

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS
INDUSTRIAIS – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS

Jonas Knipphoff da Cruz

**PROPOSIÇÃO DE UM INDICADOR DE ESTABILIDADE DO DESEMPENHO DE
PROCESSOS UTILIZANDO SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO**

Santa Cruz do Sul
2015

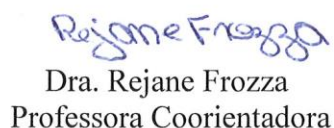
Jonas Knipphoff da Cruz

PROPOSIÇÃO DE UM INDICADOR DE ESTABILIDADE DO DESEMPENHO DE
PROCESSOS UTILIZANDO SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO

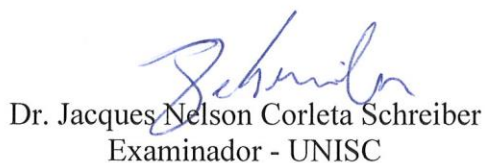
Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais – Mestrado – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais.



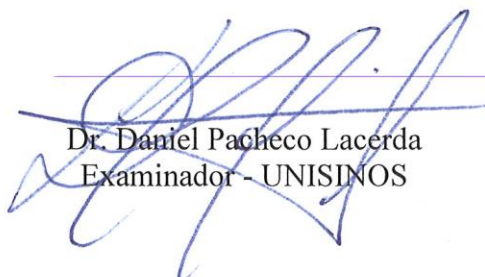
Dra. Liane Mählmann Kipper
Professora Orientadora



Dra. Rejane Frozza
Professora Coorientadora



Dr. Jacques Nelson Corleta Schreiber
Examinador - UNISC



Dr. Daniel Pacheco Lacerda
Examinador - UNISINOS

Dedico este trabalho ao meu pai (*in memoriam*), Wilson Knipphoff da Cruz, que em vida, demonstrou perseverança e nos deixou um exemplo de determinação, coragem e sabedoria. Fostes meu pai, meu professor, nosso grande líder e, mesmo ausente, sua memória ainda nos inspira...”

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar, à minha esposa Caroline e meus filhos João Vitor e Ana Júlia, pela paciência e compreensão pela ausência ao longo destes dois anos de mestrado.

À toda a minha família, em especial minha mãe, Leocádia Maria da Cruz e minha irmã Luciana Knipphoff Knak pela preocupação, apoio e atenção dada aos meus filhos nos momentos em que não estive presente.

Às professoras orientadoras Liane Mahlmann Kipper e Rejane Frozza, pelos conselhos, motivação e por compartilhar seu conhecimento e experiência.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais.

À CAPES e UNISC pela bolsa de estudos e a oportunidade de participar do programa de Mestrado.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais pelo companheirismo e troca de experiências.

Aos amigos Leandro Maidana e Rafael Theisen pelo estimável apoio e incentivo.

A DEUS, pela saúde e oportunidade de viver este momento.

Resumo

Este trabalho apresenta a proposta de um índice de estabilidade de desempenho de processos, fundamentado a partir da aplicação dos conceitos de gestão por processos, técnicas estatísticas aplicadas a processo e modelagem de sistema de apoio à decisão baseado em regras de produção. A metodologia de pesquisa adotada foi a pesquisa-ação que orientou a condução das etapas de diagnóstico da situação atual, análise de processos e indicadores, definição do indicador de estabilidade, desenvolvimento, implementação e validação do sistema de apoio à decisão. Nas etapas de diagnóstico e análise dos processos as ferramentas utilizadas foram técnicas de entrevistas individuais semiestruturadas com a utilização de formulário 5W1H. As entrevistas e dados coletados formaram a base para realização do mapeamento de processos, construção dos fluxogramas no padrão BPMN, matriz de indicadores críticos e as regras de produção. Para a definição do indicador de estabilidade foram utilizadas referências de estatística aplicada ao controle de processo como Seis sigmas, índice CPK e gráficos de controle de processo. Na etapa de desenvolvimento e implementação, foi construída a base de conhecimento do sistema especialista de apoio à decisão a partir do modelo de monitoramento e conceitos de estabilidade de processo. A partir das regras de negócios, o protótipo do sistema especialista foi desenvolvido utilizando linguagem Visual Basic e SQL, com a base de dados Microsoft ACCESS e EXCEL. Também foram desenvolvidos módulos para interfaces ETL com base de dados EXCEL e SQL Server. O índice de estabilidade e o relatório de monitoramento proposto foram testados em uma empresa multinacional do ramo de tabaco, localizada no Sul do Brasil. Os resultados obtidos mostraram que através da utilização do índice de estabilidade e da análise das variações dos indicadores baseada em regras de produção, foi possível medir o nível de estabilidade do processo e definir as ações corretivas efetivas para melhorá-lo.

Palavras-chaves: Gestão por processos, Indicadores-Chaves, Estabilidade de Processo, Sistema de Apoio à Decisão, Regras de Produção

Abstract

This research presents a proposal of an indicator to measure the process performance stability, based on process management, statistical process control techniques and decision support system by using production rules. The methodology used was Action-Research that guided the phases of current situation survey, processes and indicators analysis, definition of the stability indicator, development, implementation and validation of the decision support system. In the phase of diagnostics and process analysis, the main tool used was individual semistructured interviews based on 5W1H form. The interviews and data collected were the basis to build the process mapping, BPMN flowcharts, define the critical indicators matrix and the production rules. The statistical references to define the stability indicator were Six sigma, CPK index and control charts. At the stage of development and implementation, the knowledge base of expert decision support system was implemented. The prototype of the system was developed using Visual Basic for Application and SQL programming language on Microsoft ACCESS, Microsoft EXCEL and MS SQL Server. To load the data from transactional systems, it was developed ETL interfaces. The stability indicator and the monitoring report proposed for this research were tested in a international tobacco company, located in south of Brazil. The results show that by using the stability indicator and the report analysis based on production rules, it was possible to measure the process stability level and define the effective corrective actions to improve the process performance.

Key words: Process management, Key performance indicators, Process Stability, Decision Support System, Production Rules

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----|
| Figura 1- Índice de Qualidade – Ranking Geral..... | 13 |
| Figura 2- Índice de Qualidade – Ranking América Latina..... | 14 |
| Figura 3- Fluxos de ar e componentes relacionados com a ventilação do cigarro | 15 |
| Figura 4 - Componentes básicos do cigarro | 16 |
| Figura 5 - Relação do processo chave e processos fornecedores | 17 |
| Figura 6 – Mapa conceitual das áreas de conhecimento exploradas | 18 |
| Figura 7 - Gráficos de Médias (X) e Amplitude (R) | 32 |
| Figura 8 - Método DMAIC..... | 36 |
| Figura 9- Simulação Histogramas de Frequência..... | 40 |
| Figura 10 - Passos do método sistêmico..... | 44 |
| Figura 11 - Arquitetura de um SAD | 47 |
| Figura 12 - Estrutura geral de ambiente envolvendo Sistema Especialista..... | 48 |
| Figura 13 - Exemplos de representação de conhecimento | 51 |
| Figura 14 - Arquitetura global de um Data Warehouse..... | 59 |
| Figura 15 - Fases do desenvolvimento de um SBC..... | 60 |
| Figura 16 - Ciclo da pesquisa-ação | 69 |
| Figura 17 – Fluxograma do processo de recebimento de matéria-prima | 80 |
| Figura 18 – Fluxograma do processo de perfuração de ponteira..... | 82 |
| Figura 19 – Fluxograma do processo de fabricação de filtro | 84 |
| Figura 20 – Macro fluxograma dos processos de fabricação de cigarro | 86 |
| Figura 21 – Teste de capacidade da Coresta – Lado A | 90 |
| Figura 22 – Teste de capacidade da Coresta – Lado B..... | 91 |
| Figura 23 – Teste de capacidade do RTD do filtro..... | 93 |
| Figura 24 – Teste de capacidade da Ventilação do Cigarro. | 95 |
| Figura 25 – Aplicação do índice de estabilidade (IE) – Teste 1 | 102 |
| Figura 26 – Aplicação do índice de estabilidade (IE) - Teste 2 | 103 |
| Figura 27 – Arquitetura de informação do SADBC..... | 105 |
| Figura 28 – Tabela dinâmica dos parâmetros físicos de processo..... | 108 |
| Figura 29 – Etapas ETL..... | 110 |
| Figura 30 – Diagrama relacional das tabelas da base de dados MS Access..... | 111 |
| Figura 31 – Elementos do relatório de monitoramento de processo | 113 |
| Figura 32 – Exemplo de avaliação do RTD Filtro | 114 |
| Figura 33 – Exemplo regras de produção: Identificação da Variável | 115 |
| Figura 34 – Exemplo regras de produção: Identificar variação..... | 115 |
| Figura 35 – Exemplo regras de produção: Verificar causas | 116 |
| Figura 36 – Exemplo regras de produção: Ações selecionadas..... | 117 |
| Figura 37 – Diagnóstico – Semana 1 | 119 |
| Figura 38 – Acompanhamento – Semana 2..... | 121 |
| Figura 39 – Acompanhamento – Semana 3..... | 123 |
| Figura 40 – Gráficos de controle – Validação..... | 124 |
| Figura 41 – Gráficos de controle Peso Total do cigarro..... | 125 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Bibliometria realizada no portal de Periódico da CAPES..... | 19 |
| Quadro 2 - Bibliometria realizada no portal periódicos Web of Science | 20 |
| Quadro 3- Elementos Básicos do BPMN | 27 |
| Quadro 4 - Exemplo de Índice de Rejeição | 40 |
| Quadro 5 - Classificação de processo segundo índice de capacidade | 42 |
| Quadro 6 - Exemplo de regra de produção..... | 53 |
| Quadro 7 – Comparativo entre estudos de Controle de Processo e Variabilidade | 63 |
| Quadro 8 – Comparativo entre estudos sobre aquisição de conhecimento e sistemas especialistas. | 66 |
| Quadro 9 - Fases da Pesquisa | 75 |
| Quadro 10 - Critérios entre elementos 5W1H e Itens do formulário de mapeamento | 78 |
| Quadro 11 – Pontos críticos de controle..... | 88 |
| Quadro 12 – Determinação do coeficiente de variação da coresta..... | 92 |
| Quadro 13 – Determinação do coeficiente de variação do RTD do Filtro | 94 |
| Quadro 12 – Determinação do coeficiente de variação da ventilação do cigarro | 96 |
| Quadro 13 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo fabricação de filtro no controle da variável RTD do filtro | 97 |
| Quadro 14 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo de perfuração de ponteira no controle da variável Coresta | 98 |
| Quadro 15 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo de fabricação de cigarros no controle da variável Ventilação. | 98 |
| Quadro 16 – Exemplos de regras de produção | 100 |
| Quadro 19 - Etapas, tecnologia e métodos aplicados na definição da ferramenta | 106 |
| Quadro 20 – Tabela de dados de origem do controle de Coresta | 107 |
| Quadro 21 – Informações de rastreabilidade de material | 109 |
| Quadro 22 – Regras de produção selecionadas para Ventilação | 120 |
| Quadro 23 – Regras de produção selecionadas para RTD Filtro | 120 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC – Base de Conhecimento
BI - Business Intelligence
BPM - Business Process Modeling
BPMN – Business Process Modeling Notation
CEP – Controle Estatístico de Processo
CPK – Índice de capacidade de processo
CV – Coeficiente de Variação
DW - Data Warehouse
ETL – Extract, Transform and Load
IE – Índice de Estabilidade
KPI - Key Performance Indicator
RTD – Resistência à força de sucção
SAD - Sistema de Apoio à Decisão
SADBC – Sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento
SBC - Sistema Baseado em Conhecimento
SE - Sistemas Especialistas
STP - Sistema Toyota de Produção
TI – Tecnologia da Informação
TQC – Total Quality Control
VME - Valor Médio Especificado
%V - Percentual de Ventilação

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 22 |
| 2.1 | Gestão por processos | 22 |
| 2.1.1 | Monitoramento de Processo | 24 |
| 2.1.2 | Mapeamento de Processo | 24 |
| 2.1.3 | Modelo de notação técnica para mapeamento de processo – BPMN | 27 |
| 2.1.4 | Controle de Processo | 28 |
| 2.1.5 | Evidências de Controle de Processo..... | 30 |
| 2.2 | Controle e Melhoria de Processo | 30 |
| 2.2.1 | Estatística para controle de qualidade | 30 |
| 2.2.2 | Controle Estatístico de Processo - CEP | 31 |
| 2.2.3 | Programa Seis-Sigma | 33 |
| 2.2.4 | Ferramenta Seis-Sigma: Método DMAIC..... | 35 |
| 2.2.5 | Estatística aplicada a processo | 37 |
| 2.2.6 | Medida de tendência central..... | 37 |
| 2.2.7 | Medidas de dispersão | 38 |
| 2.2.8 | Estatística multidimensional ou bidimensional..... | 39 |
| 2.2.9 | Coeficiente de Variação | 40 |
| 2.2.10 | Índices de capacidade de processo CP e CPK..... | 41 |
| 2.3 | Indicadores Sistêmicos | 43 |
| 2.4 | Tecnologia de informação..... | 44 |
| 2.4.1 | Sistema Apoio à Decisão (SAD)..... | 46 |
| 2.4.2 | Sistemas Especialistas | 47 |
| 2.4.3 | Base de Conhecimento | 49 |
| 2.4.4 | Redes Semânticas | 50 |
| 2.4.5 | Regras de Produção | 52 |
| 2.4.6 | Regras de produção versus árvores de decisão | 53 |
| 2.4.7 | Principais Técnicas de Aquisição de Conhecimento..... | 53 |
| 2.4.8 | ETL – Extração, Transformação e Carga de dados..... | 56 |
| 2.4.9 | Arquitetura Data Warehouse..... | 58 |
| 2.4.10 | Etapas do Processo de Desenvolvimento de um SBC..... | 60 |
| 2.5 | Trabalhos Relacionados | 61 |
| 2.5.1 | Aplicação da metodologia Lean Six Sigma na redução da variabilidade do processo de envase em uma indústria de óleo vegetal (VIEIRA, ROSA e MORALES, 2010) 62 | 62 |
| 2.5.2 | Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da Variabilidade (RUTHES, CERETTA e SONZA, 2006)..... | 62 |
| 2.5.3 | Gráficos de controle multivariados: um estudo de caso no setor metalomecânico 63 | 63 |
| 2.5.4 | Técnicas de elicitação de conhecimento tácito - um estudo de caso aplicado a uma Empresa do Ramo Metalúrgico (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014)..... | 64 |
| 2.5.5 | Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente (MEIRA, RODRIGUES e MORAES, 2009) | 65 |
| 2.5.6 | Prevenção de violações de KPI em Processos de Negócios com base em árvore de decisão por aprendizagem com adaptação proativa em tempo real..... | 65 |
| 2.6 | Considerações..... | 67 |
| 3. | METODOLOGIA | 68 |
| 3.1 | Pesquisa-ação | 68 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.2 | Planejamento da pesquisa..... | 70 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 77 |
| 4.1 | Diagnóstico da situação atual | 77 |
| 4.1.1 | Mapeamento de processos..... | 79 |
| 4.2 | Análise dos Processos e indicadores | 87 |
| 4.2.1 | Definição dos indicadores-chaves | 89 |
| 4.2.2 | Investigação das possíveis causas de variabilidade nos processos | 96 |
| 4.2.3 | Definição das regras de produção | 99 |
| 4.3 | Definição do indicador de estabilidade de processo | 100 |
| 4.4 | Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento (SADBC) | 104 |
| 4.4.1 | Fonte de dados..... | 106 |
| 4.4.2 | Extração, Transformação e Carga de informações (ETL)..... | 110 |
| 4.4.3 | Base de dados | 111 |
| 4.4.4 | Relatórios de monitoramento de processo | 112 |
| 4.4.5 | Verificação das Regras de Produção | 114 |
| 4.5 | Validação do sistema e do Índice de Estabilidade | 118 |
| 4.5.1 | Diagnóstico inicial (Definir/Medir) | 118 |
| 4.5.2 | Investigação das causas e acompanhamento (Analisar)..... | 119 |
| 4.5.3 | Implementação das ações (Melhorar) | 122 |
| 4.5.4 | Comprovar Resultados (Controlar) | 122 |
| 5. | CONCLUSÃO | 126 |
| 6. | REFERÊNCIAS | 129 |

1. INTRODUÇÃO

A competitividade e a necessidade de mudança nas organizações trazem consigo a demanda por instrumentos para controlar e conduzir seus processos de forma eficiente e eficaz, com foco no desempenho para alcançar seus objetivos estratégicos (PRADELLA, FURTADO, KIPPER, 2012).

Paralelo a isso, com os inúmeros ciclos de mudanças, as empresas também têm enfrentado dificuldades para sustentar o desempenho dos indicadores de seus processos em termos de eficiência, custo, qualidade e satisfação de cliente. Frequentemente, métodos e ferramentas acabam perdendo a eficiência ao longo dos anos. Esta situação reduz o comprometimento dos colaboradores com os programas de melhoria e seus resultados (CARVALHO, PALADINI, 2012).

A aplicação de ferramentas de melhoramento de processo e métodos enxutos vem sendo utilizados como alternativa pelas organizações para melhorar seus desempenhos, pois, provavelmente seus processos individuais são instáveis. O objetivo primário da estabilidade é criar uma base para a coerência de modo que a realidade possa ser vista e atividades aleatórias possam ser eliminadas, assim estabelecendo os fundamentos da verdadeira melhoria (LIKER, MEIER, 2006).

O foco em clientes e processos de negócio nunca esteve tão grande. Seethamraju (2012) comenta que com o crescente reconhecimento de processos de negócio como ativos corporativos críticos, o desenvolvimento de "orientação por processo", "visão de processos" tornou-se uma necessidade para as organizações empresariais modernas.

Neste contexto as organizações, para alcançar as suas metas, têm investido em soluções com foco em eficiência, que permitam reduzir os tempos e ciclos, reduzir o consumo de recursos, tornando-se mais ágeis e competitivas e, deste modo, conquistando a preferência dos clientes (WERKEMA, 2006).

Dentro desta filosofia, encontram-se os programas Seis Sigma os quais focam na melhoria de processos e o Lean que busca a redução de desperdícios, ou ainda, uma combinação de ambos. O programa Lean Six Sigma, segundo Ferguson (2007), é considerado uma filosofia, direcionada para melhoria contínua por meio da eliminação de desperdícios. Tendo como os aspectos fundamentais o foco na satisfação do cliente, busca contínua da redução da variabilidade, utilização de novos produtos e aplicação efetiva a processos técnicos, administrativos e de serviços.

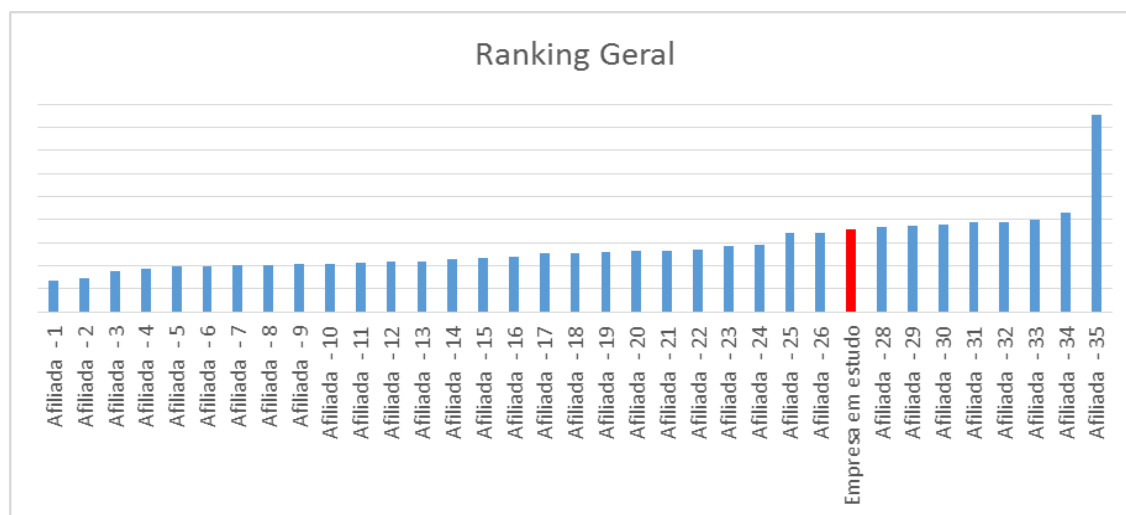
A evolução da tecnologia de informação é mais um importante fator de influência na competitividade. Importantes mudanças e expansões estão ocorrendo nas tradicionais ferramentas para fornecer informações e modelar as necessidades das empresas a fim de apoiar suas decisões. Os sistemas de apoio à decisão (SAD) e os sistemas especialistas (SE), estão sendo concebidos para gerir o conhecimento no apoio à gestão dos processos e na tomada de decisão (SANTOS, 2008).

Neste contexto, a presente pesquisa tem como foco principal explorar o uso de ferramentas tradicionais de mapeamento, análise e melhoria de processos aplicados a um sistema de apoio à decisão que possua uma base de conhecimento para avaliar o nível de estabilidade de uma das variáveis de um processo de fabricação de cigarro, o percentual de ventilação (%V).

O percentual de ventilação é uma das variáveis mais sensíveis na concepção da engenharia do cigarro, pois está relacionada à qualidade da execução do processo de fabricação, mas também é influenciado pela qualidade das matérias-primas e dos processos de fabricação dos produtos semiacabados. Também é um dos indicadores que compõe o índice geral da qualidade de produto da fábrica estudada que, em 2014, apresentou desempenho instável, por vezes, abaixo dos padrões estabelecidos pela organização. Isso posicionou a empresa entre aquelas afiliadas do grupo com problema no controle da variável “Ventilação”, o que impactou no resultado índice geral da qualidade de produto.

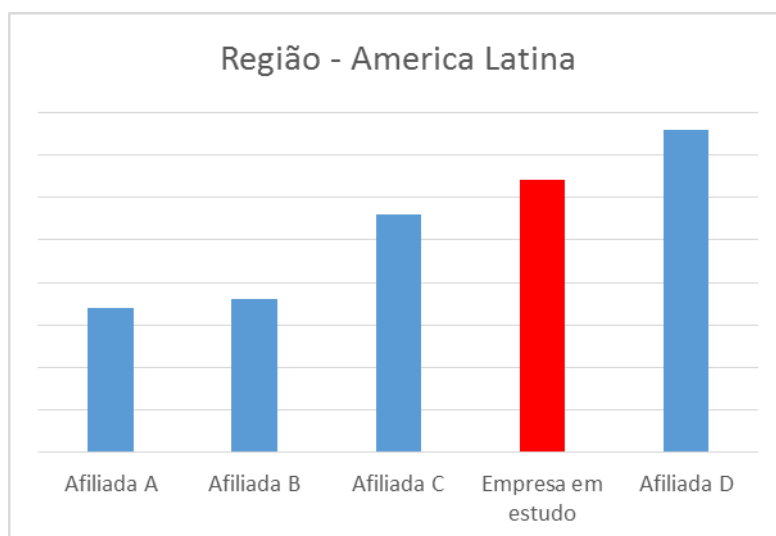
As figuras 1 e 2 mostram o posicionamento da empresa no âmbito geral do grupo e também na região América Latina. O ranking foi consolidado em Junho de 2014 e a escala foi omitida para manter a confidencialidade dos resultados da organização.

Figura 1- Índice de Qualidade – Ranking Geral



Fonte: Dados fornecidos pela empresa, 2014.

Figura 2- Índice de Qualidade – Ranking América Latina



Fonte: Dados fornecidos pela empresa, 2014.

O índice geral utilizado para medir o desempenho e a qualidade de produto da organização, considera o desempenho das variáveis de produto definidas por especificação em relação à tendência central e sua dispersão. O modelo estatístico desenvolvido pela organização é baseado em coleta de amostras que são encaminhadas a um laboratório de análises físicas e os resultados dessas análises são comparados aos valores especificados para cada produto e variável. Quanto maior o índice, pior o resultado, uma vez que o índice representa uma medida de desvio.

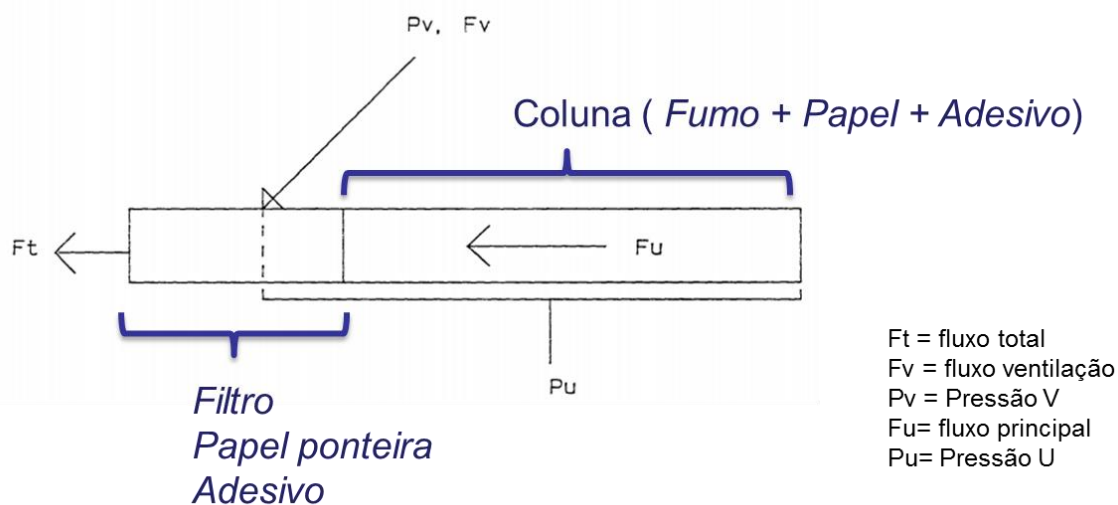
Por esta razão existe o interesse de se estudar os processos e suas relações entre os pontos de controles e variáveis que interferem no desempenho destes indicadores e no resultado da empresa.

A Ventilação do Cigarro desempenha um papel fundamental no controle e monitoramento dos teores de alcatrão, nicotina e monóxido de carbono (CO₂), que são controlados pela ANVISA e Ministério da Saúde. Conforme a norma ABNT NBR ISO 9512, 2009, a definição de ventilação é “a quantidade total de ar lateral que entra no cigarro em relação ao total do fluxo de ar”.

De acordo com a ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2002), a função da ventilação ocorre a partir dos furos de ventilação que existem no filtro para permitir a entrada de ar, diluindo assim a fumaça. Os teores de alcatrão atualmente informados nas embalagens dos cigarros são quantificados através de análise laboratorial onde os furos dos filtros permanecem abertos na máquina de fumar, permitindo a diluição da fumaça (ANVISA, 2002).

A figura 3 ilustra a relação entre os fluxos e a pressão de ar que influenciam na determinação do percentual de ventilação.

Figura 3- Fluxos de ar e componentes relacionados com a ventilação do cigarro



Fonte: Adaptado a partir de Norman e Poe, 1983.

De acordo com estudos da década de 80 e 90 (NORMAN e POE, 1983; NGUYEN e FINLEY, 1998) e outros mais recentes (ADAM, *et. al.*, 2010), as principais características da ventilação do cigarro são:

- Existe forte correlação entre % ventilação e a concentração de TAR (Alcaloides Totais/Alcatrão e monóxido de carbono (CO_2))
- A concentração da fumaça total (F_t) é menor quando se aumenta a ventilação.
- A ventilação varia em função da permeabilidade da ponteira, da porosidade do papel e do RTD (Resistência à sucção) do filtro.
- Cigarro com alta permeabilidade tende a ter maior variabilidade de ventilação.

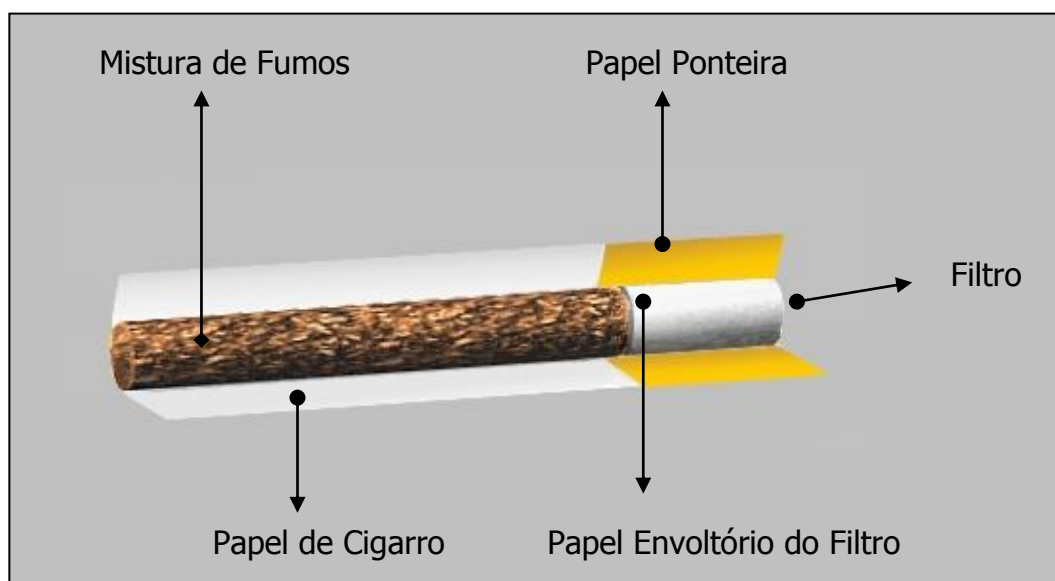
No processo de fabricação do cigarro são utilizados três tipos básicos de matéria-prima: papel, filtro e mistura de fumos. O papel para cigarro deve atender uma série de requisitos como: aparência, porosidade e resistência mecânica, entre outros. Na fabricação do cigarro, são utilizados três tipos de papéis:

- Papel de cigarro: envolve a mistura de fumo e não deve alterar o odor ou gosto da fumaça.

- Papel envoltório do filtro: é utilizado para dar formato cilíndrico, podendo ser poroso para permitir a passagem do ar.
- Papel Ponteira: é o papel que faz a união entre mistura de fumo (coluna de tabaco) e o filtro. Além disso, no papel ponteira existe uma zona de micro furos perfurados a laser que permite regular a passagem de ar para aumentar a diluição da fumaça e, por consequência, o ajuste dos teores de Nicotina, Gás Carbônico (CO) e Alcaloides Totais.

Outro componente da fabricação do cigarro é o Filtro. A função do filtro é reter substâncias e partículas presentes na fumaça de acordo com a eficiência de filtração projetada. A figura 4 ilustra os cinco componentes básicos do cigarro.

Figura 4 - Componentes básicos do cigarro



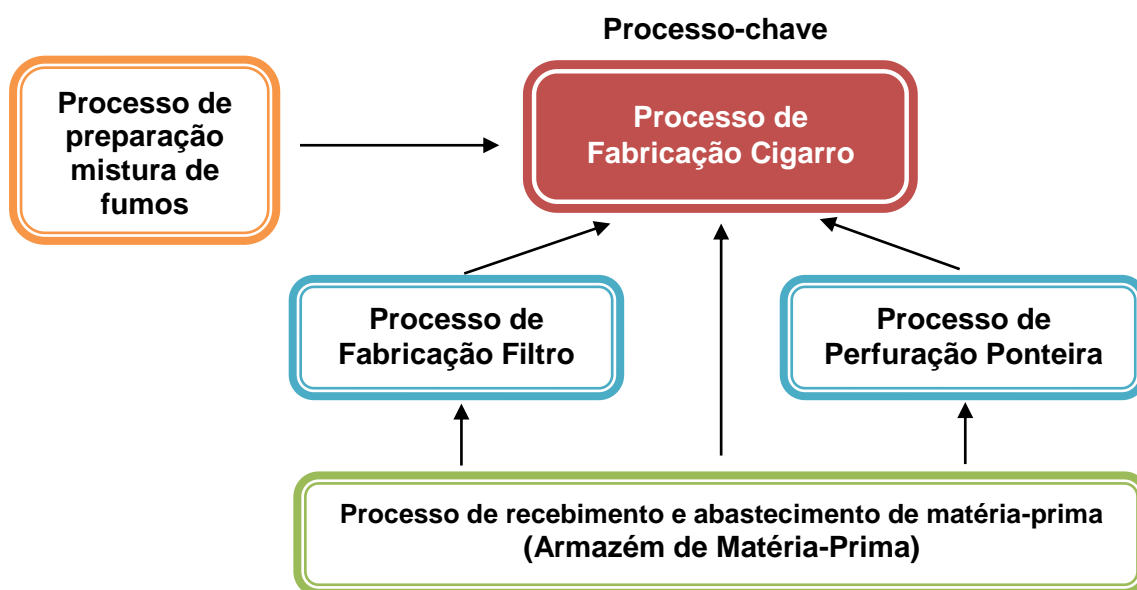
Fonte: Adaptado a partir de Browne, 1979.

No processo de fabricação do cigarro deve-se considerar que filtro, mistura de fumos e ponteira são produtos semiacabados, ou seja, que são fornecidos por outros processos internos. Além da mistura de fumos e filtro pode-se incluir na lista de matérias-primas da fabricação de cigarro as bobinas de papéis e os adesivos.

O processo inicia nos alimentadores de fumo, *Feeders*. A partir deles o fumo é levado, através de tubulações, até a máquina de fabricar cigarros. As máquinas de fabricação de cigarros são alimentadas com as matérias-primas, como bobinas de papel e adesivos, além dos produtos semiacabados filtro e papel ponteira. Na máquina de cigarro o fumo é envolvido pelo papel de cigarro, formando a coluna de tabaco. Em seguida o papel

ponteiro envolve a coluna de tabaco e o filtro, formando o cigarro. A figura 5 mostra a relação entre os processos.

Figura 5 - Relação do processo chave e processos fornecedores



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Neste cenário, esta pesquisa tem por tema a análise de métodos utilizados para mapeamento, análise e melhoria dos processos. No contexto apresentado o problema de pesquisa foi o seguinte: *Será que a aplicação dos métodos de mapeamento, análise e melhoria dos processos, combinados ao uso de um sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento, pode oferecer uma alternativa para orientar os esforços na manutenção da estabilidade dos indicadores dos processos que influenciam no desempenho de um indicador-chave, neste caso o % de Ventilação?*

O objetivo geral da pesquisa foi propor uma forma de monitoramento da estabilidade do desempenho de processos no setor de manufatura em uma indústria, a partir da aplicação dos fundamentos da gestão por processos e técnicas de modelagem de sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento. Os objetivos específicos foram:

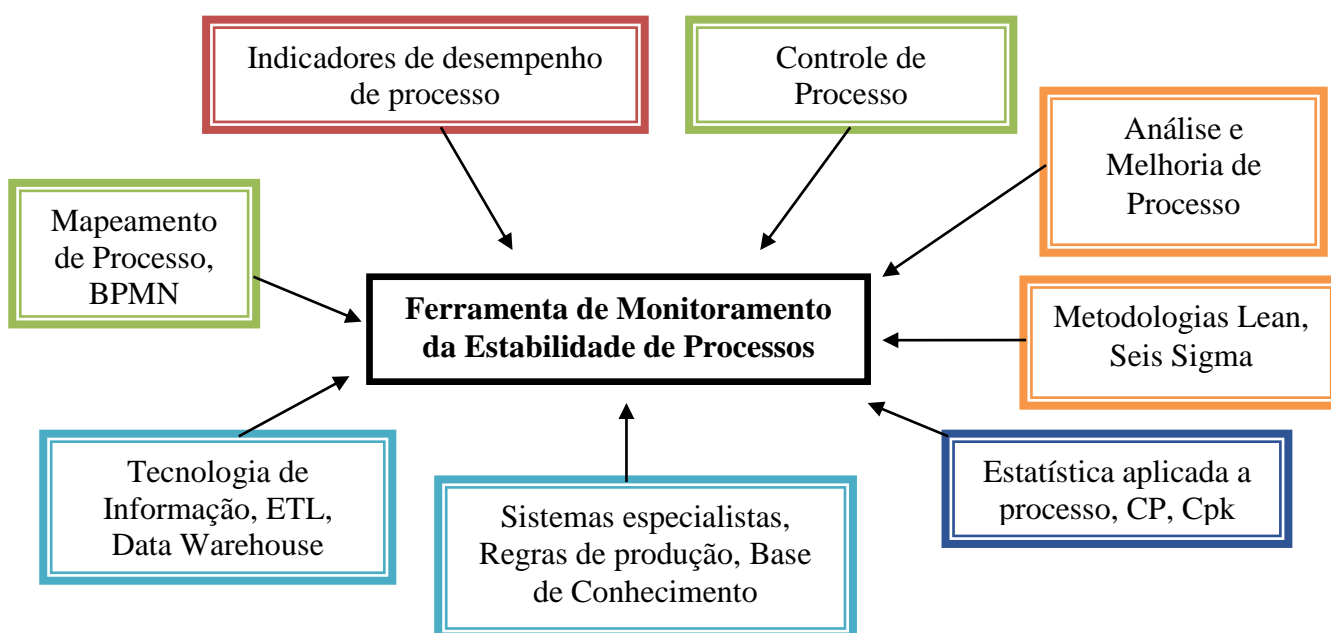
- aplicar a metodologia de mapeamento de processo para identificar as etapas dos processos e mapear os indicadores chaves de desempenho (KPI);
- identificar as regras de negócio que influenciam nas ações para resolução de problemas e que impactam no resultado dos indicadores-chave:

- construir um modelo para definir e medir a estabilidade dos indicadores-chave e propor um modelo para monitoramento da estabilidade de processo para ser utilizado na modelagem do sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento.

A partir da construção de uma base de conhecimento estabelecida em regras de produção identificadas pela análise e mapeamento dos processos envolvidos, foi estabelecida uma hierarquia de influência entre o indicador %V do processo de fabricação de cigarro e os indicadores de processos fornecedores das matérias-primas e semiacabados.

Para satisfazer os objetivos do projeto foi necessário desde o princípio, estudar, analisar e comparar a informação teórica existente. Ao elaborar a fundamentação teórica para esta dissertação de mestrado, foram abordadas as principais linhas de pensamento de pesquisadores das diferentes áreas de conhecimento presente no tema deste estudo como análise, mapeamento e melhoria de processo, gestão por processos, indicadores e estabilidade de processos, assim como sistemas de informação de apoio à decisão e sistemas especialistas, conforme ilustra a figura 6.

Figura 6 – Mapa conceitual das áreas de conhecimento exploradas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A metodologia utilizada para aprofundar a busca de conhecimento, iniciou com o desenvolvimento de uma bibliometria realizada em março de 2014 no portal de periódicos da CAPES e no portal Web of Science. Este estudo indicou que existe um grande número

de publicações que relacionam os termos mapeamento de processo, indicadores de desempenho, análise e melhoria e solução de problemas.

Também foi identificado que a aplicação de sistemas de apoio à decisão com base de conhecimento para a melhoria, análise e monitoramento de processo ainda é bastante limitada e pouco explorada. A análise bibliométrica considerou apenas publicações recentes, ou seja, artigos publicados a partir de Janeiro de 2012. Foram escolhidos termos específicos para cada área de conhecimento, como é mostrado nos quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Bibliometria realizada no portal de Periódico da CAPES

| PORTAL PERIÓDICOS CAPES | Value stream map | Business Process Management | Business process Model | Process Mapping | key performance indicators | Problem solving | DMAIC | Kaizen | Continuous improvement | Process improvement | Process stability | Decision Support System | Knowledge-based engineering | Knowledge-based environment |
|---|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------|--------|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Quantidade de artigos publicados entre Janeiro de 2012 e Março de 2014, de acordo com os assuntos relacionados ("Linha" AND "Coluna") | | | | | | | | | | | | | | |
| Value stream map | 70 | | | | 6 | | 15 | 16 | 22 | 30 | 1 | 1 | | |
| Business Process Management | | 900 | | | 51 | 64 | 12 | 9 | 77 | 131 | | 26 | | |
| Business process Model | | | 209 | | 8 | 8 | 1 | 1 | 9 | 31 | | 4 | | 1 |
| Process Mapping | | | | 608 | 16 | 64 | 34 | 17 | 54 | 78 | 1 | 9 | | |
| key performance indicators | | | | | 1686 | 127 | 19 | 21 | 173 | 102 | 4 | 36 | | |
| Problem solving | | | | | | 26419 | | 87 | 558 | 365 | 12 | 221 | 14 | 14 |
| DMAIC | | | | | | | 230 | 29 | 80 | 126 | 2 | 1 | 1 | |
| Kaizen | | | | | | | | 401 | | | 3 | 5 | 1 | 1 |
| Continuous improvement | | | | | | | | | 4658 | | | | | |
| Process improvement | | | | | | | | | | 2892 | 14 | 27 | 2 | |
| Process stability | | | | | | | | | | | 905 | 4 | | |
| Decision Support System | | | | | | | | | | | | 3814 | 3 | |
| Knowledge-based engineering | | | | | | | | | | | | | 73 | |
| Knowledge-based environment | | | | | | | | | | | | | | 24 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A metodologia de pesquisa adotada para conduzir as etapas de diagnóstico, avaliação dos dados, planejamento das ações e implantação foi a pesquisa-ação, que segundo Coughlan e Coughlan (2002), cobre muitas formas de pesquisa orientada para a ação e indica uma diversidade na teoria e na prática entre os pesquisadores e usuários.

Uma vez definida a problemática e os objetivos desta pesquisa, primeiramente, buscou-se explorar a aplicação dos métodos de mapeamento, análise e melhoria dos processos relacionados à estabilidade e performance dos indicadores dos processos. Este estudo utilizou os princípios do Business Process Modeling (BPM CBOK), Método de Análise e Melhoria de Processo (MAMP) (SCARTEZINI, 2009) e da metodologia Novo-Olhar (UNISC, 2007) em sua fase inicial de análise e diagnóstico.

