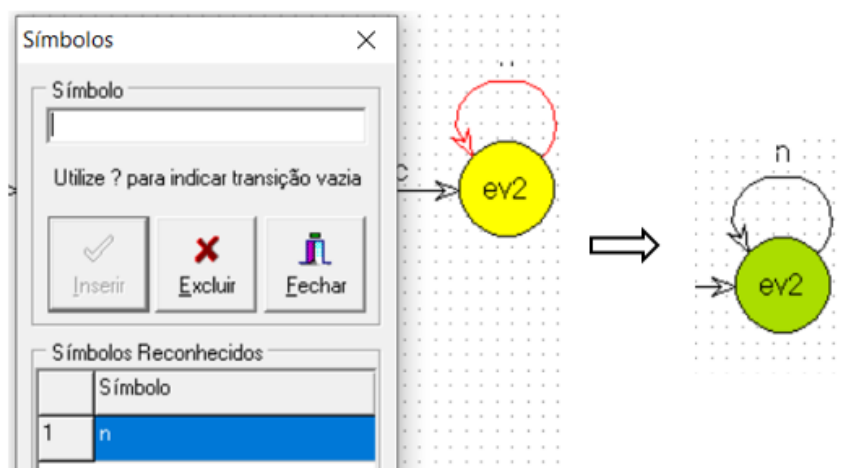
Figura 21 - Transição dentro do mesmo estado



Fonte: Autoria própria

Esta transição ocorre de maneira similar as demais transições entre os estados feitas anteriormente, a única diferença é que o ponto final da transição se encontra no mesmo estado em que o ponto de partida e novamente deve ser dado um símbolo para essa nova transição, que no caso foi definido como “n”, como demonstrado a seguir:

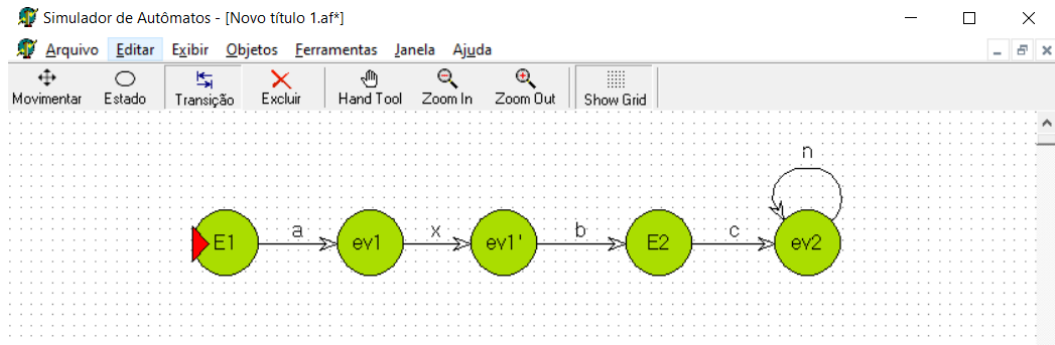
Figura 22 - Linguagem de transição no evento 2



Fonte: Autoria própria

Sendo assim, com esta inclusão de linguagem de transição em ev2, o bloco 1 está preparado para ser simulado através de um algoritmo que permita com que o sistema realize a sequência de etapas pré-definida pelo equipamento em questão quantas vezes forem necessárias até seguir para o próximo bloco.

Figura 23 - Representação de simulação do bloco 1

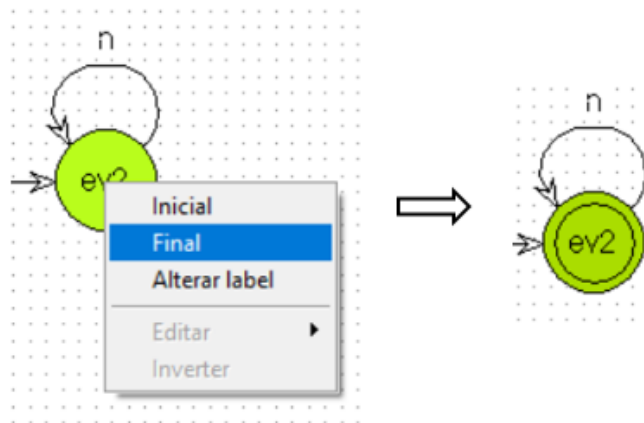


Fonte: Autoria própria

Entretanto há mais um detalhe que deve ser observado, como ev2 é o último evento do bloco 1 antes de dar seguimento para o próximo bloco, do jeito que o sistema se encontra, caso qualquer simulação fosse feita muito provavelmente ocorreria um erro.

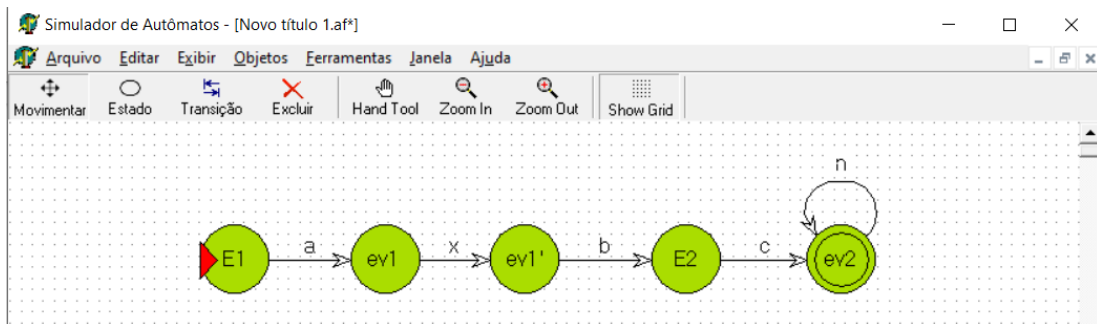
Isto aconteceria devido ao fato de que como o sistema ainda não foi desenvolvido de maneira completa e, portanto, ainda não estaria vinculado com os próximos blocos, a simulação ao atingir o evento 2 iria acionar um loop e nunca finalizaria o processo. Para solucionar este problema definiu-se ev2 como o evento final do bloco 1 (Figura 25) clicando com o botão direito sobre o ícone e marcando a opção “Final”, fazendo assim com que o sistema seja possível de ser compilado.

Figura 24 - Definição de estado final



Fonte: Autoria própria

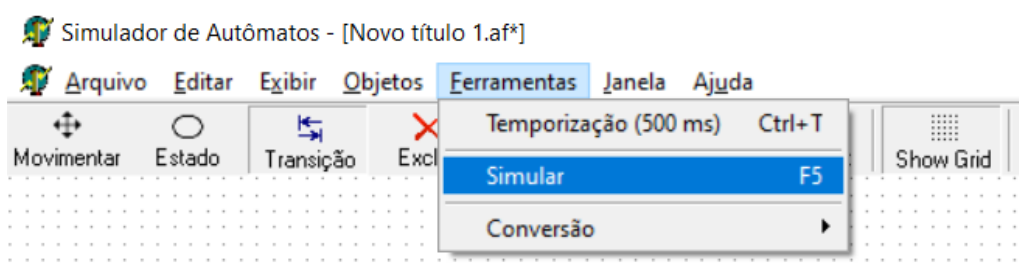
Figura 25 - Representação do bloco 1 pronta para ser simulada



Fonte: Autoria própria

Com o processo do bloco 1 definido, a simulação é feita ao clicar na aba “Ferramentas” e posteriormente na opção “Simular”, ou apertando a tecla de atalho “F5”.

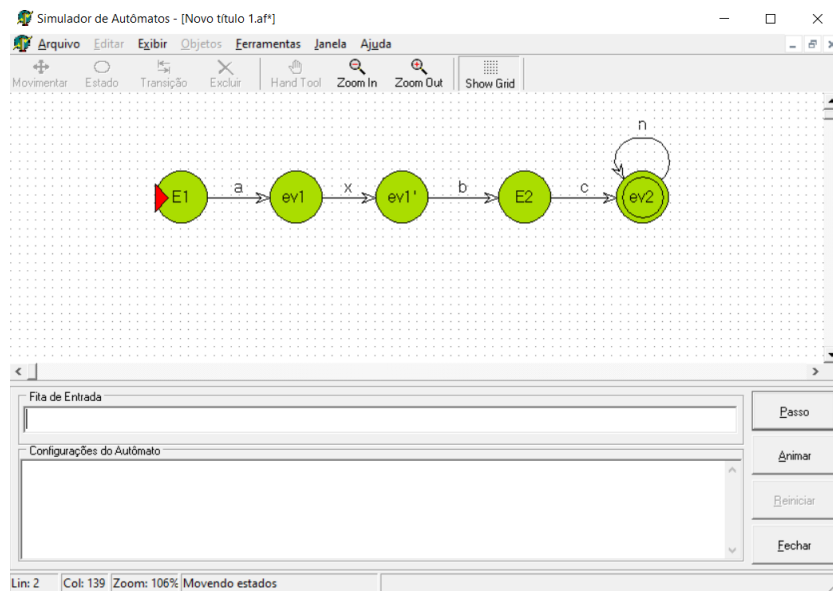
Figura 26 - Iniciar simulação do bloco



Fonte: Autoria própria

Após isso uma janela na parte inferior do software é exibida e é solicitada uma “Fila de Entrada” para iniciar a simulação. É neste ponto que será informado qual a linguagem que deve ser aceita para que o mesmo opere da maneira correta de acordo com os parâmetros do equipamento.

Figura 27 - Aba de simulação dentro do ambiente virtual



Fonte: Autoria própria

Portanto, de modo que a sequência do processo seja respeitada, foi definido algoritmo “**axbcn**” e incluído na Fila de Entrada para simulação, a fim de se obter as configurações do autômato que podem ser aceitas pelo sistema:

Figura 28 - Adição do algoritmo na Fila de Entrada



Fonte: Autoria própria

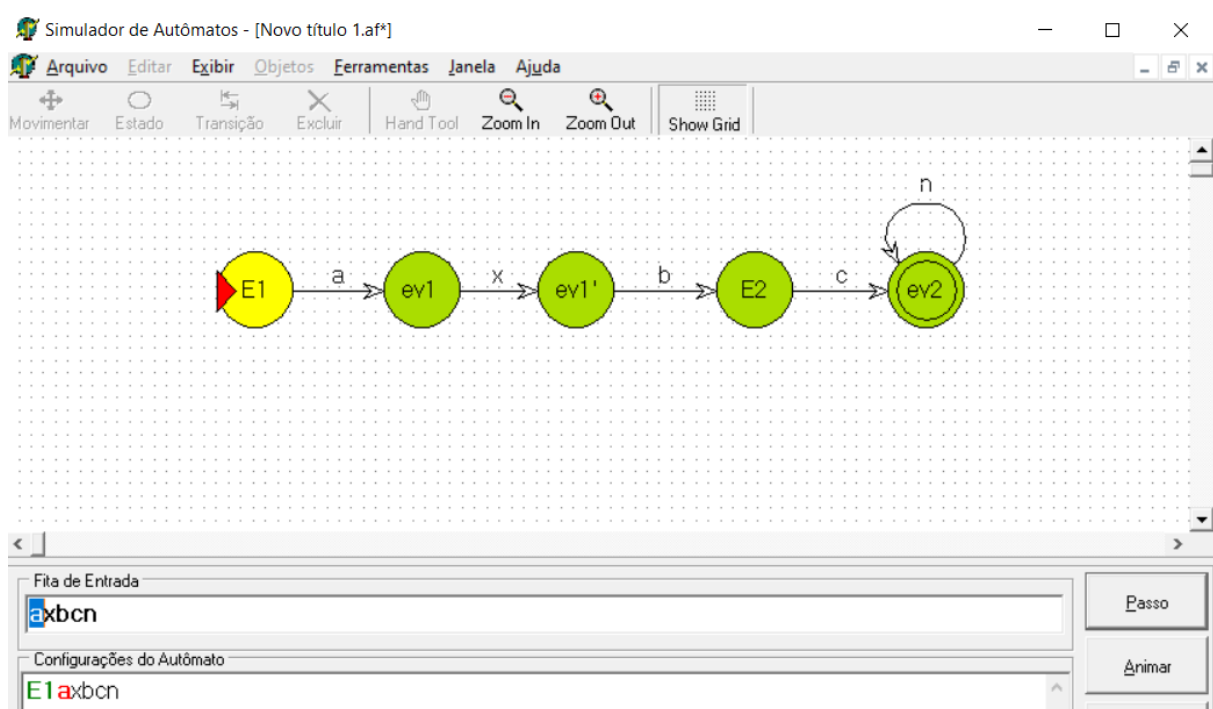
Ao clicar no botão Passo, o software realiza a sequência do algoritmo referentes às transições entre os estados e eventos seguindo a seguinte ordem:

Quadro 3 - Atividades do bloco 1

Sigla	Atividade
a	Transição do estado de repouso (E1) da máquina para evento de acionamento do painel elétrico (ev1).
x	Painel elétrico acionado (ev1) ativa o sistema IHM (ev1').
b	Sistema IHM ativado (ev1') transita para estado de máquina preparada (E2).
c	Transição do estado da máquina preparada (E2) para verificação dos sistemas de controle da máquina em condições normais (ev2).
n	Processo de verificação será repetido até que a máquina apresente condições adequadas para iniciar a produção.

Assim que a primeira letra do algoritmo é realizada o software identifica visualmente quais estados ou eventos estão ocorrendo e registrando as configurações de cada etapa individualmente, sendo mostrados na aba na parte inferior:

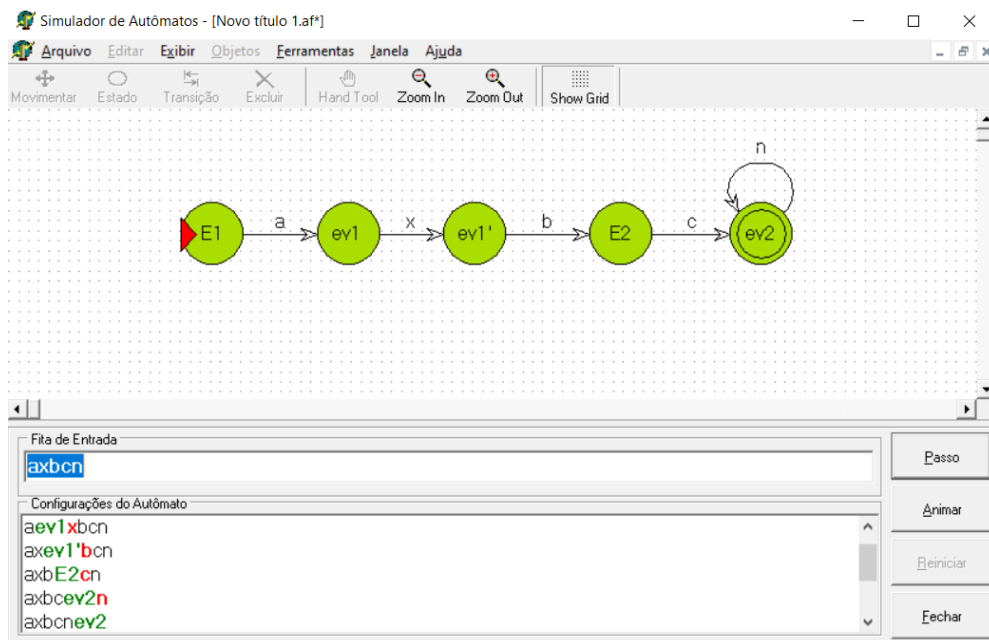
Figura 29 - Simulação do primeiro passo do algoritmo



Fonte: Autoria própria

Realizando o mesmo procedimento para todos os outros estados e eventos, foram obtidas as 5 configurações de autômatos possíveis para que o equipamento desempenhe o processo da maneira correta:

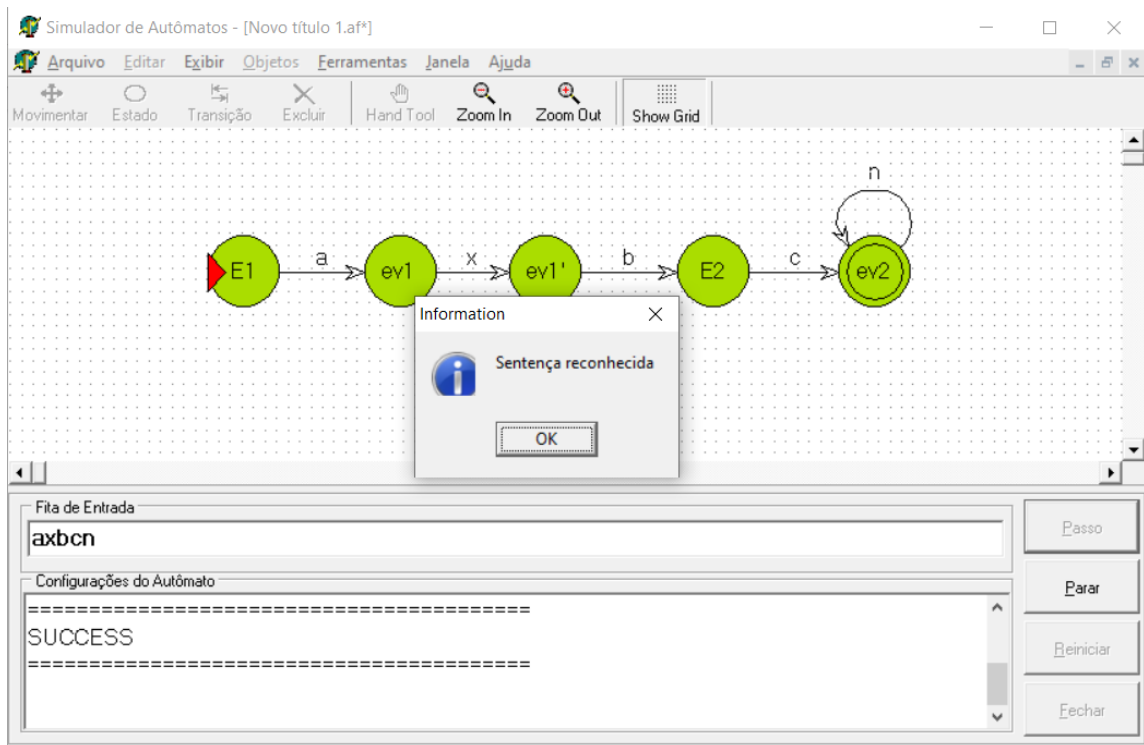
Figura 30 - Configurações de autômatos obtidas ao final da simulação



Fonte: Autoria própria

Após finalizar o último passo, caso a linguagem do algoritmo esteja correta, o software informa que a sentença foi reconhecida, a simulação do bloco é finalizada e a mensagem "SUCCESS" é exibida no campo inferior da tela (Figura 32).

Figura 31 - Simulação realizada com sucesso

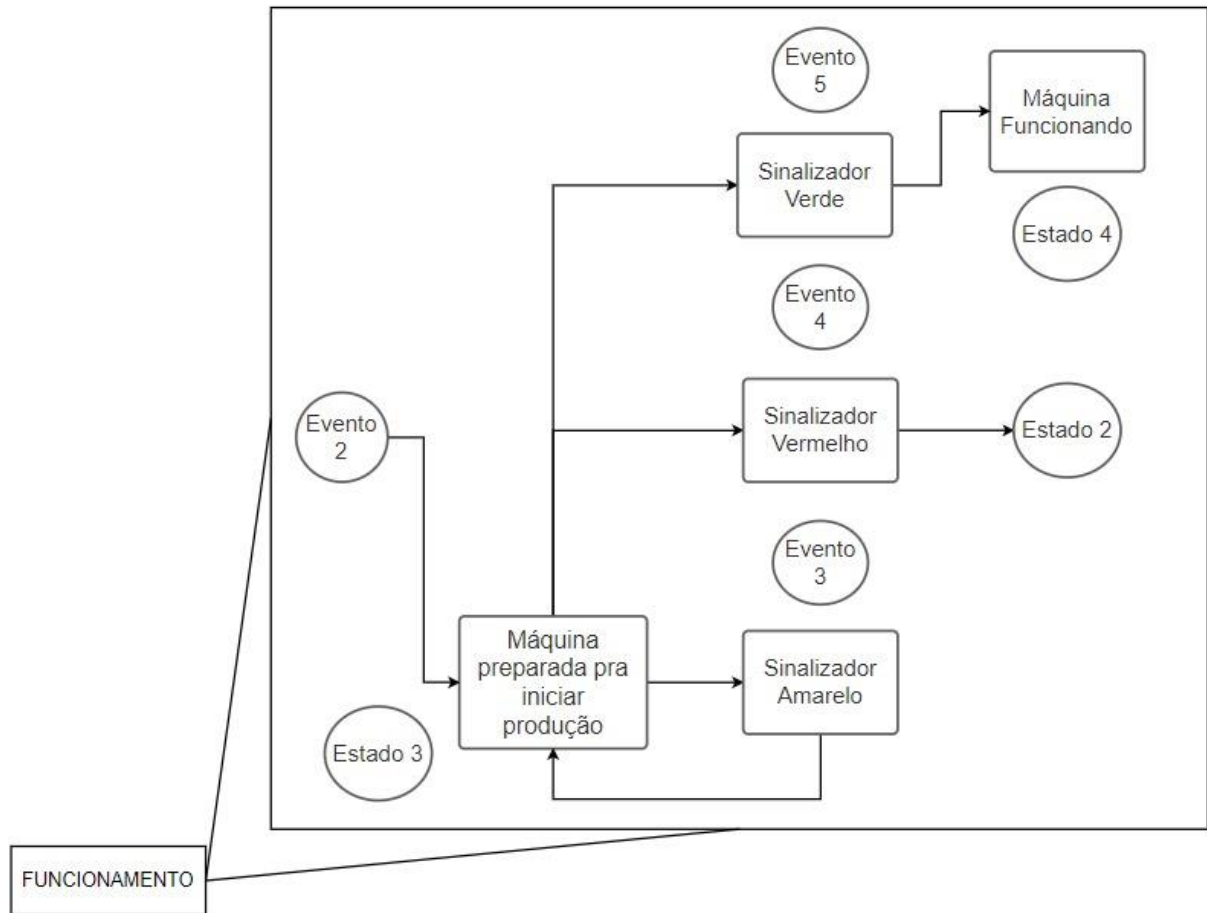


Fonte: Autoria própria

5.1.2.2 Bloco 2 - Funcionamento

Com a sequência do bloco 1 já definida, foi desenhado o fluxo do bloco 2 (“Funcionamento”), lembrando que o primeiro estado deste bloco se inicia a partir do último estado/evento realizado pelo bloco anterior, que no caso foi realizado durante Evento 2.