Quadro 2 - Bibliometria realizada no portal periódicos Web of Science

| PORTAL WEB OF SCIENCE | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------|--------|------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Quantidade de artigos publicados entre Janeiro de 2012 e Março de 2014, de acordo com os assuntos relacionados ("Linha" AND "Coluna") | Value stream map | Business Process Management | Business process Model | Process Mapping | key performance indicators | Problem solving | DMAIC | Kaizen | Continuous improvement | Process improvement | Process stability | Decision Support System | Knowledge-based engineering | Knowledge-based environment |
| Value stream map | 16 | | | | | 1 | 1 | 3 | 1 | | | | | |
| Business Process Management | | 306 | | | 4 | 1 | | | 8 | 3 | | | | |
| Business process Model | | | 140 | | | | | | 2 | 3 | | | | |
| Process Mapping | | | | 63 | | 1 | 3 | | | 14 | | 1 | | |
| key performance indicators | | | | | 384 | 1 | | 1 | 5 | 4 | | 3 | | |
| Problem solving | | | | | | 3955 | | 3 | 8 | 10 | | 14 | | |
| DMAIC | | | | | | | 49 | 1 | 3 | 10 | 9 | 1 | | |
| Kaizen | | | | | | | | 50 | | | | | | |
| Continuous improvement | | | | | | | | | 691 | | | | | |
| Process improvement | | | | | | | | | | 651 | | | | |
| Process stability | | | | | | | | | | | 396 | | | |
| Decision Support System | | | | | | | | | | | | 1668 | | |
| Knowledge-based engineering | | | | | | | | | | | | | 39 | |
| Knowledge-based environment | | | | | | | | | | | | | | 1 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A segunda parte do estudo teve como foco a definição do indicador de estabilidade. A pesquisa foi embasada em técnicas estatísticas para controle de processo e estudo de variabilidade a partir de análise de coeficiente de variação, desvio-padrão, tendência central e índice de capacidade de processo CP e CPK. Para extrair e processar os dados a partir das bases de dados dos sistemas dos processos utilizou-se a técnica de ETL (*Extract, Transform and Load*) e foram desenvolvidas rotinas em linguagem de programação SQL e Visual Basic.

O modelo proposto para a ferramenta de monitoramento foi inspirado nos Sistemas Inteligentes, ou BI (*Business Intelligence*) e, também, Sistemas Especialistas (SE). Com relação ao BI, nesta pesquisa, foram utilizados conceitos de bases de dados integradas (*Data Warehouse*). Estas ferramentas permitem uma exploração interativa de dados em diferentes níveis de detalhes, que permitem exibir as informações usando tabelas e diferentes tipos de diagramas estatísticos por meio de interfaces simples e fáceis de usar.

Com relação aos sistemas especialistas, a representação do conhecimento foi realizada através de regras de produção. As técnicas de aquisição de conhecimento foram descritas na seção de revisão de literatura e a construção da base de conhecimento se baseia na literatura, nos resultados das entrevistas e no acompanhamento do processo.

O trabalho de Dissertação está estruturado em: Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Desenvolvimento, Resultados e Discussões, e Conclusão. O capítulo 2

apresenta as teorias referentes aos conceitos de gestão por processos, mapeamento de processos, controle da qualidade, ferramentas de melhoria da qualidade, estatística aplicada a processos, Sistema de Apoio à Decisão (SAD), Sistemas Especialistas (SE), Sistemas baseado em Conhecimento (SBC), técnicas de aquisição de conhecimento e arquitetura de Data Warehouse. O capítulo 3 apresenta a metodologia para diagnóstico e análise dos processos. O capítulo 4 apresenta o desenvolvimento e as etapas da pesquisa, iniciando pelo diagnóstico da situação atual, análises dos pontos de críticos, identificação dos itens de verificação e itens de controle. Posteriormente, apresenta-se a análise estatística e o estudo dos processos para criação da base de conhecimento e as regras de produção e, ainda, o desenvolvimento da ferramenta computacional e a aplicação prática, apresentação dos resultados e discussões acerca da pesquisa desenvolvida. Por fim, o capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresentam-se conceitos teóricos que darão suporte à construção do índice e sistema de monitoramento da estabilidade de processo. Para fundamentar os conceitos de gestão por processos relevantes ao estudo, pesquisou-se as teorias monitoramento e controle em processos de negócio, ferramenta de mapeamento de processos, modelo de notação técnica para mapeamento de processo (BPMN), estatística para controle de qualidade, métodos de análise de processo, método PDCA, ferramentas de melhoria do Sistema Toyota de Produção (STP), programa seis-sigma e método DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar).

Para a base teórica para suportar o estudo sobre variabilidade de processo, foram abordadas teorias referentes à estatística aplicada a processos como medida de tendência central, medidas de dispersão, coeficiente de variação e covariância.

Para embasar o modelo computacional a ser adotado, a fundamentação apresenta conceitos sobre tecnologia de informação (TI) que englobam os sistemas de apoio a decisão (SAD), sistema especialistas (SE), base de conhecimento (BC), redes semânticas, regras de produção, técnicas de aquisição de conhecimento, técnica de extração, transformação e carga de dados (ETL) e arquitetura de data warehouse.

2.1 Gestão por processos

No início do século XX, as empresas, influenciadas pela revolução da produtividade baseado no modelo de organização de Taylor, Fayol e Ford, e do trabalho de pensadores como Weber, Gilbreth e Gantt, começaram a organizar-se em estruturas hierárquicas de poder, divididas em departamentos, cada qual com suas tarefas específicas. Assim foi por décadas, com sucessivos aumentos de produtividade, até o esgotamento deste modelo, por volta dos anos 70. A partir daí, as empresas começaram a sofrer com perdas em competitividade, apesar de estarem bem organizadas funcionalmente (CARVALHO, PALADINI, 2012).

Segundo os mesmos autores muitos dos fatores que causam a perda de competitividade estão fora da organização. Eles ocorrem no mercado ao qual a empresa está inserida, seja pela atuação de novos concorrentes globais, ou ainda, pela limitação de fornecedores, consumidores mais conscientes e exigentes, necessidade de rapidez nas mudanças e inovação, desenvolvimento da informática e evolução tecnológica. Para

conseguir sucesso dentro deste contexto, surge um novo modelo em que as atividades empresariais não são organizadas por funções e departamentos, mas sim, por processos-chave (CARVALHO, PALADINI, 2012).

Com o crescente reconhecimento de processos de negócio como ativos corporativos críticos, desenvolvimento de "orientação do processo" e "visão de processos" tornou-se uma necessidade para as organizações empresariais modernas (SEETHAMRAJU, 2012).

A gestão por processos pode ser compreendida pelo desenvolvimento organizacional que busca a melhoria qualitativa de desempenho nos processos tomando uma visão objetiva e sistêmica das atividades, estruturas e recursos necessários para cumprir com os objetivos críticos do negócio (PRADELLA, FURTADO, KIPPER, 2012).

Na visão sistêmica do gerenciamento por processos, os colaboradores devem ter uma visão ampliada de seus respectivos papéis na organização, extrapolando as barreiras funcionais. Desta forma, ao invés de trabalharem apenas com listas de tarefas, passam a trabalhar com processos documentados e padronizados, permitindo-lhes o conhecimento explícito de todos os seus elementos, como entradas e saídas, objetivos, medições de desempenho, requisitos de clientes, entre outras (PRADELLA, FURTADO, KIPPER, 2012).

De acordo com Madison (2005), muitas empresas não percebem a grande quantidade de processos que existem interagindo todos os dias, sejam processos internos, processos relacionados com fornecedores ou clientes. Entretanto, quando as coisas não ocorrem como o planejado, gestores e usuários dos processos querem saber o que ocorreu e, então, percebem a necessidade da análise de processos. Entender os valores dos processos de uma organização é importante, pois auxilia no diagnóstico de todos os tipos de problemas estruturais, controles, de pessoas e métodos.

Alguns autores definem que para uma organização estar sob uma gestão orientada aos processos é imprescindível que seus processos e interfaces fornecedores e clientes devam estar mapeados e documentados, os responsáveis precisam ser definidos, os objetivos e metas estarem estabelecidos e ser claramente focados nas necessidades dos clientes. As medidas de desempenho e controle devem ser sistematicamente monitoradas e os planos de ação precisam ser suportados por ferramentas de melhoria contínua (PSOMAS *et al.*, 2011; HELLSTROM e ERIKSSON, 2008).

2.1.1 Monitoramento de Processo

Segundo o BPM CBOOK (2009), a gestão por processos, ou BPM (Business Process Modeling) pode ser definida como a prática de identificar, desenhar, executar, monitorar e controlar os processos de negócio para alcançar consistência e resultados alinhados como objetivos estratégicos da organização. Com a ajuda da tecnologia, pode-se ainda agregar valor, melhorias, inovações e o gerenciamento dos processos de ponta-a-ponta, levará a uma melhoria de desempenho organizacional e dos resultados de negócios.

Gerenciar por processo não implica somente no fato de gerir a cadeia de valor, mas também definir as métricas de desempenho regulares e consistentes que monitorem os processos de negócio e, também, que sejam rotineiramente revisadas para garantir que o desempenho dos processos atinja as metas predeterminadas da organização. Assim, uma das diretrizes de qualquer organização deveria ser a habilidade contínua de analisar seus processos à medida que eles são controlados através do uso de ferramentas e técnicas de monitoramento. Quando isso ocorre, decisões oportunas podem ser tomadas.

Esta análise contínua beneficia a organização em diversos aspectos. Primeiro, dá o alerta à gestão quanto ao fraco desempenho de um processo e, pode ajudar a apontar as causas desse desempenho como desvios de execução, procedimentos, fatores de ambiente, mudança nas necessidades do cliente, entre outras. Se o processo não tem bom desempenho, uma ação imediata pode ser executada para solucionar a causa. A seguir, o feedback em tempo real através da análise contínua provê uma medida do desempenho humano ou do sistema. Finalmente, reduz o número de projetos de melhoria de desempenho de processos, porque economiza tempo e custo associado a esses esforços (PRADELLA, FURTADO, KIPPER, 2012).

2.1.2 Mapeamento de Processo

Mapeamento de processos tem sido amplamente adotado nas empresas em muitos contextos como abordagem para melhorar os processos de trabalho e conseguir melhores resultados. O objetivo do mapeamento de processos é identificar cada atividade do processo para criar um fluxo de tarefas em uma ordem lógica (BIGGS *et al.*, 2013).

Biggs *et al* (2013) defendem que o mapeamento e análise de processos é uma prática adicional ao processo de planejamento e avaliação, principalmente para dar a todas as partes interessadas a oportunidade de identificar e esclarecer cada função que precisa

completar para atingir os resultados do processo. Além disso, um mapa de processo representa graficamente quando a tarefa é entregue para outra etapa, mostrando assim uma sequência de responsabilidade.

De acordo com Carpinetti (2000), o mapeamento dos processos de negócios é fundamental para entender não apenas processos isolados, mas também o fluxo de informação e recursos através dos processos operacionais e processos de suporte da cadeia interna de valor. Ferramentas para geração de fluxogramas de processos podem ser usadas para mapeamento ou modelagem dos processos.

O primeiro passo na análise de um processo é o de criar um mapa de processo ou fluxograma do estado atual. Esta visão do estado atual representa o que acontece, e não o que deve acontecer, ou pode acontecer. O mapa do processo é a base a partir da qual a análise é iniciada. Madison (2014) define também que o mapeamento de processos pode ser feito em três diferentes níveis de detalhe. O nível de detalhe mínimo é chamado de Macro. O próximo nível de detalhe é chamado o nível função-atividade. O título explica o mapa. O fluxograma função-atividade busca mapear tanto o "quem" e "o que" em um processo. O terceiro nível de detalhamento é tomar uma atividade a partir do fluxograma função-atividade e expandi-lo em tarefas e procedimentos.

Madison (2014) considera 5 modos de avaliação para olhar o processo e identificar o que está funcionando e o que não está. A decisão sobre quais modos usar ou focos que serão avaliados é em grande parte impulsionado pelo objetivo do esforço de melhoria de processos, conforme é descrito a seguir:

- **Foco no Cliente:** Qual é o objetivo de todo o processo? Cada processo deve entregar valor para o cliente, que é o destinatário da saída do processo. Como sabemos se o processo está entregando valor?

Cada grupo de clientes pode ter diferentes expectativas, necessidades ou desejos em relação à saída de processo. Por isso, é importante saber se os grupos são diferentes. É fundamental identificar se o que os clientes precisam, querem, necessitam, ou desejo a partir deste processo. Uma vez que esta lista é criada, pedimos ao cliente para colocar os itens em ordem de classificação. O ideal é construir uma tabela que contém os requisitos com os seguintes itens: Critérios de Classificação, Desempenho do processo atual, Quais os valores de satisfação esperados e Quais os valores alcançados por concorrentes.

Deve-se prestar atenção aos itens de classificados como críticos, onde o desempenho do processo atual é baixo. Além disso, estamos ficando para trás dos nossos

concorrentes em quais itens? Essas lacunas fornecem um ponto focal no momento de redefinir o processo.

- **Foco na frustração da equipe:** Está relacionado à motivação dos resultados do trabalho e complexidade de execução. As tarefas devem ser fáceis de executar e satisfazer as nossas necessidades em termos de eficiência, segurança e eficácia. Existem várias vantagens para se estar atento à frustração da equipe:

- Frustrações no trabalho estão altamente correlacionados com problemas de qualidade.
- Quando os membros da equipe resolvem suas frustrações individuais, o valor agregado para o desempenho do processo aumenta.

- **Foco no Tempo:** Muitas vezes, o objetivo de uma iniciativa de melhoria de processo é diminuir o tempo. A metodologia e conjunto de ferramentas mais eficazes na redução de tempo é o *lean*, também conhecido como Sistema Toyota de Produção. O *lean* concentra-se em todo o tempo desperdiçado que existe em um processo. Além disso, é objetivo criar um fluxo contínuo de trabalho ou de informações. Tamanho de lotes, tempo de espera, retrabalho, movimentações, tempo de *setup* e inspeção são atacados. Atividades de agregação de valor são otimizados, enquanto que as atividades que não agregam valor são eliminadas ou reduzidas.

- **Foco no Custo:** Quanto custa o atual processo? Quais tarefas custam mais em termos de mão de obra, despesas gerais e materiais? Quais são os produtos, serviços ou clientes que são mais rentáveis ou menos rentáveis? Avaliar o custo dará os dados sobre retorno de investimentos.

- **Foco na Qualidade:** Se ele não foi feito corretamente na primeira vez, a qualidade torna-se o problema. Uma das metodologias e conjunto de ferramentas para a qualidade é o Seis Sigma. A metodologia DMAIC de Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar é o roteiro para a melhoria da qualidade. Descubra a causa raiz dos problemas. Priorizar os esforços de melhoria. Coletar dados sobre a frequência de ocorrência. Processos à prova de erro para que os erros não voltem a acontecer.

Contudo, Madison (2014) resume que o modo como você irá analisar a situação atual do processo deve ser em função do objetivo esperado. Por exemplo, se o seu objetivo é a redução de tempo, você pode usar o foco no tempo com a metodologia *lean*. Se seu objetivo é a melhoria da qualidade, pode usar o foco na qualidade com a metodologia Seis Sigma. Cada modo terá uma metodologia correspondente e conjunto de ferramentas.

2.1.3 Modelo de notação técnica para mapeamento de processo – BPMN


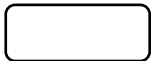
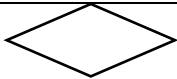

Um dos modelos usados para mapeamento de processo pela metodologia BPM, é o BPMN (Business Process Model and Notation). É um modelo de notação técnica para desenhar processos. O BPMN é um padrão da OMG para as formas e símbolos utilizados no processo de diagramas de modelagem e sua semântica associados. Surgiu como o padrão importante no BPM, especialmente quando a intenção do usuário é seguir modelagem para documentação e análise, com um desenho de implementação do processo (SILVER, 2014).



O objetivo do BPMN é fornecer uma notação amigável e de fácil entendimento para todos os usuários do processo, desde os analistas de negócio, responsáveis técnicos e os gestores que gerenciam e monitoram os processos. O BPMN é uma padronização do modelo de notação para processos de negócio em frente a vários tipos diferentes de modelagem e pontos de vista. Ao adotar o BPMN, é fornecido um modo simples de comunicação entre usuários da empresa, cliente e fornecedores (OMG, 2011).

Equilibrar as necessidades dos analistas de negócios com os de tecnologia de informação (TI) é uma tarefa difícil. Exige simplicidade e familiaridade na notação, força expressiva e semântica precisa. O BPMN reúne esses fatores, o que outros padrões de notação como UML e IDEF não tem. Do lado da simplicidade e familiaridade, o BPMN é, à primeira vista, um fluxograma baseado em raia. Existem apenas três formas, uma para cada tipo de elemento de fluxo no diagrama: retângulo arredondado (atividade) representa o trabalho realizado no processo. O diamante (direcionador de fluxo) representa o fluxo de ramificação ou fusão lógica. O círculo (evento) representa um sinal de que alguma coisa aconteceu ou o que fazer caso ocorra (SILVER, 2014).

Os elementos básicos usados pelo padrão BPMN estão descritos na tabela 1.

Quadro 3- Elementos Básicos do BPMN

| Elemento | Descrição | Notação |
|-------------------------------|--|---|
| Evento | Um evento é algo que "acontece" durante o curso de um processo. Os eventos são círculos com centros abertos para permitir que os marcadores internos para diferenciar diferentes gatilhos ou resultados. |  |
| Atividade | Uma Atividade é um termo genérico para o trabalho que a empresa executa em um processo. Os tipos de atividades que fazem parte de um modelo de processo são: Sub-processos e tarefas. São representados por retângulos arredondados. |  |
| Direcionador de Fluxo | O Direcionador é usado para controlar a divergência e convergência da sequência que flui em um processo. Assim, ele irá determinar a ramificação, bifurcação, fusão, e juntando-se de caminhos. |  |
| Conector de Fluxo de Processo | Um conector de fluxo é usado para mostrar que a ordem em que as atividades serão realizadas em um processo. |  |

| | | |
|-------------------|---|---|
| Fluxo de Mensagem | Um fluxo de mensagens é usado para mostrar o fluxo de mensagens entre dois participantes que estão preparados para enviar e recebê-los. |  |
| Dados | Dados fornecem informações sobre o que as atividades requerem para ser realizado e / ou o que eles precisam produzir. Dados podem representar um objeto singular ou uma coleção de objetos. Dados de entrada e saída fornecem a mesma informação para os processos. |  |

Fonte: OMG, 2011

2.1.4 Controle de Processo

Em relação à evolução da gestão dos processos, o Controle da Qualidade representou um importante papel. Na medida em que a complexidade industrial foi aumentando, o controle da qualidade foi evoluindo. O controle por inspeção, liderado por inspetores da qualidade, surgiu devido ao aumento da mão-de-obra dentro das indústrias, onde a produtividade das máquinas ainda era baixa. Com o avanço da tecnologia e a necessidade de produção em massa após a 2ª Guerra Mundial, o Controle Estatístico de Qualidade foi uma solução mais eficiente para reduzir os custos e o baixo desempenho da inspeção 100% (FEIGENBAUM, 1994).

A grande barreira para os métodos estatísticos consistiu na habilidade das organizações em tomar medidas adequadas com relação aos resultados dos processos técnicos e estatísticos. Como as organizações estavam estruturadas em departamentos, indubitavelmente as decisões e ações não eram manejadas com eficiência pelos diferentes agentes, de diferentes departamentos. Somente com a onda da Qualidade Total é que as empresas começaram a desenvolver tomada de decisão definida por estrutura operacional voltada ao processo de qualidade de produto e, a partir daí, as empresas começaram a evoluir no aperfeiçoamento da qualidade e redução de custos (FEIGENBAUM, 1994).

A atual abordagem de excelência nos negócios vai além da qualidade de produtos e serviços e toma um significado mais amplo de maximização da efetividade do negócio, excedendo as expectativas dos clientes e usando a melhoria contínua para guiar os resultados da empresa. Esta é a visão de como a qualidade total pode operar como um sistema. O mapeamento de processo é uma ferramenta essencial para atingir essa visão (COBB, 2005).

Na década de 90, o significado de “Controle” na indústria era definido como um processo de delegação de responsabilidade da atividade gerencial, porém mantido por meios para garantir resultados satisfatórios. Na gestão da qualidade o controle na produção era definido por procedimentos para atingir as metas da produção, normalmente formado

por quatro etapas: Estabelecimento de padrões, avaliação de Conformidade, ação quando necessário e planejar melhorias (FEIGENBAUM, 1994).

Madison (2005) define que os controles de processos são como regras de negócio aplicadas ou executadas durante o curso de uma atividade de processo. Estas regras garantem que os processos de negócio possam ser operados de modo a aderir aos procedimentos e políticas da organização. Um controle pode tomar várias formas diferentes em um processo. Estes controles podem incluir condições que necessitam verificar decisões, metas, ações mandatórias ou monitoramento de desvios e falhas.

Um ponto de controle de processo é uma regra de negócio mandatória que deve ser completada durante o curso normal do negócio para satisfazer uma demanda gerencial. A gestão da organização se baseia nestes controles para garantir, por exemplo, que um relatório financeiro ou controle das condições dos processos estejam intactos e operando corretamente. Sem ambos destes componentes presentes, uma companhia se expõe para as possibilidades de fraudes, perda de desempenho, defeitos em seus produtos e falhas em seus serviços (COBB, 2005).

De acordo com Eldridge *et. al.* (2014) que estudou o gerenciamento dos sistemas de controle para processos de negócio, atualmente, os controles do processo convencionais são caracterizados pela utilização de sistemas informatizados, nos quais as variáveis dos processos são medidas em comparação com o padrão especificado e, em seguida, se for caso, o processo é ajustados para garantir a realização do padrão desejado.

Do mesmo modo, no caso dos processos de negócio processos, Eldridge *et. al.* (2014), afirma que gestores de processo de negócio medem os resultados de seus processos comparando os resultados com o nível de desempenho esperado e, a partir daí, podem implementar ações corretivas e preventivas para obter a estabilidade ou melhorar o desempenho do processo.

No contexto de um processo de manufatura, a disponibilidade de dados de medição acessível tem permitido o aprimoramento do uso de técnicas estatísticas como o controle estatístico de processo (CEP) que, segundo Hamza (2009), é capaz de medir do desempenho dos processos e sua variabilidade, permitindo o monitoramento da capacidade ou o desempenho do processo. Werkema (2013) define que os gráficos de controle de processo dispõem os dados de modo a permitir a visualização do estado de controle estatístico de um processo e o monitoramento, quanto a centralização e dispersão, em relação aos seus limites de controle de processo.

Entretanto, Eldridge *et. al.* (2014) alerta quando uma organização esteja operando em um ambiente de negócios incerto e com a escassez de dados representativos. Nesta situação, a falta de experiência poderia prejudicar gravemente a utilidade desta abordagem para controle de processos de negócios.

2.1.5 Evidências de Controle de Processo

É fundamental identificar as evidências usadas para demonstrar que o controle tem sido executado e interpretado corretamente. É extremamente importante ter a evidência para provar que um controle está de fato instalado e funcionando. A identificação das evidências de um controle geralmente requer pesquisa ou implementação de procedimento formal. Exemplos de evidência podem ser registros de *logs* de sistemas, assinaturas em documentos, aprovações eletrônicas, entre outras. Identificar evidências é um exercício difícil para a maioria das pessoas, porque geralmente não estão rastreados ou corretamente registrados (WADSWORTH, STEPHENS e GODFREY, 2002).

Segundo Gomes e Pereira (2014), os pontos de controle podem ser identificados nas linhas de transição entre os estados de transformações na cadeia produtiva. É evidente a importância do observador nesta análise. Ele deve dispor da capacidade de conceber uma multiplicidade de pontos de vista, incluindo o seu próprio, pois a sua análise consiste na capacidade de identificar características e locais em relações, nos quais se possam interpretar e representar os fenômenos que geram a ação e, conseqüentemente, os eventos e evidências.

2.2 Controle e Melhoria de Processo

Esta seção abordará os principais conceitos teóricos utilizados como referencial teórico sobre temas relacionados à controle e melhoria de processo considerando.

2.2.1 Estatística para controle de qualidade

Juran (1999), afirmava que a maior parte das decisões tomadas quanto ao controle de qualidade, assim como em quase todas as outras áreas de atividade humana como novos tratamentos médicos, novos equipamentos, pesquisas científicas, entre outros, tem suas bases na estatística, definida de modo geral, como coleta, análise e interpretação de dados, ou, de forma mais ampla, como a ciência da tomada de decisão perante incertezas.

Segundo Juran (1999), o controle da qualidade e o controle estatístico sempre ocorrem durante o processo produtivo, e são fundamentais para a qualidade do produto final. Para Deming (1990), “a qualidade e a produtividade aumentam na medida em que a variabilidade do processo diminui”.

Campos (2002) afirma que o TQC e a modelo Seis Sigma apoiam-se em ferramentas comuns, mas a gestão das duas estratégias diferentes. O TQC está fundamentado no aprimoramento contínuo, sendo considerada uma jornada contínua, de modo que quando se atinge um determinado objetivo, se estabelece uma nova meta, ou seja, busca-se aprimorar o resultado.

Já o programa Seis Sigma busca a perfeição na resolução de projetos, com alvos bem definidos, onde se sabe quando os objetivos foram alcançados. Campos (2002) apresenta que Seis Sigma tem como métodos estatísticos o alicerce para a tomada de decisões, garantindo, assim, uma base científica consistente. A abordagem Seis Sigma muda a forma de gerenciamento, porque as decisões passam a ser abalizadas em dados e, não apenas, em intuições ou sentimentos.

2.2.2 Controle Estatístico de Processo - CEP

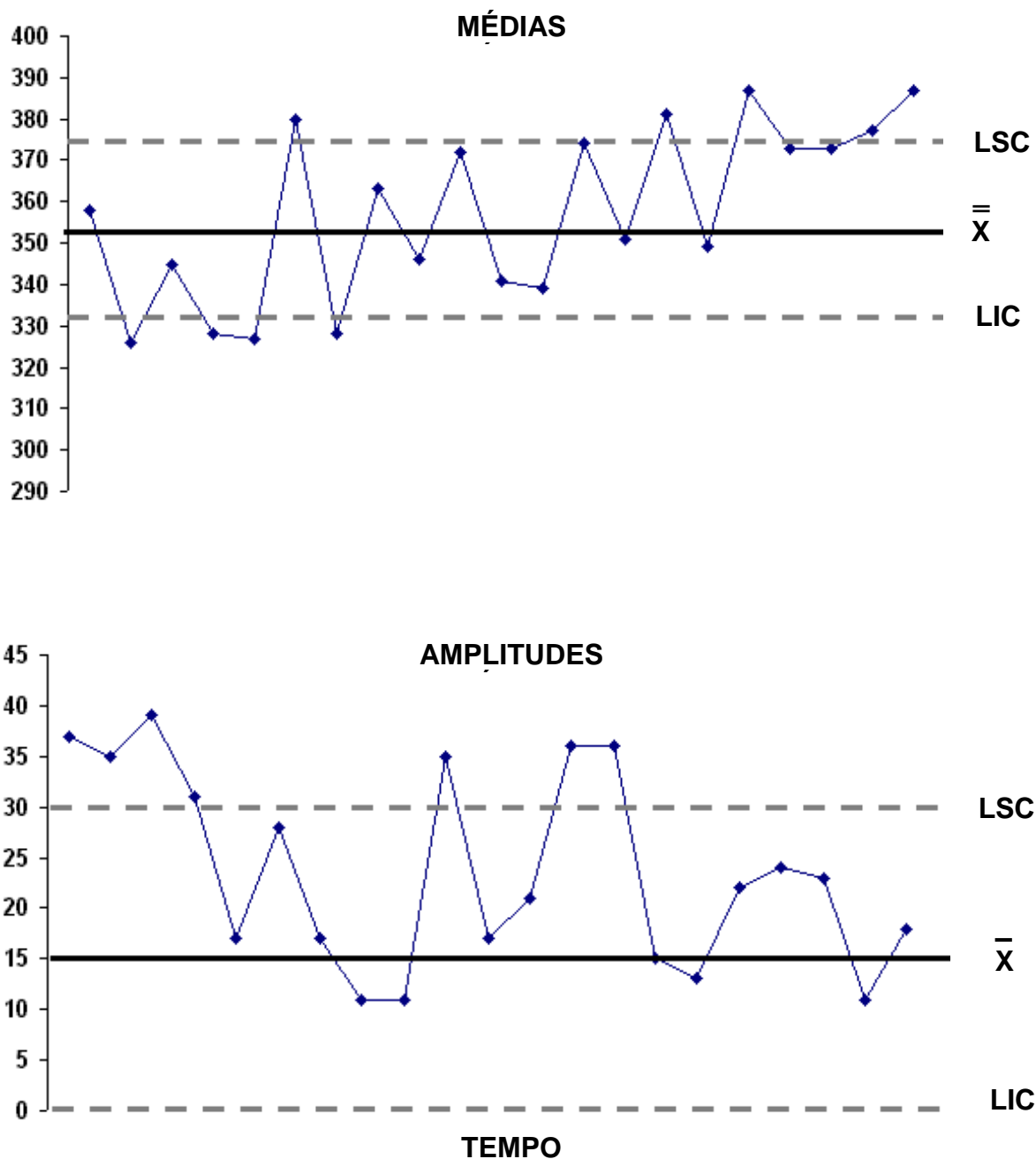
Controle Estatístico do Processo (CEP) é o ramo do Controle da Qualidade que consiste na coleta, análise e interpretação de dados para utilização nas atividades de melhoria e controle da qualidade de produtos e serviços. Werkema (2013) relata que Dr. Walter A. Shewhart, em 1924, propôs o uso do gráfico de controle para a análise de dados resultantes de inspeção, como um procedimento baseado em detecção e na correção de produtos com defeitos.

A teoria desenvolvida por Shewhart baseia-se nos conceitos de que a variação de qualquer característica de qualidade pode ser quantificada pela amostragem do resultado do processo e pela estimativa dos parâmetros da sua distribuição estatística. Mudanças na distribuição podem ser reveladas pelo gráfico destes parâmetros no tempo. As amostras geralmente consistem em mais de uma medição individual, e por isso são chamados de "subgrupos" (SIQUEIRA, 1997).

Os gráficos de variáveis são geralmente baseados em um subgrupo de 4 a 10 indivíduos. Nos gráficos X e R, o tipo mais comum, a característica de qualidade X é medida para cada indivíduo. A média, X, e a amplitude, R, são calculadas para cada subgrupo e colocadas na sequência de produção em gráficos distintos. Nos gráficos as três

linhas traçadas representam uma linha central e dois limites de controle, um superior (LCS) e outro inferior (LCI). Tradicionalmente, as linhas de controle ficam numa distância de três desvios-padrão da média ou do alvo do processo (CARVALHO e PALADINI, 2006). Um exemplo é mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Gráficos de Médias (X) e Amplitude (R)



Fonte: adaptado de Carvalho e Paladini, 2006

A estimativa dos limites de controle é válida para processos estáveis, onde média e desvio-padrão são fixos. No entanto, processos aparentemente sob controle podem receber influência de causa especiais e, o resultado é que medidas se deslocam para fora dos limites (CARVALHO e PALADINI, 2006).

Werkema (2013) ressalta que a carta de controle CEP permite a visualização do nível de variabilidade do processo provocada pelas causas comuns de variação. Essas causas podem resultar nos problemas crônicos e dar origem a uma meta de melhoria. A utilização do CEP é utilizada em vários programas de melhoria como FMEA, FTA, DMAIC na etapa de identificação e análises dos fenômenos dos processos.

2.2.3 Programa Seis-Sigma

Diante da atual conjuntura, as organizações têm sido cada vez mais cobradas pelos seus *stakeholders* para que os recursos sejam utilizados no atendimento das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender as suas próprias necessidades, através de práticas de sustentabilidade, as quais criam fatores estratégicos de valor, em longo prazo e transparência de seus valores intangíveis.

Segundo Werkema (2006), o foco para alcançar as metas estratégicas da empresa, deve ser determinado pela alta administração mantendo uma estratégia gerencial disciplinada e quantitativa. Para isso é preciso implantar soluções eficientes e eficazes que permitam reduzir os tempos e ciclos, reduzir o consumo de recursos naturais, superar os competidores mundiais e conquistar a preferência dos clientes.

Dentro deste contexto de sustentabilidade, a filosofia Seis Sigma foca a melhoria de processos e o Lean a redução de desperdícios. O programa lean six sigma, segundo Ferguson (2007), é considerado uma filosofia, direcionada para melhoria contínua por meio da eliminação de desperdícios. Tendo como os aspectos fundamentais o foco na satisfação do cliente, busca contínua da redução da variabilidade, utilização de novos produtos e aplicação efetiva a processos técnicos, administrativos e de serviços (WERKEMA, 2013).

Para Campos (2002), Seis Sigma é uma estratégia que busca a satisfação dos clientes e de menores custos pela redução da variabilidade e, conseqüentemente, dos defeitos. Também representa uma medida de desempenho e meta para operação de processos, com uma taxa de 3,4 falhas por milhão de atividades ou oportunidades.

A nível mundial, Dambhare *et.al.*(2013) relatam que o *Six-Sigma*, tradução do Seis Sigma em inglês, foi uma estratégia de gestão de negócios, desenvolvido pela primeira vez

pela Motorola em 1986, que visa melhorar a qualidade processo de saídas. O objetivo é identificar e remover a causa de defeitos e minimizar a variabilidade na fabricação e processos negócios em geral. Para isso um conjunto de métodos de gestão da qualidade e métodos estatísticos é utilizado. Cada projeto Seis Sigma realizado no interior de uma organização segue uma sequência definida de passos e são definidas metas financeiras. De acordo com a definição da Motorola, um processo Seis Sigma é aquele em que se estima estatisticamente que 99,99966% dos produtos fabricados estão livres de defeitos (3,4 defeitos por milhão). Seis Sigmas utiliza um grupo de especialistas de melhoria para a resolução de problemas e na melhoria o processo continuamente. A principal ferramenta para este propósito é o DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar).

O programa Seis Sigma é definido em 2 níveis. O nível gerencial, abrangendo processo, produtos e serviços, e o operacional, que o usa de métodos estatísticos para medir coeficientes de variabilidade do processo (C_p) e coeficientes de capacidade do processo (C_{pk}), desvios padrões (Sigma) e também análises qualitativas (VIERA FILHO, 2010).

Contudo, não é somente o pensamento estatístico de e a redução da variabilidade que caracterizam o programa Seis Sigma. De acordo com Carvalho *et. al.* (2006) o sucesso dos programas Seis Sigma não pode ser explicado apenas pela utilização exaustiva de ferramentas estatísticas, mas também pela integração do gerenciamento por processos e diretrizes, mantendo o foco nos clientes, nos processos críticos e nos resultados da empresa.

Um estudo realizado por Soti, Shankar e Kaushal (2011), avaliou o status da aplicação do Seis Sigma nas indústrias da Índia sob dois aspectos: quais as necessidades que levam a adoção do Seis Sigma e quais os benefícios obtidos. O estudo conclui que, atualmente, as principais necessidades das indústrias, em ordem de importância, são: melhoria do desempenho financeiro e lucratividade do negócio, aumentar o foco no consumidor, qualificar o programa da qualidade, aumentar a participação no mercado, otimizar a utilização de recursos, racionalização do processo de decisão, melhorar a capacidade de controlar e gerenciamento dos processos e fornecer processos livres de erros.

Com relação aos resultados obtidos pela aplicação dos programas Seis Sigmas nas indústrias na Índia, Soti, Shankar e Kaushal (2011), concluíram que os principais benefícios, por ordem de importância foram: ganho financeiro alcançado, aumento de produtividade, redução do desperdício, aumento de participação no mercado, vantagens competitivas, aumento da eficiência na tomada de decisão com base em informações confiáveis, mudança cultural, desenvolvimento do pensamento estatístico, aumento da satisfação dos colaboradores, redução do custo operacional, redução do custo da “não-

qualidade”, redução da variabilidade de processo, diminuição do número de inspeção e redução do tempo de ciclo.

Conforme Manville *et. al.* (2012), os principais fatores críticos de sucesso da implementação do programa Seis Sigma são o comprometimento da gerência sênior, o alinhamento estratégico com a organização, foco nas necessidades dos clientes, compreensão das ferramentas e técnicas, escolha dos projetos e definição das prioridades e a formação, educação e envolvimento dos colaboradores.

2.2.4 Ferramenta Seis-Sigma: Método DMAIC

A metodologia DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*, é um conjunto de ferramentas, técnicas, princípios e regras estatísticas organizadas de forma lógica, sistemática e clara, usado sequencialmente, passo a passo, para caracterizar, otimizar e controlar um processo (WERKEMA, 2013).

Define (Definir)

Define com precisão o escopo do projeto validando sua importância, constituindo a equipe responsável de acordo com as necessidades e requisitos dos clientes e associá-los aos objetivos estratégicos da empresa.

Measure (Medir)

Mensurar e determinar a localização ou foco dos problemas, através de coletas de dados e identificando os problemas prioritários bem como estabelecendo metas para os mesmos.

Analyze (Analisar)

Uma vez mensurado os problemas prioritários e nesta etapa que é determinado a causa de cada problema, analisando o processo gerador do problema, identificando, priorizando as causas potenciais e quantificando-as.

Improve (Melhorar)

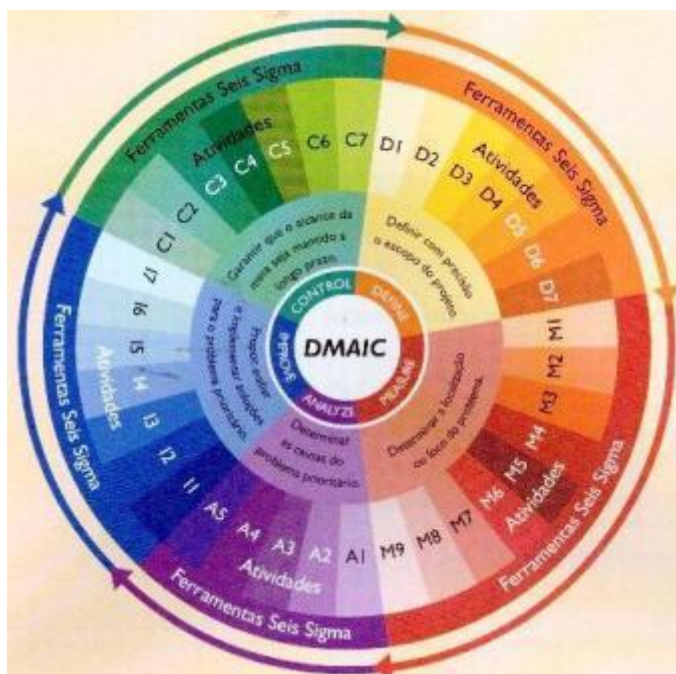
Para cada problema prioritário é nesta etapa que é proposto e avaliado as possíveis soluções, identificadas através das causas prioritárias, assim são testadas em pequenas escalas para obtenção das metas específicas que asseguram a execução do plano em larga escala.

Control (Controlar)

Nesta última fase busca garantir que o alcance da meta seja mantido ao longo prazo, através de padronizações dos processos, planos de monitoramentos, tomadas de ações corretivas entre outras. Com isso, procura-se manter as melhorias alcançadas e torná-las padrões.

A figura 8 apresenta uma visão geral sobre a metodologia DMAIC e como funciona o seu desenvolvimento para os projetos de melhoria.

Figura 8 - Método DMAIC



Fonte: Werkema (2013)

As ferramentas mais utilizadas para o desenvolvimento de um projeto DMAIC são as seguintes: gráficos de controle, gráficos de Pareto, diagrama de espinha de peixe, gráficos de tendência, histograma, diagrama de dispersão, fluxograma, distribuição normal entre outras (WERKEMA, 2013).

Segundo Damhare *et. al.* (2013), a tarefa original da Metodologia DMAIC é a redução de variação. O Six Sigma e o método DMAIC foram construídos nos princípios do campo de engenharia de qualidade, incorporando ideias de controle estatístico da qualidade, gestão da qualidade total e controle de qualidade de Taguchi. Também tem sido usada para a melhoria da qualidade de modo geral, na melhoria da eficiência, redução de custos e outras atividades nas operações.

2.2.5 Estatística aplicada a processo

A partir desta seção serão apresentados conceitos básicos das técnicas estatísticas utilizadas para medir o desempenho de parâmetros de processo.

2.2.6 Medida de tendência central

A maioria das distribuições de frequências exibe uma tendência central, isto é, uma forma tal que o grosso das observações se acumula na área entre dois extremos. Segundo Juran (1992), a tendência central é um dos conceitos fundamentais em toda a análise estatística.

De acordo com Carvalho e Paladini (2006), existem várias maneiras de medir a tendência central dos dados. O cálculo de uma tendência é importante porque ela consegue condensar uma série de dados em um único número. A mais conhecida das medidas de tendência central é a média.

A *Média Aritmética* (\bar{X}) é a mais usada no trabalho de qualidade. Ela é tão frequentemente empregada para indicar tamanho médio, produção média, percentual de defeitos médios, entre outros, que os gráficos de controle são projetados para analisá-las e acompanhá-las. A média é calculada somando-se as observações e dividindo-se pelo número de observações, conforme demonstra a equação 1:

$$\bar{X} = \frac{\sum (x)}{n} \quad (1)$$

onde: \bar{X} = Média Aritmética

x = valores observados

n = número de observações

Σ = Somatória

Fonte: Handbook - Controle da Qualidade-Juran, 1992.

Carvalho e Paladini (2006) ressaltam que, as vezes, a média pode perder sua representatividade, quando, entre os números, existem valores muito diferentes dos outros. Esses valores levam a média para um valor muito longe da tendência central e não muito perto dos outros números. Uma maneira de resolver essa distorção seria simplesmente eliminar esses números. No entanto, essa prática não é recomendada por causa do grau de arbitrariedade.

Para se ter convicção sobre a representatividade do valor de tendência central, Carvalho e Paladini (2006) recomendam observar os valores de uma medida de dispersão. As medidas de dispersão serão abordadas a seguir.

2.2.7 Medidas de dispersão

Tão importante com as medidas de tendência central são as medidas de dispersão. Conforme Carvalho e Paladini (2006) as medidas de dispersão mostram como os dados se espalham ao redor da média. Quando os dados estão próximo da média, isso significa que a tendência representa bem os dados. No entanto, se alguns números ficam longe da média, então a média não representa muito bem todos os dados.

Juran (1992), já dizia que os dados estão sempre dispersos ao redor da zona de tendência central e a extensão dessa dispersão é chamada dispersão ou variância. Uma medida de dispersão é a segunda das duas medidas mais fundamentais em toda a análise estatística.

Há várias medidas de dispersão. A mais simples é a Amplitude (R), que é a diferença entre os valores máximo e mínimo dos dados, conforme indicado na equação 2.

$$R = X_{\text{maior}} - X_{\text{menor}} \quad (2)$$

Onde: R = Amplitude
 X_{maior} = Maior valor observado
 X_{menor} = Menor valor observado

Fonte: Handbook- Controle da Qualidade - Juran, 1992.

A medida mais importante de variação é o Desvio Padrão (s), que é a raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre média e valor individual, representada na equação 3:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

onde: s = Desvio Padrão
 \bar{X} = Média Aritmética
 x = valores observados
 n = número de observações
 Σ = Somatória

Fonte: Handbook- Controle da Qualidade- Juran, 1992.

A ideia de variabilidade é importante nas áreas da engenharia da qualidade, pois para Carvalho e Paladini (2006), oferece uma definição operacional da qualidade e uma definição para medir, analisar e discutir entre operadores, especialistas e gestores da organização.

2.2.8 Estatística multidimensional ou bidimensional

Segundo Bussat & Morettin (1997), tradicionalmente, uma análise de dados se limita a calcular medidas centrais e de variabilidade, como a média, desvio padrão e variância, por exemplo. Fundamentalmente, quando se procede uma análise de dados, busca-se alguma forma de regularidade ou padrão, ou ainda, modelo presente nas observações.

Bussat & Morettin (1997), afirmam que em diversas investigações deseja-se avaliar a relação entre duas medidas quantitativas. Três propósitos principais de tais investigações podem ser:

- para verificar se os valores estão associados (Os valores de uma medida tendem a crescer (ou decrescer) à medida que a outra cresce?);
- para prever o valor de uma variável a partir de um valor conhecido da outra;
- para descrever a relação entre variáveis (Dado um aumento específico numa variável, qual o crescimento médio esperado para a segunda variável?).

Segundo Lapponi (2000), muitas vezes, as análises estatísticas ficam restritas a interpretações individuais de variáveis o que dificulta o entendimento das causas de variações ou comportamentos que não estão explícitos. Por exemplo, a série de dados da tabela 4, simula o índice de rejeição de um determinado processo:

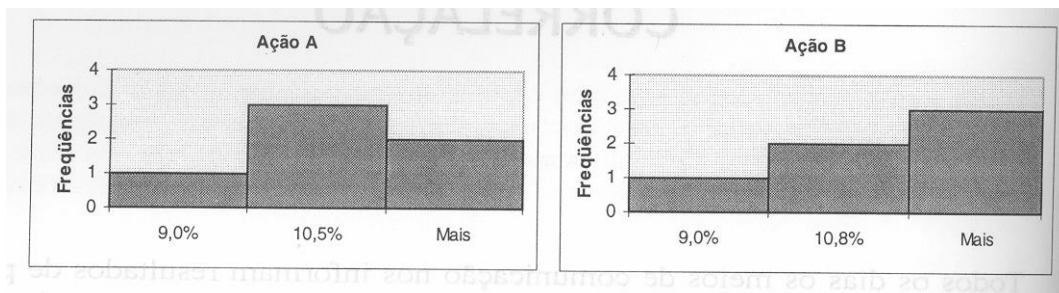
Quadro 4 - Exemplo de Índice de Rejeição

| Mês | Maquina A | Máquina B |
|-----|-----------|-----------|
| Jan | 9,0 % | 12,0 % |
| Fev | 10,0 % | 10,5 % |
| Mar | 12,0 % | 9,0 % |
| Abr | 10,5 % | 11,0 % |
| Mai | 9,5 % | 12,5 % |
| Jun | 11,0 % | 10,0 % |
| X | 10,3 % | 10,8 % |
| R | 3,0 % | 3,5 % |
| S | 1,1 % | 1,3 % |

Fonte: Laponi, 2000.

Os resultados estatísticos dos índices de rejeição são parecidos. Entretanto, se analisarmos os histogramas de frequências destas duas máquinas, na figura 9, podemos ver que as distribuições estão diferentes. Laponi (2000), ressalta que os histogramas mostram que existem particularidades que as medidas estatísticas média (X), amplitude (R) e desvio padrão (s) não conseguem detectar.

Figura 9- Simulação Histogramas de Frequência



Fonte: Laponi, 2000.

Para detectar este tipo de comportamento ou variação existem ferramentas estatísticas que auxiliam este trabalho de análise de distribuição e tendência, baseada na associação entre variáveis.

2.2.9 Coeficiente de Variação

O coeficiente de variação (CV), obtido pela razão entre desvio-padrão e a média dos dados, é uma importante ferramenta para análise da dispersão dos dados por ser uma medida relativa ao valor médio da série, possibilitando comparar dados com unidades de

medida e médias diferentes. Já o desvio-padrão, que é uma medida de dispersão absoluta, é limitado na comparação de dados expressos em diferentes unidades.

O coeficiente de variação, por sua vez, refere-se à divisão entre o desvio padrão (S) e a média da distribuição, conforme expresso na equação 4.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (4)$$

Coefficientes de variação menores de menores do que 0,2 sugerem pouca dispersão nos dados, enquanto coeficientes maiores que 1, indicam dispersão elevada. Especificamente, coeficientes maiores de 0,5, também sugerem que a distribuição analisada tende a uma forma assimétrica ou não-normal.

Esta medida consiste em uma forma simples de avaliar a dispersão de uma variável, uma vez que não possui unidade de medida. Assim é possível comparar a dispersão entre duas variáveis, mesmo que tenham sido mensuradas em escalas de medida diferentes e possuam médias diferentes. Na prática, por exemplo, através do coeficiente de variação, pode-se comparar diretamente e sem o recurso de transformações, a variabilidade existente em uma distribuição de alturas medidas em metros com outra de alturas medidas em centímetros. Porém, mesmo com estas vantagens, o coeficiente de variação é pouco utilizado e cede lugar na maioria das vezes ao desvio-padrão e a variância nas análises estatísticas e nas publicações científicas.

2.2.10 Índices de capacidade de processo CP e CPK

Para determinar quanto dos produtos do processo atendem às especificações, é utilizado o índice Cp, chamado Índice de Capacidade Potencial do Processo, que consegue relacionar a variabilidade inerente ao processo com suas especificações. Com o objetivo de integrar o conceito estatístico de variação (desvio padrão) com a necessidade prática de fabricação (BARNETT, 1990; WU, ASLAM e JUN, 2012).

Este índice é claramente uma medida de voltada para processo uma vez que utiliza as constantes conhecidas de Limite Superior (LSE) e Limite Inferior (LIE) e a constante de processo desconhecida, sigma (σ). Por um processo em condições reais, os valores podem

não seguir a especificações de um padrão Seis Sigma (6σ), onde as faixas não ficam localizadas simetricamente sobre o centro do processo, na média (μ) (BARNETT, 1990).

A fórmula para determinar o C_p , segundo Barnett (1990), está indicada na equação 6.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (6)$$

Porém, o C_p não aponta a falta de centralidade presente em todas as situações do processo. Considerando que a variabilidade é inevitável, para os esforços mais eficazes para a obtenção de produtos dentro das especificações, o processo deve ser centrado sobre o valor nominal, isto é, o valor nominal deve ser o ponto de simetria da dimensão distribuição. Desta forma o C_{pk} é uma medida que define o quanto o processo está centrado e quão bem sua variação natural se encaixa dentro das especificações requeridas do produto final. A determinação do C_{pk} está definida na equação 7 (Barnett, 1990; WU, ASLAM e JUN, 2012; Correa e Neto, 2009).

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left\{ \frac{LSE - \mu}{3s}, \frac{\mu - LIE}{3s} \right\} \quad (7)$$

Werkema (2013) sugere os critérios de classificação para os índices de capacidade de processo, conforme indica o quadro 5.

Quadro 5 - Classificação de processo segundo índice de capacidade

Segundo Correa e Neto (2009), pode-se considerar como regra:

- C_p e C_{pk} maiores que 1,33: Processo é capaz para +/- 4 desvios-padrão, mínimo de 99,994% dos itens dentro da tolerância.
- C_p e C_{pk} maiores que 1,00: Processo é capaz para +/- 3 desvios-padrão, mínimo de 99,73% dos itens dentro da tolerância.
- C_p e C_{pk} menores que 1,00: Processo não é capaz para +/- 3 desvios-padrão, menos de 99,73% dos itens dentro da tolerância.

2.3 Indicadores Sistêmicos

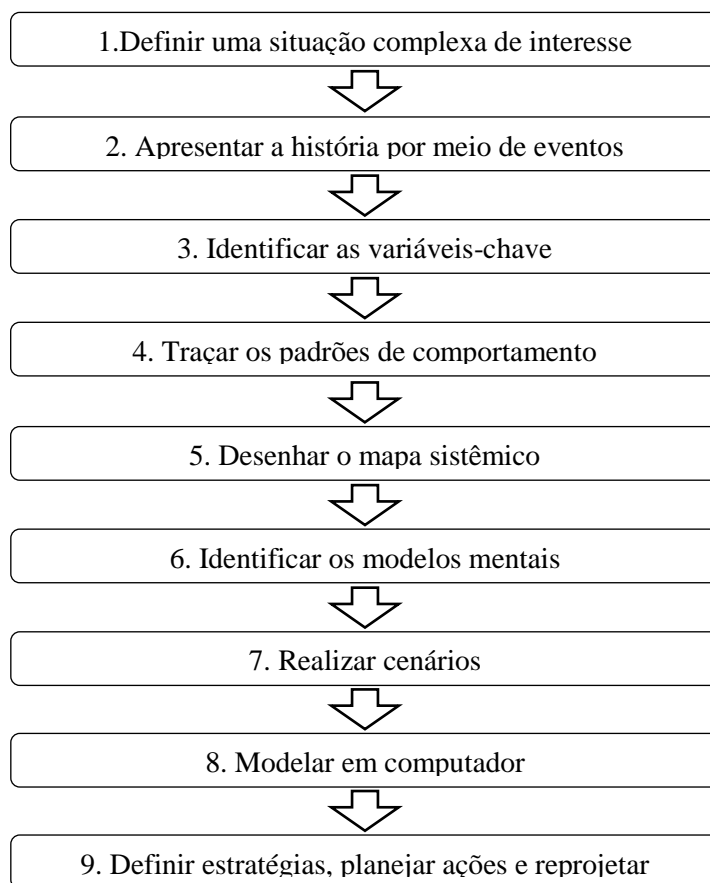
O Pensamento Sistêmico busca o olhar no sentido contrário do reducionismo e do atomismo, dando maior ênfase ao todo do que à parte. Inicialmente, ele estabelece também uma fronteira de sistema, mas que é “fraca” e mais ou menos arbitrária, para que os sucessivos entendimentos posteriores possam determinar exatamente de que escopo se está falando. Isso permite a inclusão, durante o processo, de aspectos importantes, como relacionamentos com o ambiente e com outros sistemas. Logo, o Pensamento Sistêmico está interessado nas características essenciais do todo integrado e dinâmico, características essas que não estão em absoluto nas partes, mas nos relacionamentos dinâmicos entre elas, entre elas e o todo, e entre o todo e os outros todos (LACERDA, *et. al.*, 2011).

Para ser possível definir indicadores sistêmicos existem características que estes precisam possuir e estas devem garantir que as ações e estratégias da empresa sejam com intuito da melhoria do negócio como um todo. Segundo Lacerda (2006) as características são:

- Os indicadores devem estar associados a funções e planejamento e a tomada de decisão estratégica, tática e operacional, ou seja, indicadores demonstram o rumo à organização.
- Não são numéricos apenas escalares, direcionando para o aumento ou diminuição.
- Devem apontar para as mesmas direções definidas no processo estratégico.
- Devem ser agregados e consolidados, permitindo a centralização em poucos indicadores.
- Os indicadores devem extrapolar os limites de sua área de atuação (transversalidade)
- Devem ser avaliados de maneira dinâmica, sistêmica e comportamental.

Segundo Andrade (2006), o método sistêmico preocupa-se com os passos que nos levam a entender um problema sob a ótica sistêmica. Os passos do método sistêmico são apresentados na figura 10:

Figura 10 - Passos do método sistêmico



Fonte: Andrade, 2006

O método sistêmico é um conjunto de passos que orienta os atores organizacionais a compreender as forças que moldam a realidade, de maneira a encontrar pontos de alavancagem efetivos para a transformação (ANDRADE, 2006).

2.4 Tecnologia de informação

A informação pode gerar conhecimento que ajude na análise de padrões históricos para conseguir uma previsão dos fatos futuros. Rezende (2005) afirma, por exemplo, que a informação dos dados sumarizados nas vendas de um determinado ambiente comercial pode ser analisada com a finalidade de fornecer informações relacionadas com a natureza dos clientes enquanto que a informação é descritiva, o conhecimento é utilizado fundamentalmente para fornecer uma base de previsão com um determinado grau de certeza.

O conhecimento refere-se à habilidade de criar um modelo mental que descreva o objeto e indique as ações a implementar e as decisões a tomar. Uma decisão, quando registrada, é o uso explícito de um conhecimento. O conhecimento pode ser representado

como uma combinação de estruturas de dados e procedimentos interpretáveis que levam a um comportamento conhecido. Este comportamento fornece informações que podem, então, serem utilizadas para planejar e decidir (REZENDE, 2005).

A compreensão, a análise e a síntese, necessárias para a tomada de decisões inteligentes, são realizadas a partir do nível do conhecimento. Assim, é fundamental que se mantenha a coerência dos dados que estão armazenados nos diferentes repositórios e das informações nos diferentes níveis.

A utilização da Tecnologia de Informação (TI) para a gestão do conhecimento tem seus primórdios nos anos 70, quando esta passa de um foco computacional voltado ao processamento de dados para um foco mais voltado ao processamento da informação, como nos sistemas de suporte a decisão gerencial (DSS - *Decision Support System*) e nos sistemas de informação gerencial (MIS - *Management Information System*) (REZENDE, 2005).

Nos anos 80, o processamento do conhecimento passa a estar cada vez mais presente nos recursos oferecidos, com os sistemas baseados em conhecimento (KBS - *Knowledge-based Systems*). Hoje os esses sistemas também são chamados de Sistemas Especialistas (*Expert Systems*) (REZENDE, 2005).

No estudo de Beimborn e Joachim (2012), enfatiza a importância da (TI) a fim de melhorar os processos de negócios e para acompanhar continuamente o seu desempenho. Segundo Beimborn e Joachim (2012), a maioria das empresas estudadas (84%) concorda que o uso de ferramentas como BPM com base em TI é importante ou muito importante. Por exemplo, sem aplicações de TI integradas, o processo só é capaz de realizar o controle de atividades em apenas partes de processos de negócios. Isso traz grandes desvantagens, tais como, ineficiência do processo, descontinuidades de recursos de TI, barreiras para mudança organizacional e falta de integração dentro da organização. Assim, a troca de dados eficiente ao longo de um processo de negócio dentro de uma empresa ou entre duas empresas é quase impossível sem o uso de recursos de TI integrada servindo os processos de negócio.

A evolução da tecnologia de informação é mais um importante fator de influência na competitividade. Importantes mudanças e expansões estão ocorrendo nas tradicionais ferramentas para fornecer informações e modelar as necessidades das empresas a fim de apoiar suas decisões. As interfaces devem estar disponíveis a decisões, em vez de ficarem restritas a poucos usuários. Neste sentido, as tecnologias de inteligência artificial (IA) estão sendo concebidas para gerir o conhecimento em apoio ao processo de gestão e tomada de decisão (SANTOS, 2008).

A Inteligência Artificial vem se consolidando como ciência, tanto no conteúdo quanto na metodologia. Atualmente é muito comum as pesquisas em IA utilizarem teorias existentes como base, ao invés de propor teorias inteiramente novas. Adicionalmente, o progresso recente na compreensão das bases teóricas da IA caminha lado a lado com o avanço na capacidade dos sistemas reais e recursos de tecnologia de informação. As subáreas da IA se tornaram mais integradas, assim como a própria IA vem se integrando a outras áreas e disciplinas do conhecimento humano na formulação de diversas aplicações (GOLDSCHMIDT, 2010).

Um bom exemplo disso é a aplicação de recursos de IA na indústria da chamada mineração de dados. Na mineração de dados, o objetivo é identificar conhecimento útil a partir de grandes bases de dados. Para tanto, técnicas de IA são conjugadas às diversas tecnologias de outras áreas tais como estatística, banco de dados, reconhecimento de padrões, interface humano-máquina.

2.4.1 Sistema Apoio à Decisão (SAD)

Um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) é um sistema de informação utilizado para dar suporte a um tomador de decisão em qualquer nível, em face de problemas semiestruturados e não estruturados (MIRANDA *et al.*, 2003).

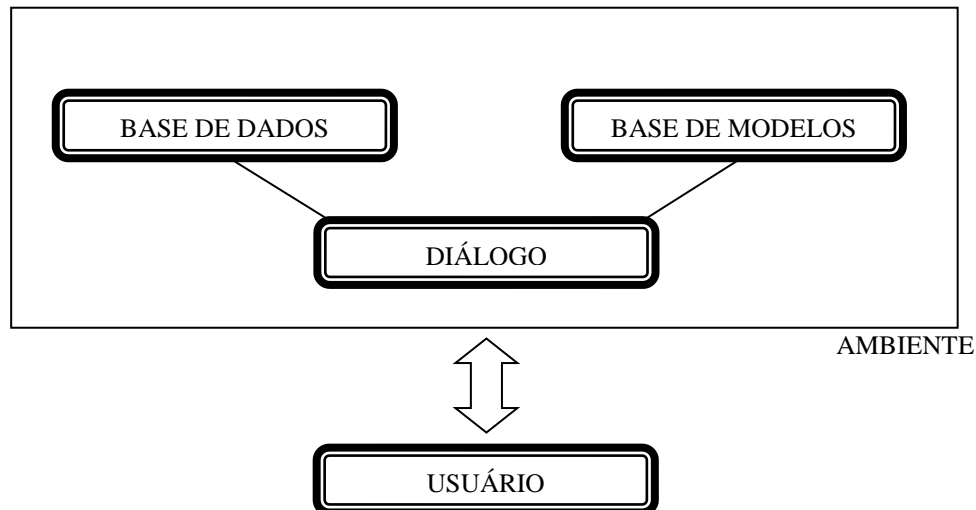
Goldschmidt (2010) defende que a Inteligência artificial possui entre seus propósitos o suprimento de meios para a construção dos chamados métodos de apoio à decisão. Um método de apoio à decisão é considerado qualquer instrumento que auxilie o Homem no processo de tomada de decisão em alguma área do conhecimento humano.

As principais razões que justificam a construção de um SAD são: a complexidade do processo decisório, a relação interativa existente entre o SAD e o usuário, a atenção do decisor voltada para o problema e não para os métodos de resolução, fornecimento rápido das respostas e a possibilidade da geração de cenários, através dos quais o usuário poderá analisar as diversas alternativas de solução do problema (MIRANDA *et al.*, 2003).

Segundo Almeida & Ramos (2002), diferente das outras abordagens de Sistemas de Informação, onde é preciso entender apenas como operar o sistema, em um SAD o conhecimento de métodos de apoio à decisão é imprescindível para sua correta utilização. Vários autores sugerem que os decisores atuem de forma integrada com um analista de decisões ou de pesquisa operacional (DUARTE *et al.*, 2005).

A arquitetura básica de um SAD é formada por uma base de dados, que armazenam as informações, uma base de modelos, que provê a capacidade de análise e o diálogo, que permite a interação entre o usuário e o sistema. A relação entre esses elementos pode ser visualizada na figura 11.

Figura 11 - Arquitetura de um SAD



Fonte: Miranda *et. al.*, 2003.

2.4.2 Sistemas Especialistas

Os Sistemas Especialistas (SE) consistem em uma das aplicações da Inteligência Artificial. Estes sistemas usam uma base de conhecimento específico em um determinado domínio de problema para conseguir o melhor desempenho naquela área de aplicação. A Arquitetura dos sistemas especialistas baseado em regras pode ser entendida em termos de modelo de sistema de produção para solução de problemas (LUGER, 2004).

Para Goldschmidt (2010), Sistemas Especialistas são sistemas que armazenam e processam conhecimento adquirido de especialistas em uma área de conhecimento. São sistemas de apoio à decisão que reúnem conhecimentos acerca de áreas específicas e que são capazes de simular o comportamento humano diante de situações a eles apresentadas. Utilizam conhecimentos e procedimentos inferenciais para resolver problemas não triviais que requerem para sua solução alguma ou muita perícia humana.

São geralmente desenvolvidos para atender a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. São também, capazes de emitir uma decisão e flexíveis para incorporação de novos conhecimentos para melhorar seu raciocínio. A partir do conhecimento incorporado, um SE pode tomar decisões para proporcionar respostas a

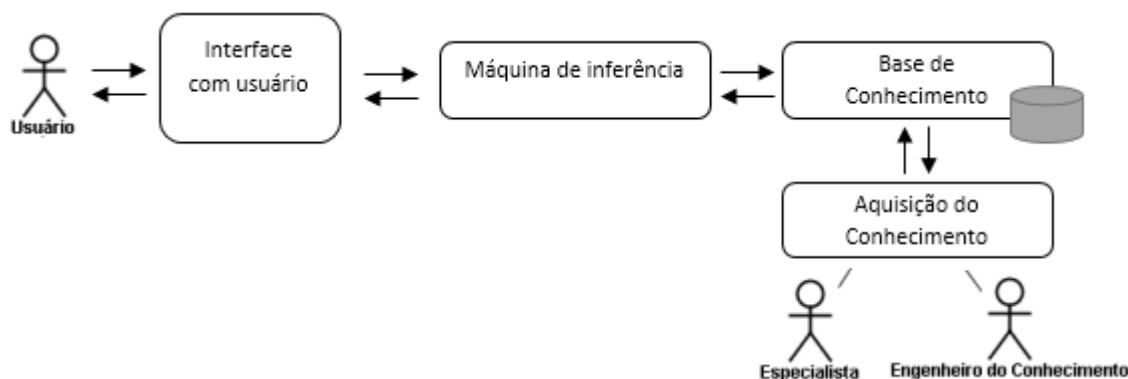
questões utilizando um processo de tomada de decisão, ou dividindo esse processo por meio de interações com o especialista humano (GOLDSCHMIDT, 2010).

Em um sistema de produção, a base de conhecimento específico é o conjunto de regras de produção. Nos sistemas baseados em regras, os pares “condição-ação” são modelados para representar o melhor desempenho humano na análise e solução de problemas e tomada de decisão (LUGER, 2004).

Uma das aplicações mais difundidas para os sistemas especialistas são os sistemas de diagnóstico que são capazes de deduzir possíveis problemas ou causa a partir de observações ou sintomas. A arquitetura de um sistema especialista é formada por dois componentes básicos: um banco de informações que contenha todo o conhecimento relevante sobre o problema de uma forma organizada (base de conhecimento) e um conjunto de métodos inteligentes de manipulação destes conhecimentos (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014).

A Figura 12 apresenta a estrutura de um Sistema Especialista onde os principais componentes são: o usuário, a interface, o motor de inferência, uma base de dados, uma base de conhecimento, uma ferramenta para aquisição do conhecimento, o especialista humano e o engenheiro do conhecimento.

Figura 12 - Estrutura geral de ambiente envolvendo Sistema Especialista.



Fonte: Adaptado de Santos e Carvalho, 2008.

A interface visa facilitar a interação do usuário e do analista do conhecimento com o sistema. O engenheiro do conhecimento atua no subsistema de aquisição do conhecimento. Este conhecimento é extraído através da aplicação de técnicas de aquisição de

conhecimento pelo engenheiro do conhecimento; após, é armazenado na base de conhecimento e inferido pela máquina de inferência (responsável pelo controle do sistema especialista). A máquina de inferência está ligada ao processo de subsistema de explanação, que mostra a linha de raciocínio utilizada pelo sistema para atingir a solução do problema (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014).

De um modo geral, sempre que um problema não pode ser algoritmizado, ou sua solução conduza a um processamento muito complexo e demorado, os Sistemas Especialistas podem ser uma saída, pois possuem seu mecanismo de inferência apoiado em processos heurísticos (GOLDSCHMIDT, 2010).

2.4.3 Base de Conhecimento

A Base de Conhecimento é a parte do Sistema Baseado em Conhecimento (SBC) responsável por armazenar o conhecimento necessário para resolução do problema abordado pela aplicação. Ela pode conter asserções sobre o domínio de conhecimento, regras que descrevem relações nesse domínio, heurísticas e métodos de resolução de problemas.

Uma Base de Conhecimento é um conjunto de representações de ações e acontecimentos do mundo. As representações individuais são conhecidas como sentenças. As sentenças são expressas em uma linguagem específica, chamada linguagem de representação do conhecimento. As linguagens de representação de conhecimento baseiam-se em diferentes técnicas de representação, como: regras de produção, redes semânticas, frames e lógica (RUSSEL e NORVIG, 2004).

Representação de Conhecimento (RC) pode ser interpretada como a aplicação de linguagens formais usadas para expressar os conhecimentos de especialistas em algum campo, de forma eficiente, e colocá-los prontos para serem acessados pelo usuário de um sistema inteligente. Uma representação pode ser entendida como um conjunto de combinações sintáticas e semânticas que nos possibilitam descrever uma determinada aplicação (GOLDSCHMIDT, 2010).

A base do conhecimento não é uma simples coleção de informações. A tradicional base de dados com dados, arquivos, registros e seus relacionamentos estáticos é aqui representada por uma base de regras e fatos e também heurísticas que correspondem ao conhecimento do especialista, ou dos especialistas do domínio sobre o qual foi construído o sistema. Muitos sistemas especialistas possuem além da base de conhecimento, a tradicional

de base de dados de onde alguns fatos são extraídos e outros armazenados pela aplicação (GOLDSCHMIDT, 2010).

Esta base de regras, assim como a base de fatos, é processada pelo motor de inferência, permitindo identificar as possibilidades de solução e o processo de raciocínio e inferência que levam a conclusões sobre o problema submetido ao sistema. Na interação com a base de fatos e regras e com o usuário, obtêm-se as informações necessárias para a resolução do problema. Devido à utilização de heurísticas, o usuário é requerido pelo sistema para prestar informações adicionais e, a cada pergunta respondida pelo usuário ou a cada nova informação, reduz-se o espaço de busca a ser percorrido pelo sistema, encurtando-se o caminho entre o problema e sua solução.

2.4.4 Redes Semânticas

Na rede semântica, o conhecimento é expresso através de um grafo, constituído de Nodos, que representam objetivos, conceitos ou situações e, também, por Arcos, que definem o relacionamento entre objetos. Uma rede semântica consiste em um conjunto de nós conectados por um conjunto de arcos (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014).

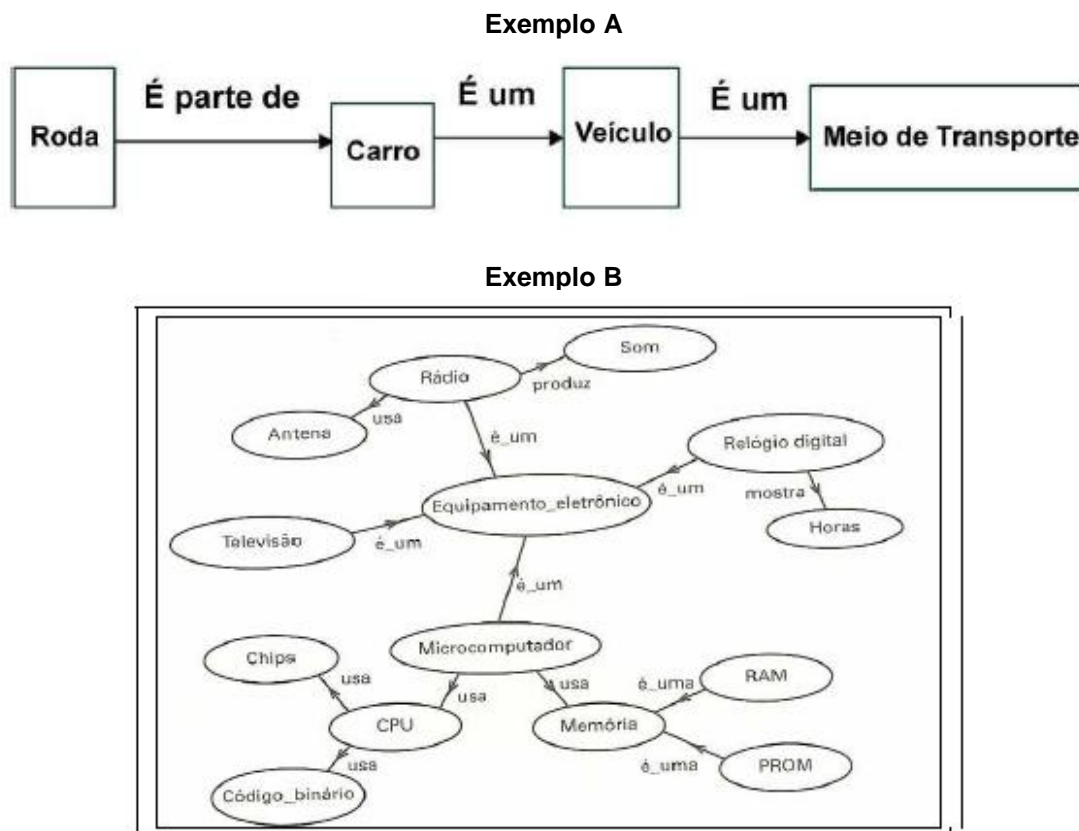
Goldschmidt (2010) define um arco é classificado de acordo com o nome da relação representada por ele. Os diversos arcos podem possuir o mesmo rótulo, contudo, cada objeto relacionado é representado por um único nó. Os objetos podem ser classificados como complexos ou simples. Os objetos complexos, muitas vezes, podem ser decompostos em objetos mais simples e através dessas composições produzem dois tipos de relações:

- Tipo *É_um*: é uma relação entre os objetos que estão em uma mesma taxonomia hierárquica, ou seja, existe uma herança direta;
- Tipo *Faz_parte_de*: é uma relação que satisfaz um tipo de composição, ou seja, o objeto é um elemento de outro, não havendo uma relação de herança.

A principal razão das redes semânticas serem bem aceitas na representação do conhecimento é a possibilidade de visualização gráfica das estruturas de conhecimento, porém essas possuem limitações expressivas que restringem o uso deste tipo de linguagem (GOLDSCHMIDT, 2010).

A figura 13 apresenta dois exemplos de representação de conhecimento.

Figura 13 - Exemplos de representação de conhecimento



Fonte: Goldschmidt, 2010.

A abordagem de "dividir e conquistar" para o problema da aprendizagem a partir de um conjunto de casos independentes leva naturalmente a um estilo de representação chamado árvore de decisão. Na prática, os nodos de uma árvore de decisão envolvem testar um determinado atributo. Normalmente, o teste a um nodo compara um valor de um atributo com uma constante. No entanto, algumas árvores comparam dois atributos com cada um, ou usam alguma função de um ou mais atributos. Nodos folha geram uma classificação que se aplica a todos os casos que chegam à folha ou um conjunto de classificações. Para classificar um exemplo desconhecido, ele é encaminhado para baixo na árvore de acordo com os valores dos atributos testados nos nodos sucessivos, e quando uma folha é atingida a instância é classificada de acordo com a classe atribuída à folha (WITTEN e FRANK, 2005).

Se o atributo que é testado em um nodo é nominal, o número de folhas é geralmente o número de possíveis valores do atributo. Neste caso, porque existe um ramo para cada valor possível, o mesmo atributo não vai ser testado novamente mais abaixo na árvore. Às vezes, os valores dos atributos são divididos em dois subconjuntos, e os galhos das árvores

apenas duas maneiras, dependendo de qual subconjunto o valor situa-se na árvore; nesse caso, o atributo pode ser testado mais de uma vez em um caminho. Caso o atributo é numérico, o teste em um nó normalmente determina se o seu valor é maior ou menor do que uma constante predeterminada, dando uma divisão de duas vias (WITTEN e FRANK, 2005).

2.4.5 Regras de Produção

A representação do conhecimento, através de regras de produção, é bastante popular na codificação de conhecimento heurístico em programas para resolução de problemas. O conhecimento é representado por um conjunto de fatos e um conjunto de regras de produção. Um sistema especialista, baseado em regras, caracteriza-se por: incorporar conhecimento heurístico em regras do tipo SE-ENTÃO; combinar regras simples para resolver problemas complexos, e estar capacitado a explicar qualquer conclusão, a partir da linha de raciocínio aplicada pelo sistema (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014).

Goldschmidt (2010), afirma que muitos sistemas se inspiram na ideia de que a tomada de decisão humana pode ser moldada por meio de regras de condição do tipo SE <condições> ENTÃO <conclusões> FAÇA <ações>, onde:

- SE: é uma lista de condições a serem satisfeitas. É chamado de antecedente da regra;
- ENTÃO: é uma lista de conclusões;
- FAÇA: são as ações a serem executadas. Conclusões e ações são chamadas de consequente da regra.

Portanto, as regras podem expressar relacionamentos lógicos e equivalentes de definições para simular o raciocínio humano. Um exemplo simples pode ser ilustrado pela afirmativa: “SE está chovendo ENTÃO carregue uma sombrinha”. Assim, dado o fato de “estar chovendo” pode-se inferir ou derivar que se deve “carregar uma sombrinha”. Em um processo de inferência, cada uma das condições da lista de condições deve ser verificada. Caso todas sejam satisfeitas, as conclusões serão consideradas verdadeiras e as ações serão executadas (GOLDSCHMIDT, 2010)

O quadro 6, exemplifica em detalhes uma complexa regra de produção descoberta por Rosário *et al* (2014) em um estudo para determinar as causas de defeitos em um processo produtivo.

Quadro 6 - Exemplo de regra de produção

| |
|--|
| <p>Regra de produção SE Linha de Produção = 65 VAA E Dureza da folha = Entre 54 e 62 HR T3 Laminação normal E Corrente elétrica de Soldagem = Abaixo de 25 A E Estanhagem da Folha = Maior que 2,35 g/m² E Espessura da Folha = Entre 0,17 e 0,21 mm E Pressão de Mola = Entre 50 e 52 mm E Transpasse de Solda = Entre 0,40 e 0,50 mm ENTÃO CAUSA(S) DO(S) DEFEITO(S) = Corrente elétrica baixa</p> |
|--|

Fonte: Rosário, Kipper e Frozza, 2014.

2.4.6 Regras de produção versus árvores de decisão

Witten e Frank, (2005) alertam que em muitas situações, há uma diferença entre as regras de produção e árvores de decisão em termos da clareza da representação. A regra de produção pode ser simétrica, enquanto que na árvore de decisão, em primeiro lugar, deve-se selecionar um atributo e isso pode levar a árvores que são muito maiores do que um conjunto equivalente de regras. Outra diferença é que, no caso multiclasse, uma fração de árvore de decisão toma todas as classes em conta, tentando maximizar a pureza da separação, enquanto que o método de geração de regra concentra-se em uma classe de cada vez, ignorando o que acontece com as outras classes.

2.4.7 Principais Técnicas de Aquisição de Conhecimento

Devido à necessidade de fazer a aquisição de conhecimento de forma clara e efetiva, várias técnicas têm sido desenvolvidas para ajudar nesse processo. Elas são classificadas em manuais, semiautomáticas e automáticas. As técnicas manuais são as mais utilizadas, sendo comandadas inteiramente pelo engenheiro de conhecimento. As semiautomáticas são realizadas junto com as manuais. Elas proporcionam ao especialista, ferramentas para ajudar na tarefa da criação dos sistemas diminuindo a participação do engenheiro de conhecimento. As automáticas visam minimizar ao máximo a participação humana. Elas utilizam aprendizado de máquina para fazer a mineração de conhecimento a partir de grandes fontes de informação, sendo, por esse motivo, mais complexas (GOLDSCHMIDT, 2010).

Existe uma variedade de técnicas utilizadas para obter conhecimento. Goldschmidt (2010) cita vários tipos de técnicas para aquisição do conhecimento, dentre as quais:

- Baseadas em Literaturas ou Descrição:

Nesta técnica, o engenheiro de conhecimento realiza um estudo sobre o assunto que o sistema se propõe a auxiliar com o intuito de adquirir um conhecimento sobre o domínio. Fazer esse estudo prévio é importante para que as entrevistas com o especialista possam ocorrer de forma mais natural, sem que o especialista precise explicar tudo sobre o assunto em questão. O engenheiro que estudou previamente o assunto pode ir levantando questionamentos, por exemplo, sobre termos técnicos. Isso faz com que a conversa flua de forma mais natural e em um nível mais adiantado.

Convém mencionar, no entanto, que nem sempre existem referências homologadas sobre o assunto em questão. Além disso, muitos assuntos demandam um conhecimento prévio para entendimento dos textos disponíveis para estudos

- Baseadas em Entrevistas

Nesta técnica são realizadas entrevistas com o especialista. As informações podem ser coletadas com o auxílio de gravadores ou filmadoras. Essas informações são depois estudadas para se extrair delas o conhecimento desejado. No entanto, o uso de quaisquer destes recursos deve ser previamente acordado junto ao especialista, evitando possíveis constrangimentos.

Um procedimento desejável é a elaboração prévia de questionários que auxiliem a condução do processo de entrevista. Neste caso, diz-se que a entrevista está estruturada. Recomenda-se opcionalmente a divulgação prévia do questionário. Entrevistas estruturadas são, em geral, mais produtivas. Baseiam-se em um processo sistemático orientado a objetivo, facilitando a comunicação entre os envolvidos. Ajudam a evitar distorções decorrentes da subjetividade.

Nos casos em que as perguntas surgem em decorrência da evolução da conversa, as entrevistas são denominadas de entrevistas não estruturadas. Este tipo de abordagem pode ser útil para realizar prospecção de detalhes sobre o assunto que não tenham sido mencionados anteriormente. Por outro lado, pode trazer as seguintes desvantagens:

- Especialistas podem não se preparar para a entrevista.
- Engenheiros de conhecimento com pouca experiência podem se desorientar.
- Ocorrência de dificuldades para o especialista organizar ideias.
- Demanda de preparação prévia dos envolvidos (complexidade).
- Dificuldades para interpretação e integração da informação.

- Baseadas em Acompanhamento

Esta técnica visa acompanhar o processo de raciocínio do especialista em casos reais, ou seja, acompanhá-lo em seu local de trabalho. Isto faz com que ele seja mais natural e espontâneo. Em geral, com esta técnica, as informações surgem mais facilmente e o engenheiro faz as devidas anotações e esclarece dúvidas com o especialista na medida em que elas se apresentem.

Por usar casos reais, esta técnica evita que o especialista seja direcionado a responder questões irrelevantes ao sistema. Cabe ressaltar, no entanto, que com esta técnica, nem sempre se consegue uma amostragem de casos realmente representativa. Opcionalmente pode ser utilizada uma abordagem em que o especialista analisa situações anteriores, explicando como determinadas soluções foram obtidas.

- Técnicas Semiautomáticas

As técnicas semiautomáticas foram criadas para suprir as falhas que podem ocorrer quando se utilizam técnicas manuais, pois essas são mais suscetíveis a erros devido ao número de pessoas envolvidas – especialistas, engenheiros de conhecimento e programadores. O processo de obter o conhecimento do especialista e repassá-lo posteriormente ao programador acaba gerando ruídos de comunicação entre as partes envolvidas.

Esta forma de aquisição consiste na utilização de ferramentas computacionais que ajudam o engenheiro de conhecimento a codificar melhor o conhecimento a ser incorporado no sistema. Auxiliam na formalização e edição do conhecimento, evitando tanto erros de sintaxe quanto erros lógicos na estruturação do modelo em construção.

KESQAQ, PATERAQ, SEGSE, EXPERT-SINTA dentre outras, são exemplos de ferramentas de aquisição de conhecimento semiautomáticas.

- Técnicas Baseadas em Mineração de Dados

Muitas vezes, o conhecimento a ser adquirido encontra-se embutido em dados históricos disponíveis em grandes bases de dados. A área da Mineração de Dados tem como objetivo abstrair padrões úteis (conhecimento) a partir de grandes bases de dados estruturados. Por outro lado, a Mineração de Textos volta-se para dados semiestruturados ou mesmo desestruturados (GOLDSCHMIDT, 2010).

A mineração de dados é definida como o processo de descoberta de padrões de dados. O processo deve ser automático ou semiautomática. Os padrões descobertos devem ser significativos na medida em que proporcionam alguma vantagem, geralmente uma vantagem econômica. Os dados são apresentados em grandes quantidades. Padrões úteis nos permitem fazer previsões não-triviais sobre novos dados (WITTEN e FRANK, 2005).