Figura 32 - Fluxograma de atividades realizadas pelo bloco 2



Fonte: Autoria própria

Neste bloco ocorrerá os últimos testes de verificação do equipamento, que já se encontra preparado para iniciar a produção, para garantir que o mesmo conseguirá de fato funcionar da maneira adequada.

Esta parte do processo é considerada crítica por englobar dois Q-Factor Primários dentro de um único passo, sendo elas: “Qualidade de conformidade” e “Complexidade do processo”, ambos explicados no capítulo 2.2.3 deste trabalho.

Devido a isso, tornou-se necessário incluir 3 eventos distintos de modo que para cada situação o sistema tome decisões baseadas nas linguagens de padrões conformes e não conformes do equipamento, fazendo assim com que, caso todos os seus parâmetros estejam alinhados, o processo dê seguimento para as etapas seguintes e caso contrário, o mesmo deve encerrar sua atividade.

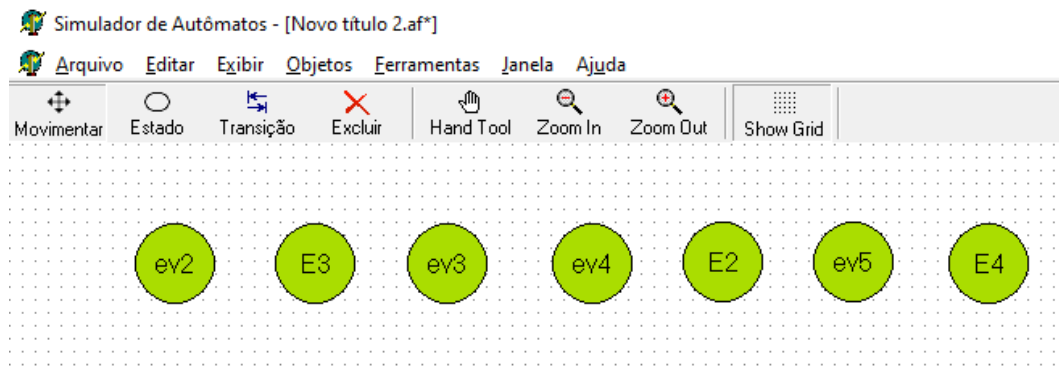
Sendo assim, foram definidas as seguintes siglas para representar as atividades que ocorrem durante a execução do bloco 2:

Quadro 4 - Etapas bloco 2

Sigla	Nome	Atividade
ev2	Evento 2	Etapa final do bloco 1 e primeira etapa do bloco 2 após averiguação do relatório de condições normais
E3	Estado 3	Máquina pronta para iniciar produção
ev3	Evento 3	Sinalizador amarelo acionado
ev4	Evento 4	Sinalizador vermelho acionado
E2	Estado 2	Máquina ligada (preparada)
ev5	Evento 5	Sinalizador verde acionado
E4	Estado 4	Máquina em funcionamento

De posse dessas informações, foram adicionados estes 7 estados no ambiente virtual para simulação e foram renomeados da mesma forma realizada nos componentes do bloco 1:

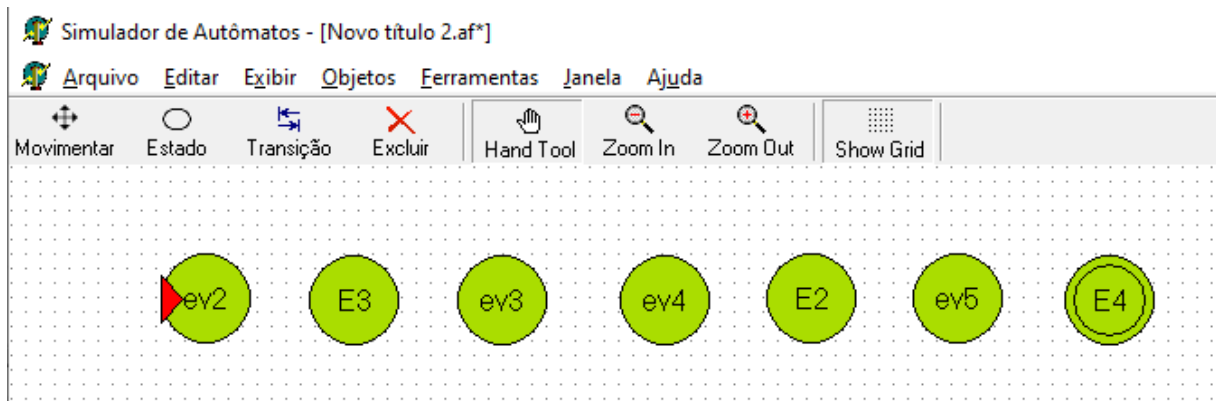
Figura 33 - Componentes do bloco 2



Fonte: Autoria própria

Novamente, após a inclusão dos componentes do sistema, o primeiro passo realizado foi determinar qual evento/estado dará início e qual encerrará o ciclo dentro do bloco, neste caso a etapa inicial será dada pelo evento 2 e o final será dado pelo Estado 4:

Figura 34 - Ponto inicial no evento 2 e ponto final no Estado 4



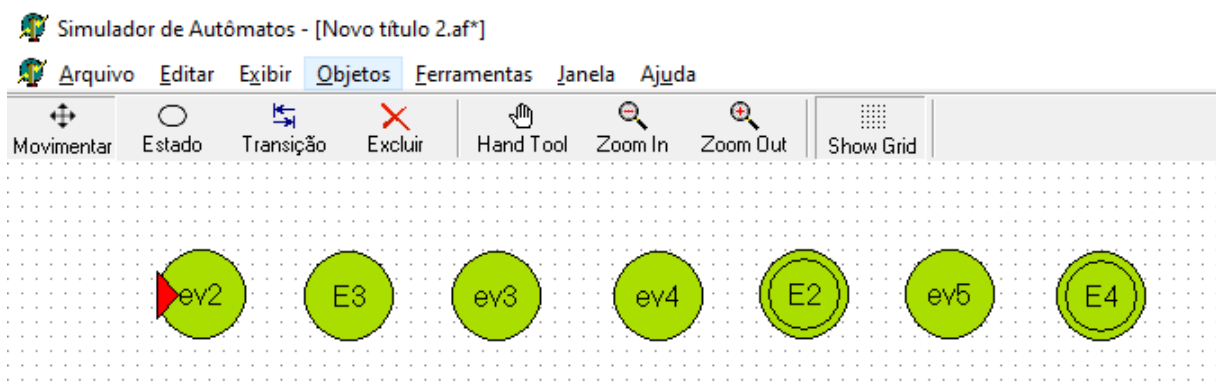
Fonte: Autoria própria

Entretanto, há um detalhe neste bloco que precisa ser observado com cautela, conforme visto no fluxograma da Figura 30, durante o Estado 3 caso ocorra algum fator externo ou interno que venha a ocasionar uma falha no equipamento, por se tratar de um problema crítico, o sistema deve retornar para o estado 2 (E2) presente no bloco 1.

Deve-se proceder desta maneira principalmente para evitar o funcionamento do equipamento que sofreu qualquer alteração nos seus parâmetros aceitáveis e que por conta disso, deve retornar para a etapa em que a máquina está se preparando para assim aguardar a resolução do problema encontrado e reiniciar o ciclo.

Portanto para exibição deste bloco, foram admitidos tanto E2 quanto E4 como etapas finais para essa parte do processo:

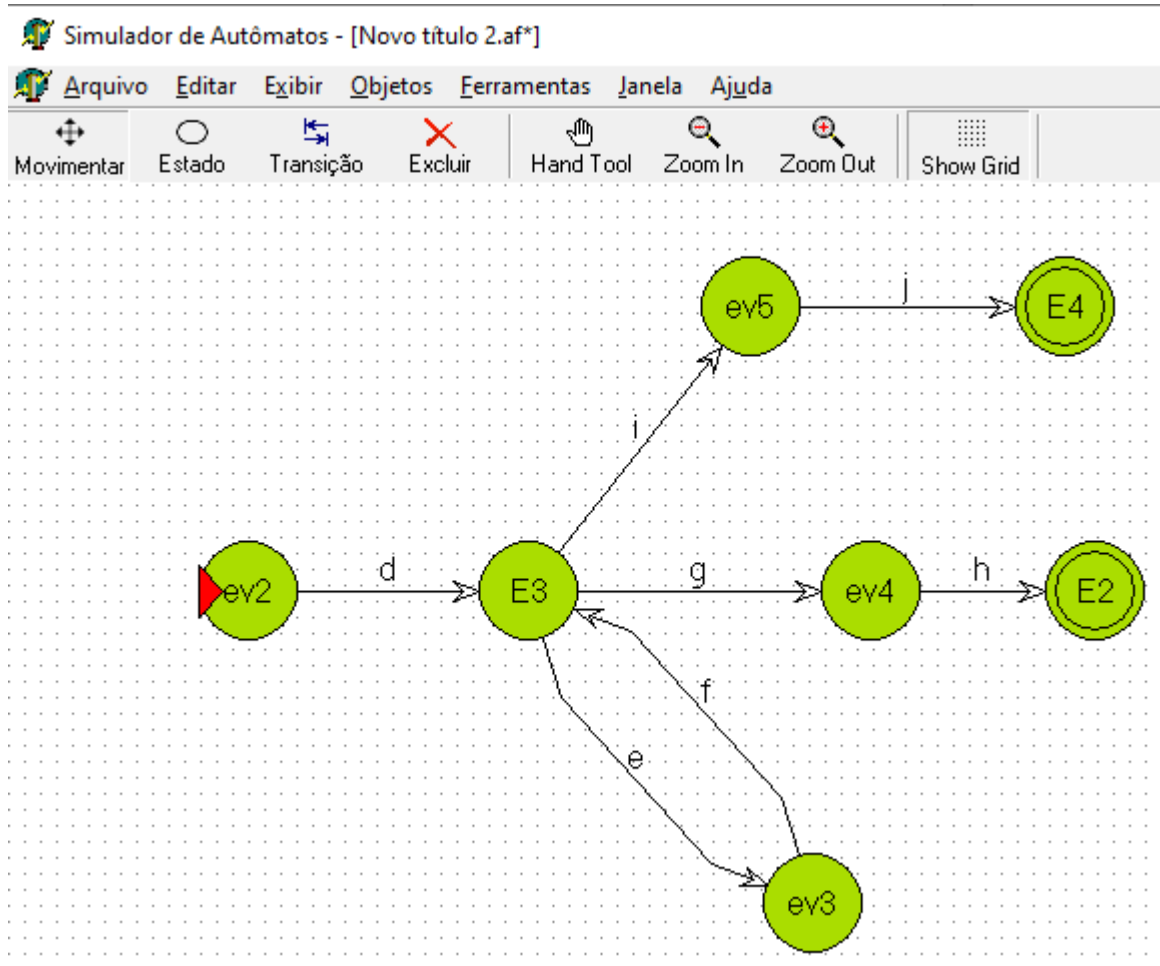
Figura 35 - Adição de ponto final no Estado 2



Fonte: Autoria própria

Reorganizando os componentes além de realizar as transições necessárias entre os estados e eventos, foi obtida a seguinte representação:

Figura 36 - Representação do Bloco 2 em ambiente virtual



Fonte: Autoria própria

Por questões de organização e utilizando como base a linguagem de transição atribuídas entre os pontos do bloco 1, foram definidas a sequência de letras “d” até “j” para as transições conforme ordem alfabética previamente visualizada, implicando novamente em dizer que o sistema apenas irá realizar a compilação caso o mesmo apresente uma configuração de autômatos compatível com esta linguagem.