Rezende (2005) destaca que Mineração de Dados é uma área multidisciplinar que incorpora técnicas utilizadas em diversas áreas como Inteligência Artificial, especialmente Aprendizado de Máquina (AM), Base de Dados e Estatística. Por isso, as técnicas utilizadas em MD não devem ser vistas como substitutas de outras formas de análises (por exemplo, OLAP), mas, como praticas para melhorar os resultados das explorações feitas com as ferramentas atualmente utilizadas. O foco central de Mineração de Dados é o de como transformar dados armazenados em conhecimento, expresso em termos de formalismos de representação, tal como regras e relações entre dados. Existe conhecimento que pode ser extraído diretamente de dados sem o uso de qualquer técnica, entretanto, existe também muito conhecimento que está de certa forma “embutido” na Base de Dados, na forma de relações existentes entre itens de dados, que para ser extraído, é necessário o desenvolvimento de técnicas especiais.

2.4.8 ETL – Extração, Transformação e Carga de dados

ETL, da língua inglesa, *Extract, Transform and Load*, é um processo que se destinam a extração, transformação e carga de dados. Estes dados podem ser originados de uma ou mais fonte de dados, assim como o destino destes dados podem ser para um ou mais bancos de dados de sistemas de informação ou data warehouse (RIBEIRO, 2010).

ETL é aplicado em migração de dados em sistemas de informação, *Business Intelligence* (BI) e aplicações de *Data Warehouse* (DW), que são repositórios de informações originadas de diversas fontes e armazenadas sob um esquema único para extração de informações. Data Warehouses inclui ferramentas para gerenciar e integrar dados (SIMITSIS; SKOUTAS; CASTELLANOS, 2009).

Conceitualmente, os DW de dados são usados para a transformação de dados da empresa em informações úteis para fins analíticos. Ao fazê-lo, eles têm que gerir o fluxo de dados de sistemas operacionais para ambientes de apoio à decisão. O processo de coleta, limpeza, transformação e carga de dados de vários sistemas operacionais que armazenam informações do dia-a-dia que são atribuídas ao processo *Extract Transform-Load* (ETL).

A concepção de armazéns de dados através de processos de ETL constitui uma tarefa trabalhosa e demorada, que representam custos significativos em termos de recursos humanos e recursos financeiros (SIMITSIS; SKOUTAS; CASTELLANOS, 2009).

As etapas do ETL são:

Extração: Na fase inicial do processo de ETL, temos a extração dos dados de origem, que podem ser provenientes de uma ou mais fontes ou sistemas de informação. Estes dados podem ser obtidos através de bancos de dados relacionais, arquivos textos (flat files), planilhas eletrônicas, web services, emails, arquivos x Base (arquivos de banco de dados com extensão “dbf”, utilizados em linguagens de programação).

Nesta fase é necessário identificar o tipo, forma de armazenamento, estrutura e modelagem dos dados a serem extraídos, além da necessidade de viabilizar através da ferramenta de extração um meio de acesso a estes dados de origem (RIBEIRO, 2010).

Transformação: Este é o processo responsável pelo tratamento e transformação dos dados. Após o processo de extração, os dados são tratados de acordo com as regras de negócio da aplicação de destino.

Na obtenção de dados de fontes muitas vezes desconhecidas e que foram gerenciadas por sistemas de informação antigos e por falha de projeto ou sem a utilização de um sistema gerenciador de banco de dados adequado, que possui a função de propiciar um ambiente tanto conveniente quanto eficiente (sem falhas) para a recuperação e armazenamento das informações, é comum encontrar problemas de integridade referencial ou inconsistências como datas inválidas, atributos obrigatórios não preenchidos, somatórios numéricos inconsistentes, falta de normalização e diversos outros problemas.

Nesta etapa, todas as divergências encontradas devem ser tratadas e solucionadas para garantir confiabilidade ao processo de ETL.

Outra preocupação durante esta fase é na interpretação e transformação dos dados, pois estes são provenientes de uma ou mais fontes e podem apresentar variações no formato de codificação e normalização dos dados, como exemplo, a identificação do sexo de um cliente, que pode estar identificado no banco de dados com as letras: “M” ou “F”, para masculino e feminino respectivamente, e já em outro banco de dados estes valores podem estar representados através do literal completo, através de números ou qualquer outra codificação projetada pelo analista de sistema responsável pelo projeto. Estes múltiplos formatos de origem devem ser transformados para o padrão a ser utilizado no banco de dados de destino (RIBEIRO, 2010).

Carga: O processo de carga deverá gravar os dados extraídos, tratados e transformados nas etapas anteriores, no banco de dados de destino ou até mesmo em múltiplos bancos. Dependendo da necessidade do processo montado, a fase de carga poderá ser realizada uma única vez ou de forma periódica para atualização de dados, esta última opção, sendo utilizada comumente em carga de dados em data warehouse (RIBEIRO, 2010).

A representação dos requisitos formais e especificações de processos de ETL em um formato textual abrangente é útil para facilitar a comunicação entre as partes envolvidas e o processo global de concepção, implementação, manutenção e documentação. O desenho de processos de ETL é um meio de traduzir projetos ETL conceituais em linguagem natural (SIMITSIS; SKOUTAS; CASTELLANOS, 2009).

2.4.9 Arquitetura Data Warehouse

Data Warehouses (DW) são bancos de dados dedicados à integração e armazenamento de grandes volumes de dados para apoiar os processos de decisão das organizações. DW armazenam dados no nível de granularidade mais fina e para organizar os dados de uma forma que facilita a análise e integração

O ambiente completo de um DW possui quatro componentes distintos à serem considerados na estrutura de um DW: os sistemas de origem ou fontes de informação, a área de preparação de dados, a área de apresentação de dados e a ferramentas de acesso a dados. É fundamental entender a importância estratégica de cada componente e como manuseá-los efetivamente. Uma das maiores ameaças ao sucesso de um DW é a confusão de papéis e funções de cada componente (BOULIL, 2014).

Os sistemas de origem são os sistemas operacionais de registro que capturam as transações de negócio. Os sistemas de origem devem ser pensados fora do data warehouse porque, presumivelmente, temos pouco ou nenhum controle sobre o conteúdo e o formato dos dados nestes sistemas legados operacionais. As principais prioridades dos sistemas de origem estão processando o desempenho e a disponibilidade (KIMBALL e ROSS, 2002).

A área de preparação de dados do data warehouse é tanto uma área de armazenamento e um conjunto de processos comumente referido como extrato de transformação-carregamento (ETL). A área de preparação é a conexão entre os sistemas e a fonte operacionais a área de apresentação de dados. Uma vez que os dados são extraídos para a área de teste, há potencial numerosas transformações, como a limpeza dos dados

combinando dados de várias fontes, eliminação de dados duplicados (KIMBALL e ROSS, 2002).

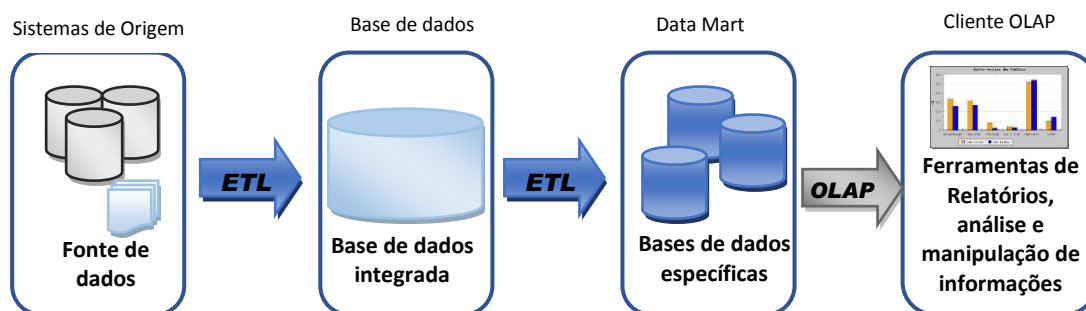
A área de apresentação de dados é onde os dados são organizados, armazenados e disponibilizados para consulta direta pelos usuários, execução de relatórios, e outras aplicações analíticas (KIMBALL e ROSS, 2002).

Normalmente referem-se a área de apresentação dos dados como uma série de *data marts* (DM) integrados. Um *data mart* é uma “fatia de torta” geral da área de apresentação. Em sua forma mais simplista, um *data mart* apresenta os dados de um único processo de negócio. Esses processos de negócios ultrapassam as fronteiras das funções organizacionais.

Recentemente, Boulil *et. al* (2014) relatam que alguns estudos têm mostrado a facilidade e poder de usar Data Warehouse e On-Line Analytical Processing (OLAP) tecnologias para armazenar e analisar dados. Ferramentas OLAP permitem uma exploração interativa de dados DW em diferentes níveis de detalhe, seguindo uma abordagem multidimensional. Com estas ferramentas é possível construir estruturas de dados multidimensionais com diferentes granularidades. As dimensões são organizadas em hierarquias de níveis de agregação para permitir a visualização de indicadores de análise em diferentes granularidades.

Na figura 14, apresenta um modelo proposto por Boulil *et. al* (2014) para a arquitetura global, de um DW. Neste modelo, o ETL é quem integra informações dos sistemas de origem com as bases de dados no DW. O serviço OLAP calcula os cubos de dados a partir dos dados de DW e o cliente OLAP exibe as informações do cubo de dados usando tabelas e diferentes tipos de diagramas estatísticos como gráficos de pizza, histogramas e os relatórios em diferentes formatos de exportação. Ferramentas OLAP permitem aos usuários finais, explorar poderosos métodos de análise que permitem mudanças dinâmicas da perspectiva de análise e da granularidade de dados, por meio de interfaces simples e fáceis de usar.

Figura 14 - Arquitetura global de um Data Warehouse



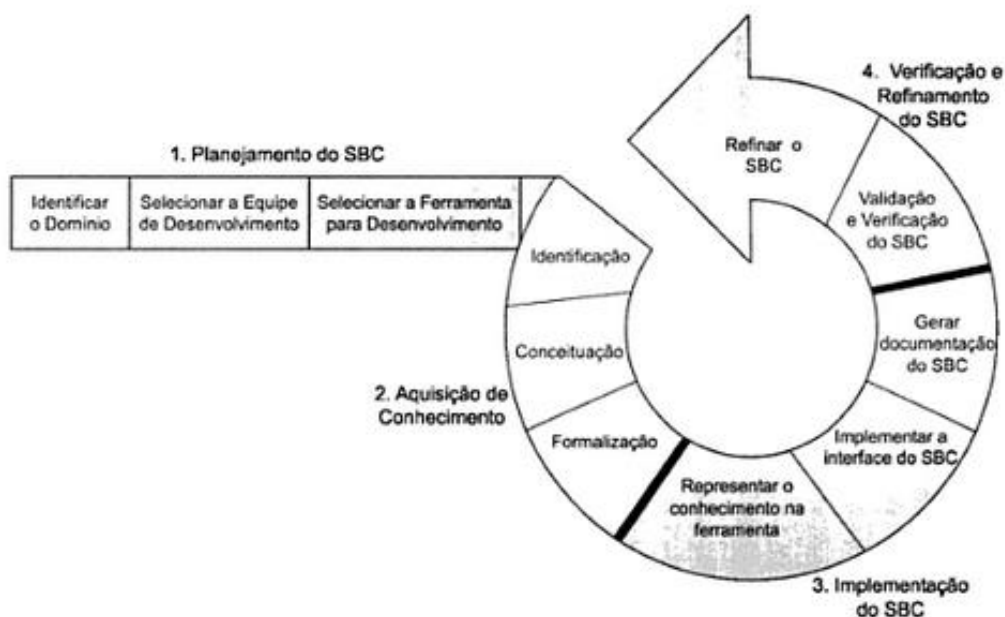
Fonte: Adaptado de Boulil *et. al.*, 2014.

As ferramentas de Data Warehouse e Data Mart são técnicas que fazem parte das etapas da descoberta de conhecimento em banco de dados. Elas são capazes de revelar, o conhecimento que está implícito em grandes quantidades de informações armazenadas nos bancos de dados de uma organização. Essas técnicas podem fazer uma análise antecipada dos eventos, possibilitando prever tendências e comportamentos futuros, permitindo aos gestores a tomada de decisões baseada em fatos e não em suposições (CAURIO, 2010).

Para uma boa tomada de decisão, a qualidade de processamento e de análise correta das informações geradas pelas bases de dados das organizações são fundamentais. O de indicadores de desempenho operacional e estratégico utilizados na gestão organizacional depende da disponibilidade dessas tecnologias (CAURIO, 2010).

2.4.10 Etapas do Processo de Desenvolvimento de um SBC

O processo de desenvolvimento de um SBC, de acordo com Rezende (2003), está dividido em quatro principais fases, conforme mostra a figura 15. A fase 1 é realizada apenas uma vez, enquanto que as fases 2, 3, 4 compõem uma etapa contínua de melhoria do sistema.



Fonte: Rezende, 2003.

Fase 1 – Planejamento do SBC: descreve o domínio de conhecimento, termos-chaves e referências. Também identifica um resumo simplificado dos conceitos relacionados ao domínio de conhecimento. Nessa fase, é realizada a análise funcional, responsável por identificar módulos, entradas e saídas necessários. Ainda nesta fase, são selecionadas a equipe de desenvolvimento do SBC e a ferramenta a ser utilizada no desenvolvimento do sistema. Compreende também a especificação da linguagem a ser usada na representação do conhecimento do domínio.

Fase 2 – Aquisição do Conhecimento: Esta fase tem como objetivo adquirir os conhecimentos que serão armazenados na Base de Conhecimento, ou seja, é a fase de execução do planejamento realizado na fase anterior. Esta fase refere-se à identificação, conceitualização e formalização do conhecimento.

Fase 3 – Implementação do SBC: Nesta fase, o conhecimento adquirido deve ser implementado. Para isso, utiliza-se a estrutura de Representação do Conhecimento selecionada na Fase 1 deste processo. Ainda nesta fase é realizada a codificação do sistema por meio de linguagens ou ferramentas adequadas. Compreende também a documentação do sistema, geração de manuais e implementação da interface.

Fase 4 – Validação e Refinamento do SBC: Esta fase envolve a validação e verificação do sistema e é considerada um processo contínuo, pois é necessário assegurar que o sistema funcione corretamente, forneça resultados verdadeiros (corretos) e satisfaça os requisitos do cliente. Além disso, realiza eventuais mudanças nos requisitos do sistema, enfatizando a aquisição contínua do conhecimento e a avaliação do sistema em andamento (REZENDE, 2003),

Um dos estágios mais complexos no desenvolvimento de um Sistema Baseado em Conhecimento é a Aquisição de Conhecimento, que visa identificar e modelar o conhecimento que será utilizado na solução genérica de problemas em um domínio de aplicação (GOLDSCHMIDT, 2010).

2.5 Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta o estudo referente aos temas envolvidos no desenvolvimento do trabalho. Uma das abordagens é aplicação de ferramentas para o controle de processo e estudo da variabilidade. Outro tema de grande importância para o trabalho são os sistemas especialistas com aplicação das regras de produção e árvore de decisão. A seguir

apresentam-se alguns trabalhos científicos realizados nas áreas de conhecimento citadas para apoiar este trabalho com relação a identificação das contribuições científicas destes trabalhos relacionados que já possuem reconhecimento da comunidade científica.

2.5.1 Aplicação da metodologia Lean Six Sigma na redução da variabilidade do processo de envase em uma indústria de óleo vegetal (VIEIRA, ROSA e MORALES, 2010)

O objetivo principal deste estudo foi a redução da variabilidade das dosagens de óleo vegetal em garrafa pet, com a justificativa de assegurar maior uniformidade no processo, garantir a rentabilidade, reduzir perdas por autuações do órgão regulamentador e assegurar um produto de melhor qualidade.

A metodologia utilizada foi Lean Six Sigma, com aplicação do método DMAIC. Para identificar e estudar as principais causas da alta variabilidade no processo as ferramentas usadas foram cartas de controle, estudo de capacidade de processo (CPK), *brainstorm* e diagrama de Ishikawa.

Através da condução das etapas do DMAIC e utilização das ferramentas as principais causas de variação foram identificadas, classificadas em subgrupos e ações de melhoria foram determinadas. Após a implementação das ações a variabilidade foi reduzida em 34%.

2.5.2 Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da Variabilidade (RUTHES, CERETTA e SONZA, 2006)

Este artigo teve como propósito comparar um processo de fabricação do refrigerante com a produção em diferentes níveis de variação de processo utilizando a metodologia Seis Sigma. Para isso, foi realizado um estudo de diagnóstico através das cartas de controle de processo, uma simulação a nível seis sigma e a comparação para identificar os benefícios projetados caso a empresa adotasse a filosofia seis sigma.

Através do estudo foi demonstrado que os processos estudados estavam com uma eficiência de 92,5% e um nível de sigma a 2,95. Esse valor, convertido em unidades defeituosas representava 3.068.432. ao mês.

A simulação que considerou a qualificação do processo a um nível seis sigma, ou seja, um processo com 99,9% de eficiência, teria apenas 140 peças defeituosas ao mês.

Uma das contribuições deste trabalho, a demonstração de que a partir da metodologia seis sigma foi possível medir o nível de variabilidade do processo e estimar os benefícios em comparação a o mesmo processo em base seis sigma.

Este trabalho deixou uma possibilidade de ampliação de estudo, no âmbito financeiro. Se juntamente das análises do nível de defeito fosse realizada uma análise do custo de cada peça defeituosa e, também, a estimativa de investimento para qualificar o processo a um nível seis sigma, permitirá as empresas projetar qual será o tempo de retorno sobre o investimento do projeto seis sigma.

2.5.3 Gráficos de controle multivariados: um estudo de caso no setor metalomecânico

O objetivo deste trabalho foi aplicar análises do processo de usinagem utilizando o gráfico de controle T² de Hotelling e comparar os resultados com os gráficos de controle multivariados de soma cumulativa multivariada (MCUSUM) e média móvel exponencialmente ponderada (MEWMA).

Neste estudo de caso foi realizado um comparativo simultaneamente o monitoramento de 3 variáveis de um processo de usinagem.

Como resultados foi detectado que tanto o gráfico de controle T² Hotelling quanto o MCUSUM conseguiram captar desvios do processo, mostrando-se eficientes na análise realizada. Porém, o gráfico MCUSUM sinalizou antes que o T² Hotelling que o processo estava fora de controle. Já o gráfico de controle MEWMA não apresentou sinais que o processo estava fora de controle estatístico. Assim recomendou-se que a empresa adote o gráfico MCUSUM para auxiliar no monitoramento do processo.

A seguir o quadro 7, mostra um comparativo entre os 3 estudos de variabilidade de processo mencionados acima.

Quadro 7 – Comparativo entre estudos de Controle de Processo e Variabilidade

| Autores | Instituição | Título | Técnicas / Metodologias | Resultados |
|------------------------------|--|--|---|---|
| VIEIRA, ROSA, MORALES (2010) | COCAMAR UEM (Universidade Estadual de Maringá) | Aplicação da metodologia Lean Six Sigma na redução da variabilidade do processo de envase em uma indústria de óleo vegetal | Lean Six Sigma DMAIC Controle Estatístico | Redução significativa de 34% na variabilidade |

| | | | | |
|---|---------------|---|--|--|
| RUTHES, CERETTA, SONZA (2006) | UTFPR UFMS | Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da Variabilidade | Seis Sigma Controle Estatístico de Processo | Nível sigma = 2,95 Eficiência = 92,5% U.Def: 3.068.432 Nível sigma = 6 Eficiência = 99.9% U.Def:= 140 |
| HENNING, KONRATH, WALTER e SAMOHYL (2012) | UDESC UFSC | Gráficos de controle multivariados: um estudo de caso no setor metalomecânico | Análise Multivariada - MCUSUM - Gráficos T2 - MEWMA | 1º MCUSUM 2º T2 Hotelling NEWMA (reprovado) |

Os estudos ofereceram algumas alternativas de técnicas para diagnóstico e monitoramento da variabilidade dos processos. Porém não foram apresentadas considerações referente a forma de investigação das causas-raiz das principais causas de variação indentificadas nos estudo.

2.5.4 Técnicas de eliciação de conhecimento tácito - um estudo de caso aplicado a uma Empresa do Ramo Metalúrgico (ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA, 2014)

O objetivo do estudo foi usar técnicas de eliciação de conhecimento tácito, torná-lo em conhecimento explícito e representá-lo em forma de algoritmos simbólicos, com vistas à modelagem de um sistema especialista (sistema de apoio à decisão) para auxiliar na investigação de causas de defeitos durante o processo produtivo de embalagens metálicas. A metodologia científica para estruturação da sequência de atividades para a eliciação do conhecimento tácito junto ao processo produtivo analisado baseou-se na técnica de sistemografia.

O Estudo fez a proposição de uma modelagem e desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimento ou sistema especialista baseado em regras de produção, que auxiliou na investigação de causas de defeitos durante o processo produtivo.

Através da metodologia proposta, foram elaboradas 76 regras de produção para o processo de soldagem da embalagem e 65 regras de produção para o processo de aplicação de vedante, totalizando 141 regras de produção. Estas regras de produção configuram em uma base de conhecimento explícito, o que antes não existia na organização. Outra constatação do trabalho foi a percepção da mudança no comportamento dos mecânicos em relação aos inspetores de qualidade, uma vez que para responder as perguntas do Sistema Especialista desenvolvido para o chão de fábrica, notou-se que ambos os profissionais estavam atuando em parceria.

2.5.5 Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente (MEIRA, RODRIGUES e MORAES, 2009)

O objetivo deste trabalho foi desenvolver árvores de decisão como modelos de alerta da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras de café (*Coffea arabica* L.) com alta carga pendente de frutos a partir de dados meteorológicos e do espaçamento entre plantas.

O processo de amostragem, realizado mensalmente, coletou dados meteorológicos, como temperatura do ar (média, máxima e mínima), precipitação pluvial e umidade relativa do ar. As árvores de decisão foram geradas usando a ferramenta “Decision Tree” do SAS Enterprise Miner e depois foram visualizadas e analisadas usando a ferramenta SAS Enterprise Miner Tree Desktop Application. O algoritmo de indução construiu uma árvore de decisão de forma recursiva, de cima para baixo. Os resultados obtidos neste trabalho foi uma acurácia de mais de 80% na previsão de contaminação. Outros estudos não haviam ultrapassado 73%.

2.5.6 Prevenção de violações de KPI em Processos de Negócios com base em árvore de decisão por aprendizagem com adaptação proativa em tempo real

Neste trabalho, foi proposto uma abordagem de monitoramento, previsão e adaptação integrado para prevenir violações de KPI de processos de negócios. Além disso, com base em medições de KPI de dados históricos do processo foi utilizado a aprendizagem através da árvore de decisão para a construção de modelos de classificação que foram então utilizados para prever o valor KPI de uma instância enquanto ele ainda está em execução. A medida que ocorresse uma previsão da violação do KPI, as ações de adaptação e estratégias conhecidas puderam ser implementadas a fim de impedir a violação.

A principal ferramenta para a base no monitoramento de dados históricos de processo, foi o algoritmo de árvore de decisão (Dependency Tree - J48), a fim de aprender as dependências entre o KPI e os que influenciam métricas de nível inferior. A árvore de dependência KPI resultante é utilizada para a previsão KPI.

O protótipo desenvolvido uso software Apache como o mecanismo de execução de processos de negócios que executa processos. O monitoramento é realizado com base na *framework* processamento de eventos complexos (CEP), que calcula as métricas com base em eventos que são publicados pelo motor de processo. O modelo de classificação foi

baseada no software WEKA que forneceu a árvore de decisão. Para a implementação dos pontos de verificação e adaptação, foi utilizado um quadro que se estende o motor Apache.

A avaliação experimental do trabalho mostrou que as violações de KPI foram reduzidos e que a eficácia, em particular, depende da conformidade das definições de efeito à adaptação de requisitos predicados e as configurações relacionadas nas restrições e preferências modelo.

A seguir o quadro 8, mostra um comparativo entre os 3 estudos que abordaram os metodos e ferramentas de aquisição de conhecimento e aplicação dos sistemas especialistas.

Quadro 8 – Comparativo entre estudos sobre aquisição de conhecimento e sistemas especialistas.

| Autores | Instituição | Título | Técnica | Resultados |
|----------------------------------|---------------------------------|--|--|---|
| ROSÁRIO, KIPPER e FROZZA (2014) | UNISC | Técnicas de elicitación de conhecimento tácito - um estudo de caso aplicado a uma Empresa do Ramo Metalúrgico | - Sistemografia - Aquisição de conhecimento - Regras de Produção | - 141 regras de produção - Padronização e formalização |
| MEIRA, RODRIGUES e MORAES (2009) | EMBRAPA UNICAMP IAC | Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente | - Árvores de decisão - Regras de Produção | - Acurácia de mais de 80% na previsão de contaminação |
| WETZSTEIN, et. al. (2012) | Universidade de Stuttgart (ALE) | Prevenção de violações de KPI em Processos de Negócios com base em árvore de decisão por aprendizagem com adaptação proativa em tempo real | - Árvores de decisão - Modelos de Classificação - Classificação por Aprendizagem | - Alta precisão nos modelos de classificação. - Nas avaliações, as “infrações” de KPI foram reduzidos. |

Todos os trabalhos apresentam diferentes alternativas para aquisição do conhecimento, construção das árvores de decisão, regras de decisão e modelos de classificação e serviram de modelo para o este trabalho, principalmente na construção do modelo de mapeamento de conhecimento e construção da base de conhecimento.

2.6 Considerações

Os conceitos teóricos abordados neste capítulo foram relevantes para construir a metodologia de implementação e fundamentar o estudo da variabilidade de processo e definição do índice de estabilidade. A metodologia Seis Sigmas e os conceitos de Controle Estatístico de Processo e o Índice de Capacidade de Processo CPK contribuíram para os resultados atingidos.

O uso de conceitos e recursos de TI, como ETL e Arquitetura DW, assim como os Sistemas Especialistas, foram importantes para a definição das fases de implementação e construção do sistema baseado em conhecimento.

Uma das dificuldades encontradas foi a falta de trabalhos recentes relacionados ao monitoramento de indicadores-chaves com o uso de base de conhecimento e sistemas de apoio à decisão no ramo do tabaco. Devido a isso, foi necessário recorrer a estudos mais antigos e usar o conhecimento presente na empresa para fundamentar os critérios de validação.

3. METODOLOGIA

Segundo Santos (2000), uma pesquisa científica pode ser caracterizada sob três aspectos: objetivos da pesquisa, procedimentos de coleta e fontes de informação.

Em relação aos objetivos, o presente trabalho se caracteriza por uma pesquisa exploratória e descritiva, pois além da realização de um levantamento bibliográfico para definir metodologias já existentes, ainda será realizado um levantamento de informações baseadas em fatos e problemas reais em um processo de manufatura.

Quanto aos procedimentos de coleta, o estudo se enquadra como uma pesquisa-ação quantitativa e qualitativa. De acordo com Santos (2000), a pesquisa-ação acontece quando existe intervenção da pesquisa na realidade do objeto alvo de análise. Já a quantitativa acontece quando na pesquisa é importante a coleta e análise quantificada dos dados, e cuja quantificação aparece automaticamente como resultado tangível. Qualitativa é aquela pesquisa cujos dados só fazem sentido através de um tratamento lógico feito por um pesquisador. Por último, as fontes de dados serão baseadas em observação em campo.

Portanto, esta dissertação se caracteriza por uma pesquisa exploratória e descritiva, com procedimento de pesquisa-ação quantitativa e qualitativa, com observação direta em campo.

3.1 Pesquisa-ação

Segundo Coughlan e Coughlan (2002), a pesquisa-ação é um termo genérico, que cobre muitas formas de pesquisa orientada para a ação e indica uma diversidade na teoria e na prática entre os pesquisadores usuários deste método, fornecendo um amplo leque de opções para os potenciais pesquisadores o que pode ser apropriado para suas questões de pesquisa.

A pesquisa-ação é um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (MIGUEL, 2009).

A pesquisa pode ser entendida como a produção de conhecimento e ação como a modificação intencional de uma dada realidade. A ação implica em consequências que modificam uma dada realidade independente da ação ser de sucesso ou não em termos da

intenção de modificar a realidade em questão em uma dada direção (TURRIONE, MELLO, 2012).

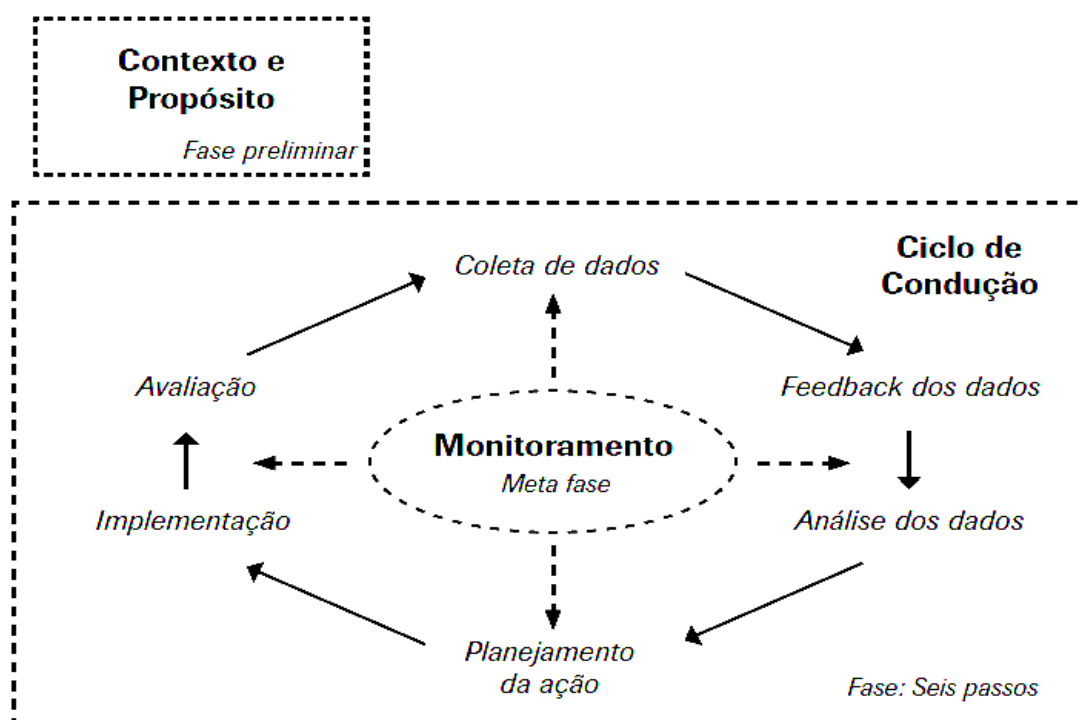
Bryman (1989) considera que a pesquisa-ação é uma abordagem à pesquisa social aplicada na qual o pesquisador e o cliente colaboram no desenvolvimento de um diagnóstico e para a solução de um problema, por meio da qual as descobertas resultantes irão contribuir para a base de conhecimento em um domínio empírico particular (TURRIONE, MELLO, 2012).

Segundo MIGUEL (2009), o planejamento da pesquisa-ação compreende três fases:

- Primeira Fase - fase preliminar para entender o contexto e o propósito;
- Segunda Fase – Ciclo de Condução pelos Seis Passos: para coletar, realimentar e analisar dados, e para planejar, implementar e avaliar as ações;
- Terceira Fase – ou Metáfase - Monitoramento: esta fase compreende uma verificação de cada um dos seis passos anteriores, no sentido de identificar qual é o aprendizado gerado na condução da pesquisa-ação. Esse monitoramento pode estar presente de diferentes maneiras, conforme cada passo do ciclo de condução.

A figura 16 mostra ciclos da pesquisa-ação e suas fases:

Figura 16 - Ciclo da pesquisa-ação



Fonte: Revista Produção, jan./abr. 2009, – adaptada de Coughlan, Coughlan, 2002

3.2 Planejamento da pesquisa

Na primeira fase da pesquisa-ação, ou fase preliminar, é abordado o contexto e propósito. Segundo Thiollent (2005) esta é a chamada fase exploratória, que consiste em descobrir o campo de pesquisa, os interessados e suas expectativas e estabelecer um primeiro levantamento (ou diagnóstico) da situação, dos problemas prioritários e de eventuais ações. Após o levantamento de todas as informações iniciais, os pesquisadores e os participantes estabelecem os principais objetivos da pesquisa. Os objetivos dizem respeito aos problemas considerados como prioritários, ao campo de observação, aos atores e ao tipo de ação que estarão focalizados no processo de investigação (TURRIONE, MELLO, 2012).

No caso da pesquisa-ação, os problemas colocados são inicialmente de ordem prática. Trata-se de procurar soluções para se chegar a alcançar um objetivo ou realizar uma possível transformação dentro da situação observada. Na sua formulação, um problema desta natureza é colocado da seguinte forma (TURRIONE, MELLO, 2012):

- a) Análise e delimitação da situação real.
- b) Delineamento da situação final, em função de critérios de desejabilidade e de factibilidade.
- c) Identificação de todos os problemas a serem resolvidos para permitir a passagem de (a) para (b).
- d) Planejamento das ações correspondentes.
- e) Execução e avaliação das ações.

Uma vez definido que a problemática desta pesquisa é explorar a aplicação dos métodos de mapeamento, análise e melhoria dos processos combinados ao uso de um sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento para propor uma ferramenta capaz de medir e manter a estabilidade dos indicadores dos processos, este estudo utilizou os princípios do BMP (BPM CBOK), MAMP (SCARTEZINI, 2009) e da metodologia Novo-Olhar (UNISC, 2007) em sua fase inicial de análise e diagnóstico.

De acordo com Santos (2000), a pesquisa exploratória quase sempre busca a prospecção de materiais que possam informar ao pesquisador o real estágio que se encontram as informações já disponíveis a respeito do assunto, ou até mesmo, revelar novas fontes de informação. Por isso a pesquisa exploratória quase sempre é feita como levantamento bibliográfico, entrevistas com profissionais da área e buscas na internet.

De acordo com Turrione e Mello (2012) a segunda fase é a fase dos seis passos principais. A seguir, define-se o que são e como serão aplicados esses passos:

a) Coleta de dados: Segundo Coughlan e Coughlan (2002), os dados são coletados de diferentes formas, dependendo do contexto, por grupos de observação e por pesquisadores. Os dados podem ser coletados através, por exemplo, de estatística operacional, informes financeiros e relatórios de marketing ou ainda, através de observação, discussões e entrevistas.

Segundo Thiollent (2003), as principais técnicas utilizadas são a entrevista coletiva nos locais de trabalho e a entrevista individual aplicada de modo aprofundado. Ao lado dessas técnicas também são utilizados questionários convencionais que são aplicáveis em maior escala.

Na fase de coleta de dados foram realizadas entrevistas e análise documental das informações coletadas na pesquisa de campo, informação de sistemas e planilhas. Segundo Santos (2000), a pesquisa de campo é a que recolhe os dados *in-natura*, como percebidos pelo pesquisador. A pesquisa de campo também é feita por observação direta.

O referencial teórico usado para a adaptação do formulário de mapeamento de processo (APÊNDICE I) foram os métodos BMP (BPM CBOK), MAMP (SCARTEZINI, 2009), Metodologia Novo Olhar (UNISC, 2007), Gestão do Conhecimento e método 5W1H (SHAHNAWAZ, *et al*, 2009). O acesso às referências teóricas nasceu de pesquisas às bases de periódicos CAPES, WEB OF SCIENCE e repositório de documentos da Universidade de Santa Cruz do Sul.

No diagnóstico da situação atual para identificação dos processos, indicadores chaves e critérios de monitoramento e controle, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com coordenadores, analistas e operadores dos processos de Fabricação de Bobinas Perfuradas, Fabricação de Filtros, Fabricação de Cigarro e da área de Auditoria de Materiais. A entrevista permite o acesso aos dados de difícil obtenção por meio da observação direta, tais como sentimentos, pensamentos e intenções. O propósito da entrevista é fazer com que o entrevistador se coloque dentro da perspectiva do entrevistado (NOGUEIRA-MARTINS, BOGUS, 2004). As entrevistas foram individuais nos locais de trabalho usando o formulário de mapeamento de processo (APÊNDICES I e II) Além das informações estruturadas do formulário, foram registrados todos os comentários e observações adicionais no formulário, na seção de Informações Adicionais.

b) Realimentação dos dados: O pesquisador recolhe os dados coletados e o realimenta para o sistema cliente com uma conotação para torná-lo disponível para análise. Algumas vezes o pesquisador coleta os dados e faz o relatório; outras vezes, a própria organização coleta os dados e o pesquisador facilita ou participa nas reuniões de realimentação junto à organização.

c) Análise dos dados: O aspecto crítico da análise de dados na pesquisa-ação é que ela é colaborativa, tanto o pesquisador quanto os membros do sistema cliente (por exemplo, o time de gerentes ou um grupo de clientes) fazem-na juntos. Esta abordagem colaborativa é baseada na suposição de que os clientes conhecem melhor a sua empresa, sabem o que irá funcionar e, principalmente, serão aqueles que irão implementar e seguir as ações a serem implementadas. Portanto, seu envolvimento na análise é crucial. Os critérios e ferramentas para a análise precisam ser discutidos e, em última instância, necessitam ser diretamente ligados ao propósito da pesquisa e no âmago das intervenções.

Através da aplicação de métodos de análise de processo e identificação de indicadores, os dados coletados foram analisados em conjunto com os especialistas do negócio. A partir desta análise conjunta, foi determinada a relação dos itens de verificação dos processos em relação aos indicadores de controle. Pode-se, então, intensificar o foco do estudo nas oportunidades de melhoria e nas causas principais de variação e problemas relacionados a cada indicador chave.

Uma vez realizada a exploração dos dados, foi criada uma base de dados com as informações relacionadas dos indicadores para aplicar as técnicas de estatísticas de controle de processo. Juntamente com os especialistas do negócio, os resultados foram avaliados e as regras de negócio puderam ser estabelecidas.

d) Planejamento da ação: Consideram que após as análises, mais adiante a ação é planejada. O pesquisador e os membros da organização decidem quem faz o que e em um prazo adequado. Algumas questões chaves surgem: O que precisa mudar? Em que partes da organização? Que tipos de mudanças são necessários? Que tipo de apoio é necessário? Como é o compromisso a ser formado? Qual é a resistência a ser gerenciada? Essas questões são críticas e necessitam ser respondidas como parte do plano de mudança.

O principal objetivo desta fase foi identificar um modelo para medir a estabilidade dos processos. Usando o modelo estatístico para medir a dispersão dos dados coletados na empresa, foi proposto um índice de comparação entre as variáveis de processo a partir do

coeficiente de variação. O resultado desta avaliação resultou na definição do modelo para monitoramento, seus critérios e frequência de verificação.

Nesta etapa, foi identificada uma unidade de fabricação onde foi aplicada a validação dos critérios a serem utilizados. Em conjunto com especialistas dos processos, foram determinadas as máquinas e o período das avaliações.

e) Implementação: O cliente implementa a ação planejada. Segundo Thiollent (2005), a ação corresponde ao que precisa ser feito (ou transformado) para realizar a solução de um determinado problema. Para Coughlan e Coughlan (2002), esta tarefa envolve realizar as mudanças desejadas e seguir os planos de forma colaborativa com relevantes membros-chaves da organização.

A fase de implementação se destinou para a construção da base do sistema especialista de apoio à decisão a partir do modelo de monitoramento e conceitos de estabilidade de processo. A partir das regras de negócios, o protótipo do sistema especialista foi desenvolvido utilizando linguagem Visual Basic e SQL, utilizando base de dados Microsoft ACCESS e EXCEL. Também são desenvolvidos módulos para interfaces ETL com base de dados EXCEL e SQL Server. Após o desenvolvimento das bases do sistema, foi realizada a configuração do relatório de monitoramento.

f) Avaliação: Coughlan e Coughlan (2002) consideram que a avaliação envolve uma reflexão sobre os resultados da ação, tanto intencionais quanto não intencionais, uma revisão do processo para que o próximo ciclo de planejamento e ação possa beneficiar-se do ciclo completado. A avaliação é a chave para o aprendizado. Sem ela as ações são implementadas ao acaso, independente de sucesso ou fracasso, e os erros se proliferam, gerando um aumento da ineficácia e da frustração.

O modelo de índice de estabilidade, o relatório de monitoramento e as regras de produção aplicados na empresa utilizaram dados históricos reais de um período pré-definido, onde as variáveis e indicadores e suas relações foram avaliadas. Este foi um importante critério para a validação do modelo onde a percepção dos especialistas do negócio foi fundamental para a interpretação e validação dos resultados.

Após a validação, a proposta de monitoramento foi colocada em prática em uma unidade de produção e em seus processos relacionados. A etapa de validação foi realizada durante o período de três semanas baseada na abordagem DMAIC e os resultados da

aplicação da ferramenta puderam medidos e analisados a as ações de melhoria implementadas e controladas.

A terceira fase da pesquisa-ação é a fase de Monitoramento ou Metáfase. O monitoramento é um meta-passo que ocorre em todos os ciclos. Cada ciclo de pesquisa-ação conduz a um novo ciclo, e então planejamento, implementação e avaliação contínuos acontecem ao longo do tempo.

Portanto, utilizando a metodologia de pesquisa-ação como referência, foram definidas as fases da pesquisa. A seguir, o quadro 9 apresenta as fases da pesquisa, além das técnicas, ferramentas e resultados em cada etapa.

Quadro 9 - Fases da Pesquisa

| Passos da pesquisa-ação | Fases da Pesquisa | | |
|-------------------------|--|---|--|
| | (o que) Etapas | (como) Ferramentas/Técnicas | (por que) Resultado |
| Contexto e Propósito | 1. Fundamentação teórica | -Pesquisa Bibliográfica | -Identificação das metodologias aplicáveis |
| 1. Coleta de Dados | 2. Diagnóstico da situação atual | -Entrevistas -Aplicação de métodos de análise de processo - Fluxograma de processo - Coleta de dados | -Mapeamento dos Processos -Identificar clientes de cada processo -Identificar indicadores -Levantamento de Problemas |
| 2. Feedback | 3. Análise dos processos e indicadores | - Método de análise e melhoria de processo - <i>Feedback</i> e análise dos dados com especialistas dos processos - Aquisição de conhecimento (Rede semântica) | -Determinar relacionamento dos indicadores e processos -Identificar causas de variação -Determinar critérios de relação dos indicadores - Representação do conhecimento -Definir regras de negócio |
| 3. Análise dos Dados | 4. Definição do indicador de estabilidade de processo | - Utilizar referências de estatística aplicada ao controle de processo como Seis sigmas, índice CPK e Gráficos de controle. | -Identificar um modelo ou padrão para medir estabilidade de processo - Determinar os objetivos e critérios de classificação |
| 4. Planejamento da Ação | 5. Desenvolvimento e Implementação | - Usar padrões de arquitetura de Data Warehouse integrado com modelo de Sistemas Especialistas - Programação em Visual Basic Aplicado ao Excel, Access e MS SQL. | - Extração de dados - Criação da base de dados e base de conhecimento - Desenvolvimento SAD - Desenvolvimento dos relatórios - Teste da ferramenta |
| 5. Implementação | 6. Avaliação e Validação | - Teste e utilização - Apresentação dos resultados - <i>Feedback</i> e análise dos resultados com especialistas dos processos - DMAIC | -Realização da avaliação -Validação do modelo de monitoramento da estabilidade -Validação dos resultados - Levantamento de oportunidades de melhoria -Determinação de eficácia das ações de melhoria |
| 6. Avaliação | | | |

Com as fases da pesquisa definidas e a prática realizada, o próximo capítulo apresenta os resultados de cada etapa e descreve como foram utilizadas as metodologias e conceitos teóricos. No final do capítulo, são apresentados os resultados atingidos pela proposta deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresenta-se a construção de uma sistemática para monitoramento de processos, abordando desde o mapeamento de processos para a identificação das variáveis críticas, análise dos indicadores, identificação das causas de variabilidade, definição das regras de produção, aplicação de um modelo de extração de dados, criação de bases de dados e por fim o desenvolvimento do sistema computacional.

4.1 Diagnóstico da situação atual

Os processos em estudo fazem parte da afiliada brasileira de uma grande multinacional do ramo do tabaco. Essa organização está presente em todos os continentes e em 2014, a afiliada com instalações no Brasil superou o número de 2000 funcionários. Uma das características marcantes da afiliada brasileira é uma planta de manufatura que possui todos os processos e sub-processos de fabricação que envolve a produção de cigarro e está localizada no mesmo parque fabril, o que permite à afiliada ter um potencial de exportador tanto de cigarros, como de produtos semiacabados.

Como já mencionado anteriormente, o foco desta pesquisa foram os processos de fabricação de cigarro, fabricação de filtro, perfuração de ponteira e armazém de matéria-prima.

O ponto de partida para a análise da situação atual foi a aplicação do método de mapeamento de processo e a proposta de Madison (2014) usando o modo de foco no cliente. Os dados do mapeamento de processo foram obtidos através de entrevistas com gestores e especialistas de processos de manufatura em uma indústria de fabricação de cigarro. O objetivo foi realizar o diagnóstico e aplicação de métodos de análise e mapeamento de processo para identificar o estado atual do indicador de processo chamado “Percentual de Ventilação”, que é um dos indicadores de controle de processo da fabricação de cigarros.

Nesta pesquisa, os formulários para mapeamento de processo foram elaborados visando explorar a experiência de gestores e especialistas que atuam em um processo produtivo. Na aplicação dos formulários, buscou-se perguntas estruturadas que

direcionassem a coleta de dados para identificar as etapas e as atividades dos processos, seus pontos de controles, indicadores e resultados atuais.

A base para as definições da estrutura do formulário foi a técnica 5W1H (*who, when, where, what, why e how*) que é uma ferramenta que serve como base para organizar a estruturar a compilação das informações (BAE, HA e PARK, 2005).

O quadro 10 mostra como o 5W1H constituiu a estrutura para a definição dos elementos e atributos que serviram de base para os formulários de mapeamento de processo e indicadores.

Quadro 10 - Critérios entre elementos 5W1H e Itens do formulário de mapeamento

| Elemento | Item Formulário | Atributos |
|----------------------|--------------------------------------|---|
| Where (onde) | Processo, Identificação da Atividade | Descrição do Processo, Objetivo, Recursos, Entradas, Saídas, Fornecedores, Clientes |
| What (o que) | Item de Controle | Ponto de Controle, Tipo de Controle, Categoria |
| Who (quem) | Responsável | Área, Responsável pela atividade |
| How (como) | Método de controle | Medidas de desempenho e Indicadores |
| Why (porque) | Satisfação dos Clientes | Requisitos Clientes Internos e Externos, Impactos, Situação atual. |
| When (quando) | Frequência | Frequência de monitoramento |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Nas entrevistas foram utilizados dois formulários: um para mapeamento dos processos (APÊNDICE I) e outro para identificação dos indicadores chaves (APÊNDICE II). Cada formulário teve objetivos distintos. Com o formulário de mapeamento de processo buscou-se fundamentalmente identificar o processo-chave e processos fornecedores, definir a relação de cada um dos processos (fornecedores/atividades/clientes), identificar os pontos relevantes da elaboração das atividades que devem ser controlados, criar o fluxograma de processo e indicadores relacionados usando o padrão BPMN.

Já com o formulário de identificação dos indicadores chaves o objetivo foi listar os indicadores dos processos e usar a ferramenta 5W1H para identificar as características de cada indicador, identificar o método de medição feita em cada um deles, identificar o objetivo e as tolerâncias/limites estabelecidos, relacionar as necessidades e expectativas de seus clientes (requisitos) para cada indicador

Ao todo foram entrevistadas 7 pessoas em 4 processos, sendo 3 processos fornecedores. Em cada processo, as entrevistas duraram em média 1 hora e meia. Após concluir as coletas de dados, foi feita a compilação dos dados e construídos os fluxogramas de processos. Com fluxogramas desenhados, os dados e fluxos foram revisados com os entrevistados para obter a validação dos especialistas do negócio.

4.1.1 Mapeamento de processos

Como resultado das entrevistas e da aplicação dos formulários de mapeamento de processo foram construídos os fluxogramas de processo usando o modelo de notação técnica BPMN. Para criação dos fluxogramas de processos foi utilizado o *software* BIZAGE 2.6.0.4.

4.1.1.1 Processo de recebimento e auditoria de materiais

No processo de recebimento de materiais, ocorre atividade de Auditoria de Materiais. Todos os materiais são auditados para comparar se os parâmetros físicos de cada lote de material estão cumprindo com os valores exigidos nas especificações de produto e de identificação obrigatória. São realizadas amostragem e análises de inspeção de recebimento. Todos os lotes recebem um relatório de análise interno. As tolerâncias são definidas pela afiliada e são revisadas conforme necessidade de processo. Se os parâmetros físicos estiverem em acordo com os padrões estabelecidos, o lote é liberado. Se não estiverem dentro dos parâmetros de especificação, existem duas situações: caso atenda parcialmente aos requerimentos, o material pode ser aceito, mas é gerada uma reclamação ao fornecedor. Se o material não atende aos critérios mínimos, o lote do material é rejeitado e o fornecedor deve enviar o plano de ação de identificação de causa e correção em 15 dias.

Nas análises de laboratório, os recursos utilizados são equipamentos de análises físicas e gabaritos de comparação, como por exemplo, padrões de cores. Para registrar os dados das análises, são utilizados sistemas específicos para laboratório e planilhas Excel.

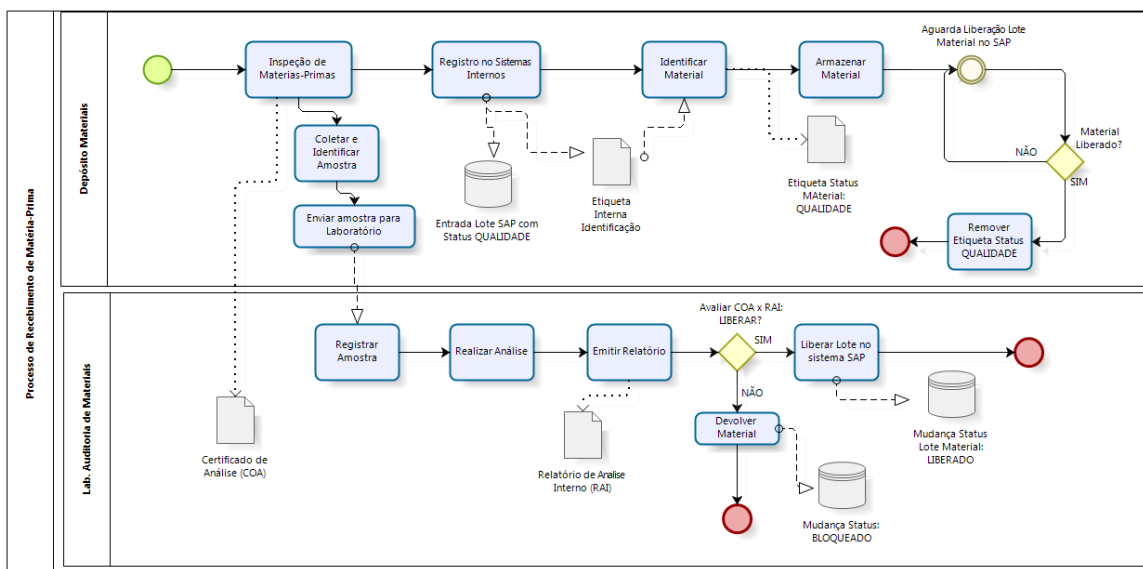
Para os procedimentos de recebimento físico e fiscal das matérias-primas, utiliza-se o sistema ERP SAP/R3. Através do sistema SAP/R3 são registrados os estoques dos materiais, *status*, transferências e consumos.

O processo de recebimento de material e auditoria de materiais tem como fornecedores os processos internos de produto semiacabado, além de todos os fornecedores externos de matérias-primas. Seus clientes diretos são todos os processos internos de fabricação e a área de planejamento de produção. Não existe medida de desempenho relacionada com as atividades internas do processo de recebimento de materiais, mas a percepção da área é que os clientes estão satisfeitos.

Com relação a indicadores, são gerados relatórios de análise de matéria-prima e um índice de avaliação de fornecedores. Este índice de fornecedores mede a qualidade dos fornecedores considerando a qualidade de produto e serviços de entrega, como cumprimento de quantidade e prazo. São registradas muitas reclamações e rejeições a fornecedores externos. A partir desses registros, são criados registros de não-conformidade, que são monitoramentos através de planos de ação que são registrados junto aos fornecedores. Também são realizadas visitas técnicas pelo fornecedor para apresentar o plano de ação, causa e ações corretivas. Também com a presença dos fornecedores são realizadas as requalificações dos materiais junto ao processo produtivo.

A figura 17 apresenta o fluxograma de atividades do processo de recebimento de materiais e auditoria de materiais.

Figura 17 – Fluxograma do processo de recebimento de matéria-prima



4.1.1.2 Processo de perfuração de ponteira

O processo de perfuração de ponteira consiste, basicamente, na perfuração de bobinas de papel ponteira através da aplicação de feixes de laser. Através da máquina de perfuração é possível configurar o formato, tamanho e quantidade de furos a ser aplicada nas bobinas de papel ponteira.

Uma das principais características deste processo é a constante troca de *setup* da máquina, pois para cada produto é necessário ajustar os parâmetros de acordo com as definições de especificação de produto. As informações de controle de produção são registradas em um diário de controle de produção: paradas de máquina e ocorrências de processo. A qualidade de produto é monitorada com base em planilhas de controle de Qualidade, onde são registrados os valores de média e desvio padrão dos testes de permeabilidade, expressos em Coresta. A Coresta é uma unidade de medida de permeabilidade, que mede o fluxo de ar que passa pelo papel ponteira e pelas zonas de perfuração. Esse parâmetro é medido em um equipamento específico para a análise das corestas para papeis e possuem controle de verificação diário com padrões certificados pelo fabricante dos equipamentos que possui certificação ISO 9001 e ISO 17025.

Os fornecedores do processo de perfuração de ponteira são processos gráficos internos, gráficas externas e o armazém de matéria-prima que fornecem bobinas de papel ponteira. Os clientes do processo de perfuração de ponteira são o processo interno de fabricação de cigarros e outras afiliadas do grupo.

Os indicadores com foco no desempenho são: o Percentual de Quebra, que mede o percentual de desperdício de materiais, e a Produtividade, que considera a produção realizada pela capacidade de produção em determinado tempo trabalhado.

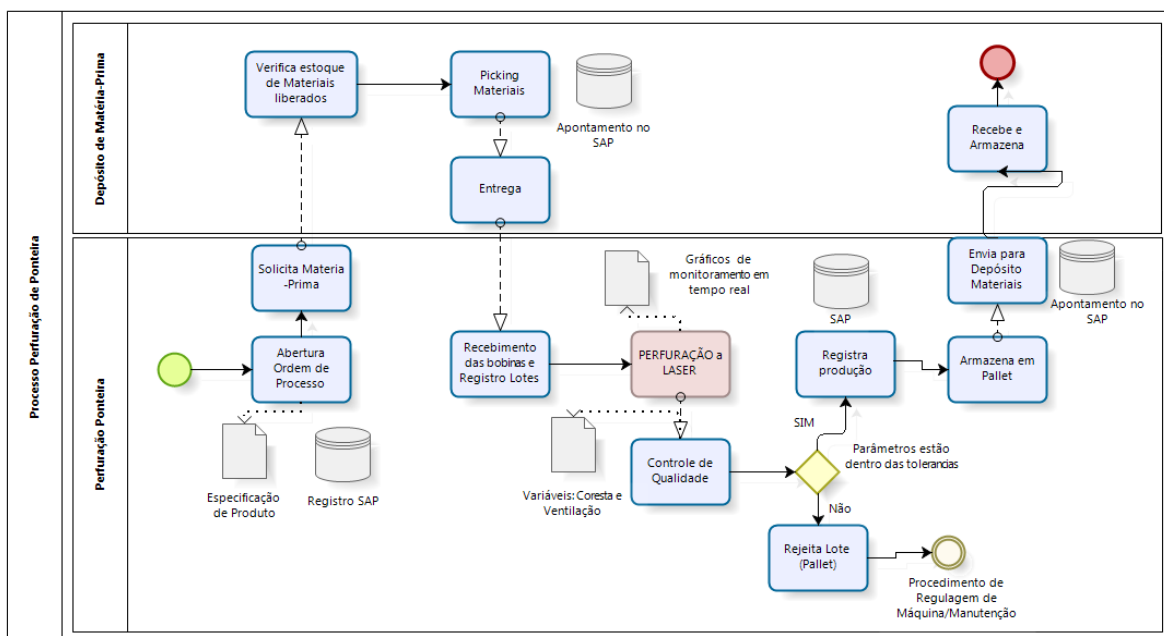
Considerando a satisfação dos clientes, os gestores responsáveis pelo processo de perfuração de ponteira afirmam que seus clientes não estão satisfeitos completamente. Apesar de cumprir com as entregas no prazo, existem reclamações relacionadas à variabilidade. Principalmente, a Ventilação do cigarro não é estável e parte dessa instabilidade é atribuída à perfuração da ponteira, pela alta variabilidade do atributo Coresta.

Várias ações de melhorias vêm sendo implementadas. Os gestores têm monitorado os relatórios de desempenho e qualidade, além do cumprimento dos procedimentos operacionais e apoiando as decisões dos operadores e necessidade de intervenção em

máquina. Eventualmente são programadas manutenções preventivas e corretivas quando necessário.

A figura 18 mostra o fluxograma do processo de perfuração de ponteira.

Figura 18 – Fluxograma do processo de perfuração de ponteira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

4.1.1.3 Processo de fabricação de filtro

O processo de fabricação de filtro tem por objetivo realizar a fabricação do filtro pela junção de suas matérias-primas. A fabricação do filtro é realizada em 4 etapas realizadas na máquina de fabricação de filtro. A primeira etapa é a preparação do acetato. A segunda etapa é a formação do cabo de acetato pela aplicação do plastificante chamado de triacetina. Após, ocorre a formação da barra de filtro, onde o cabo de acetato é envolvido pelo papel de filtro, adicionando adesivo para manter a barra de filtro firme. A última etapa é o corte da barra de filtro.

Durante a execução do processo os indicadores de desempenho monitorados são os tempos de paradas, a eficiência do processo e as quebras e rendimento de material. As

informações manipuladas pelos operadores são Carta de Controle de Processo, Relatório de Paradas e volume de produção, *check-list* de matéria-prima, apontamento de volume de produção.

Para a fabricação do filtro, os indicadores de qualidade que são medidos e monitorados de acordo com parâmetros de especificações são peso, circunferência, comprimento, RTD (Resistência à passagem de ar), percentual de plastificante e ovalidade.

Para o controle dos parâmetros Peso, Circunferência, Ovalidade, RTD e percentual de Plastificante, os operadores realizam amostragem de barra de filtros a cada 20 minutos e os valores são determinados em equipamento específico para estas medições. Estes equipamentos possuem controle de verificação diário com padrões certificados pelo fabricante dos equipamentos que possui certificação ISO 9001 e ISO 17025.

Após determinados os valores de média e desvio padrão de cada variável, os dados são processados em gráficos de Controle Estatístico de Processo (CEP) X-s (Média e Desvio). Também são realizadas verificações visuais para monitorar a qualidade das barras de filtro, de acordo com manual interno da empresa.

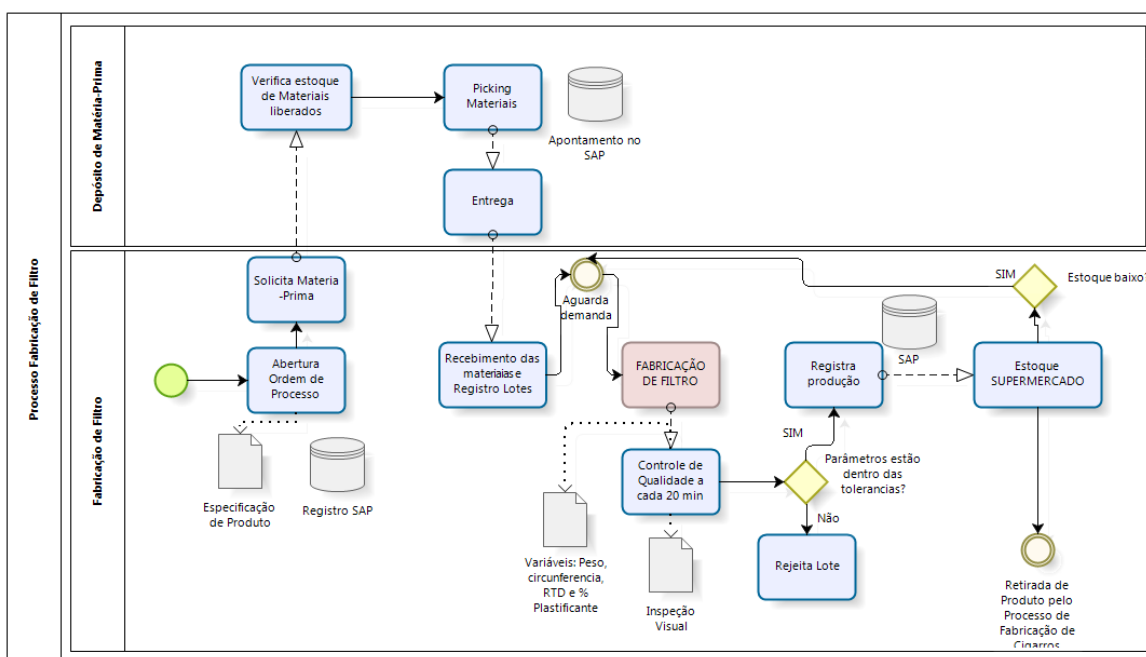
Para o controle de volume de produção, tempos de paradas e monitoramento das cartas de controle de processo, a empresa possui um sistema informatizado próprio, que está instalado em cada máquina de filtro. O inventário de produção, consumo de matérias-primas e transferências são realizadas pelo sistema SAP/R3.

O processo de fabricação de filtro tem como processo fornecedor o processo de armazenamento de matéria-prima. O processo cliente é o processo de fabricação de cigarros.

Os gestores consideram que as metas dos indicadores de desempenho e qualidade não estão sendo totalmente atingidos. O rendimento de cabo de acetato deve melhorar e as a variação de peso e RTD devem ser reduzidas. Para estas iniciativas de melhoria, são realizadas reuniões periódicas com equipe de engenharia de produto e auditoria da qualidade para analisar indicadores. Normalmente, somente após algumas investigações é possível identificar as principais causas de não conformidade e propor ações de melhoria. Quanto aos resultados das ações de melhoria, elas são eficazes somente se há acompanhamento contínuo junto aos operadores, caso contrário, os problemas tendem a retornar.

A figura 19 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de filtro.

Figura 19 – Fluxograma do processo de fabricação de filtro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

4.1.1.4 Processo de fabricação de cigarros

O processo de fabricação de cigarro tem por objetivo realizar a fabricação do cigarro pela junção das matérias-primas que constam na lista de materiais que tem origem na ordem de processo gerada pela área de planejamento de produção via sistema SAP/R3.

O processo de fabricação de cigarro pode ser explicado em 4 etapas:

Etapa 1: Enchimento da coluna de tabaco: (Fumo + papel cigarro + adesivo)

Etapa 2: Corte da Coluna de tabaco

Etapa 3: Acoplamento da barra de filtro com a coluna de tabaco (Coluna do tabaco + filtro + Papel Ponteira + adesivo)

Etapa 4: Corte do cigarro

Um detalhe importante na acoplagem do cigarro é que a barra de filtro, que está envolto pelo papel ponteira, fica ao centro e duas colunas de tabaco são formadas, uma em

cada extremidade. O corte do cigarro é realizado bem ao centro da barra de filtro formando dois cigarros em cada corte.

O processo de fabricação de cigarro utiliza os mesmos sistemas de controle de produção do processo de fabricação de filtro, portanto para o controle de volume de produção, tempos de paradas e monitoramento das cartas de controle de processo, utiliza-se um sistema próprio e o inventário de produção, consumo de matérias-primas e transferências são realizadas pelo sistema SAP/R3.

Durante a execução do processo os indicadores de desempenho monitorados são os tempos de paradas, a eficiência do processo e as quebras e rendimento de material. As informações manipuladas pelos operadores são Carta de Controle de Processo, Relatório de Paradas e volume de produção, *check-list* de matéria-prima, apontamento de volume de produção. Também são realizadas verificações visuais para monitorar a qualidade dos cigarros de acordo com manual interno da empresa.

Para a fabricação do cigarro, os indicadores de qualidade avaliados e monitorados são Peso, Circunferência, RTD (Resistência à passagem de ar) e percentual de Ventilação. Para o controle destes, os operadores realizam medições dos cigarros a cada 20 minutos. Os equipamentos de medição possuem controle de verificação diário com padrões certificados pelo fabricante dos equipamentos que possui certificação ISO 9001 e ISO 17025.

São determinados os valores de média e desvio padrão de cada variável e os dados são processados em gráficos de Controle Estatístico de Processo (CEP) X-s (Média e Desvio). Os valores de média e desvio padrão objetivos são definidos de acordo com as especificações de produto que têm origem nas ordens de processo geradas pela área de planejamento de produção via sistema SAP/R3 e que estão integradas com os sistemas de controle de processo.

Os processos fornecedores da fabricação de cigarros são os armazéns de materiais, processo de perfuração de ponteira, processos gráficos e processo primário (mistura de fumos). Consideram-se como clientes deste processo as áreas de Logística de Produto Acabado, Vendas, Marketing, Comércio Exterior, Desenvolvimento de Produto e os consumidores.

Referente a prazos e volumes, existem reclamações das áreas de Vendas e Marketing. Isso resulta em impacto em jornadas extras e alteração do planejamento de produção.

Os indicadores de desempenho monitorados são o rendimento de materiais e tabaco, eficiência e tempo de paradas de processo. Os indicadores de qualidade de produto são índice de qualidade dos parâmetros físicos, índice de qualidade visual e índice de reclamação de consumidor.

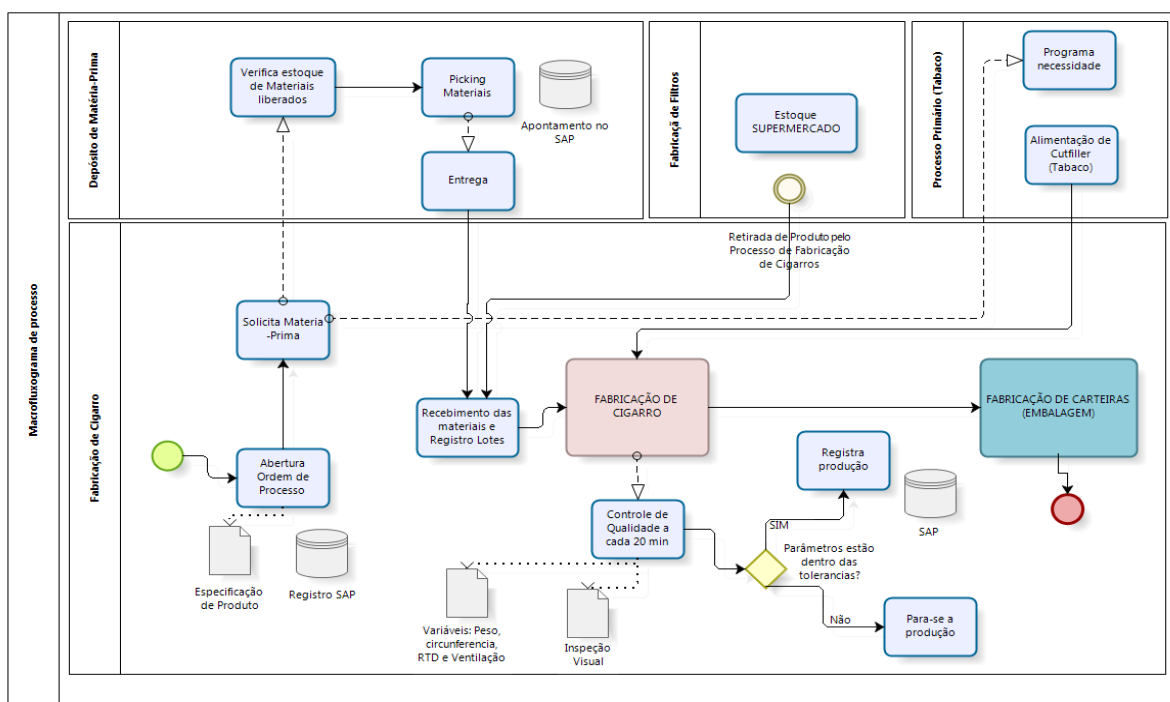
Na avaliação dos resultados atuais, existem reclamações de consumidores. Para cada reclamação de consumidor, é realizado um plano de ação. Nestes casos, o produto é repostado ao consumidor. No primeiro semestre de 2014, o índice de 60 reclamações para cada bilhão de cigarros vendidos é considerado um bom resultado.

Em relação aos índices de qualidade visual o resultado está dentro das metas estabelecidas, porém o índice de qualidade dos parâmetros físicos está fora das metas, principalmente Peso e Ventilação.

Para melhorar os resultados dos parâmetros físicos, a empresa tem adotado a ferramenta A3, do modelo de manufatura enxuta, conhecido como *Lean Manufacturing*. Segundo os gestores do processo de fabricação de cigarro, a ferramenta A3 permite monitorar a evolução das ações e os resultados em curto prazo.

A figura 20 mostra o macro fluxograma dos processos e a relação do processo de fabricação de cigarros com seus processos fornecedores.

Figura 20 – Macro fluxograma dos processos de fabricação de cigarro



4.2 Análise dos Processos e indicadores

Na análise dos dados e fluxo do processo-chave fabricação de cigarro, percebe-se dois pontos de controle internos e três entradas externas de matéria-prima, vinda de processos fornecedores. Para a análise de interferência, ou influência, relativo ao indicador “percentual de ventilação”, apenas o processo de recebimento, fabricação de filtro e perfuração de ponteira foram considerados pelos especialistas.

Na construção dos fluxos, ficou evidente que os fluxos e responsabilidades estão bem estabelecidos. Os procedimentos de controle estão bem implementados e são cumpridos de acordo com as instruções operacionais. Os processos possuem controle de especificação e todos os dados são registrados em sistemas informatizados e em planilhas eletrônicas. Os indicadores são bem compreendidos pelos colaboradores.

Nos processos fornecedores foram encontrados outros quatro pontos de controle de processo, que são pontos de decisão e monitoramento de processo e qualidade de produto. Entretanto, analisando o macro fluxo da figura 20, nota-se que não existe a comunicação dos resultados dos controles de parâmetros entre os processos fornecedores e o processo-chave. No momento em que os materiais são liberados, as informações de desvios e variações ficam para controle interno de cada processo.

Para a compilação das informações coletadas nas entrevistas, por meio do formulário de mapeamento de processo e fluxograma, foi construída uma tabela seguindo a estrutura proposta do 5W1H. A tabela completa está descrita no APÊNDICE III. A seguir, no quadro 9, são apresentadas as principais informações referente aos pontos críticos de controle definidos na análise.

No processo de recebimento de materiais, o ponto de controle identificado foi a liberação de materiais. É um controle preventivo de insumos na qual são realizadas análises físicas, químicas e atributos visuais. A aprovação dos lotes de materiais considera o método de comparação entre resultados e tolerâncias especificadas. Caso exista desvio na variação das matérias-primas, haverá impacto em desempenho dos processos devido à matéria-prima fora de especificações e, provavelmente, haverá produto final não-conforme. Atualmente existe uma quantidade de reclamações e rejeições de materiais acima do esperado pela organização e o monitoramento de cada caso é tratado de forma individual. Existem indicadores que medem o desempenho dos fornecedores: Avaliação de Fornecedor e Índice de Qualidade de Fornecedor.

Quadro 11 – Pontos críticos de controle

| Onde | | O que | | | Como | Porquê | |
|---------------------------|------------------------------|---|-------------------------|---------------------------|--|---|--|
| Processo | Atividade | Ponto de Controle | Tipo de controle | Nível | Método de Controle | Impacto para cliente em caso de Falha | Situação Atual |
| Recebimento Matéria-Prima | Inspeção Matéria-Prima | Liberação de Matéria-Prima | Controle de Insumos | Preventivo | - Execução de Análises - Comparação de parâmetros | Produto Final não-conforme e impacto em desempenho dos processos devido à matéria -prima fora de especificações | Muitas Reclamações e Rejeições de materiais. Existem Indicadores que medem o desempenho dos fornecedores: Avaliação de Fornecedor e Índice de Qualidade de Fornecedor. |
| Perfuração de Ponteira | Produção | Monitoramento <i>on-line</i> de parâmetros de operação da máquina, como potência do laser e regulagem do feixe. | Controle de Processo | Monitoramento em processo | - Medição automática realizada pelo equipamento de perfuração - Ajuste Sistema da máquina | - Ponteiras Não-Conforme. - Cigarro: Parâmetros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação | Variação alta. Existe plano de ação de melhoria (A3). |
| Perfuração de Ponteira | Controle Processo | Controle de Coresta | Controle de Produto | Corretivo | - Execução de Análises - Verificação parâmetro estão dentro das especificações | - Ponteiras Não-Conforme. - Cigarro: Parâmetros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação - Processo: Perda de desempenho. | Os valores de médias são atingidos. Porém variabilidade (desvio padrão) é muito instável. Alta variação. |
| Fabricação Filtro | Controle Processo | Parâmetros Físicos - Peso Total - Ventilação - Circunferência - Triacetina | Controle Processo | Monitoramento em processo | - Medições em equipamentos e balança. - Monitoramento por Gráficos de Controle | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parâmetros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação - Processo: Perda de desempenho. | - Parâmetros Físicos – Estão, fora da meta, principalmente em Peso - Quebras, <i>uptime</i> fora da meta |
| Fabricação Cigarro | Controle Processo | Parâmetros Físicos - Peso Total - Ventilação - Circunferência - RTD | Controle Processo | Monitoramento em processo | - Medições em equipamento e monitoramento por Gráficos de Controle | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parâmetros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação. | - Parâmetros Físicos – Estão, fora da meta, principalmente em Peso e Ventilação -Quebras, <i>uptime</i> fora da meta |
| Fabricação Cigarro | Auditoria de Produto Acabado | CPQI: Diversos parâmetros | Auditoria de Produto | Auditoria | - Coleta de amostra para laboratório de auditoria - Realização de análises - Índice Qualidade Física | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parâmetros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação | Abaixo da meta estabelecida para algumas marcas. |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No processo de perfuração de ponteira foram identificados dois pontos de controle. Um relacionado ao monitoramento de processo em tempo real pelo próprio equipamento e

outro relacionado ao controle de produto que é medido pela realização de análises físicas manuais. Neste processo foi relatado que a variabilidade do processo é alta e existem planos de ação de melhoria em andamento, suportada pelo relatório A3, que é uma ferramenta que a Toyota Motor Corporation desenvolveu para propor soluções para os problemas, fornecer relatórios da situação de projetos em andamento e relatar a atividade de coleta de informações. A empresa Toyota iniciou a técnica e pode ser comparada a um mapa para análise e melhoria de processo, já que faz uma abordagem do problema, da análise e das ações mitigadoras de uma situação particular (LEAN INSTITUTE, 2007).

O Processo de fabricação de filtro é monitorado pelo controle estatístico de processo. Os parâmetros físicos e visuais usam cartas de controle de processo para verificar tendências e variações não-naturais. Os valores dos parâmetros são obtidos através de análises físicas medidas em equipamentos automáticos e os dados registrados em um sistema de informação. Os indicadores de parâmetros físicos, desempenho e desperdício estão abaixo da meta estipulada pela diretoria da empresa.

No processo-chave de fabricação de cigarro foram documentados dois tipos de controle. O monitoramento de processo também é feito através de controle estatístico de processo que usa cartas de controle de processo para verificar tendências e variações não-naturais. Os indicadores estão fora da meta estipulada pela diretoria. O segundo controle é um índice de auditoria da qualidade física de produto acabado. As análises são realizadas em laboratório, fora do ambiente produtivo. Este indicador é consolidado mensalmente.

4.2.1 Definição dos indicadores-chaves

O objetivo principal desta pesquisa está focado na manutenção da estabilidade dos indicadores de controle dos processos que devem influenciar no desempenho do indicador %V, portanto, para a definição das variáveis a serem exploradas, foram considerados estudos teóricos e a experiência dos especialistas de processo e engenharia de produto.

Baseado em estudos de autores como Norman e Poe (1983), Nguyen e Finley (1998) e outros mais recentes Adama *et. al.* (2010), que foram corroborados pelos analistas de controle de processo, técnicos especialistas de garantia da qualidade e gerente de engenharia de produto da empresa, as principais características que exercem influência na ventilação do cigarro são:

- A ventilação varia em função da permeabilidade da ponteira (coresta) e do RTD (Resistência à sucção) do filtro, pois existe forte correlação entre estas variáveis.
- Cigarros com alta permeabilidade tendem a ter maior variabilidade de ventilação.

Partindo destas definições, o foco da pesquisa aprofundou as análises pelas causas de variação e comportamento das variáveis de controle Coresta da ponteira perfurada, RTD do Filtro e Ventilação do Cigarro.

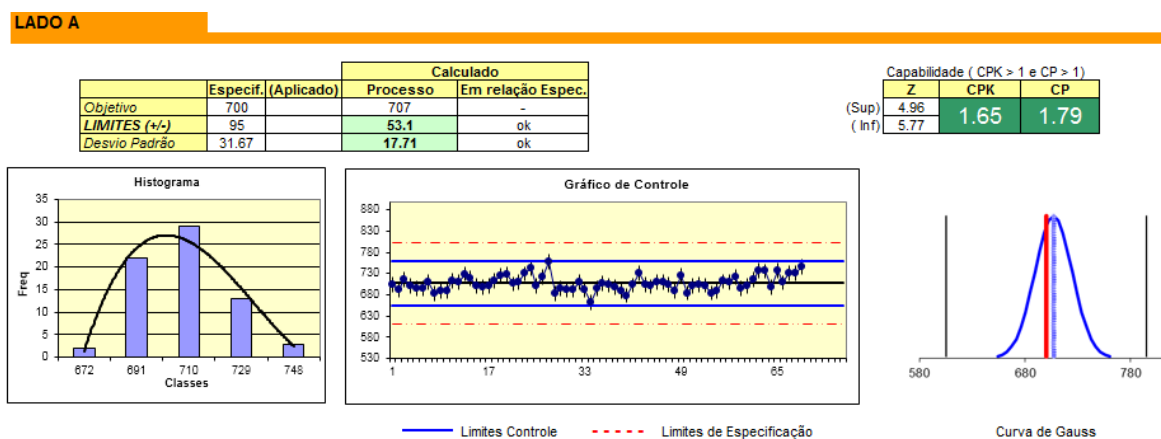
4.2.1.1 Análise da estabilidade da variável Coresta

A variável Coresta é uma medida de permeabilidade para determinar a passagem de ar. Essa variável é monitorada no processo de perfuração de ponteira, onde a máquina de perfuração de ponteira realiza a aplicação do laser para criar os furos no papel ponteira. O local onde são feitos os furos é chamado de zona de perfuração. A máquina de perfuração possui dois pontos de aplicação de laser. Em cada ponteira são aplicadas duas zonas de perfuração, uma chamada lado A e outra lado B.

A medição da coresta é realizada em um equipamento que mede a passagem de ar na zona de perfuração. O valor dessa medição é expresso em percentual de coresta. As medidas do lado A e lado B são realizadas separadamente.

Para determinar o nível de estabilidade do processo foi feito um teste de capacidade de processo determinando os índices CP e CPK e o coeficiente de variação (CV). Um lote de bobina com alta permeabilidade foi escolhido aleatoriamente e este lote teve todas as bobinas analisadas. No total, 70 bobinas foram analisadas e obtidos os dados de média e desvio padrão de cada lado das zonas de perfuração. O resultado do teste de capacidade de processo está apresentado nas figuras 21, 22 e no quadro 12.

Figura 21 – Teste de capacidade da Coresta – Lado A

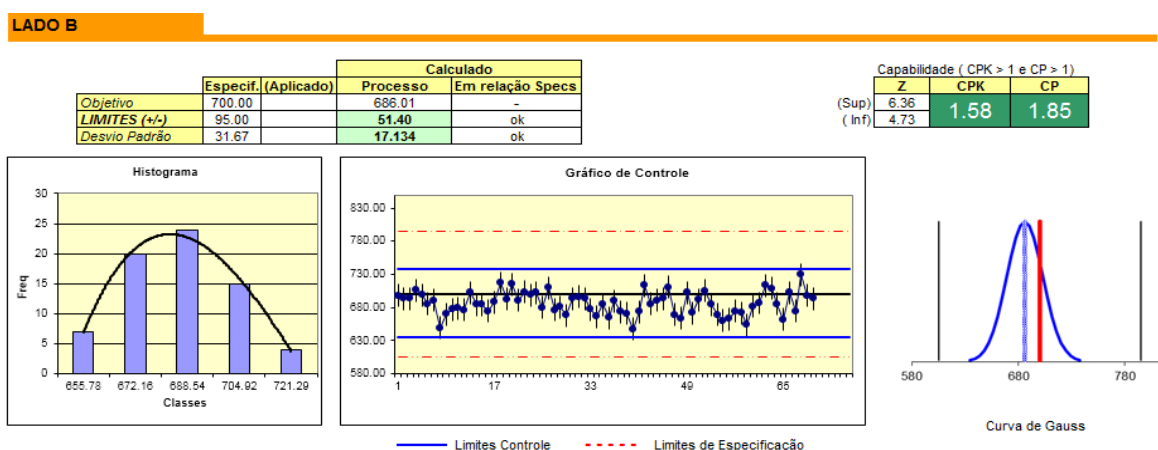


Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

As figuras 21 e 22 demonstram os dados utilizados para realizar o teste de capacidade de processo, utilizando as fórmulas CP e CPK, descritas na seção 2.2.13. O quadro à esquerda define o valor objetivo, os limites de tolerância e desvio padrão especificados e obtidos das amostras coletadas em processo. O quadro à direita mostra os valores de CP e CPK calculados. Para avaliar a dispersão dos dados apresentam-se os gráficos de histograma, Gráfico de Controle e Curva de Gauss.

O material em teste possuía um valor de coresta especificado de 700 corestas e seus limites de especificação estabelecidos em 95 corestas, ou seja, limite superior de 795 corestas e limite inferior de 605 corestas.

Figura 22 – Teste de capacidade da Coresta – Lado B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Em ambos os lados, os histogramas apresentam uma distribuição normal. Os gráficos de controle mostram a evolução e comportamento das médias em ordem crescente de coleta. Tanto lado A, quanto lado B, não possui pontos fora dos limites de controle (linha azul) e linha de especificação (linha vermelha).

Os resultados para o lote analisado apontam que o processo de perfuração atende aos valores objetivo e limites especificados. Ambos os índices, CP e CPK para coresta estão acima de 1.33, logo, é aceitável como processo capaz para cumprir com as especificações informadas.