Através dessa representação também, percebe-se que além do Estado 3 desempenhar um papel crucial neste bloco, o fato de interferências acontecerem nesse ponto durante a execução do processo poderia resultar em um reset por parte do equipamento (ev4), entrar em um estado de espera (ev3) ou seguir adiante (ev5).

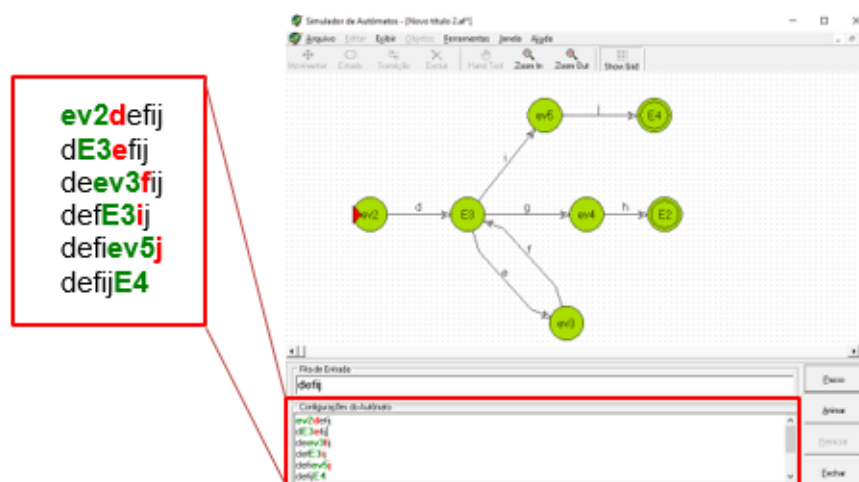
Diferente do bloco 1, levando em conta as observações expostas deste bloco, não há somente uma, mas sim duas, sequências corretas que precisam ser respeitadas para o processo dar prosseguimento. Portanto, foram desenvolvidos dois algoritmos que comprovem a eficiência do sistema, conforme detalhados a seguir:

Quadro 5 - Etapas algoritmo de sucesso do bloco 2

Algoritmo de espera/sucesso (“defij”)	
d	Após relatório de condições adequadas ter sido verificado, equipamento encontra-se preparado pra iniciar a produção em E3
e	Sinalizador amarelo é acionado em ev3
f	Retorno de ev3 para E3
i	Máquina avança de E3 e aciona sinalizador verde em ev5
j	Equipamento altera modo de preparo em ev5 para o modo de pleno funcionamento E4

Realizando a simulação do primeiro algoritmo, obteve-se as seguintes sequências de configurações de autômatos possíveis para que o processo aguarde, realize a auto correção de parâmetros não conformes e prossiga para o estado de pleno funcionamento finalizando as atividades neste bloco (Figura 38).

Figura 37 - Configurações de autômatos do algoritmo de espera/sucesso



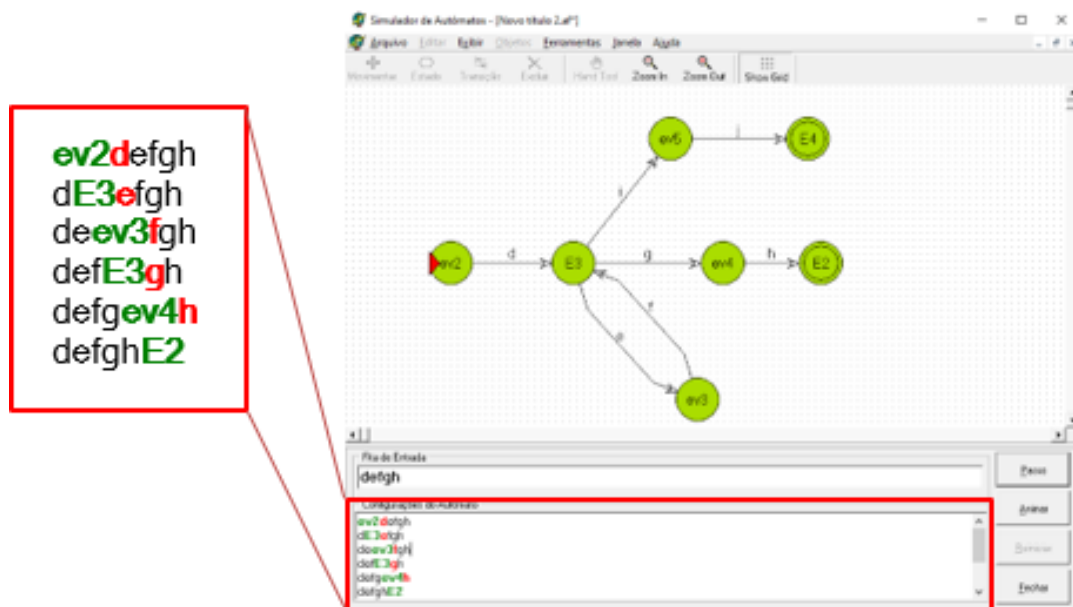
Fonte: Autoria própria

Quadro 6 - Etapas algoritmo de erro do bloco 2

Algoritmo de erro (“defgh”)	
d	Após relatório de condições adequadas ter sido verificado, equipamento encontra-se preparado pra iniciar a produção em E3
e	Sinalizador amarelo é acionado em ev3
f	Retorno de ev3 para E3
g	E3 informa falha durante auto correção realizada em ev3 e avança para ev4
h	Sinalizador vermelho é acionado em ev4 e equipamento retorna para E2 finalizando o processo com erro

A simulação do segundo algoritmo obteve as seguintes seqüências de configurações de autômatos possíveis para que dessa vez o processo aguarde, perceba que ocorreu falha durante auto correção de parâmetros não conformes, fazendo assim com que o sistema seja obrigado a retornar para estado de máquina preparada e finaliza as atividades neste bloco, conforme abaixo:

Figura 38 - Configurações de autômatos do algoritmo de erro



Fonte: Autoria própria

Ambas as simulações exibidas comprovam que o sistema possui maneiras de determinar seqüências de linguagens permitindo-o tomar decisões caso a

linguagem do algoritmo esteja correta tanto para condições aceitáveis, que permitirão que o processo siga para o bloco seguinte, quanto para os não aceitáveis, bloqueando qualquer tipo de avanço do equipamento sem que os parâmetros sejam ajustados.

Quadro 7 - Resultados obtidos em simulações do Bloco 2

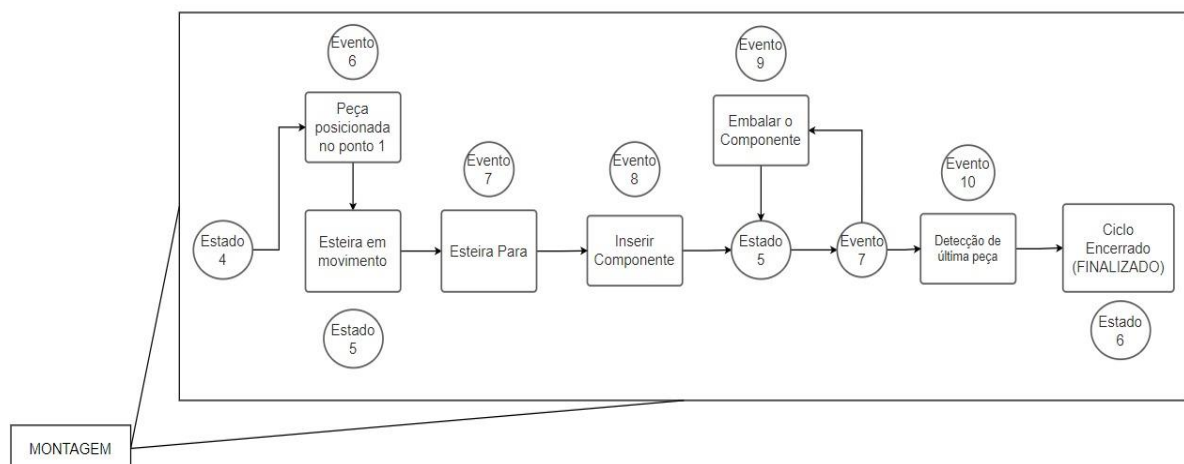
Resultados das configurações	
Algoritmo de espera/sucesso	Equipamento não apresentou nenhuma falha e está habilitado para seguir para o bloco seguinte.
Algoritmo de erro	Equipamento apresentou falhas durante execução de suas atividades e retorna para o estado inicial aguardando ser iniciado novamente.

5.1.2.3 Bloco 3 – Montagem/ Embalagem

Após elaboração, análise e simulação dos dois primeiros blocos, esta etapa do projeto consiste na execução das atividades referentes a montagem e embalagem do produto inseridos dentro de um modelo em escala reduzida do real processo de manufatura existente na empresa analisada.

De maneira semelhante ao que foi feito nos blocos anteriores, elaborou-se um diagrama para exemplificar o fluxo das etapas que deverão ser percorridas a partir do último estado do bloco 2 até que por fim, alcance seu último estado e encerre o ciclo do processo, conforme mostrado abaixo:

Figura 39 - Fluxograma de atividades realizadas pelo bloco 3



Fonte: Autoria própria

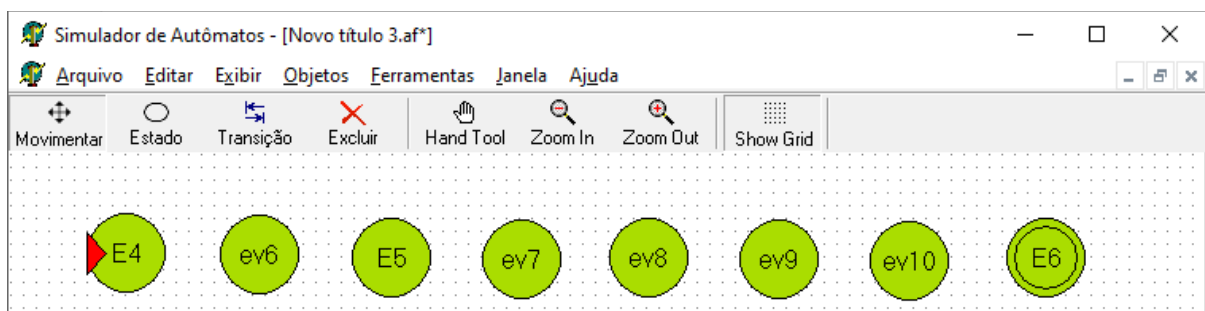
Sendo assim, foram definidas as seguintes siglas para representar as atividades que ocorrem durante a execução do bloco 3:

Quadro 8 - Etapas bloco 3

Sigla	Nome	Atividade
E4	Estado 4	Etapa final do bloco 2 e primeira etapa do bloco 3 após confirmação do funcionamento pleno do equipamento
ev6	Evento 6	Posicionar a peça no local especificado
E5	Estado 5	Esteira em movimento
ev7	Evento 7	Esteira parada
ev8	Evento 8	Inserir componente na peça
ev9	Evento 9	Embalar componente
ev10	Evento 10	Detecção da última peça
E6	Estado 6	Ciclo encerrado