Entretanto, os dados e a análise dos gráficos revelaram que existe uma diferença de comportamento em relação à centralização das médias, se comparadas as médias dos lados A, que apresentam tendência acima do valor objetivo, e do lado B que ficaram

abaixo do valor objetivo. A diferença entre as médias resultou em 21.2 corestas acima do desvio padrão de ambos os lados, que atingiu 17.7 corestas para o lado A e 17.1 corestas para o lado B.

O quadro 12 apresenta os valores de média e desvio do lado A, Lado B e os valores de médias somadas. Com bases nestes valores foram calculados os valores do coeficiente de variação (CV).

Quadro 12 – Determinação do coeficiente de variação da coresta

| Coeficiente de Variação Coresta | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | LADO A | LADO B | A + B |
| Media | 707.223 | 686.005 | 696.538 |
| Desvio | 17.7109 | 17.1338 | 20.3643 |
| CV | 0.02504 | 0.02498 | 0.02924 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O resultado do coeficiente de variação, apresentados no quadro 10, mostra que o CV calculado nas três situações ficaram abaixo de 0,1, o que representa que os dados estão simétricos, com variabilidade normal e com precisão aceitável.

4.2.1.2 Análise da estabilidade da variável RTD do Filtro

A variável RTD do Filtro é uma medida de resistência à pressão. Essa variável é monitorada no processo de fabricação do filtro através de gráficos de controle estatístico de processo e tem limites estabelecidos por especificação para cada tipo de filtro.

O teste de medição é realizado a cada 20 minutos em um equipamento que mede a resistência à pressão. A unidade de medida é a escala de milímetros de água (mmH₂O).

Para determinar o nível de estabilidade do processo de fabricação de filtro foi utilizado o teste de capacidade de processo determinando os índices CP e CPK e o coeficiente de variação (CV). O resultado do teste de capacidade de processo está apresentado na figura 23 e no quadro 13.

Como o processo de fabricação de filtro é um processo de produção contínuo, optou-se por utilizar os dados de RTD das análises de controle de processo de 3 dias de produção. Foram analisadas 139 amostras de uma máquina indicada pelos especialistas da fábrica. Cada amostra era composta de 5 barras de filtro, das quais foram obtidos os dados de média e desvio padrão.

Conforme apresentado na tabela superior da figura 23, que apresenta os dados de especificação e valores calculados, as barras de filtro analisadas possuíam um valor de RTD especificado de 338 mmH₂O e seus limites de especificação estabelecidos em 12 mmH₂O, ou seja, limite superior de 350 mmH₂O e limite inferior de 326 mmH₂O. O valor de desvio padrão especificado estava determinado em

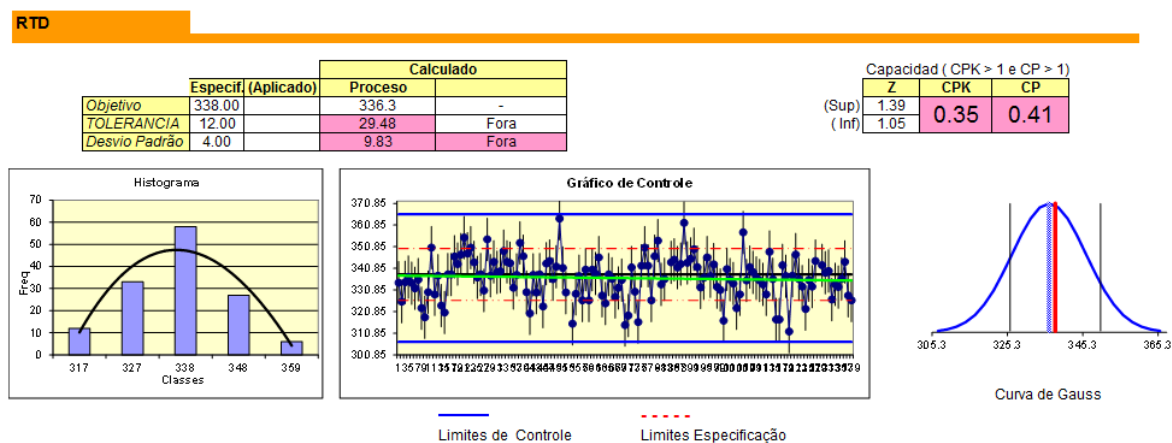
Os resultados dos testes nos dias analisados determinam que a máquina de fabricar de filtro em estudo não atende aos valores de limites especificados. Os índices de CP e CPK para RTD de filtro estão muito abaixo de 1, logo, determina-se que a máquina não é capaz de cumprir com as especificações de processo. Logo recomendou-se uma reavaliação das condições de máquina ou de verificação das especificações de processo.

Analisando os gráficos de controle, percebe-se que existem tendências dos dados em permanecer em determinados momentos acima do objetivo e, em outros, constantemente abaixo do objetivo. Os dados também mostram que apesar de existir variação entre as amostras, se for observada somente a média final, o processo aparentemente está centralizado.

Porém, levando em conta o valor do desvio padrão percebe-se que muitas amostras ficaram fora dos limites de especificação. Essa distribuição está representada na curva de Gauss, apresentada na figura 23.

O histograma apresentado na figura 23 mostrou que a distribuição dos valores nas classes acima e abaixo da classe central está na mesma proporção, portanto, uma distribuição normal.

Figura 23 – Teste de capacidade do RTD do filtro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A média geral de 336.3 está próxima ao valor especificado de 338, porém o desvio padrão de 9.83 revela alta dispersão em relação ao desvio padrão especificado que é de 4, ou seja 59% acima do desvio padrão especificado.

Quadro 13 – Determinação do coeficiente de variação do RTD do Filtro

| Coeficiente de Variação | |
|-------------------------|----------------|
| | RTD Filtro |
| Media | 336.3 |
| Desvio | 9.83 |
| | |
| CV | 0.02923 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O resultado do coeficiente de variação apresentou valor abaixo de 0,1. Isso representa que os dados estão simétricos e com dispersão natural normal, o que fornece confiabilidade nos resultados gerados.

4.2.1.3 Análise da estabilidade da variável Ventilação

Segundo definições da norma ABNT NBR ISO 9512:2009 e Anvisa (2002), a Ventilação é a quantidade total de ar lateral que entra no cigarro, principalmente pelos furos que existem no papel ponteira, em relação ao total do fluxo de ar.

O controle desta variável ocorre durante o processo de fabricação do cigarro através de gráficos de controle estatístico de processo e tem limites estabelecidos por especificação para cada formato de cigarro.

A medição da ventilação é feita a cada 20 minutos em um equipamento que mede a diferença dos fluxos de ar de entrada de ar lateral e fluxo de ar de saída pela extremidade do filtro. Os valores de ventilação são expressos em percentual (%).

Assim como o processo de fabricação de filtros o processo de fabricação de cigarro é um processo de produção contínuo. Desta forma, adotou-se o mesmo critério para realizar os testes de verificação da estabilidade de processo. Para determinar o nível de estabilidade do processo de fabricação de cigarro foi utilizado o teste de capacidade de processo determinando os índices CP e CPK e o coeficiente de variação (CV).

Foram utilizados os dados das análises de ventilação que são realizados durante o controle de processo de 3 dias de produção consecutivos. Neste período foram registradas

139 amostras de uma máquina indicada pelos especialistas da fábrica e que utilizaram os filtros que foram estudados e descritos na seção anterior. Cada amostra era composta de 5 cigarros, das quais foram obtidos os dados de média e desvio padrão.

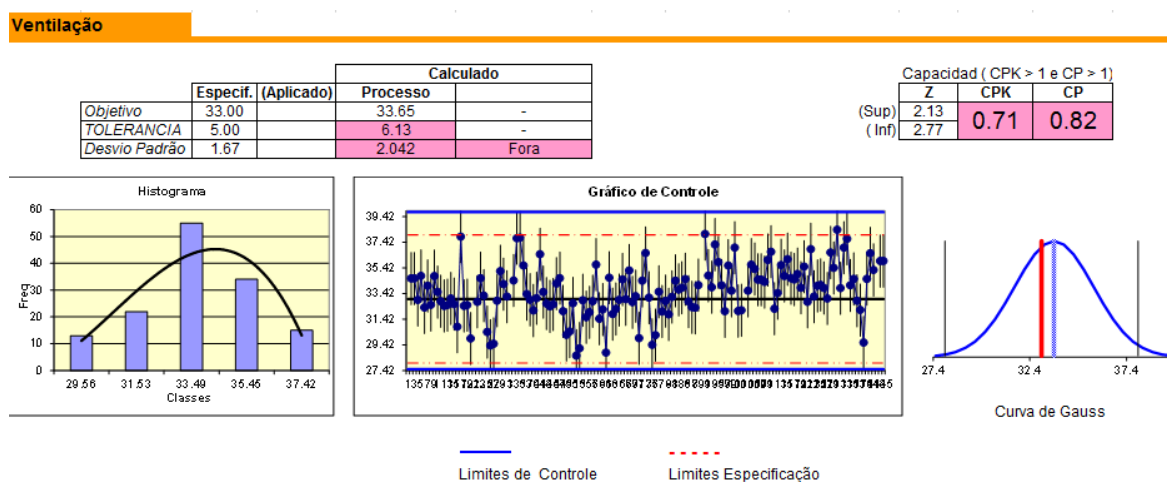
Os cigarros produzidos na máquina selecionada possuíam um valor de ventilação especificado de 33 % e seus limites de especificação estabelecidos em 5 %, ou seja, limite superior de 38 % e limite inferior de 28 %. O resultado do teste de capacidade de processo está apresentado na figura 24 e no quadro 14.

Os resultados dos testes nos dias analisados determinam que a máquina de fabricação de cigarros em estudo apresenta baixo índice de capacidade. O índice de CPK de 0.71, que mede o deslocamento do processo associado à variabilidade, ficou abaixo de 1. Por esse valor, determina-se que a máquina não é capaz de cumprir com as especificações de processo.

Apesar de estar da média geral obtida de 33.65%, estar próximo a especificação, que é de 33%, existe uma alta variabilidade, demonstrada pelo valor do desvio padrão obtido de 2.04%, que está acima do desvio padrão especificado para o processo, que é de 1,67%, conforme registrado nas tabelas da figura 24.

O histograma apresentado na figura 24, revela uma concentração maior de dados acima da classe central. Os operadores do processo foram questionando sobre a frequência de interferência no processo e confirmaram que atuam seguidamente para manter a ventilação dentro dos limites especificados, sendo que a ventilação está com tendência de manter-se acima do valor central do gráfico.

Figura 24 – Teste de capacidade da Ventilação do Cigarro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O Gráfico de Controle apresenta a distribuição dos valores em sequência de coleta, onde também pode ser percebida a alta variabilidade do processo. Verificou-se que os limites de controle (linha azul) estão maiores do que os limites de especificação (linha vermelha).

Quadro 12 – Determinação do coeficiente de variação da ventilação do cigarro

| Coeficiente de Variação | |
|-------------------------|-------------------|
| | Ventilação |
| Media | 33.65 |
| Desvio | 2.04 |
| CV | 0.060624 |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

O resultado do coeficiente de variação apresenta valor abaixo de 0,1, o que representa que os dados são confiáveis por ter uma distribuição normal e simétrica. Entretanto, a variável ventilação apresentou o maior coeficiente de variação das variáveis estudadas. O CV da ventilação atingiu o valor de 6.06 %, enquanto que o CV do RTD do filtro foi medido em 2,92% e o CV da Coresta considerando os lados A e B da ponteira foi medido em 2.93 %.

4.2.2 Investigação das possíveis causas de variabilidade nos processos

De acordo nos princípios do método DMAIC, durante a etapa de análise de processo, uma vez mensurados os problemas prioritários, deve-se determinar as causas dos problemas, analisando o processo gerador do problema, identificando e priorizando as causas potenciais (WERKEMA, 2013).

Na seção 4.2.1 foi avaliada a estabilidade dos processos. O próximo passo foi identificar as possíveis causas de variabilidade considerando as variáveis de controle de processo através das cartas de controle e planilhas de controle. Nesta análise os operadores e especialistas de processo fizeram a análise das causas e as respectivas ações corretivas a serem aplicadas para eliminar, corrigir ou reduzir a ocorrência destes fenômenos nos processos.

Para identificar as causas potenciais, utilizou-se as técnicas de aquisição de conhecimento baseadas em entrevistas e em acompanhamento, conforme Goldschmidt (2010), descritas na seção 2.4.7.

Foram realizadas entrevistas com especialistas e operadores dos processos, estudados registros históricos de processo, manuais técnicos e utilizados formulários distribuídos para o registro e organização das informações. Essas informações foram estudadas para depois se extrair o conhecimento relativo às causas de variação que tivessem impacto no comportamento das variáveis estudadas. Os formulários utilizados estão apresentados no APÊNDICE IV.

Os formulários foram preenchidos por 7 operadores e validados por 2 especialistas. No processo de perfuração de ponteira, participaram os 3 operadores que atuam no processo. No processo de fabricação de filtro e cigarro, foram envolvidos 2 operadores de máquinas de filtro e 2 operadores de máquinas de cigarro, que compõem 1 turno de produção para 2 máquinas de filtro e 2 máquinas de cigarro.

Os dados foram coletados e foram criadas três tabelas, uma para cada variável dos processos estudados. A seguir, os quadros 13, 14 e 15 apresentam as três principais variações identificadas em cada processo e as respectivas causas e ações corretivas indicadas pelos operadores. Estas ações corretivas foram elaboradas em consenso com os operadores e especialistas de processo.

Quadro 13 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo fabricação de filtro no controle da variável RTD do filtro

| Causas de variação no controle de processo da variável RTD do Filtro | | |
|---|--|--|
| Variação identificada no controle de processo | Causa de Variação | Ação Corretiva |
| Pontos consecutivos abaixo da média | Varição do cabo de acetato | Regular variador de entrega |
| | Varição no Peso do Filtro | Aumentar o peso do filtro |
| | Relação dos rolos | Ajustar a velocidade dos rolos |
| | Regulagem da abertura do cabo de acetato | Regular a abertura do cabo |
| RTD do Filtro com mudança repentina de nível no gráfico | Troca de lote do cabo de acetato | Conferir o lote do cabo de acetato com especificação |
| | Cabo de acetato incorreto (material incorreto) | Trocar o cabo de acetato conforme especificado |
| | Regulagem da abertura do cabo de acetato | Regular a abertura do cabo |
| Amplitude/Desvio do RTD acima do limite de controle | A Relação dos rolos está desregulada? | Regulagem - Relação dos rolos |
| | Variador de entrega está desregulado? | Regulagem - Variador de entrega |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Quadro 14 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo de perfuração de ponteira no controle da variável Coresta

| Causas de variação no controle de processo da variável Coresta da Ponteira | | |
|---|--|---|
| Varição identificada no controle de processo | Causa de Variação | Ação Corretiva |
| Pontos consecutivos acima da média | Potência desregulada | Baixar potência do laser |
| | Foco desregulado | Ajustar do foco |
| | Tensão dos freios | Verificar tensão dos freios |
| | Varição no tamanho dos furos ou ausência de furos | Limpar lentes e verificar rotor |
| Desvio padrão maior que valor esperado | Foco desregulado | Ajustar foco |
| | Lentes sujas | Limpar lentes e ajustar foco |
| | Diferença nas linhas de perfuração | Alinhar ajuste de potência entre Linhas 1 e 2 |
| Diferença Lado A e Lado B acima do valor esperado | Diferença entre potências do lado A e lado B | Verificar as potências Lado A e B e ajustar a potência no lado que estiver com maior diferença em relação à média especificada. |
| | Varição no tamanho dos furos entre lado A e lado B | Limpar lentes e ajustar foco e ajustar a potência no lado que estiver com maior diferença em relação à média especificada. |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Quadro 15 – Exemplos de causas de variação identificadas no processo de fabricação de cigarros no controle da variável Ventilação.

| Causas de variação no controle de processo da variável Ventilação | | |
|--|---|---|
| Varição identificada no controle de processo | Causa de Variação | Ação Corretiva |
| Ventilação com pontos consecutivos abaixo da Média | Ponteira com perfuração incorreta | Troca - Ponteira |
| | Ponteira com perfuração incorreta | Troca - Lote da ponteira |
| | Temperatura do pré e/ou pós aquecedor desregulada | Regulagem - Temperatura do pré e/ou pós aquecedor |
| | Peso do cigarro baixo | Regulagem - Volante manual de regulagem do peso |
| | Pouca pressão na mola de suporte da gomeira | Regulagem - Pressão da mola de suporte da gomeira |
| | Rolo com rebaixo com desgaste | Troca - Rolo com rebaixo |
| Amplitude/ desvio da ventilação acima do Limite de Controle | Rolo com rebaixo com desgaste | Troca - Rolo com rebaixo |
| | Buchas do rolo com rebaixo com desgaste | Troca - Buchas do rolo com rebaixo |
| | Suporte da gomeira desregulado | Regulagem - Suporte da gomeira |
| | Perfuração da ponteira incorreta | Troca - Ponteira |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Nesta etapa, todos os resultados foram gerados, avaliados e validados pelos especialistas dos processos para evitar possíveis erros na interpretação das informações, uma vez que as informações manipuladas são de profundo caráter técnico dos processos.

4.2.3 Definição das regras de produção

Para representar o conhecimento adquirido durante a etapa de análise do processo que está relacionado às causas de variabilidade das variáveis estudadas, utilizou-se o princípio das redes semânticas através das regras de produção.

Na preparação das informações para estabelecer, as informações foram agrupadas em objetos e atributos. Os objetos são as variáveis e os atributos as suas grandezas de medição: a Média e Desvio Padrão. Aos atributos foram definidas as condições dos valores das causas de variação e suas ações corretivas.

Para montar a lógica baseada em regras, utilizou-se o padrão de causa-efeito para reproduzir a ideia de tomada de decisão, moldada através da condição do tipo SE <condições> ENTÃO <conclusões>.

Para a criação das regras, o padrão adotado foi o seguinte:

- **SE** Atributo apresenta variação.
- **E** Variação é identificada.
- **ENTÃO** Executar Ações de correção.

Após a primeira etapa de construção das regras de produção, baseadas no conhecimento dos operadores de processo, foi criada uma base de conhecimento com 24 regras para variável RTD do Filtro, 19 regras para a variável Coresta e 54 regras para a variável Ventilação, totalizando 97 regras de produção.

O Quadro 16 apresenta alguns exemplos de regras adotadas no estudo.

Quadro 16 – Exemplos de regras de produção

| Variável | Atributo | Condição => Valor |
|---------------|----------------|--|
| RTD do Filtro | Desvio Padrão | SE => Desvio do RTD acima do limite de controle E => Regulagem dos rolos está fora do padrão ENTÃO => Regular da relação dos rolos |
| RTD do Filtro | Desvio Padrão | SE => Desvio do RTD acima do limite de controle E => Regulagem do "variador de entrega" diferente do padrão ENTÃO => Regular - Variador de entrega |
| Coresta | Valor da Média | SE => Existem pontos acima de 2 desvios E => Existe variação no tamanho dos furos ENTÃO => Limpar lentes e regular rotor |
| Coresta | Valor da Média | SE => Existem pontos acima de 2 desvios E => Potência do laser está acima da regulagem padrão ENTÃO => Baixar a potência do laser |
| Ventilação | Valor da Média | SE => Existem pontos abaixo de 2 desvios E => Peso do cigarro está baixo ENTÃO => Regular Volante manual de peso |
| Ventilação | Valor da Média | SE => Existem pontos abaixo de 2 desvios E => Rolo com rebaixo apresenta desgaste ENTÃO => Trocar rolo com rebaixo |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A representação gráfica da proposição para a inferência, a partir das variáveis de processo, atributos e condição está exemplificada no APÊNDICE V.

4.3 Definição do indicador de estabilidade de processo

Esta seção apresenta os conceitos utilizados na definição de um indicador de processo para medir a estabilidade de processo.

Uma prática usual nas indústrias é utilizar amostras pequenas e frequentes para a elaboração de gráficos de controle para monitorar o desempenho das variáveis de processos diante das especificações de produto. Esta estratégia se justifica, principalmente, pela rápida detecção de produtos não-conformes durante o processo produtivo.

Este estudo pretende elaborar uma ferramenta que permita monitorar a estabilidade de processo mediante à avaliação representativa do comportamento de gráficos de controle das variáveis de processo.

O princípio desta abordagem, baseia-se na adaptação do índice de capacidade de processo Cpk, que faz a comparação das médias das amostras e verifica se os processos

cumprem com os limites de especificação de qualidade do produto tanto em nível de centralização, como em variabilidade, ou seja, estatisticamente, garantir que 99.73% das amostras fiquem dentro dos limites especificados e que o processo esteja centralizado (CORREA E NETO, 2009).

Para a criação de um índice de estabilidade (IE), que seja capaz de identificar as variações dos sub-grupos das amostras diárias, mesmo que o processo esteja sob controle, a definição dada por este estudo baseia-se em duas medidas: deslocamento da média em relação ao valor médio especificado e a medida de desvio padrão calculado. A fórmula para determinar o índice de estabilidade (IE) é apresentada na equação 8:

$$IE = \frac{2 \sigma - [(VME - u) + SM]}{1 \sigma} \quad (8)$$

IE = Índice de estabilidade
 VME = Valor Médio Especificado
 σ = sigma
 u = Médias das médias
 SM = Desvio Padrão das Médias

Desta forma, cria-se um parâmetro para medir a relação entre o deslocamento da média e a variabilidade dentro do intervalo de 2 sigmas de processo. Para a interpretação do IE, se o valor for positivo, significa que o processo está estável, pois quanto maior for o valor de IE, maior será a estabilidade média do processo, uma vez que o deslocamento da média, somados a 1 desvio padrão, é menor ao valor de 2 sigmas. Já valores negativos, significam que o processo está instável, pois a relação do deslocamento da média, somados a 1 desvio padrão, é maior que o intervalo de 2 sigmas.

Em termos de escala de valores, o valor ideal do IE é igual a 1. Para demonstrar essa relação pela aplicação da equação 8, supõem-se um processo totalmente centralizado, ou seja, a média das médias sendo igual ao valor médio especificado ($VME = u$) e valor do desvio padrão das médias igual a 1 sigma ($SM = 1 \sigma$). Tomando estas definições, tem-se:

- Equação do Índice de Estabilidade (IE):

$$IE = \frac{2 \sigma - [(VME - u) + SM]}{1 \sigma}$$

- Substitui-se os valores de $VME = u$ e $SM = 1 \sigma$:

$$IE = \frac{2 \sigma - [(|u - u|) + 1 \sigma]}{1 \sigma}$$

$$IE = \frac{2 \sigma - 1 \sigma}{1 \sigma}$$

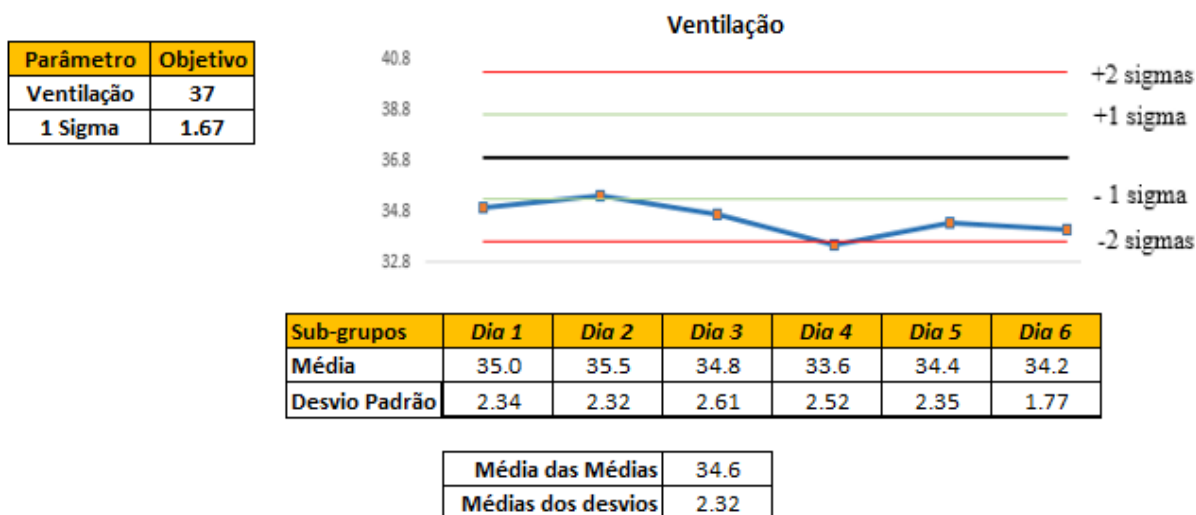
- Ao final, chega-se ao valor ideal:

$$IE = \frac{1 \sigma}{1 \sigma} = 1$$

O processo de fabricação de cigarros é um processo contínuo, assim, o critério de comparação da evolução do indicador foi a formação de sub-grupos por dia de produção, ou seja, as amostras coletadas durante o controle de processo cada dia de produção formaram 1 subgrupo, no qual se calculam a média e desvio padrão. Através de um gráfico de controle é possível monitorar o comportamento das médias dos subgrupos diários e avaliar a evolução durante a semana de produção.

Para validar a aplicabilidade do índice de estabilidade, foi realizada a coleta de dados da variável Ventilação e foram calculados os valores de médias e desvio padrão dos subgrupos diários e realizado o cálculo pela equação 8. Os resultados do teste 1 estão apresentado na figura 25.

Figura 25 – Aplicação do índice de estabilidade (IE) – Teste 1



Aplicando a formula:

$$IE = [2\sigma - (|VME - u| + MS)] / 1\sigma$$

$$IE = [2 * 1.67 - (|37 - 34.6| + 2.32)] / 1.67$$

$$IE = -0.85$$

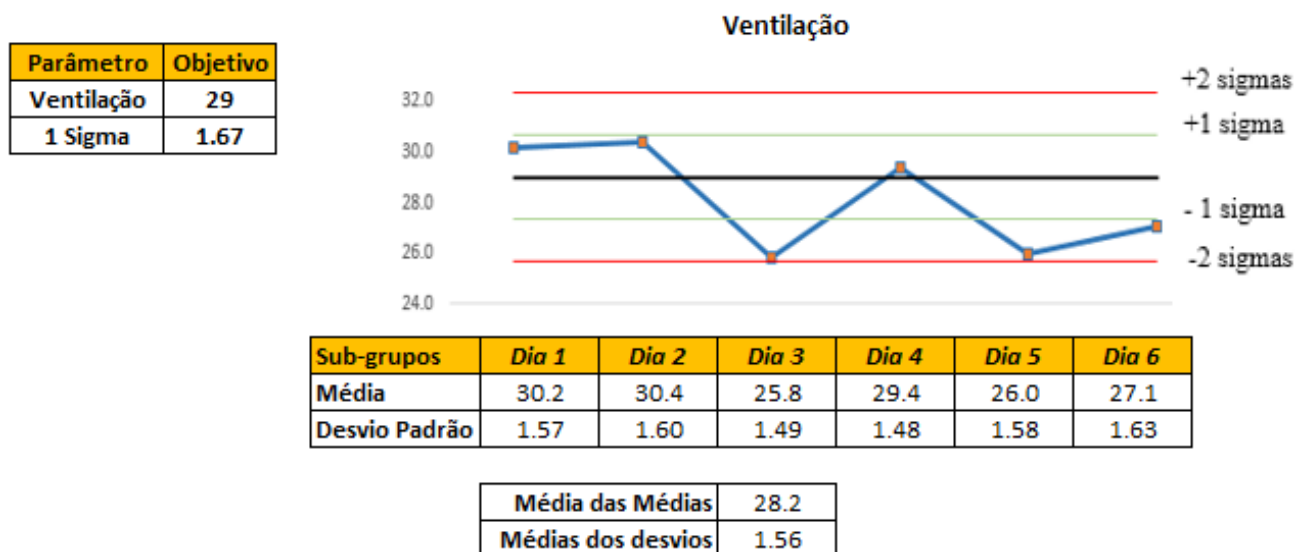
Índice de Estabilidade calculado: **-0.85** (Desejável > 0)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

No exemplo citado, o valor do índice de estabilidade do indicador está negativo. Isso revela que pode existir instabilidade no processo. Fazendo a análise dos dados e do gráfico, percebe-se que a média está deslocada do valor central do gráfico, uma vez que todos os pontos estão abaixo da média e, ainda, existe um ponto fora do intervalo de 2 sigmas. Deste modo, pelo índice de estabilidade foi possível detectar a instabilidade existente no processo, uma vez que o indicador foi calculado em -0.85, portanto, um valor negativo.

O mesmo procedimento foi realizado em condições de processo mais estáveis. Os resultados do teste 2 estão apresentados na figura 26.

Figura 26 – Aplicação do índice de estabilidade (IE) - Teste 2



Aplicando a fórmula:

$$IE = [2\sigma - (|VME - u| + MS')] / 1\sigma$$

$$IE = [2 * 1.67 - (|29 - 28.2| + 1.56)] / 1.67$$

$$IE = 0.55$$

Índice de Estabilidade calculado: **0.55** (Desejável > 0)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Neste teste, o valor do índice de estabilidade do indicador está positivo, um pouco menor do que 1. Isso indica que o processo tende a estar estável. Avaliando o gráfico, nota-se que as médias dos sub-grupos estão com variação acima e abaixo da linha central e

todos os valores dentro do intervalo de 2 sigmas, conforme desejável. O valor da média das médias está próximo ao valor especificado. Existe uma diferença entre o valor das médias das médias e a linha central, porém é aceitável, uma vez que este valor é menor do que 1 sigma. Avaliando a média dos desvios, tem-se um valor de 1.56, que é menor ao valor de 1 sigma, que está definido em 1.67%. Os valores de média e desvio atestam que o processo está estável, com variação de processo aceitável. Para este teste, o índice de estabilidade foi calculado em 0.55, portanto, um valor positivo. Pela interpretação do IE dada anteriormente, isso define que, para os dados avaliados neste exemplo, o processo estava estável.

4.4 Desenvolvimento do sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento (SADBC)

Nesta seção serão descritos os recursos de tecnologia de informação que foram utilizados para o desenvolvimento dos módulos para interfaces ETL com as fontes de dados da empresa, para a criação das bases de dados e base de conhecimento, além das interfaces do sistema.

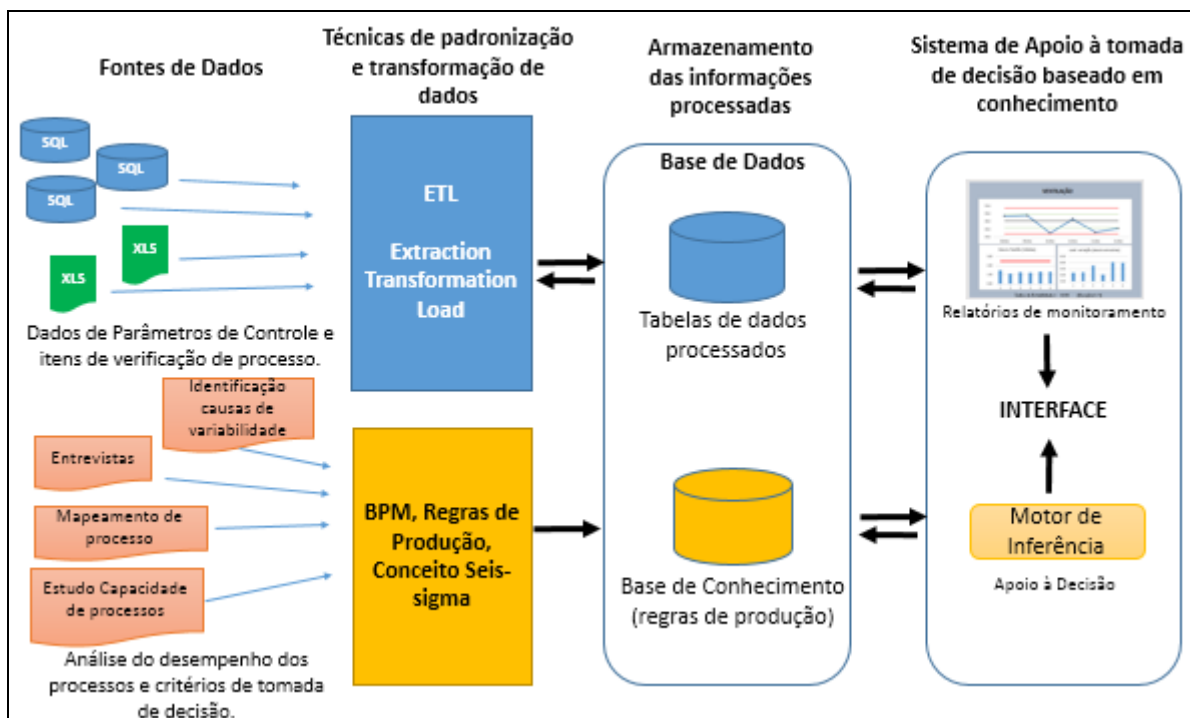
A fase de desenvolvimento aborda as etapas para a construção do sistema especialista de apoio à decisão a partir do índice de estabilidade proposto por este trabalho. A partir das regras de negócios, o sistema especialista foi desenvolvido para gerar gráficos de monitoramento e calcular o índice de estabilidade de processo e, assim, permitir a avaliação e identificação dos momentos em que os processos apresentem instabilidade. A partir desta percepção, utilizando a interface de inferência, torna-se possível orientar na reflexão sobre as principais causas de variabilidade conhecidas do processo e as ações para redução ou eliminação das causas de variação.

No planejamento da modelagem da ferramenta computacional, foram definidas as referências para estruturar o modelo de arquitetura da ferramenta. O modelo foi projetado com base no modelo de arquitetura de sistemas, sugerido por Boulil *et al.* (2014), e adaptado à estrutura do ambiente de um sistema especialista, proposta por Rosário, Kipper e Frozza (2014).

A partir da escolha dos modelos de referência, define-se o modelo de arquitetura de informação do sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento, conforme ilustra a figura 27.

Através do modelo de arquitetura de informação projetado, foi possível estabelecer a sequência de etapas para o desenvolvimento da ferramenta. Estabeleceram-se quatro etapas principais: Definição das fontes de dados, Extração e transformação das informações, Criação das bases de dados e, por último, o Desenvolvimento dos relatórios de monitoramento de processo.

Figura 27 – Arquitetura de informação do SADBC



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Este modelo aborda a utilização de algumas metodologias com o objetivo de adequar a técnica de mapeamento de processos em conjunto com o mapeamento de conhecimento através da manipulação de uma base de dados históricos e uma base de conhecimento, fundamentada em regras de produção.

Em uma primeira análise cabe destacar a importância de adoção de metodologias já consagradas como estas que foram apresentadas ao longo da fundamentação teórica. A junção de diferentes metodologias permitiu extrapolar o estado estático dos fluxogramas de processo e ampliar o foco de visão do processo pela interação entre dados histórico, conhecimento dos especialistas e a tomada de decisão.

Obteve-se assim, um modelo que fez uso da sinérgica com as metodologias e técnica de mapeamento de processos, com o mapeamento do conhecimento existente na

organização. Desta forma, a adoção desta arquitetura de informação, dentro do contexto aplicado, contribui tanto a gestão dos processos, como para a gestão do conhecimento.

A seguir, o quadro 19 apresenta as tecnologias e métodos utilizados em cada etapa de implementação do modelo proposto.

Quadro 19 - Etapas, tecnologia e métodos aplicados na definição da ferramenta

| Etapa | Tecnologia | Método/Ferramenta de referência |
|--|--|--|
| 1. Identificação das Fontes de Dados | - Base de dados de sistemas origem (Sistemas transacionais) - Planilhas eletrônicas - Planilhas manuais | |
| 2. Extração, Transformação e Carga de informações Dados | - Linguagem de programação Visual Basic - Linguagem de programação SQL (MS Office /MS SQL Server) - MS Excel e MS Access | - ETL (Extração, Transformação e Carga) - Mineração de Dados |
| 3. Criação da base de dados de informações de processo | - Base de Dados (MS ACCESS e MS EXCEL) - Base de Conhecimento (MS ACCESS) | - Tecnologia de Informação (TI) - Data Warehouse (DW) - Regras de Produção |
| 4. Desenvolvimento dos Relatórios para monitoramento dos processos | - Gráficos de controle de Processo | - Controle estatístico de processo (CEP) - Seis-Sigma |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A seguir serão detalhadas as etapas do desenvolvimento da ferramenta e os critérios de aplicação das técnicas e métodos utilizados.

4.4.1 Fonte de dados

A primeira etapa foi a definição das fontes de informação para dar origem aos dados dos parâmetros de controle e variáveis monitoradas nos processos. As fontes de informação utilizadas foram sistemas de informação de controle de processo, planilhas eletrônicas e planilhas manuais, conforme já apresentados na fase de mapeamento de processos na seção 4.1. A seguir, será apresentada a origem dos dados de cada processo que se considerou como fonte de informação pela pesquisa.

4.4.1.1 Fonte de dados de variáveis de processo

Processo: Perfuração da Ponteira

Variável de controle: Coresta

Origem de dados: As informações do controle da coresta são registradas em planilhas eletrônicas (arquivos Microsoft Excel), nas quais as informações são digitadas pelos operadores após as medições. Na preparação das informações de produção, utilizou-se dados entre os meses de Setembro a Dezembro de 2014 que forma consolidados em uma única tabela. As informações do controle de ponteira utilizadas pela pesquisa estão apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Tabela de dados de origem do controle de Coresta

| Dados_Coresta | |
|---------------|-----------------|
| ID | Coluna |
| 1 | ID_REG |
| 2 | MAQUINA |
| 3 | DATA |
| 4 | LOTE |
| 5 | NUM_Bobina |
| 6 | CODIGO |
| 7 | VALOR_Especif |
| 8 | TOL_MIN_Especif |
| 9 | TOL_MAX_Especif |
| 10 | Media_LadoA |
| 11 | Desvio_LadoA |
| 12 | Media_LadoB |
| 13 | Desvio_LadoB |
| 14 | DIFF_A_B |
| 15 | STATUS |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Processo: Fabricação de Filtro

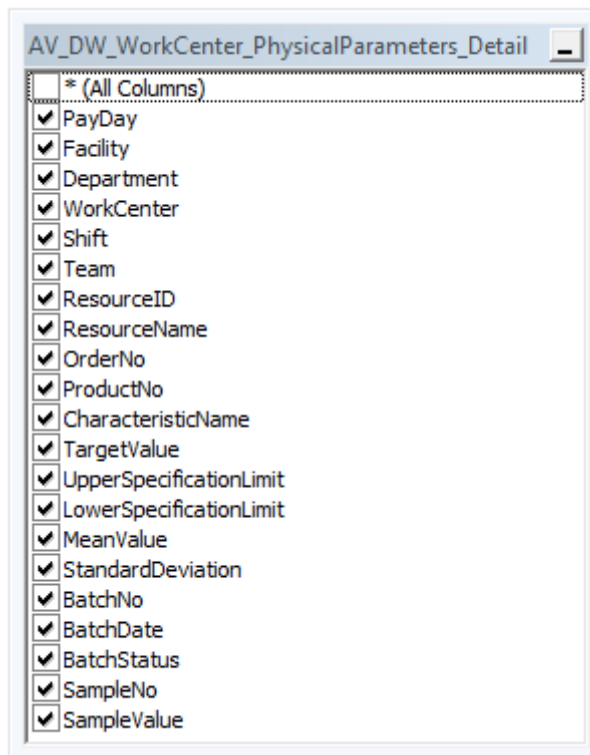
Variável de controle: RTD Filtro

Origem de dados: No processo de fabricação de filtros, os dados dos testes de medição dos valores de RTD do Filtro são transferidos automaticamente do equipamento que executa as medições, para a base de dados Microsoft SQL Server utilizada pelo sistema de controle de processo da empresa. A origem dos dados definida, com a ajuda dos especialistas de TI da empresa, foi uma tabela dinâmica da base de dados do sistema da empresa. Esta tabela específica traz as informações de média, desvio padrão e valores de especificação para cada tipo de filtro. A tabela dinâmica está apresentada na figura 28.

Os campos que foram considerados para a extração de dados foram Data de Fabricação (*Payday*), Maquina (*workcenter*), Produto (*ProductNo*), Variável (*CharacteristicName*), Valor Especificado (*Target*), Limite superior de especificação

(*UpperSpecificationLimit*), Limite inferior de especificação (*lowerSpecificationLimit*), Média (*MeanValue*), Desvio Padrão (*StandardDeviation*).

Figura 28 – Tabela dinâmica dos parâmetros físicos de processo



Fonte: Fornecido pela empresa, 2014.

Processo: Fabricação de Cigarros

Variável de controle: Ventilação

Origem de dados: O sistema de informação utilizado no controle de processo na fabricação de cigarros é o mesmo sistema utilizado para o controle dos filtros, portanto, os dados dos testes de medição dos valores de Ventilação são transferidos automaticamente do equipamento que executa as medições, para a base de dados Microsoft SQL Server utilizada pelo sistema de controle de processo da empresa. Na definição das informações do controle da Ventilação, utilizou-se a mesma tabela dinâmica que está apresentada na figura 30.

4.4.1.2 Rastreabilidade das matérias-primas

Para estabelecer uma relação que fosse possível associar o desempenho da Coresta dos lotes de ponteira e do RTD dos lotes de filtros com o desempenho da Ventilação, foi necessário realizar os parâmetros de rastreabilidade das matérias-primas utilizadas durante a produção de cigarros, neste caso, papel ponteira e filtro.

Nesta definição, de acordo com os controles da empresa, determinou-se que os parâmetros de rastreabilidade para identificar quais lotes e dias de produção de ponteira e filtros que foram consumidos em cada dia de produção de cigarro, foram os seguintes:

Ponteira: Código da ponteira e Número do Lote

Filtro: Código do filtro e data de produção

Utilizando dos recursos da empresa, que possui um sistema de informação que controla a rastreabilidade de matéria-prima e produto acabado, através de tabelas dinâmicas foi possível definir a origem de informação que relaciona os subgrupos diários de produção de cigarros e os lotes e subgrupos de ponteira e filtro consumidos.