Com essas informações definidas e utilizando a mesma forma de simulação demonstrada nos capítulos anteriores, foram adicionados os estados no ambiente virtual, já incluídos o inicial e final para simulação e foram renomeados da mesma maneira exemplificada ao longo do capítulo 4.3.2.1:

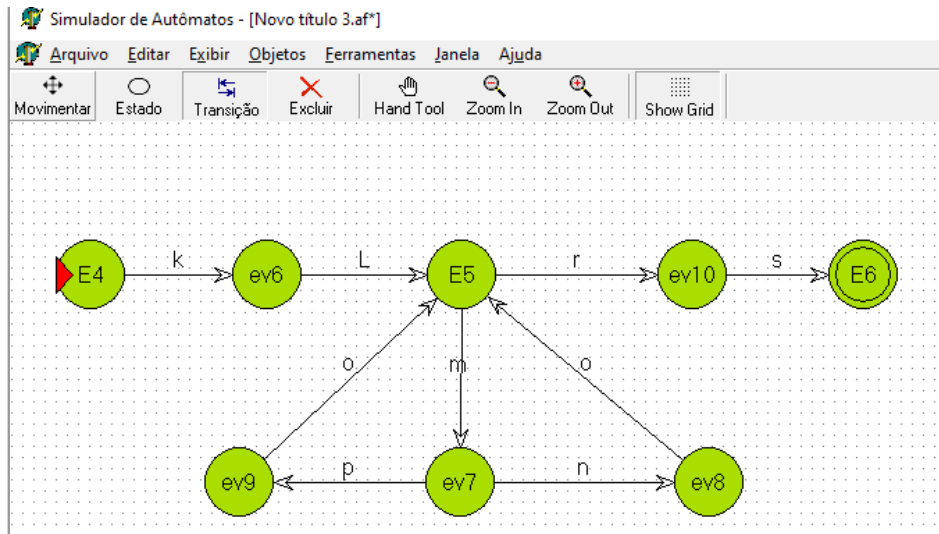
Figura 40 - Componentes do bloco 3 representados em ambiente virtual



Fonte: Autoria própria

Reorganizando os componentes além de realizar as transições necessárias entre os estados e eventos, foi obtido a seguinte representação:

Figura 41 - Transições realizadas entre componentes do Bloco 3



Fonte: Autoria própria

Nota-se que a importância de E5 nesse sistema desempenha papel semelhante ao de E3 durante a execução do bloco 2 visto no capítulo 4.3.2.2, ambos são cruciais para a sequência de montagem, estão inseridos em etapas importantes além do fato de que caso haja interferências internas ou externas o processo como um todo é afetado.

A única diferença entre o Q-Factor Primário deste para o apresentado em E3, é que este se encaixa no conceito de “Velocidade de desenvolvimento do produto”, portanto sendo considerado um parâmetro crítico.

Outro aspecto particular deste fluxo é que o mesmo não retorna pra nenhuma etapa de um bloco anterior e nem finaliza o processo antes de atingir o último estado. Isto acontece pelo motivo de já ter sido feita uma garantia dos parâmetros de funcionamento do equipamento ao longo dos blocos 1 e 2, permitindo assim, que todas as atividades inseridas neste conjunto sejam realizadas sem necessariamente existir uma correlação direta com os passos anteriores.

Entretanto, isto não significa dizer que estes componentes sejam capazes de executar todas as suas funcionalidades sendo isento de paradas, falhas ou perda de performance. A ideia primordial é impedir que o material do produto siga seu fluxo caso ocorra um eventual contratempo, mas aproveite todas as etapas que já foram

cumpridas até o presente momento de modo a reduzir o tempo de possíveis ajustes que venham ser necessários em casos de futuros imprevistos.

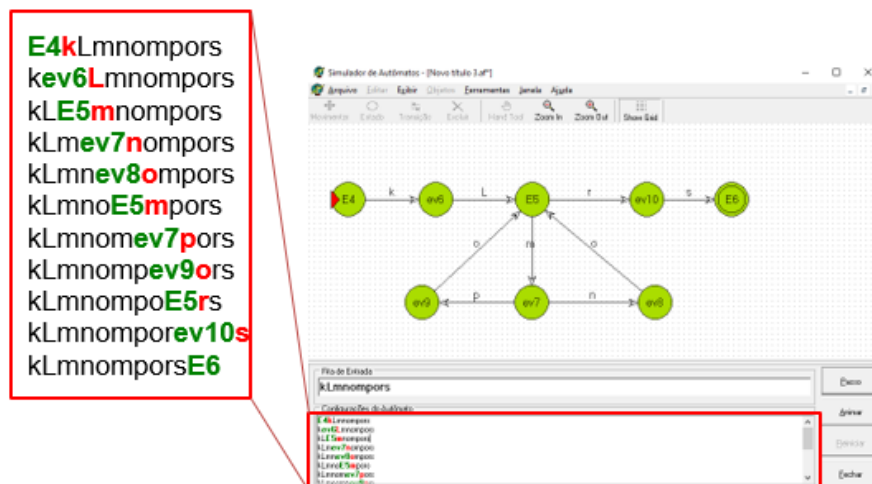
De posse dessas informações, foi desenvolvido a seguinte linguagem “kLmnpors” com intuito de obter as configurações do autômato que podem ser aceitas para este bloco, na qual:

Quadro 9 - Configuração de autômato do bloco 3

Linguagem do bloco 3	
k	Transição do último estado do bloco 2 (E4) para posicionar a peça e iniciar sua montagem (ev6)
L	Esteira acionada (E5) após a peça ter sido posicionada no local especificado
m	Esteira realiza parada no ponto seguinte (ev7)
n	Inserir/montar componente na peça (ev8)
o	Esteira acionada novamente (E5)
p	Produto montado é embalado (ev9)
r	Produto montado e embalado identificado no final da linha (ev10)
s	Ciclo finalizado com sucesso (E6)

Com isso, realizando a simulação em ambiente virtual obteve-se as seguintes configurações de autômatos possíveis para avançar pelas etapas de montagem, embalagem, até por fim, encerrar o ciclo do processo:

Figura 42 - Configurações de autômatos obtidas após simulação do bloco 3



Fonte - Autoria Própria

Por fim, as simulações dos fluxos dos blocos que compõem o sistema foram concluídas separadamente com êxito, as possíveis configurações de autômatos conseguiram ser reconhecidas e com posse de todos esses dados, é possível unificar todos eles em um bloco único, permitindo assim, a realização de uma simulação capaz representar o processo de manufatura em sua totalidade.

Quadro 10 - Resultados obtidos em simulações do Bloco 3

Resultados das configurações	
Algoritmo de sucesso	Equipamento não apresentou nenhuma falha e seguiu o fluxo do processo até finalizá-lo.

6 SIMULAÇÕES E RESULTADOS

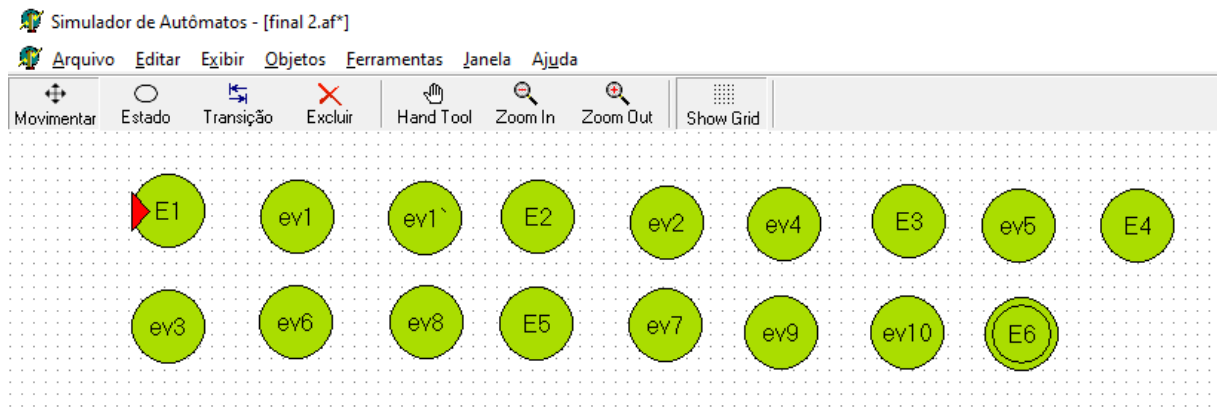
6.1 INTRODUÇÃO

Conforme demonstrada a elaboração dos blocos de maneira detalhada ao longo do capítulo anterior, este ponto do trabalho visa unificar os fluxos de todos os 3 blocos já desenvolvidos até então em um bloco único para determinar quais ajustes devem ser realizados a fim de identificar condições diversas do processo e simulá-las.

6.2 UNIFICAÇÃO DOS BLOCOS

Inicialmente, foram necessários incluir 17 componentes para representação dos 10 eventos e 6 estados que o sistema precisa executar desde o momento em que a máquina é iniciada até o ponto em que a última peça é detectada ao final do processo, conforme ilustrado na Figura 43:

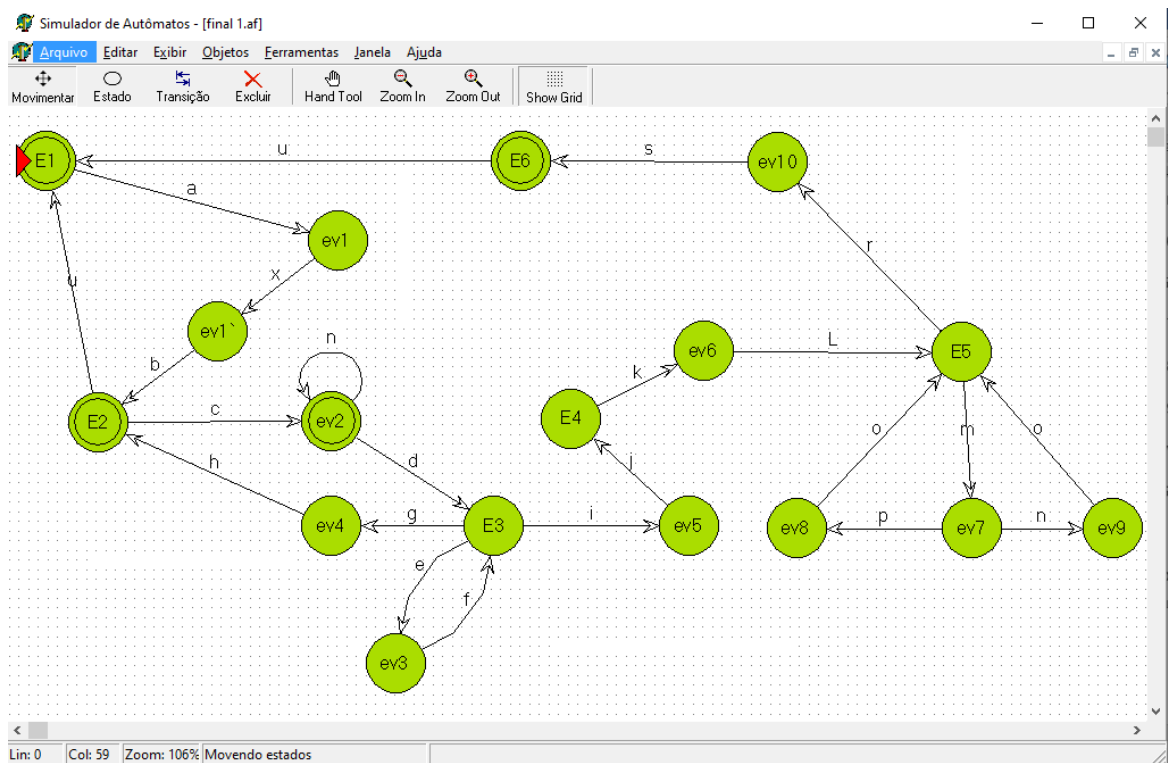
Figura 43 - Componentes adicionados em ambiente virtual



Fonte - Autoria Própria

Utilizando as mesmas siglas para nomear os componentes, realizando as transições entre eles, seguindo a ordem de linguagens pré-determinada no decorrer dos fluxos e reorganizando-os no ambiente virtual, foi obtida a seguinte formação (Figura 45).