O quadro 21 apresenta as informações definidas como critério de rastreabilidade.

Quadro 21 – Informações de rastreabilidade de material

| Rastreabilidade_Material | |
|--------------------------|----------------------|
| ID | Coluna |
| 1 | MAQUINA |
| 2 | ORDEM_Produção |
| 3 | DATA_Produção |
| 4 | DATA_LEITURA |
| 5 | CODIGO_MATERIAL |
| 6 | ORDEM_Material |
| 7 | MAQ_Origem |
| 8 | INFO_Rastreabilidade |
| 9 | QTDE_Leituras |

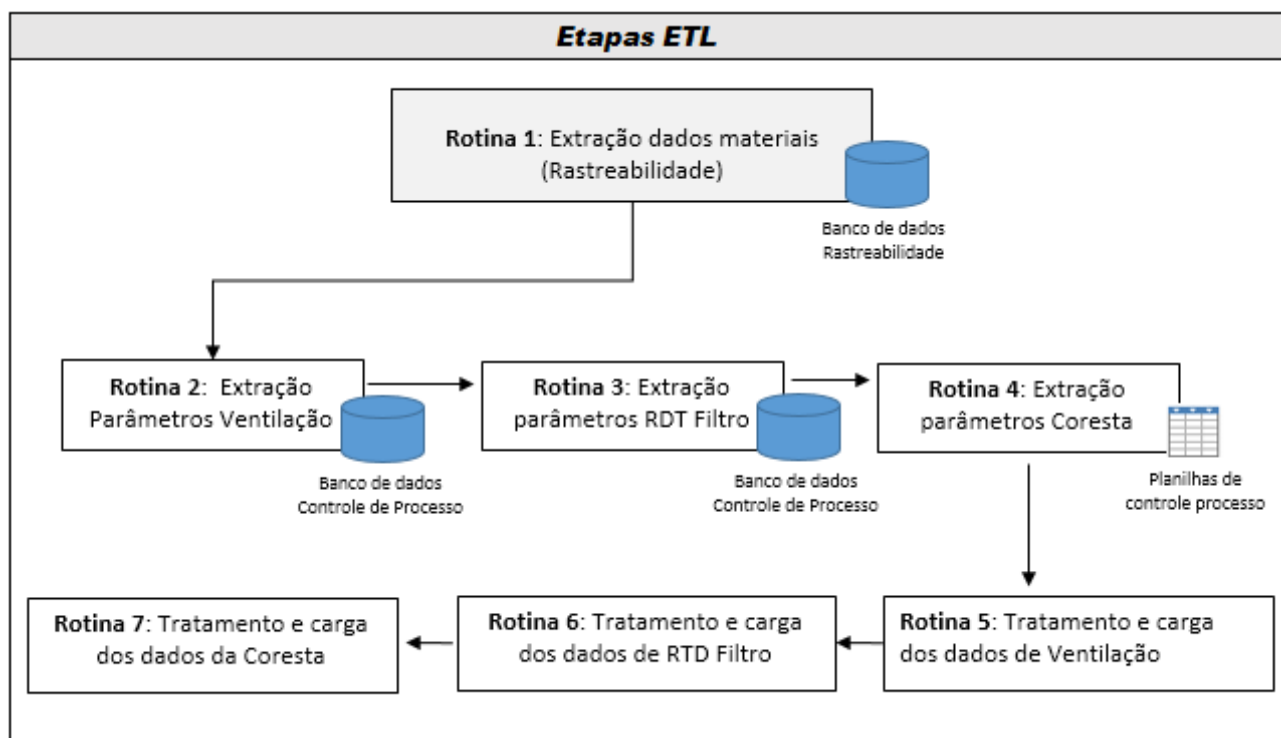
Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

4.4.2 Extração, Transformação e Carga de informações (ETL)

A aplicação da técnica de ETL é um processo que envolveu a extração dos dados em mais de uma fonte de dados. Nesta pesquisa, utilizou-se a extração em banco de dados em uso pela empresa e planilhas eletrônicas, conforme já descrito nas fontes de dados.

Na transformação desses dados foram utilizados cálculos, filtros, uniões de tabelas, tabelas temporárias e consultas às tabelas dinâmicas dos sistemas existentes através de linguagem de programação SQL e Visual Basic aplicado ao MS Excel e MS Access. A carga dos dados transformados foi feita em base de dados MS Access. As etapas seguidas no processo de ETL estão apresentadas na figura 29.

Figura 29 – Etapas ETL



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Seguindo o fluxo das etapas ETL, conforme descrito na figura 29, na rotina 1 os dados extraídos são datas de produção, máquinas, códigos de produto, lotes de matérias-primas consumidas e data de consumo.

A partir dessas informações, a rotina 2 faz a extração dos parâmetros de Ventilação, como valores de especificação, tolerâncias e médias e desvio das amostras. Na etapa 3 é feita a extração dos parâmetros e dados de RTD de filtro para cada subgrupo de

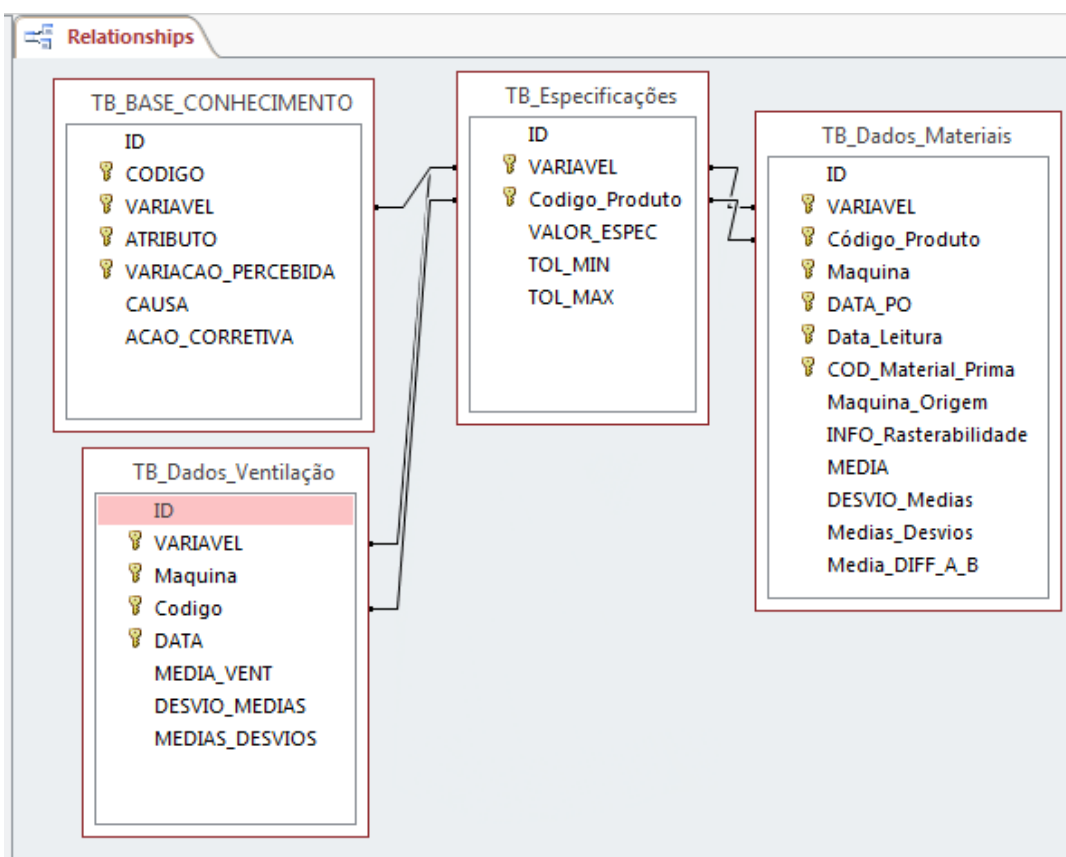
Filtros, enquanto que a rotina 4 realiza a extração dos parâmetros e dados de processo de cada lote de ponteira.

Na sequência, as etapas 5, 6 e 7 fazem o cálculo das médias e desvio padrão, respectivamente, para as variáveis Ventilação, RTD Filtro e Coresta. Em cada uma destas etapas os dados tratados são armazenados na base de dados MS Access que está descrita na próxima seção.

4.4.3 Base de dados

Os dados de controle dos processos e as regras de produção criadas foram armazenados em uma base de dados criada em formato MS Access 2007-2013, composta por quatro tabelas, conforme descreve a figura 30.

Figura 30 – Diagrama relacional das tabelas da base de dados MS Access



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

A função de cada tabela dentro do contexto de informação está explicada a seguir:

- **TB_Especificacoes:** Contém as especificações das variáveis e tolerâncias de processo.

- **TB_Dados_Ventilacao:** Armazena os dados de médias e desvios da variável ventilação da máquina em avaliação.

- **TB_Dados_Materiais:** Consolida as informações referente à data de produção do cigarro, data de consumo dos materiais, informação de rastreabilidade e valores de média e desvio padrão dos lotes e subgrupos consumidos de cada dia de produção.

- **TB_Base_Conhecimento:** Contém a lista das variações percebidas, suas causas e ações corretivas para cada variável e seus atributos. É a tabela usada para apresentar as regras de processos.

4.4.4 Relatórios de monitoramento de processo

Para representar os dados processados e permitir que os especialistas pudessem fazer a interpretação do indicador de estabilidade, foi desenvolvido um relatório utilizando os recursos gráficos do MS Excel e linguagem de programação *Visual Basic for Application (VBA)*. A origem dos dados que alimentam o relatório é a base de dados MS Access. As informações são processadas através de rotinas automáticas em linguagem de programação SQL que se conectam à base de dados a por meio de conexão ODBC.

A figura 31 detalha o relatório e seus elementos:

- (1) Critérios para execução do relatório
- (2) Gráficos de monitoramento da Variável Ventilação
 - a. Gráfico de monitoramento das médias dos subgrupos diários
 - b. Desvio padrão dos subgrupos diários
 - c. Coeficiente de Variação dos subgrupos diários
 - d. Índice de Estabilidade de processo
 - e. Função de avaliação das causas de variação
- (3) Gráficos de monitoramento da Variável RTD Filtro
- (4) Gráficos de monitoramento da Variável Coresta

Figura 31 – Elementos do relatório de monitoramento de processo



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

No gráfico das Médias (2.a), a linha central é a linha do valor de especificação da variável. A linha verde representa o 1º sigma e a linha vermelha indica o 2º sigma. A linha azul com pontos são os valores das médias de ventilação de cada dia de produção.

No gráfico de barras de desvio padrão (2.b), as barras representam os desvios padrão de cada dia de produção e a linha vermelha indica o valor de 1 sigma.

O gráfico de coeficiente de variação (2.c) indica se a dispersão dos dados se mantém normalizada ou se apresenta aumento ou decréscimo na dispersão dos dados dos subgrupos.

No elemento (2.d), é mostrado o Índice de Estabilidade e a interpretação do indicador, proposta por este estudo.

O elemento (2.e), é uma função que aciona o formulário para avaliação e indicação das possíveis causas e ações baseada na base de conhecimento construída com a ajuda dos operadores e especialistas dos processos.

O elemento 3 é o conjunto de gráficos que mostram os dados referente à variável RTD do Filtro e o elemento 4 é o conjunto de gráficos referente à variável Coresta.

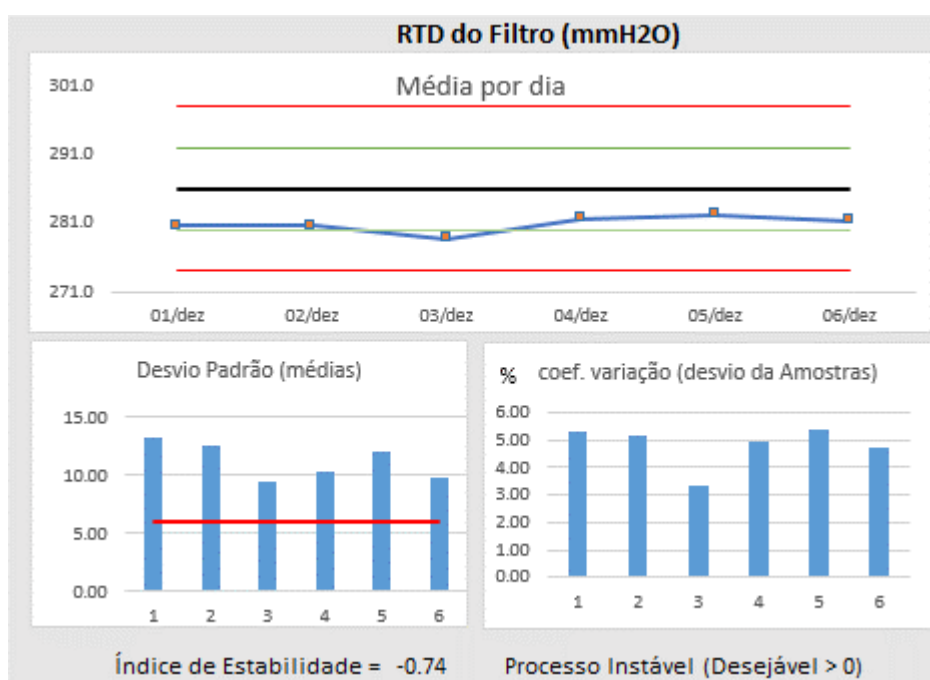
Esse conjunto de gráficos e indicadores foi projetado para permitir que os especialistas de processo tivessem uma visão ampliada dos processos, utilizando dados representativos e que tivessem parâmetros de comparação na mesma dimensão.

4.4.5 Verificação das Regras de Produção

Assim como a interpretação da existência de variações no processo pode ser realizada através do relatório de monitoramento dos indicadores de processo, a avaliação das possíveis causas também foi possível realizar através do relatório.

Após explorar as causas de variação dos parâmetros de processo pela interpretação do índice de estabilidade e os dados dos gráficos, pode ser executada a consulta à base de conhecimento para verificar as possíveis causas que foram mapeadas e armazenadas na base de dados. Pela interpretação com o sistema, ele sugere as ações de tomada de decisão, a partir das regras de produção SE-ENTÃO construídas.

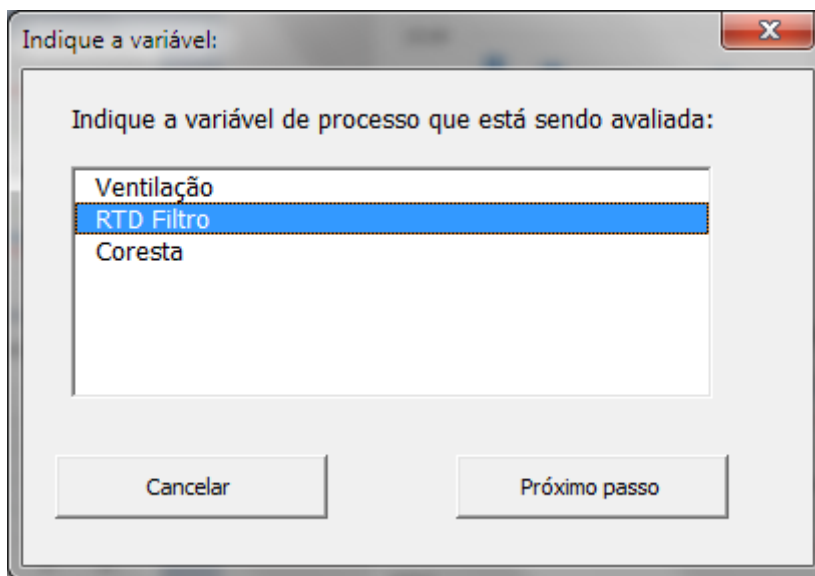
Figura 32 – Exemplo de avaliação do RTD Filtro



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

Para demonstrar esse procedimento, realizou-se uma avaliação da variável RTD do Filtro em uma situação real de processo, escolhida aleatoriamente e apresentada na figura 32. Nesta situação, um especialista de processo executou a função “Avaliar” do sistema, descrita na seção 4.4.4. A avaliação inicia pela tela inicial, conforme mostra a figura 33. O especialista selecionou a variável RDT Filtro.

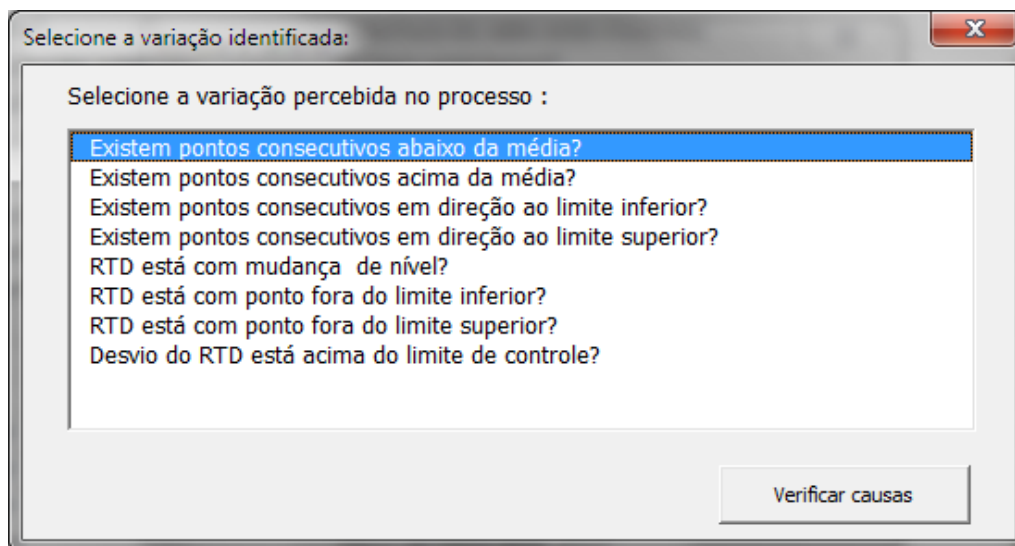
Figura 33 – Exemplo regras de produção: Identificação da Variável



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

Na sequência, o sistema mostrou as opções de variação de processo mapeadas para a variável RTD Filtro. Na análise do especialista, foi indicada a opção, conforme figura 34.

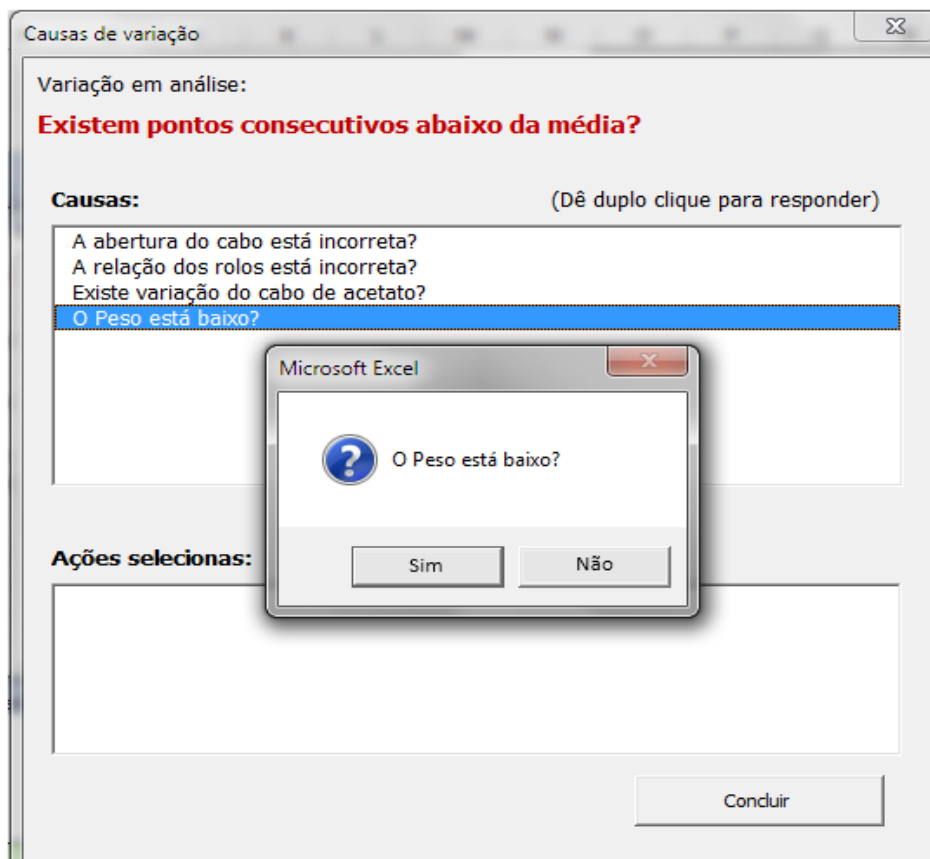
Figura 34 – Exemplo regras de produção: Identificar variação



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

Uma vez identificada a variação percebida no processo, o especialista pode avaliar as causas conhecidas para a opção selecionada. A figura 35 mostra as causas mapeadas para a variação identificada.

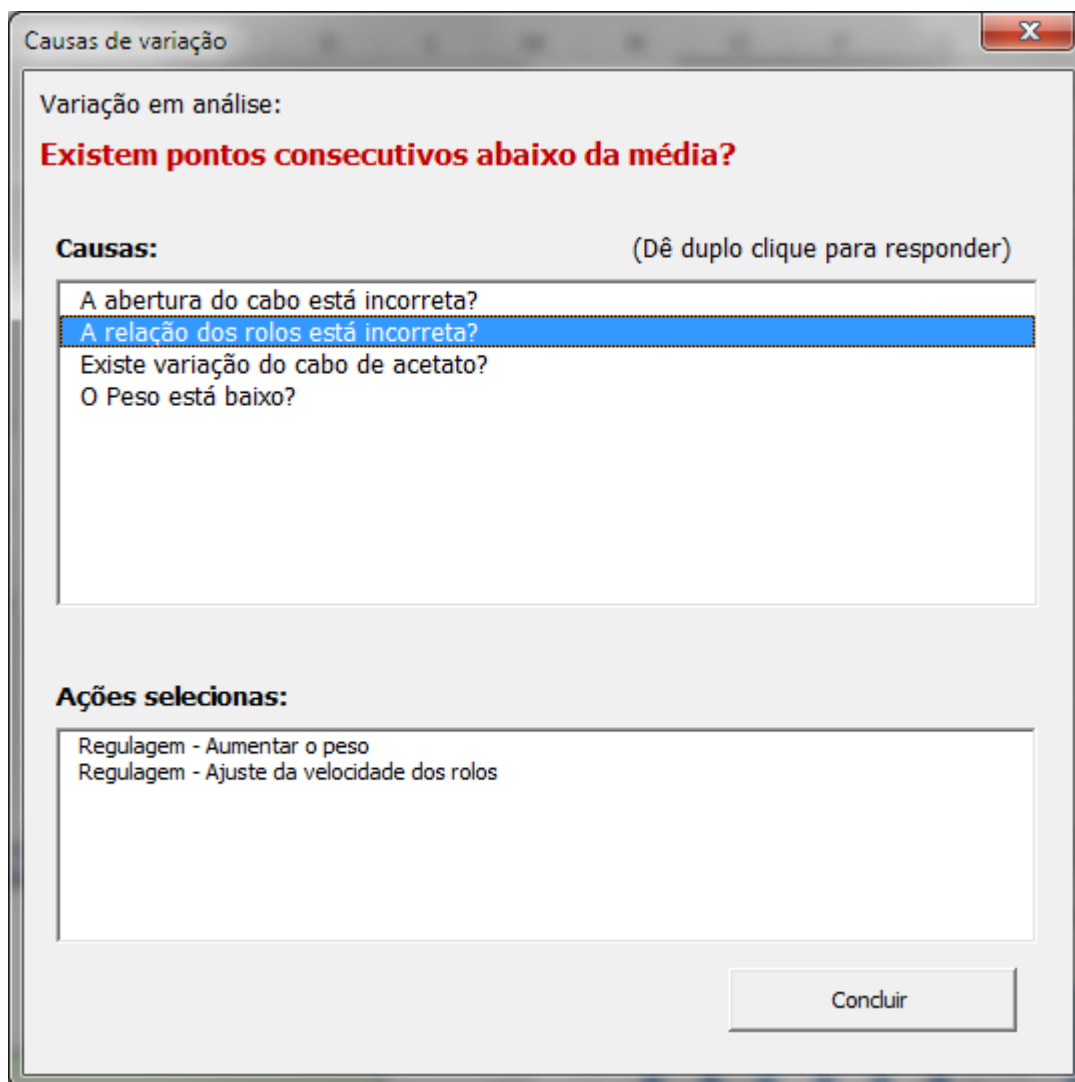
Figura 35 – Exemplo regras de produção: Verificar causas



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

Para responder as perguntas sugeridas pela aplicação, o especialista precisou recorrer aos registros de paradas de máquina e relatórios de outras variáveis de máquina nos dias indicados no relatório para encontrar as evidências e respostas. Com base na avaliação do especialista ele confirmou duas causas de variação: Peso do filtro baixo e relação dos rolos com problemas.

Figura 36 – Exemplo regras de produção: Ações selecionadas



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

O especialista considerou cada uma das causas de variação sugeridas pela aplicação. Para confirmar as causas que poderiam ser consideradas, o especialista consultou gráficos de peso do controle de processo e registros de ocorrência do diário de bordo da máquina. Após a avaliação ele confirmou as possíveis causas “relação dos rolos incorreta” e “Peso baixo”, e então o sistema sugeriu as ações a serem tomadas para ajustar o controle da variável RTD de Filtro, conforme mostra a figura 36.

Nesta avaliação, o especialista considerou que as ações sugeridas foram bem específicas e coerentes, e uma delas, aumentar o peso do filtro, não era muito frequente. Como este teste foi apenas para avaliar o sistema, não foi controlado se as ações foram

implementadas ou se surtiram resultados. A validação do sistema e da aplicabilidade do índice de estabilidade será descrita na próxima seção.

4.5 Validação do sistema e do Índice de Estabilidade

Durante o desenvolvimento do sistema e do índice de estabilidade, vários testes foram realizados para avaliação de desempenho do sistema, interpretação do relatório de monitoramento e testes do ciclo de inferência das causas de variação.

Os testes finais de validação do sistema e do índice foram realizados a partir de uma máquina de cigarro. Durante o período de avaliação, não houve troca de marca. Estes critérios foram escolhidos para evitar que diferença de configuração máquina, produto ou o comportamento de diferentes equipes de operadores influenciassem na interpretação dos resultados, principalmente em relação ao acompanhamento das ações corretivas realizadas.

A validação foi realizada no período de 3 semanas, seguindo a abordagem do 6 sigma-DMAIC: (D/M) Diagnóstico inicial, (A) Investigação das causas e acompanhamento, (I) Implementação das ações e (C) Confirmação dos resultados.

4.5.1 Diagnóstico inicial (Definir/Medir)

Na primeira semana, a etapa de diagnóstico foi realizada em uma sessão de análise realizada pelo especialista do processo de fabricação de cigarros e filtros. Através do relatório de monitoramento, o especialista definiu a máquina de cigarro, determinou os dias da semana entre os dias 05/01/2015 e 10/01/2015 e executada a consulta ao relatório. O resultado desta consulta está demonstrado na figura 37.

Pelo gráfico das médias de ventilação, nota-se que todas as médias se posicionaram acima do valor de especificação. Isso comprova que existiu um deslocamento das médias em relação ao valor especificado. O desvio padrão da ventilação ficou estável em todos os dias, ligeiramente acima do valor de 1 sigma. O coeficiente de variação ficou estável entre em 6% e 8 %, confirmando que a distribuição dos dados está normal.

Para a variável Ventilação, o sistema calculou o índice de estabilidade em 0,1. Este valor aceita-se com processo estável, porém como está abaixo do valor ideal de 1, sugere-se que o processo pode ser melhorado.

Analisando o desempenho do RTD dos lotes de filtros consumidos em cada dia de produção, percebe-se uma variação considerável do desvio padrão e uma tendência do

RTD estar abaixo da linha central. O índice de estabilidade foi calculado em $-2,14$, indicando que o processo estava instável.

A variável Coresta teve seu desempenho estável. O comportamento das médias e desvio permaneceram estabilizados. O índice de estabilidade foi calculado em 0.87 , confirmou o bom desempenho mostrado nos gráficos. Nenhuma ação foi considerada no processo de perfuração de ponteira.

Figura 37 – Diagnóstico – Semana 1



Fonte: Relatório de monitoramento, 2015

4.5.2 Investigação das causas e acompanhamento (Analisar)

Assim, os sistemas especialistas devem ter algumas características essenciais nos dias atuais, tais como: capacidade de trabalhar com incertezas; capacidade de oferecer explicações ao usuário; flexibilidade de adaptação de sua base de conhecimentos a outro especialista; e capacidade de continuar aprendendo.

Através da utilização do sistema, o especialista concentrou a análise na principal variação percebida no gráfico de médias da Ventilação: *Ventilação com pontos consecutivos acima da média*. Ao final, chegou a 3 causas e ações possíveis, conforme mostrado no quadro 22.

Quadro 22 – Regras de produção selecionadas para Ventilação

| Variável | Atributo | Condição => Valor |
|------------|----------|--|
| Ventilação | Média | SE => Ventilação com pontos consecutivos acima da Média? E => RDT Filtro está BAIXO? ENTÃO => FILTRO - Aumentar RTD |
| Ventilação | Média | SE => Ventilação com pontos consecutivos acima da Média? E => Excesso de pressão na mola de suporte da gomeira? ENTÃO => Regulagem - Pressão da mola de suporte da gomeira |
| Ventilação | Média | SE => Ventilação com pontos consecutivos acima da Média? E => Temperatura do pré e/ou pós aquecedor desregulada? ENTÃO => Regulagem - Temperatura do pré e/ou pós aquecedor |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Na análise das variações e causas para a variável RTD, o especialista considerou duas situações: *Existem pontos consecutivos abaixo da média e Desvios do RTD acima do limite de controle*. As ações sugeridas estão apresentadas no quadro 23.

Quadro 23 – Regras de produção selecionadas para RTD Filtro

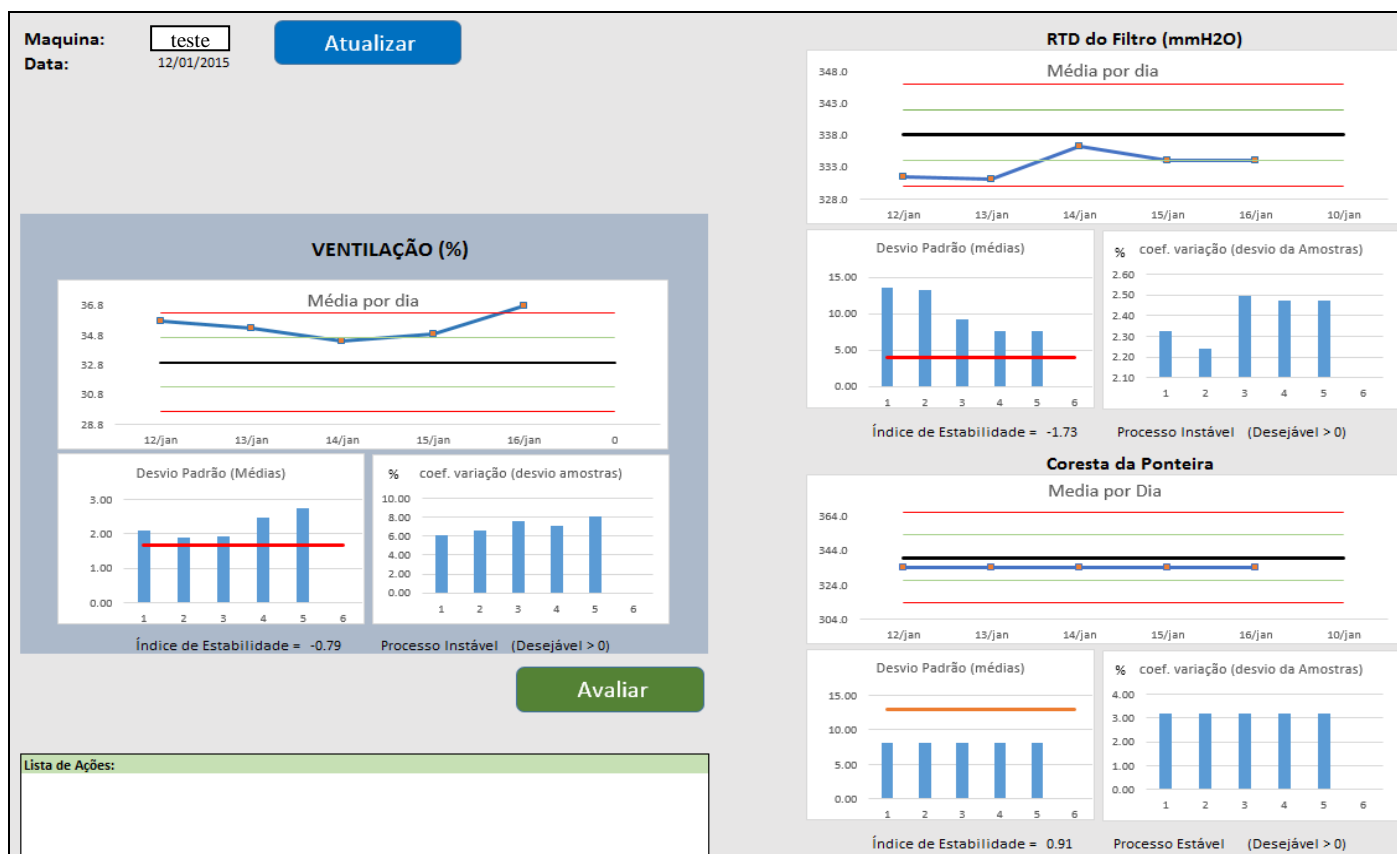
| Variável | Atributo | Condição => Valor |
|------------|----------|--|
| RTD Filtro | Desvio | SE => Desvio do RTD está acima do limite de controle? E => A Relação dos rolos está desregulada? ENTÃO => Regulagem - Relação dos rolos |
| RTD Filtro | Desvio | SE => Desvio do RTD está acima do limite de controle? E => Variador de entrega está desregulado? ENTÃO => Regulagem - Variador de entrega |
| RDT Filtro | Média | SE => Existem pontos consecutivos abaixo da média? E => A relação dos rolos está incorreta? ENTÃO => Regulagem - Ajuste da velocidade dos rolos |
| RDT Filtro | Média | SE => Existem pontos consecutivos abaixo da média? E => A abertura do cabo está incorreta? ENTÃO => Regulagem - Regulagem da abertura do cabo |

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

Na segunda semana foi realizado o acompanhamento do comportamento da máquina de cigarro, porém sem tomar as ações sugeridas pela análise do especialista de processo. Nesta semana o foco da análise foi concentrado na máquina de filtro, uma vez que os lotes de filtros são fabricados com 2 a 3 dias de antecedência. Logo, para que os resultados das ações em RTD do filtro pudessem ser percebidos ao mesmo tempo das ações em Ventilação, primeiramente foram tomadas as ações em filtro.

As ações corretivas sugeridas apresentadas no quadro 23 começaram a ser analisadas e ajustes começaram a ser observados em máquina, com base nas informações repassadas pelo especialista de processo aos operadores de máquina nos 3 turnos. Então, ao final da segunda semana, foi realizada nova consulta ao relatório entre os dias 12/01/2015 e 16/01/2015.

Figura 38 – Acompanhamento – Semana 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

O resultado do acompanhamento da segunda semana de monitoramento, apresentado na figura 38, confirmou as tendências da primeira semana para a variável Ventilação, porém com o aumento da instabilidade do processo. A variável RDT Filtro teve uma pequena melhora, enquanto que a variável Coresta manteve-se estável.

Com relação ao índice de estabilidade, a Ventilação ficou em -0.79. Os valores das médias da segunda semana ficaram deslocados entre o 1º e 2º sigmas positivos, enquanto que na primeira semana, a maior parte dos pontos estavam menores de 1 sigma.

O índice de estabilidade do RTD do Filtro na segunda semana foi determinado em -1,73, portanto permanece instável, mas melhorou em relação aos -2,17 calculados na primeira semana. Essa melhora pode ser observada no gráfico de desvio padrão, que mostra a redução do desvio padrão a partir do terceiro dia (14/jan).

4.5.3 Implementação das ações (Melhorar)

Na terceira semana, a partir do dia 19/01/2014, as ações de melhoria na máquina de filtro foram intensificadas. Algumas ações planejadas para melhorar o indicador da ventilação, como regulagem e ajuste da temperatura e outras que foram implementadas necessitavam do acompanhamento de mecânicos e eletrônicos, além de alguns momentos de máquina parada. Como esses recursos têm controle de custo e podem afetar o desempenho de máquina, os ajustes específicos no processo, acompanhadas por um mecânico e um eletrônico, foram agendadas para ser realizados no dia 21/01/2015.

Após o acompanhamento das ações, o relatório de monitoramento foi novamente emitido entre os dias 19/01/2015 e 21/01/2015. Os resultados do relatório deste período estão apresentados no gráfico da figura 39.

4.5.4 Comprovar Resultados (Controlar)

As evoluções dos gráficos de Filtro mostraram que as ações para centralizar a média dos valores de RTD do Filtro na terceira semana foram efetivas neste propósito. A média que vinha sendo mantida perto de 1 sigma (334), no dia 21/01 alcançou o valor de 338,2, muito aproximado à média, de 338. Entretanto o valor do desvio manteve-se muito acima do valor de 1 sigma.

Figura 39 – Acompanhamento – Semana 3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015

O índice de estabilidade calculado no período de 19/01 até 21/01 foi de -1,29 o que indica que o processo estava instável considerando os 4 dias analisados. A partir desses resultados, constatou-se que as ações de “Regulagem - Regulagem da abertura do cabo” e “Regulagem - Ajuste da velocidade dos rolos” foram efetivas, pois se constatou que, em média, o RTD de Filtro ficou centralizado.

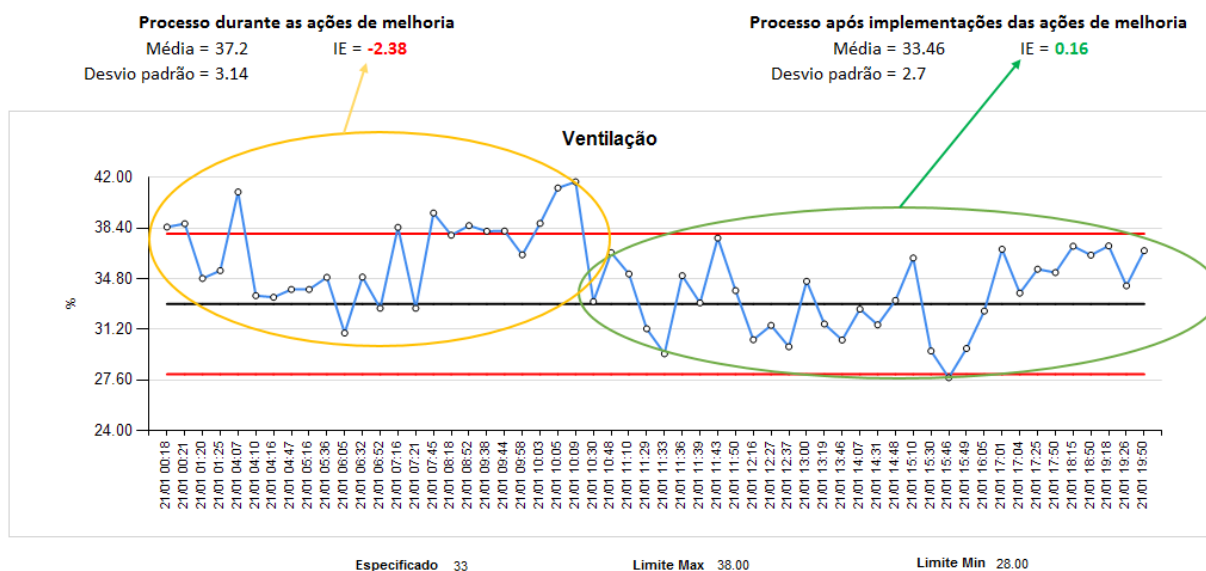
Já as ações de “Regulagem - Variador de entrega” e “Regulagem - Relação dos rolos” não foram efetivas para reduzir o valor a variação e, por consequência, o valor do desvio padrão. Essa variação justifica-se, pois o processo estava sofrendo ajustes e interferências por parte dos mecânicos, eletrônicos e operadores.

Para obter um índice de estabilidade positivo, seria necessário aguardar o processo estabilizar, ou seja, evitar a interferência de ajustes intencionais e realizar um novo ciclo de avaliação e analisar as causas que possam estar afetando o desvio padrão do RTD do Filtro.

Com relação à ventilação, que teve as intervenções realizadas somente no dia 21/01, o relatório semanal observou as mesmas tendências da semana anterior, sem detectar as ações iniciadas no dia 21/01. Para buscar a verificação da eficácia das ações,

realizou-se a análise sobre os dados da carta de controle de processo (APÊNDICE VI) e no gráfico de controle de processo diário, conforme ilustrado na figura 40.

Figura 40 – Gráficos de controle – Validação



Fonte: Dados fornecidos pela empresa, 2015

A figura 40 apresenta os dados das médias de ventilação no decorrer do dia 21/01. Os dados foram divididos em dois conjuntos de dados. O primeiro grupo, que compreende os dados entre 00:18h e 10:09h, representa o período em que as ações estavam sendo realizadas e o segundo conjunto, entre 10:30h e 19:50h, representam as ações após inúmeras intervenções.