Figura 44 - Fluxo em ambiente virtual dos três blocos unificados



Fonte: Autoria Própria

A primeira grande diferença notável deste modelo, além do fato de possuir mais transições, é devido ao sistema a partir de agora estar sendo representado em malha fechada em vez de malha aberta como os fluxos anteriores.

Para que isso fosse possível, tornou-se necessário adicionar uma linguagem de transição denominada “u” que foi atribuída tanto para simbolizar o encerramento do ciclo completo provocando desligamento do equipamento entre os estados E6 e E1 como para finalizar o seu funcionamento em casos de falhas durante as etapas de verificação do bloco 1 entre os estados E2 e E1.

A simulação até agora apresentada engloba todos os pré-requisitos para o equipamento garantir que o produto seja montado, embalado e detectado no último ponto seguindo os critérios padrões de segurança/qualidade.

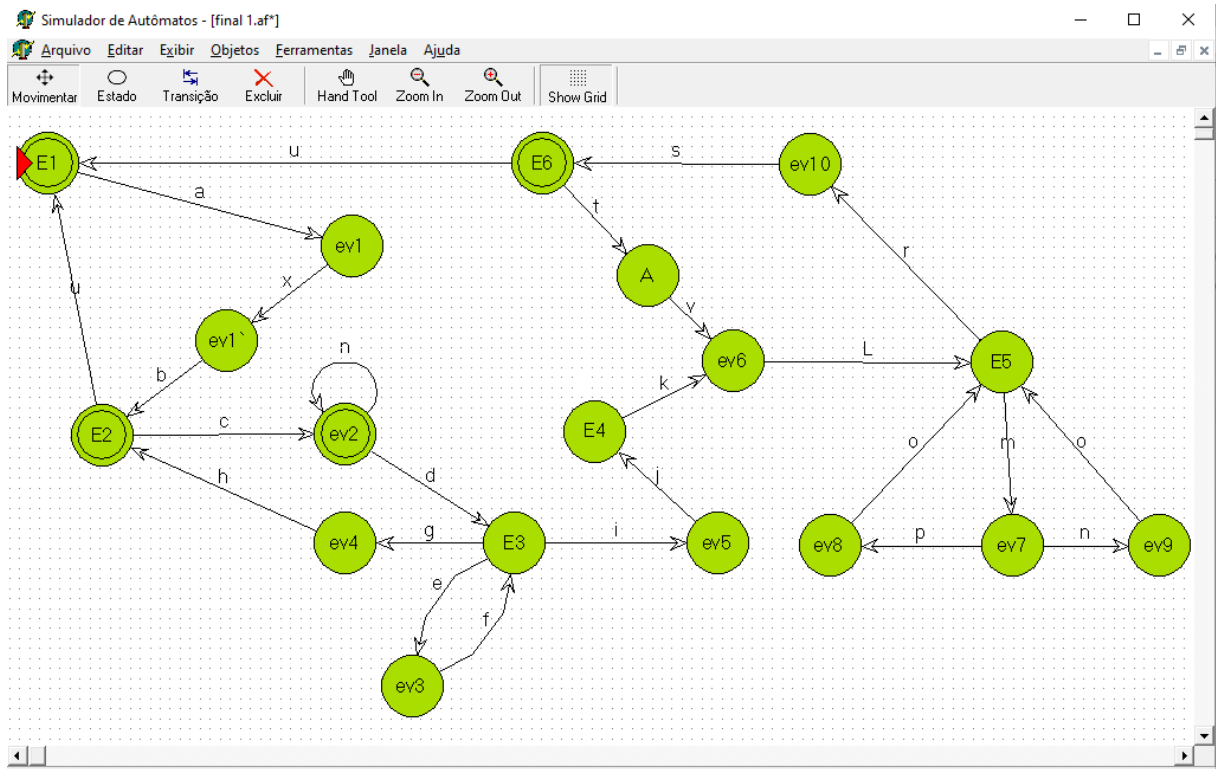
Todavia, se o fluxo for observado com cautela, percebe-se que esta prerrogativa é verídica somente para produção de apenas um único produto, visto que ao ocorrer a detecção final durante ev10 o processo não realiza mais nenhuma outra atividade além de encerrar o ciclo e voltar a máquina para posição inicial, comprometendo assim a escalabilidade da produção do produto.

Isto acabaria gerando uma grande perda de tempo durante o processo e não seria viável para a empresa analisada neste trabalho que possui diversas outras linhas e sistemas de montagem de componentes que estão interconectados com o equipamento em questão.

Para contornar essa situação, incluiu-se um estado de sigla “A” para representar a alimentação dos componentes pré-montados vindos de processos anteriores ao que está sendo analisado, além de acrescentar a linguagem de transição definida por “t” e “v” para conectá-los com o evento 6, de modo que o algoritmo reconheça que uma nova montagem será iniciada.

Sendo assim, o conjunto dos componentes agora passa a ser representado por 18 componentes conforme ilustrado a seguir:

Figura 45 - Fluxo completo do processo com loop



Fonte: Autoria Própria

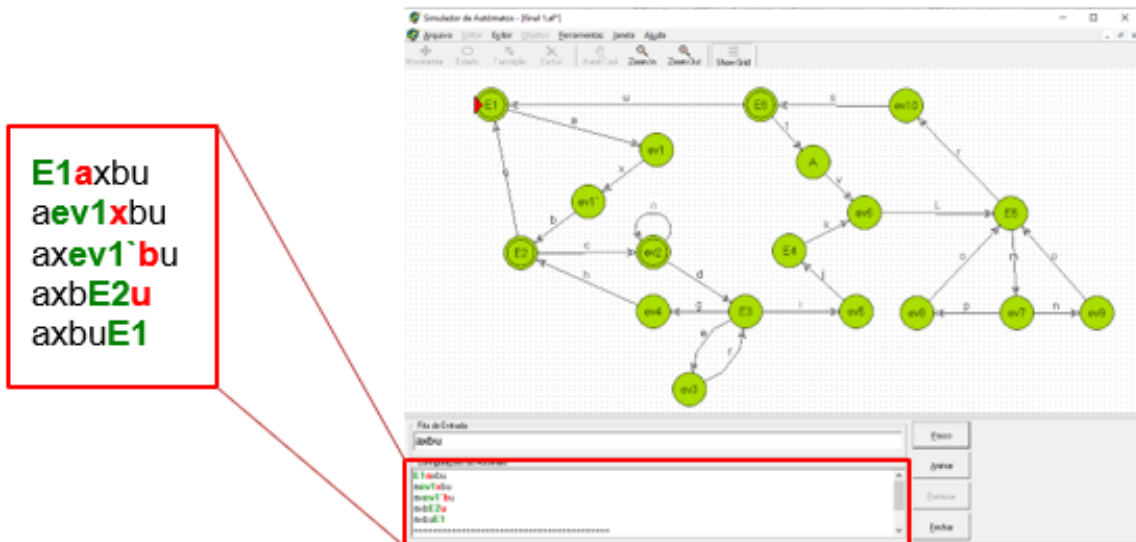
Tendo o conjunto de eventos organizados e correlacionados entre si, é possível então definir possíveis configurações de autômatos que serão geradas através de possíveis linguagens aceitáveis para este sistema.

Quadro 11 - Linguagens aceitas pelo bloco unificado.

Possíveis configurações		
I.	axbu	Máquina estava ligada, porém não atingiu condições normais de funcionamento e equipamento deve retornar para posição inicial.
II.	axbcndefghu	Máquina estava preparada pra iniciar a produção, mas encontrou parâmetro não conforme e deve retornar para posição inicial.
III.	axbcdefijklm nomporsu	Máquina ligada, preparada e funcionando conseguiu realizar todas as etapas de produção e encerrou o ciclo.

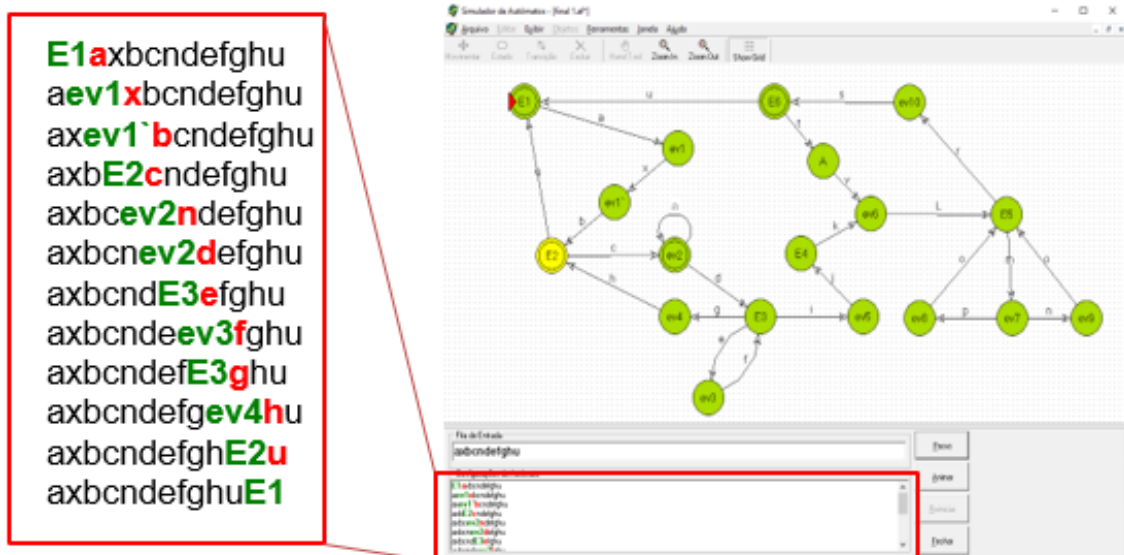
Nas figuras 47 a 49 estão relatadas as configurações de autômatos que foram reconhecidas para este fluxo através da simulação de cada uma delas respectivamente:

Figura 46 - Sequência de configurações de autômatos em I.



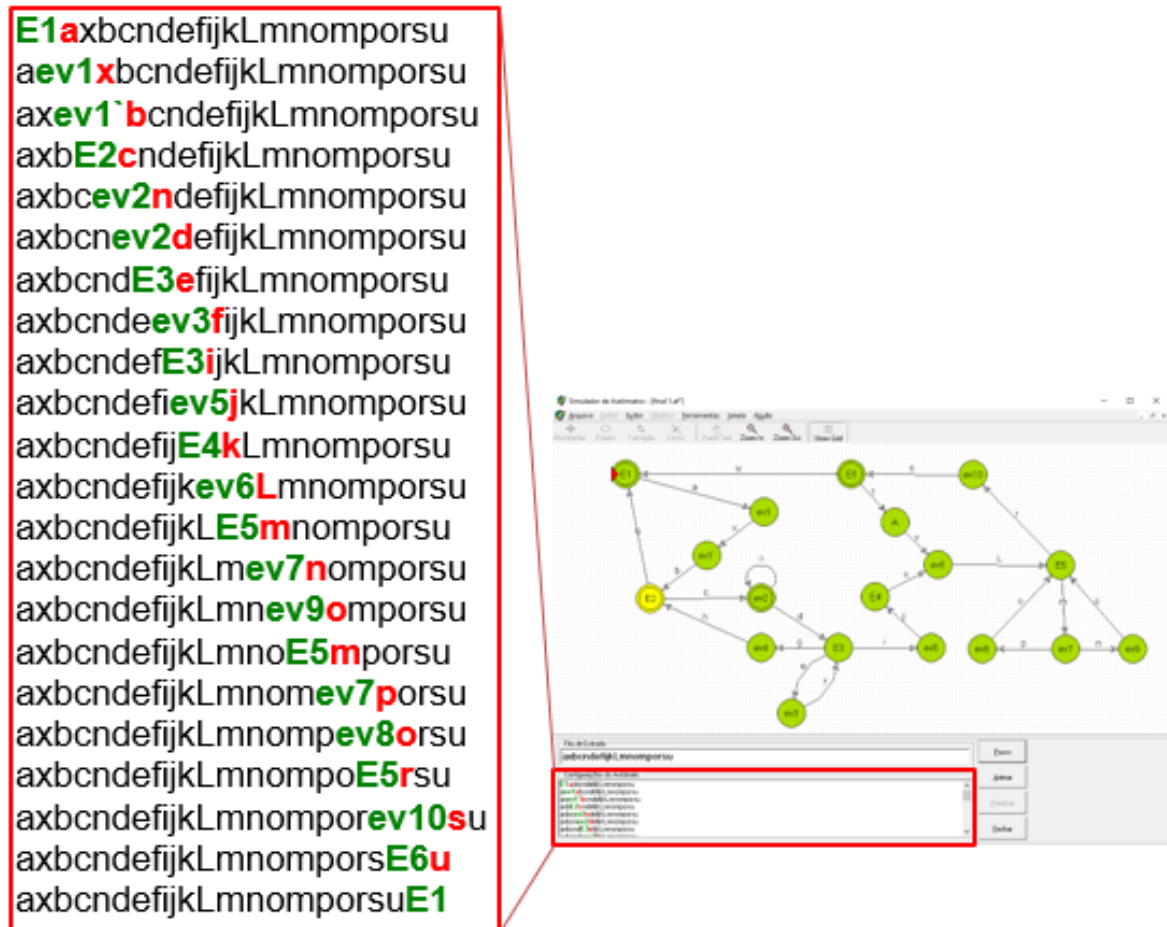
Fonte: Autoria Própria

Figura 47 - Sequência de configurações de autômatos em II.



Fonte: Autoria Própria

Figura 48 - Sequência de configurações de autômatos em III.

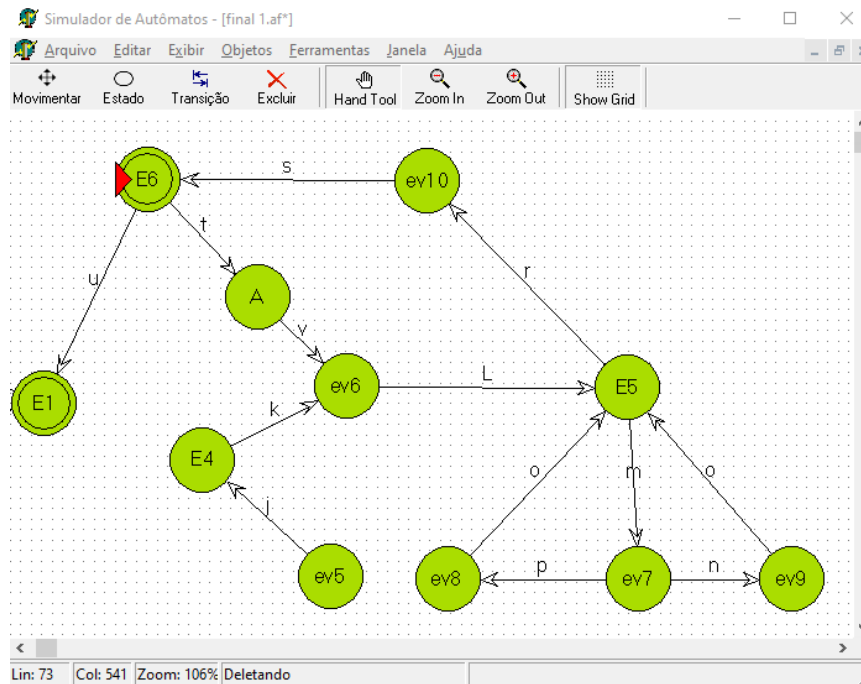


Fonte: Autoria Própria

De acordo com o exposto acima, percebe-se que quanto maior for o processo de manufatura analisado maior será a quantidade de configurações possíveis para atender o fluxo proposto, porém existem formas de resumir algumas destas atividades incluindo-as como sub-configurações dentro do fluxo principal caso haja mais etapas que serão repetidas ao longo da cadeia produtiva.

A Figura 50 foca nas sequências de loop que podem ocorrer dentro do fluxo principal nos momentos de produção em larga escala.

Figura 49 - Loop do processo de montagem/embalagem em larga escala.



Fonte: Autoria Própria

Levando em consideração este detalhe, existem ao menos mais duas linguagens capazes de serem aceitas pelo sistema, pois, ambas fazem parte do loop inserido dentro do fluxo principal para produção em larga escala, na qual, pode ser definido o estado E6 como ponto inicial e final para casos quando houver mais de um produto a ser produzido ou quando o último for finalizado.

Com isso, podem ser definidas as possíveis configurações de linguagens de autômatos para o processo em loop conforme exibido na Tabela 12.

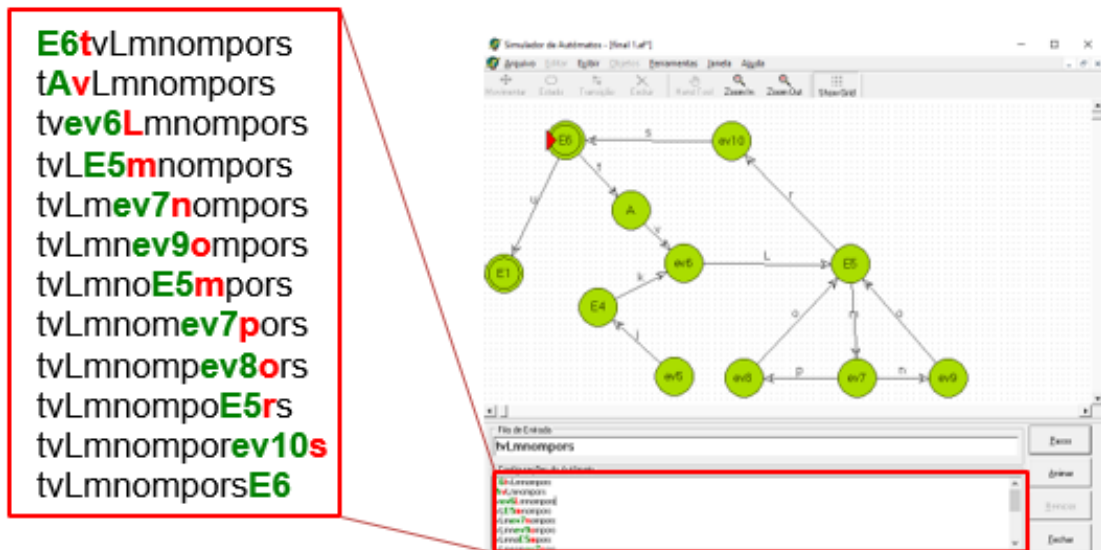
Quadro 12 - Linguagens aceitas pelo bloco unificado com loop.

Possíveis configurações para processo em loop		
IV.	tvLmnpors	Máquina já se encontra em pleno funcionamento e deve continuar a produzir enquanto o sistema estiver sendo alimentado.
V.	tvLmnporsu	Máquina já se encontra em pleno funcionamento, finalizou a montagem/embalagem da última peça e encerrou o ciclo do equipamento.

Fonte: Autoria Própria

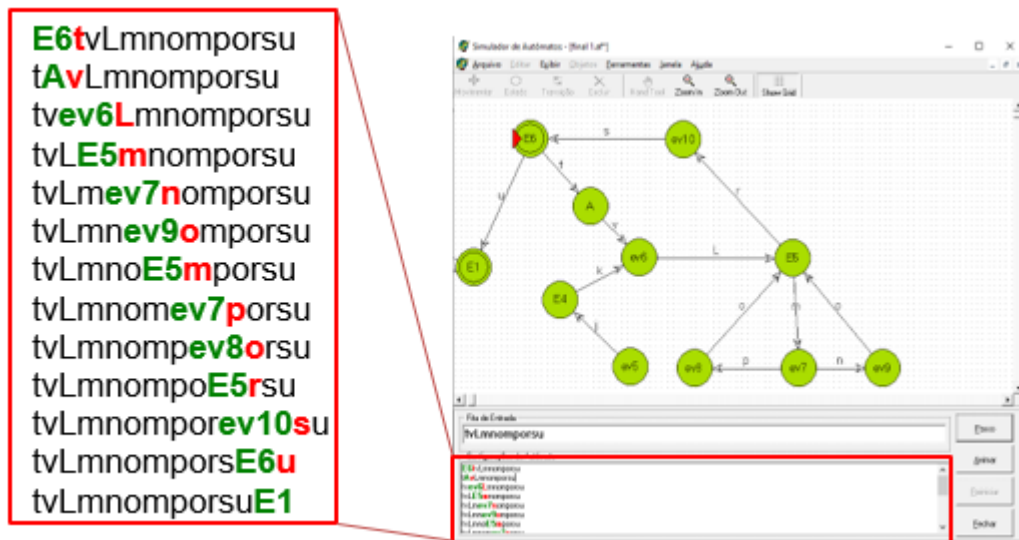
Sendo assim, da mesma forma, obtendo as configurações de autômatos reconhecidas para estes dois casos por meio de simulação em ambiente virtual têm-se:

Figura 50 - Sequência de configurações de autômatos em IV.



Fonte: Autoria Própria

Figura 51 - Sequência de configurações de autômatos em V.



Fonte: Autoria Própria

Portanto, torna-se perceptível que as simulações realizadas ao longo do projeto confirmam que o modelo matemático do autômato determinístico atrelados a teoria de Chomsky permite com que sejam desenvolvidas linguagens para o sistema em questão, de modo que se torne viável atribuir, dentro do workflow do equipamento, qual a melhor sequência que deveria ser realizada de acordo com os fatores externos e internos que possam acontecer durante a execução do processo.

Com isso, o mesmo sistema que anteriormente necessitava que surgisse uma falha completa em seu funcionamento para poder iniciar uma investigação e posteriormente definir um plano de ação, agora é capaz de realizar ações corretivas de forma automática após identificar determinados parâmetros que não estejam de acordo com o padrão técnico da máquina.

Os resultados das simulações realizadas previamente, alinhados com os conceitos de Liberação Paramétrica aplicados paralelamente a um sistema de monitoramento mais detalhado dos pontos críticos do equipamento, comprovam que a utilização de configurações de autômatos para gerar linguagens de máquinas possibilitaram a realização de contramedidas durante a execução das atividades de manufatura além de auxiliar o time responsável na tomada de decisões.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

O modelo proposto baseado na divisão do fluxo de produção em malha aberta em três blocos distintos, permitiu uma ampla visualização da criticidade dos presentes eventos individualmente e graças a isto, veio a ser possível a definição de algoritmos para que o sistema alcançasse o sucesso durante suas simulações.

Ao realizar a unificação dos blocos, alterando assim o sistema para malha fechada, notou-se que não foram necessárias grandes mudanças estruturais na composição dos componentes envolvidos para representa-los nesse novo layout.

Por fim, constata-se que as possíveis simulações realizadas são capazes de definir as linguagens e configurações de autômatos comprovando um controle mais eficiente do sistema diante das situações adversas que possam vir a ocorrer durante o processo de manufatura analisado.

Como proposta de continuidade desse trabalho, sugere-se:

- 1) Desenvolver novos fluxos envolvendo processos maiores e mais complexos.
- 2) Ampliar os conceitos de linguagens de autômatos associando-os em ambientes monitorados através de Redes de Petri visando aumentar o controle da produção.
- 3) Propor para outras empresas a utilização do método apresentado neste trabalho com intuito de automatizar etapas que ainda são realizadas manualmente por parte dos operadores de equipamentos.

8 CONCLUSÃO

A elaboração deste trabalho consistiu em relatar o funcionamento de um equipamento inserido na manufatura de produtos e através do que foi apresentado, pode-se concluir que, a configuração de autômatos juntamente com a utilização de linguagens de algoritmos para controle de processos automatizados, permite uma solução viável para identificação de pontos críticos, com baixo custo de implementação, além de assegurar a qualidade e confiabilidade dos produtos para o problema exposto.

Nesse âmbito, o projeto exemplificou a importância dos conceitos de Liberação Paramétrica e Q-Factors aplicados em simulações de um processo de manufatura em escala reduzida dando ênfase nas relações diretas que os mesmos desempenham ao longo da cadeia produtiva detalhando o funcionamento de cada bloco desenvolvido, possibilitando ao sistema desempenhar uma maior autonomia, permitindo assim uma eficiente tomada de decisões a partir do momento em que um defeito é detectado, levando em consideração todos os critérios e parâmetros de qualidade envolvidos durante sua execução.

REFERÊNCIAS

- [1] FDA. Food and Drug Administration. Guidance for industry: submission of documentation in applications for parametric release of human and veterinary drug products terminally sterilized by moist heat processes. Rockville: FDA; 2010.
- [2] EMEA. The European Agency for the Evaluation of Medicinal Product CPMP/QPW/305/99. Note for Guidance on Parametric Release. London, 1 march 2001.
- [3] Hock, S.C., Constance, N.X.R., Wah, C.L. (2012-07). Toward higher QA: From parametric release of sterile parenteral products to PAT for other pharmaceutical dosage forms. PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology 66 (4) : 371-391. ScholarBank@NUS Repository.
- [4] Korczynski MS. Concurrent Validation, and Parametric Release Programs in The Integration of Process Analytical Technologies, Aseptic Processing. PDA J Pharm Sci Technol. 2004 Jul-Aug; 58(4):181-91.
- [5] LAYLOFF, T. Parametric Release In Lieu of Drug End-Product Testing: Can We Get There From Here? Regulatory Foccus, p. 14-17, may-june 2002.
- [6] Moretto LD, Calixto J. Diretrizes para o Gerenciamento de Riscos nos Processos da Indústria Farmacêutica. São Paulo: Sindusfarma; 2011. v 13.
- [7] – Controle de Qualidade Total, Wellington Camargo, Instituto Federal Paraná, Curitiba-PR 2011.
- [8] TAKAHASHI, S; TAKAHASHI, V. P. (Org) Estratégias de Inovação: Oportunidades e Competências. Barueri, Editora Manole, 2011.
- [9] – RAMOS, Thais Mitleton Borges. Proposta de um modelo de implementação de liberação paramétrica para produtos com esterilização terminal. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2014.
- [10] – European Medicines Agency. Guideline on Parametric Realease, London, 2006. 7p. Disponível em: <http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Scientific_guideline/2009/10/WC500004334.pdf>

- [11] - CHEVAUER, F. Process Parametric Release - The Canadian Regulatory View. PDA Journal of Pharmaceutical Science and technology, Ottawa, v. 39, n. 5, p. 190-193, Set-Out 1985. CHENG, L. C. et
- [12] - ITURRALDE, J. P., Fabricación de productos estériles. Indústria Farmacêutica, Centro de Estudios Superiores de la Industria Farmacéutica CESIF Madrid, p. 59-60, mar-abr, 1999.
- [13] - ODLAUG T. E. et al., Sterility Assurance for Terminally Sterilized Products without End-Product Sterility Testing. PDA Journal of Pharmaceutical Science and technology. v. 38, n. 4, p. 141-147, Jul-Aug, 1984.
- [14] - SOUTO, C. R., Avaliação dos Medicamentos Injetáveis encaminhados ao INCQS no período de janeiro de 2000 a junho de 2006 pelas vigilâncias sanitárias municipais, estaduais e ANVISA. 2008, Dissertação (Mestrado Profissional) - Instituto nacional de Controle de Qualidade em Saúde. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2008.
- [15] - SOUZA F.M.C.V. Critérios para aplicação da Liberação Paramétrica em soluções parenterais de grande volume com esterilização terminal. 2006, Dissertação (Especialização em Tecnologia e Engenharia Farmacêutica). Instituto Racine, São Paulo, 2006.
- [16] - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Consulta Pública nº 05, de 14 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a adoção da liberação paramétrica em substituição ao teste de esterilidade de produtos esterilizados terminalmente Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de fevereiro de 2014.
- [17] - JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; SANIUK, A.; NOWICKI, T. The Maintenance Management in the Macro-Ergonomics Context. Advances in Intelligent Systems and Computing, v. 487, p. 35-46, 2017.
- [18] - Foidl, H., & Felderer, M. (2018). Integrating software quality models into risk-based testing. Software Quality Journal, 26(2), 809-847.
- [19] - Magaldi, S. & Neto, J. S. (2018) Gestão do Amanhã: Tudo o que você precisa saber sobre gestão, inovação e liderança para vencer na 4a Revolução Industrial. São Paulo: Editora Gente.
- [20] - BATISTA, J. C. [treinarvirtual.com.br](https://www.treinarvirtual.com.br), 2018. Disponível em: <<https://www.treinarvirtual.com.br/artigos/normas-iso-serie-9000-saiba-o-que-e>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2021.

- [21] - DADOS, F. E. Gestão da Qualidade: os 7 princípios básicos. fatosedados.com.br, 19 Setembro 2016. Disponível em: <<http://fatedados.com.br/artigos/gestao-da-qualidade-os-7-principios-basicos/>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2021.
- [22] - LUCENA, E. administradores.com.br, 2016. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/os-principios-de-gestao-da-qualidade-conforme-a-revisao-2015-da-iso-9000>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2021.
- [23] - BARROS, E. qmsbrasil. qmsbrasil.com.br, 2017. Disponível em: <<http://www.qmsbrasil.com.br/blog/os-principios-da-qualidade/>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2021.
- [24] - SASHKIN, Marshall e KISER, Kenneth J. (1994). Gestão da Qualidade Total na Prática. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- [25] - S. George and A. Weimerskirch, Total quality management: Strategies and techniques proven at today's most successful companies. New York: Wiley, 1994.
- [26] - S.L.Ahira and P. Dreyfus, "The impact of design management and process management on quality: and empirical investigation", Journal of Operations Management, vol. 18, no. 1, pp. 549-575, 2000.
- [27] R. Lombard, C. C. van Waveren and K.-Y. Chan, "Factors affecting quality in a manufacturing environment for a nonrepairable product", University of Pretoria, 2014.
- [28] LIMA, A. eaulas.usp.br, 2020. Disponível em: <<http://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=16298>>. Acesso em 15 Março 2021.
- [29] "Linguagens Formais e Autômatos" Marcus Vinícius Midena Ramos Curso de Engenharia de Computação Universidade Federal do Vale do São Francisco 22 de abril de 2008.
- [30] "Pesquisa Quali-Quantitativa: o que é, como fazer e exemplos", Disponível em: <https://regrasparatcc.com.br/primeiros-passos/pesquisa-quali-quantitativa/>>. Acesso em 15 de Março 2021.
- [31] C. G. Cassandras e S. Lafortune. Introduction to Discrete Event Systems. 2nd ed, Springer, 2008.
- [32] "Simulador de Autômatos", Disponível em: <<http://www.simuladordeautomatos.com.br/>>. Acesso em 10 Fevereiro 2021.

- [33] S.L.Ahire and P. Dreyfus, "The impact of design management and process management on quality: and empirical investigation", *Journal of Operations Management*, vol. 18, no. 1, pp. 549-575, 2000.
- [34] D. Dow, D. Samson and S. Ford, "Exploding the myth: do all quality management practices contribute to superior quality performance?" *Production and Operations Management*, vol. 8, no. 1, pp.1-27, 1999.
- [35] S. Rahman and P. Bullock, "Soft TQM, hard TQM, and organisational performance relationships: an empirical investigation", *The International Journal of Management Science*, vol. 33, no. 1, pp.73-83, 2005.
- [36] A.G. Robinson and D.M. Schroeder, "Training, continuous improvement, and human relations: the US TWI programs and the Japanese management style", *California Management Review*, vol. 35, no. 2, pp. 35-57, 1993.
- [37] S.S., Rao, T.S. Ragu-Nathan and L.E. Solis, "Does ISO 9000 have an effect on quality management practices? An international empirical study", *Total Quality Management*, vol. 8, no.6, pp. 335-346, 1997.
- [38] R.J. Everett and A.S. Sohal, "Individual involvement and intervention in quality improvement programmes: using the Andon system", *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 8, no. 2, pp. 21-34, 1991.
- [39] P.C. Constant, "Some thoughts on quality", *The Quality Assurance Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 108-119, 2005
- [40] D. Bowen and L. Lawler, "Total quality-oriented human resource management", *Organisational Dynamics*, vol. 24, no. 4, pp. 39-41, 1992.
- [41] K.D. Majeske, T. Lynch-Caris and G. Herrin, "Evaluating product and process design changes with warranty data", *International Journal of Production Economics*, vol. 50, no. 1, pp.79-89, 1997.
- [42] M. Ben-Daya and, S.O. Duffuua, "Maintenance and quality: the missing link", *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. vol 1, no. 1, pp. 20-26, 1995.
- [43] Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS) and The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE), "International Journal of Control, Automation, and Systems (IJCAS)", *International Journal of Production Economics*, vol. 19, issue 3, 2021.