Utilizando os dados do APÊNDICE VI, foram calculados os dados de média, desvio padrão e do índice de estabilidade (IE). O primeiro conjunto, o IE calculado foi de -2.38, com média de 37.2 e desvio de 3.14, mostrando que durante a realização das intervenções em máquina o processo ficou muito instável.

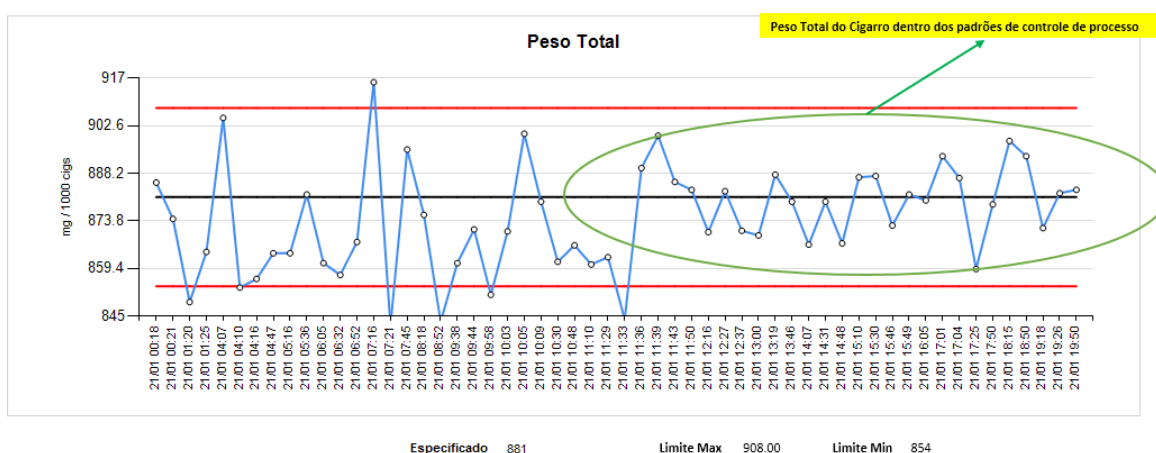
Entretanto, após a finalização das intervenções e ajustes de máquina, o segundo conjunto de dados apresentou resultados que indicam a melhora na estabilidade da variável ventilação. A média do conjunto de dados foi calculada em 33.46 e o desvio em 2.7. O índice de estabilidade foi determinado em 0.16, portanto estável dentro do conceito proposto por esse trabalho.

As ações de “aumentar o RTD do filtro”, não foi considerado como fator decisivo para o ajuste da ventilação, pois mesmo após a utilização das barras de filtro com o RTD

ajustado, ainda foi necessário realizar outras regulagens na máquina de cigarro. Segundo os operadores, as ações combinadas de “Regulagem - Pressão da mola de suporte da gomeira”, “Regulagem - Temperatura do pré e/ou pós aquecedor” foram mais significativas. Porém, a ação que mais surgiu efeito para o controle da Ventilação foi a redução no controle da “variação do peso do cigarro”. Esta condição estava mapeada na base de conhecimento, entre as causas de variação. Porém na análise inicial do especialista, não foi identificada como uma das causas principais de variação da ventilação. Essa foi uma constatação realizada em conjunto pelo time de operadores, mecânicos e eletrônicos.

A figura 41, mostra a evolução no controle de peso entre 10:30h e 19:50h.

Figura 41 – Gráficos de controle Peso Total do cigarro



Fonte: Dados fornecidos pela empresa, 2015

Ao final, tanto o índice de estabilidade, como o gráfico de monitoramento foram considerados de grande relevância para diagnosticar e compreender o nível de estabilidade dos processos e as variações entre os dias de produção. O gráfico de monitoramento semanal contribuiu para diagnosticar, enquanto que o índice de estabilidade auxiliou na comprovação dos resultados de curto prazo e determinar o quanto precisava ser melhorado.

A base de conhecimento e as regras de produção auxiliaram na orientação da tomada de ação. Foi consenso do grupo, que a análise inicial coletiva, com a participação de todos os agentes do processo poderia ter sido mais eficaz, do que a análise inicial feita somente pelos especialistas.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve o propósito de investigar o seguinte problema de pesquisa: Será que a aplicação dos métodos de mapeamento, análise e melhoria dos processos combinados ao uso de um sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento pode oferecer uma alternativa para orientar os esforços na manutenção da estabilidade dos indicadores dos processos que influenciam no desempenho de um indicador-chave, neste caso, o % de Ventilação do cigarro?

Para responder ao problema de pesquisa, foi estabelecido o objetivo geral de propor uma forma de monitoramento da estabilidade do desempenho de processos, a partir da aplicação dos fundamentos da gestão por processos e técnicas de modelagem de sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento.

O objetivo geral da pesquisa foi plenamente atingido. Foi criado um indicador estatístico para medir e monitorar a estabilidade do desempenho de processos, usando os princípios de capacidade de processo. Este indicador foi testado em uma indústria, através da aplicação de um sistema que foi modelado com o uso de regras de processo. Também foram utilizadas técnicas de aquisição de conhecimento para montar uma base de conhecimento com as regras de produção que apoiaram a investigação das causas de variação dos processos.

Com relação aos objetivos específicos, todos foram concluídos com êxito: aplicou-se a metodologia de mapeamento de processo, identificaram-se as etapas dos processos através dos fluxogramas e foi construída a matriz de pontos críticos de controle, que apresentam os indicadores-chave de desempenho de processo. As regras de negócio que influenciam nas ações para resolução de problemas de variação dos indicadores-chave foram criadas e aplicadas em uma base de conhecimento. Por fim, o modelo de indicador de estabilidade de processo proposto foi capaz de medir e monitorar a estabilidade dos indicadores de processos e auxiliar nas escolhas das ações de melhoria, usando as regras de produção.

Os resultados dos testes de validação confirmaram que o índice de estabilidade foi totalmente aceito e coerente com a interpretação dos gráficos. Em todos os testes, o índice de estabilidade detectou com precisão os momentos de instabilidade dos indicadores em relação às suas especificações. Os gráficos de monitoramento foram essenciais na

interpretação do indicador de estabilidade e, principalmente, na orientação para a identificação das variações percebidas nos processos. No período da utilização da ferramenta, o índice de estabilidade para Ventilação atingiu o índice de -0.78. Após a interpretação do índice de estabilidade e a utilização das regras de produção, foram identificadas as principais causas e ações a serem realizadas. Após o planejamento e implementação das ações o índice de estabilidade do indicador ventilação foi calculado em 0.16, confirmado que as intervenções de máquina atingiram o resultado esperado.

Quanto à relação das variáveis dos processos, confirmou-se que as variações de RTD do Filtro influenciam fortemente a estabilidade do indicador Ventilação. Os resultados mostraram que quando as médias do RTD de Filtro se distanciam em relação à linha central, percebeu-se que o indicador Ventilação também tende a ficar distante do valor de especificação, porém em sentido contrário. Essa instabilidade foi detectada pelo índice de estabilidade. Nos testes realizados, o indicador Coresta manteve-se sempre estável. Não foram identificados problemas de instabilidade relacionados com a coresta da ponteira.

Quanto às principais contribuições desta pesquisa, acredita-se que ao estabelecer um índice estatístico para determinar um valor de estabilidade quantitativo, se reduziu a grau de subjetividade na interpretação da variabilidade de processos e trouxe uma nova referência para ser debatida e testada, tanto no meio acadêmico, quando no meio empresarial.

Para empresa, acredita-se que a criação de uma base de conhecimento, específica sobre o controle do indicador-chave e seus indicadores de influência, contribuiu com a empresa, pois permite agir de forma ágil e precisa na manutenção dos resultados. Os relatórios de monitoramento, aliado ao índice de estabilidade possibilitaram ter uma resposta rápida para comprovar se as ações de melhoria realizadas foram efetivas ou não, e mostraram a referência quantitativa sob o quanto ainda podem melhorar.

Em relação às limitações da pesquisa considera-se que como a pesquisa utilizou recursos de informação e base de dados da empresa, as informações das fontes de dados ficaram delimitados aos domínios da empresa, não sendo permitida a sua publicação. Por questões de restrição de recursos, o índice de estabilidade foi testado em apenas uma unidade de fabricação e por um período limitado. Para uma completa comprovação da eficácia do índice de estabilidade de processo, acredita-se que é necessário um período de maior de validação e em outras unidades de fabricação para a comparação dos resultados.

Outra limitação da pesquisa foi a falta de trabalhos recentes relacionados ao monitoramento de indicadores-chaves com o uso de base de conhecimento no ramo do tabaco. Devido a isso, os critérios de validação foram fundamentados em estudos mais antigos e no conhecimento presente na empresa, através dos operadores e especialistas de processo.

As sugestões para trabalhos futuros, dando continuidade a esta pesquisa, podem ser a aplicação do índice proposto em um estudo de caso em uma empresa de um ramo diferente, para avaliar a aplicabilidade do indicador em uma situação distinta e a definição de uma escala de limites de aceitação de valores máximos e mínimos.

6. REFERÊNCIAS

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção, Áreas e Subáreas de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2013, Disponível na url <http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>, Acessado em: 14/09/2013.

ABNT NBR ISO 9512:2009 – Cigarros – Determinação de ventilação – Definições e princípios de medição, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2009.

ADAM, T., Mcaughey, J., MOCKER, C., Mcgrath, C., ZIMMERMANN, R., *Analytica Chimica Acta*: Influence of filter ventilation on the chemical composition of cigarette mainstream smoke, 657, p 36–44, 2010

ALMEIDA, Guilherme V., SOUZA, Fernando B., BAPTISTA, Humberto R., TOYOTA E TOC: UMA COMPARAÇÃO COM BASE EM SEUS PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS, *XIII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais – SIMPOI 2010* - FGV, São Paulo, SP, 2010.

ALMEIDA, Adiel Teixeira de - Sistema de apoio a decisão para seleção de atividades críticas no gerenciamento de projetos com avaliação multicritério, *ENEGEP - XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Ouro Preto, MG, Brasil, 2003.

ANDRADE, Aurélio et al. Pensamento sistêmico: Caderno de campo: O desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre, Bookman, 2006.

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, CARTA RESPOSTA - Eliminação da nicotina nos cigarros, ou redução a um nível temporariamente aceitável, e proibição de novas marcas, dez/2002. Disponível em http://www.amata.ws/Fio%20Maravilha/assinaturas/resposta_Anvisa.htm, acessado em 15/05/2014.

ARNHEITER, E.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and Six Sigma, *The TQM Magazine*, Vol. 17 No. 1, 2005

Assessoria de Desenvolvimento Organizacional – DO. Metodologia de Gestão de Processos – Novo Olhar. Disponível em: <<http://www.intra.unisc.br/processos>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

BAE, Sung M; HA Sung H., PARK, Sang C; A web-based system for analyzing the voices of call center customers in the service industry, *Expert Systems with Applications*, Vol 28, 2005.

BARNETT, Neil S., "Process Control and Product Quality: The C_p and C_{pk} Revisited" *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 7 Iss 5, 1990.

BARNETT, Neil S., Process Control and Product Quality: The C_p and C_{pk} Revisited, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 7 Iss 5, 1990.

BATEMAN, NICOLA - Sustainability: the elusive element of process improvement, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 No. 3, 2005pp. 261-276.

BEIMBORN, D., JOACHIM, N. The joint impact of service-oriented architectures and business process management on business process quality: An empirical evaluation and comparison, *Information Systems and eBusiness Management*, p333–362, 2011.

BHUIYAN, N., BAGHEL, A. An overview of continuous improvement: from the past to the present, *Management Decision*, Vol. 43, No. 5, p.761-771, 2005.

BIGGS, J.S., et al.; Applying Process Mapping and Analysis as a Quality Improvement Strategy to Increase the Adoption Fruit, Vegetable, and Water Breaks in Australian Primary Schools; *Health Promotion Practice*, October 2013.

BIZAGE Process Modeler, versão 2.6.0.4, de 30 Setembro 2013, Bizagi Ltda, <http://www.bizagi.com/en/bpm-suite/bpm-products/modeler>. Download realizado em Maio 2014

BOULIL, Kamal, BER, Florence Le, BIMONTE, Sandro, GRAC, Corinne, CERNESSON, Flavie. Multidimensional modeling and analysis of large and complex watercourse data: an OLAP-based solution, *Ecological Informatics*, 24, p90–106, 2014.

BPM CBOK. Guide to the Business Process Management Common Body of Knowledge. Versão 2.0. Disponível em: www.abmpmp.org. 2009. Acesso em: 15 dez. 2010.

BPMN. Business Process Management Notation. Disponível em: www.bpmn.org. 2009. Acesso em: 15 dez.

BROWNE, Colin L., *The Design of Cigarettes*, North Carolina – EUA, Celanese Corporation, 1979.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC: Controle da Qualidade Total: no estilo japonês. 6. ed Belo Horizonte: UFMG, 1992.

CARPINETTI, Luiz C. R. Proposta de um modelo conceitual para o desdobramento de melhorias estratégicas. *Gestão & Produção*, vol.7, no.1, p.29-42, 2000

CARVALHO, M, PALADINI, E.: *Gestão da qualidade – Teoria e casos*, 2ª edição – Elsevier, ABEPRO, 2012.

CAURIO, Cristian, ELLWANGER, Magali C., KIPPER, Liane M., NARA, Elpídio O. B., Utilização de ferramentas de business intelligence para a gestão estratégica e vantagem competitiva, *Enegep - XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, SP, Brasil, 12 a 15 de outubro de 2010.

CHAKRAVORTY, Satya S.; Six Sigma programs: An implementation model; *International Journal of Production Economics*, Ed 119, 2009.

CHEN, Chung-Yang 2010; Managing projects from a client perspective: The concept of the meetings-flow approach; *International Journal of Project Management*, Vol. 29, 2011.

CHIRCU, A. et al., Medication errors, handoff processes and information quality A community hospital case study, *Business Process Management Journal*, Vol. 19 No. 2, 2013.

COBB, Charles G.; Enterprise process mapping: integrating systems for compliance and business excellence, Quality Press, United States of America, 2005.

CORREA, Jairo N., NETO, Anselmo C., Estudo do controle e análise da capacidade do processo de produção de água potável , *Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*, XLI SBPO 2009.

COUGHLAN, P.; COGHLAN, D. Action research: Action research for operations management, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, n. 2, p.220-240, 2002.

Dambhare, S., Aphale, S., Kakade, K., Thote, T, Borade, A. Productivity Improvement of a Special Purpose Machine Using DMAIC Principles: A Case Study, *Journal of Quality and Reliability Engineering*, Vol.??e 2013.

DUARTE, Maraiana D.O., GUSMÃO, Ana Paula H., ALMEIDA, Adiel T. Sistema de apoio a decisão com modelo aditivo para priorização de sistemas de informação, *ENEGEP - XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção* – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005.

DUARTE, Marina D. O.; GUSMÃO, Ana Paula Henriques de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de - Sistema de apoio a decisão com modelo aditivo para priorização de sistemas de informação, *ENEGEP - XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

ELDRIDGE, T., IWAARDEN, J.V., WIELE, T.D.V, WILLIAMS,R. , Management control systems for business processes in uncertain environments", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 31 Iss 1 p66 – 81, 2013.

FEIGENBAUM, Armand V., Controle da Qualidade Total – Gestão e Sistemas, Vol. I, São Paulo, Makron Books, 1994

FERGUNSON, Douglas. Lean and six sigma: The same or different? Management Services, *Journal of the Institute of Management Services*, United Kingdon, p12-13. 01 out. 2007.

VIEIRA FILHO, Fernando Castro, ROSA, Geresa O., MORALES Daily, Aplicação da metodologia lean six sigma na redução da variabilidade do processo de envase em uma indústria de óleo vegetal, *ENEGEP - XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção* , São Carlos, SP, Brasil, 2010.

GOLDSCHMIDT, Ronaldo Ribeiro. Inteligência Computacional, IST- Rio, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

GOMES, Leonardo; PEREIRA, Andrea; Identificação de pontos de controle no ciclo de desenvolvimento de produto por meio de modelagem conceitual e mapeamento da informação; *Gestão & Produção*, São Carlos, Vol. 21, n. 2, p. 257-269, 2014.

HAMZA, Salah Eldin Adam, "Monitoring and controlling design process using control charts and process sigma", *Business Process Management Journal*, Vol. 15 Iss 3 p358 – 370, 2009.

HELLSTROM, A; ERIKSSON, H; Are you viewing, mapping or managing your processes?; *The TQM Journal*, Vol. 20 No. 2, 2008.

HUANG et al.; Measurement of analytical knowledge-based corporate memory and its application; *Decision Support Systems*, Vol 54, 2013.

IMAI, Masaaki. *Gemba-Kaizen: estratégias e técnicas do Kaizen no piso da fábrica*. 1. ed. São Paulo: IMAM, 1997.

JASTI, Naga V. K.; SHARMA, Aditya; Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool A case study from auto components industry; *International Journal of Lean Six Sigma* Vol. 5 No. 1, 2014 .

JURAN, Joseph M., *Controle da Qualidade HANDBOOK – vol I - componentes básicos da função qualidade*; Tradução de Maria Cláudia de Oliveira Santos, São Paulo, SP, McGraw-Hill/Makron, 1992.

JURAN, Joseph M., *Controle da Qualidade HANDBOOK – vol VI – métodos estatísticos clássicos aplicados à qualidade*; Tradução de Maria Cláudia de Oliveira Santos, São Paulo, SP, McGraw-Hill/Makron, 1992.

JURAN, Joseph M., *Planejamento para a Qualidade* ; Tradução de João Paulo Csillag, São Paulo, SP, Editora Pioneira, 1988

KIM, J.D; SON, J; BAIK, D.K; CA5W1H: Ontological Context-Aware Model Based on 5W1H; *International Journal of Distributed Sensor Networks*; Vol.??? 2012

KIMBALL, Ralph, ROSS, Margy, *The data warehouse toolkit: the complete guide to dimensional modeling*, 2 ed, Wiley Computer Publishing, Nova York, EUA, 2002.

LACERDA, DANIEL P. *Paradigmas Construtivos dos Sistemas de Indicadores*. In ANDRADE. AURÉLIO L.; (orgs.). *Pensamento Sistêmico: caderno de campo: O desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade*. Porto Alegre, Bookman, 2006.

LACERDA, DANIEL PACHECO; DEUS, ANDRE D.; RODRIGUES, LUIS HENRIQUE. *Proposta de Indicadores Sistêmicos para Avaliação de Fornecedores de Uma Empresa do Ramo Automotivo*. *ENEGEP*, Belo Horizonte, MG, 2011.

LAPPONI, Juan Carlos. *Estatística usando o Excel*, São Paulo, Lapponi e Treinamentos Editora, 2000.

LIKER, J. K., MEIER, D., *O Modelo Toyota: Manual de aplicação*. Edição traduzida, Bookman, 2006.

LUGER, G.F. - *Inteligência Artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos*, 4ª edição, Bookman, 2004.

MADISON, Dan; Process Mapping, Process Improvement and Process Management; Paton Press LLC, CA, 2005.

MADISON, Daniel; Analyzing the "As Is" Process; *BPM Institute*. Disponível em: <http://www.bpminstitute.org/resources/articles/analyzing-proces> Acesso em: Junho 2014.

MAEKAWA, R.; CARVALHO, M.; OLIVEIRA, O.; Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades; *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 763-779, 2013.

MAGEE, David – O Segredo da Toyota, *Editora Elsevier Ltda*, 1ª edição, 2008.

MANVILLE, G., GREATBANKS, R., KRISHNASAMY, R., PARKER, D.W, Critical success factors for Lean Six Sigma programmes: a view from middle management, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 29 Iss 1 p7 – 20, . 2012.

MAY, Matthew E. – Toyota, A Fórmula da inovação, *Editora Elsevier Ltda*, 4ª edição, 2007.

MELO, Ivo Soares. Administração de Sistemas de Informação, São Paulo, SP, Ed. Biblioteca Pioneira, 1999.

MIGUEL, P. A. C. QFD no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica. *Produção*, v. 19, n. 1, p105-128, jan./abr. 2009.

MIRANDA, C.M.G, FERREIRA, R.J.P, GUSMÃO, A.P.H, ALMEIDA, A.T., Sistema de apoio a decisão para seleção de atividades críticas no gerenciamento de projetos com avaliação multicritério, *ENEGEP - XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto*, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

MIRANDA, Caroline.M.G; FERREIRA, Rodrigo J.P.; GUSMÃO, Ana Paula H; MOEN, Ronald D; NORMAN, Clifford L. - Clearing up myths about the Deming cycle and seeing how it keeps evolving, *Basic Quality*, Ed. Novembro 2010, p22-27.

MUHAMMED, S.; DOLL, W.; DENG, X. 2009; A Model of Interrelationships among individual level knowledge management success measures; *International Journal of Knowledge Management*, Vol 5, 2009.

NÄSLUND, Dag; Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods?, *Business Process Management Journal*, Vol. 14 No. 3, 2008.

NGUYEN, T., FINLEY, A. Legacy Tobacco Documents Library: Total Cigarette Pressure Drop and Ventilation Interaction Model, 1998, Disponível em: <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/sls60c00/pdf>, Acesso em: 14.09.2014.

NOGUEIRA-MARTINS, M.; BOGUS, C.- Considerações sobre a metodologia qualitativa como recurso para o estudo das ações de humanização em saúde - Rev.Saúde e Sociedade - Vol.13, n.3, p44-57, set-dez 2004.

NORMAN, A. B., POE, M. E., Legacy Tobacco Documents Library: Analysis of Ventilation Variability, 1983. Disponível em: <http://legacy.library.ucsf.edu/tid/rtk39d00/pdf> Acesso em: 14.09.2014.

OLIVEIRA, Otavio J. - Gestão da Qualidade - Tópicos Avançados, Editora Thompson, 1ª edição, 2006.

OMG, Business process model and notation (BPMN 2.0), formal/2011-01-03, OMG. Disponível em: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0> Acesso em: Junho, 2014.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R. The six sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. Editora New York: McGraw-Hill, 2000.

PRADELLA, S; FURTADO, J. C. ; KIPPER, L. M. - Gestão de Processos – Da teoria à prática, Editora Atlas, 2012.

PSOMAS, E., FOTOPOULOS, C. and KAFETZOPOULOS, D., Core process management practices, quality tools and quality improvement in ISO 9001 certified manufacturing companies, *Business Process Management Journal*, Vol. 17 No. 3, p 3-3., 2011.

QI, Yinan; SUM, Chee-Chuong; ZHAO, Xiande - Simultaneous effects of functional involvement and improvement programs on manufacturing and financial performance in Chinese firms, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 No. 6, p636-662, 2009.

REZENDE, Solange Oliveira, Sistemas Inteligentes: Fundamentos e aplicações, Editora Manole, Barueri, SP, 2005.

REZENDE, Solange Oliveira, Mineração de Dados, *XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, São Leopoldo, UNISINOS, 2005.

RIBEIRO, Alexandre Lima, Processos de implantação e migração de dados com utilização de ETL para um ERP comercial, Universidade luterana do brasil, Canoas, RS, 2010.

ROSÁRIO, Cláudio R., KIPPER, Liane Mahlmann, FROZZA, Rejane, Técnicas de elicitación de conhecimento tácito: um estudo de caso aplicado a uma Empresa do Ramo Metalúrgico, *Inf. & Soc.:Est.*, João Pessoa, v.24, n.1, p. 117-134, jan./abr. 2014.

SALGADO, et al., Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos, *Gestão & Produção*, Vol.16 no.3 São Carlos July./Sept. 2009.

SANTOS, A R.. Metodología Científica: A construção de conhecimento. 3 ed. Rio de Janeiro: DP&A., 2000.

SANTOS, E. M. – Engenharia Linguística: Tecnologias para apoiar decisões gerenciais na era da Internet, E-Papers serviços Editoriais, 2008.

SANTOS F. C ; CARVALHO, C. L. Aplicação da Inteligência Artificial em Sistemas de Gerenciamento de Conteúdo; Technical Report – RT – INT – 001-08, Abril 2008.

SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa. Análise e melhoria de processos. Apostila. Goiânia, 54 p. 2009. Disponível em; <<http://online.unisc.br/acadnet/anais/index.php/wspi/article/download/10939/1467>> Acesso em: 15/05/2014.

SEETHAMRAJU, Ravi - Business process management: a missing link in business education, *Business Process Management Journal* ,Vol. 18 No. 3, p532-547, 2012.

SELLITTO, Miguel Afonso - Processos de pensamento da TOC como alternativa sistêmica de análise organizacional: uma aplicação em saúde pública, *Gestão e Produção*, v.12, n.1, p81-96, jan.-abr. 2005.

SHAHIN, ARASH; MAHBOD, M. ALI - Prioritization of key performance indicators: An integration of analytical hierarchy process and goal setting, *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 56 No. 3, p226-240, 2007.

MUHAMMED, Shahnawa, DOLL, William J., DENG, Xiaodong, A model of interrelationships among individual level knowledge management success measures, *International Journal of Knowledge Management*, Vol. 5, 2009.

SHARMA, M; KODALI, R; TQM implementation elements for manufacturing excellence; *The TQM Magazine* Vol. 20 No. 6, 2008.

SILVER, Bruce; BPMS Watch: How Much BPMN Do You Need?; BPM Institute Disponível em: <http://www.bpminstitute.org/resources/articles/bpms-watch-how-much-bpmn-do-you-need> Acesso em: Junho, 2014.

SIMITSIS,Alkis , SKOUTAS, Dimitrios, CASTELLANOS, Malú, Representation of conceptual ETL designs in natural language using Semantic Web technology, *Data & Knowledge Engineering*, 69, p96–115, 2010.

SIQUEIRA, Luís Gustavo Primo, Controle Estatístico do Processo, São Paulo, SP, Makron Books, 1997.

SIQUEIRA, Luís Gustavo Primo, Controle Estatístico do Processo, São Paulo, SP, Makron Books, 1997

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Administração da produção. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009

SOBEK, Durward K.; JIMMERSON, Cindy; Relatório A3: ferramenta para melhorias de processos. *Lean Institute Brasil*. 2006 Disponível em: <http://www.lean.org.br/artigos/90/relatorio-a3-ferramenta-para-melhorias-de-processos.aspx> Acesso em: 02/08/2014.

SOTI, A., SHANKAR, R., KAUSHAL, O. , Modeling the enablers of Six Sigma using interpreting structural modeling, *Journal of Modeling in Management*, Vol. 5 No. 2, p.124-41., 2010.

THIOLLENT, Michel. Metodologia da pesquisa-ação, Edição 12, Editora Cortez, São Paulo, SP, 2003.

TURRIONI, J.B., MELLO, C.H.P., Metodologia de pesquisa em engenharia de produção, UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

TURRIONI, J.B., MELLO, Carlos - Metodologia de pesquisa em engenharia de produção, Programa de pós-graduação da Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, 2012.

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL. Normas para apresentação de trabalhos acadêmicos [recurso eletrônico]. 1. ed. revisada e ampliada por Clarice Agnes e Inácio Helfer. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 74 p., 2011. Disponível em: <http://www.unisc.br/portal/upload/com_editora_livro/e_books_normas.pdf > Acesso em: 20 ago. 2013.

WADSWORTH, Harrison M.; STEPHENS, Kenneth S.; GODFREY, A. Blanton. Modern methods for quality control and improvement. 2º edição; Editora John Wiley & Sons, 2002.

WERKEMA, Cristina; Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas – Rio de Janeiro- RJ, Elsevier, 2013.

WERKEMA, Maria C. C., As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos, Belo Horizonte, BH, Litteral Maciel, 1995.

WETZSTEIN, B., ZENGIN, A., KAZHAMIKIN, R., MARCONI, A., PISTORE, M., KARASTOYANOVA, D., LEYMANN F.: Preventing KPI Violations in Business Processes based on Decision Tree Learning and Proactive Runtime Adaptation, *Journal of Systems Integration*, 3 (1), p3 - 18., 2012.

WITTEN, Ian H., FRANK, Eibe, Data mining : practical machine learning tools and techniques, 2 ed, Elsevier, San Francisco, EUA, 2005.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. A máquina que mudou o mundo. 10. ed Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WRIGHT, James T.C. ; SPERS, Renata G.; O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. Estud. av. [online]. 2006, vol.20, n.56, pp. 13-28.

WU, Chien-Wei, ASLAM, Muhammad, JUN, Chi-Hyuck , Variables sampling inspection scheme for resubmitted lots based on the process capability index Cpk, *European Journal of Operational Research*, 217 p560–566, 2012.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO I – Dados do Gráfico de controle de processo de Ventilação

| Results | | Messages | | | | | | | | |
|------------|-----------|-------------------------|--------------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|--|
| WorkCenter | BatchDate | ProductNo | CharacteristicName | (No column name) | MeanValue | StandardDeviation | target | upper | lower | |
| 1 | MA | 2015-01-21 06:05:51.147 | Ventilation | 21/01/2015 | 30.9400000000 | 2.5715750000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 2 | MA | 2015-01-21 06:32:54.347 | Ventilation | 21/01/2015 | 34.9200000000 | 2.4549940000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 3 | MA | 2015-01-21 06:52:56.913 | Ventilation | 21/01/2015 | 32.7000000000 | 1.0173490000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 4 | MA | 2015-01-21 07:16:59.827 | Ventilation | 21/01/2015 | 38.4600000000 | 2.0007490000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 5 | MA | 2015-01-21 07:21:30.563 | Ventilation | 21/01/2015 | 32.7000000000 | 0.9407440000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 6 | MA | 2015-01-21 07:45:03.010 | Ventilation | 21/01/2015 | 39.4800000000 | 1.9214570000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 7 | MA | 2015-01-21 08:18:36.737 | Ventilation | 21/01/2015 | 37.9000000000 | 2.0334690000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 8 | MA | 2015-01-21 08:52:11.510 | Ventilation | 21/01/2015 | 38.5800000000 | 5.2532840000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 9 | MA | 2015-01-21 09:38:47.060 | Ventilation | 21/01/2015 | 38.1800000000 | 2.6243090000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 10 | MA | 2015-01-21 09:44:17.590 | Ventilation | 21/01/2015 | 38.2000000000 | 0.9539390000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 11 | MA | 2015-01-21 09:58:49.610 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.5000000000 | 2.9129020000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 12 | MA | 2015-01-21 10:03:49.750 | Ventilation | 21/01/2015 | 38.7400000000 | 2.6225940000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 13 | MA | 2015-01-21 10:05:50.370 | Ventilation | 21/01/2015 | 41.2600000000 | 1.4064130000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 14 | MA | 2015-01-21 10:09:50.717 | Ventilation | 21/01/2015 | 41.7000000000 | 3.4532590000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 15 | MA | 2015-01-21 10:30:54.077 | Ventilation | 21/01/2015 | 33.1800000000 | 2.6243090000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 16 | MA | 2015-01-21 10:48:01.237 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.6600000000 | 1.6349310000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 17 | MA | 2015-01-21 11:10:04.513 | Ventilation | 21/01/2015 | 35.1400000000 | 1.4240780000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 18 | MA | 2015-01-21 11:29:36.643 | Ventilation | 21/01/2015 | 31.2400000000 | 3.1761610000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 19 | MA | 2015-01-21 11:33:06.540 | Ventilation | 21/01/2015 | 29.4600000000 | 2.3995830000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 20 | MA | 2015-01-21 11:36:37.450 | Ventilation | 21/01/2015 | 35.0200000000 | 2.9566870000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 21 | MA | 2015-01-21 11:39:37.923 | Ventilation | 21/01/2015 | 33.0800000000 | 2.4529570000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 22 | MA | 2015-01-21 11:43:07.773 | Ventilation | 21/01/2015 | 37.7000000000 | 2.2682590000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 23 | MA | 2015-01-21 11:50:39.063 | Ventilation | 21/01/2015 | 33.9600000000 | 1.6712270000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 24 | MA | 2015-01-21 12:16:42.563 | Ventilation | 21/01/2015 | 30.4600000000 | 3.9246650000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 25 | MA | 2015-01-21 12:27:43.703 | Ventilation | 21/01/2015 | 31.4800000000 | 1.1606030000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 26 | MA | 2015-01-21 12:37:14.583 | Ventilation | 21/01/2015 | 29.9600000000 | 2.2567670000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 27 | MA | 2015-01-21 13:00:48.057 | Ventilation | 21/01/2015 | 34.6200000000 | 2.1347130000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 28 | MA | 2015-01-21 13:19:20.423 | Ventilation | 21/01/2015 | 31.5800000000 | 2.2015900000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 29 | MA | 2015-01-21 13:46:53.123 | Ventilation | 21/01/2015 | 30.4400000000 | 2.0647030000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 30 | MA | 2015-01-21 14:07:26.577 | Ventilation | 21/01/2015 | 32.6400000000 | 1.5420760000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 31 | MA | 2015-01-21 14:31:29.023 | Ventilation | 21/01/2015 | 31.5200000000 | 2.3263700000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 32 | MA | 2015-01-21 14:48:01.157 | Ventilation | 21/01/2015 | 33.2600000000 | 1.5868200000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 33 | MA | 2015-01-21 15:10:04.610 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.2800000000 | 2.3370920000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 34 | MA | 2015-01-21 15:30:07.220 | Ventilation | 21/01/2015 | 29.6600000000 | 3.7165840000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 35 | MA | 2015-01-21 15:46:09.407 | Ventilation | 21/01/2015 | 27.7600000000 | 4.4320420000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 36 | MA | 2015-01-21 15:49:39.303 | Ventilation | 21/01/2015 | 29.8400000000 | 6.6564250000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 37 | MA | 2015-01-21 16:05:41.537 | Ventilation | 21/01/2015 | 32.5000000000 | 4.0428950000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 38 | MA | 2015-01-21 17:01:18.543 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.9000000000 | 1.9659600000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 39 | MA | 2015-01-21 17:04:49.437 | Ventilation | 21/01/2015 | 33.7800000000 | 1.9854470000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 40 | MA | 2015-01-21 17:25:51.843 | Ventilation | 21/01/2015 | 35.4800000000 | 0.9984980000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 41 | MA | 2015-01-21 17:50:54.567 | Ventilation | 21/01/2015 | 35.2400000000 | 3.3619930000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 42 | MA | 2015-01-21 18:15:27.807 | Ventilation | 21/01/2015 | 37.1200000000 | 2.5616400000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 43 | MA | 2015-01-21 18:50:32.950 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.4800000000 | 3.0735970000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 44 | MA | 2015-01-21 19:18:36.040 | Ventilation | 21/01/2015 | 37.1400000000 | 7.6969470000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 45 | MA | 2015-01-21 19:26:36.640 | Ventilation | 21/01/2015 | 34.3000000000 | 2.9385370000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |
| 46 | MA | 2015-01-21 19:50:10.180 | Ventilation | 21/01/2015 | 36.8000000000 | 1.6232680000 | 33.0000000000 | 38.0000000000 | 28.0000000000 | |

APÊNDICES

APÊNDICE I – FORMULÁRIO PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS INDUSTRIAIS – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

FORMULÁRIO PARA MAPEAMENTO DE PROCESSOS

Objetivos:

- Identificar o processo-chave e processos fornecedores
- Definir a relação de cada um dos processos: fornecedores/atividades/clientes.
- Identificar os pontos relevantes da elaboração das atividades que devem ser controlados (Indicadores de produtividade / capacidade / parâmetros / índices).
- Criar o fluxograma de processo e indicadores relacionados (BPMN).

Respondente: _____

Sector: _____ **Data:** ____/____/____

Função na empresa: _____

| | ÍTEM | RESPOSTA |
|---------------|---|----------|
| Identificação | Nome Processo | |
| | Nome Atividade | |
| | Responsável pela atividade | |
| | Descrição da atividade (objetivo) | |
| Entradas | Processos fornecedores | |
| | Entradas do processo (insumos) | |
| Saídas | Processos clientes | |
| | Saídas do processo (produtos e resultados esperados) | |
| Indicadores | Medidas de desempenho (indicadores com foco no desempenho) | |
| | Requisitos do cliente (indicadores com foco no cliente) | |
| | Diretoria/Gerência estão satisfeitos com os resultados dos indicadores? As metas são atingidas? | |
| | Os "Clientes" estão satisfeitos com os resultados? Existem reclamações? | |
| | Você se sente responsável por estes resultados? De que forma | |
| | Existem planos de ação de melhoria? Considera os planos viáveis? | |
| | Você sabe o que deve ser melhorado e qual a meta? Você consegue tomar ações a tempo de obter resultado? | |
| Observações: | | |

APÊNDICE II – FORMULÁRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS INDICADORES CHAVES

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS INDUSTRIAIS – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS INDICADORES CHAVES

Objetivos:

- Listar os indicadores dos processos e usar a ferramenta 5W1H para identificar as características de cada indicador.
- Identificar o método de medição feito em cada um deles (unidade, relação ou fórmula).
- Identificar o objetivo e as tolerâncias/limites estabelecidos.
- Relacionar as necessidades e expectativas de seus clientes (requisitos) para cada indicador

Respondente: _____

Setor: _____

Data: ____/____/____

Função na empresa: _____

| | ÍTEM | RESPOSTA | | |
|-------------------------|---|---|--------------|--|
| Identificação (What) | Nome do Indicador | | | |
| | Descrição do indicador | | | |
| | Unidade de medida | | | |
| | Tipo | <input type="checkbox"/> Resultante – associado ao resultado final do processo <input type="checkbox"/> Direcionador – associado às atividades do processo | | |
| | Informações adicionais: | | | |
| Onde (where) | Nome Processo | | | |
| | Nome Atividade | | | |
| Proque medir (Why) | Requisitos do processo? Requisito do cliente? Normal, Requisito Legal? | | | |
| | Valor de referência (meta) | Valor Objetivo: | | |
| | Parâmetros de monitoramento | Valor mínimo | Valor máximo | |
| | | Faixa ideal | | |
| Faixa de atenção | | | | |
| Faixa crítica | | | | |
| Frequência (when) | Frequência de medição: (intervalo de tempo em que medida de desempenho é realizada) | | | |
| Quem (who) | Responsável pela medição do indicador | | | |
| Como (How) | - Como é medido? - Existe procedimento e treinamento? - Utiliza equipamento de medição? - Como garantem confiabilidade nos resultados? | | | |
| Observações? | | | | |

APÊNDICE III - MATRIZ DE PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE (5W1H)

Matriz de Pontos Críticos de Controle (5W1H)

| Onde | | O que | | | Como | Porque | | Quando | Quem | |
|---------------------------|------------------------------|--|----------------------|---------------------------|--|---|--|---|-----------------------------------|---|
| Processo | Atividade | Ponto de Controle | Tipo de controle | Categoria | Método de Controle | Impacto para cliente em caso de Falha | Situação Atual | Frequência | Responsável | Área |
| Recebimento Matéria-Prima | Inspeção Matéria-Prima | Liberação de Matéria-Prima | Controle de Insumos | Preventivo | - Execução de Análises - Comparação de parâmetros | Produto Final não-conforme e impacto em desempenho dos processos devido a matéria-prima fora de especificações | Muitas Reclamações e Rejeições de materiais. Existem Indicadores que medem o desempenho dos fornecedores: Avaliação de Fornecedor e Índice de Qualidade de Fornecedor. | De acordo com método interno, que determina a periodicidade de verificação de acordo com histórico do fornecedor. Normalmente, em todos os lotes. | Tecnico de Auditoria da Qualidade | Auditoria da Qualidade de Materiais |
| Perfuração de Ponteira | Produção | Monitoramento On-line de Coresta | Controle de Processo | Monitoramento em processo | - Medição automática realizada pelo equipamento de perfuração - Ajuste Sistema da máquina | - Ponteiras Não-Conforme. - Cigarro: Parametros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação | Variação alta. Existem plano de ação de melhoria (A3). | 100% dos produtos | Operador de Perfuradora Laser | Processo de Perfuração de Ponteira |
| Perfuração de Ponteira | Controle Processo | Controle de Coresta | Controle de Produto | Corretivo | - Execução de Análises - Verificação parâmetro estão dentro das especificações | - Ponteiras Não-Conforme. - Cigarro: Parametros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação - Processo: Perda de desempenho. | As valores de médias são atingidos. Porém variabilidade (desvio padrão) é muito instável. Alta variação. | Por Lote/Pallet | Operador de Perfuradora Laser | Processo de Perfuração de Ponteira |
| Fabricação Filtro | Controle Processo | Parametros Fisicos - Peso Total - Ventilação - Circunferência - Triacetina | Controle Processo | Monitoramento em processo | - Medições em equipamentos (QTM) e balança. - Monitoramento por Gráficos de Controle | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parametros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação - Processo: Perda de desempenho. | - Parametros Fisicos – Estão, fora da meta, principalmente em Peso -Quebras, uptime – fora da meta | A cada 20 minutos | Operador de Máquina | Fabricação Filtro |
| Fabricação Cigarro | Controle Processo | Parametros Fisicos - Peso Total - Ventilação - Circunferência - RTD | Controle Processo | Monitoramento em processo | - Medições em equipamento (QTM) e monitoramento por Gráficos de Controle | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parametros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação. | - Parametros Fisicos – Estão, fora da meta, principalmente em Peso e Ventilação -Quebras, uptime – fora da meta | A cada 20 minutos | Operador de Máquina | Fabricação Cigarro |
| Fabricação Cigarro | Auditoria de Produto Acabado | CPQI: Diversos parâmetros | Auditoria de Produto | Auditoria (pós execução) | - Coleta de amostra para laboratório de auditoria - Realização de análises - Índice CPQI | - Produto Não-Conforme. - Cigarro: Parametros Controlados pela Anvisa, fora dos limites permitidos pela legislação | Abaixo da meta estabelecida. Critico: | Coleta diária. Índice consolidado Mensalmente | Tecnico de Laboratorio | Laboratório de Auditoria de Produto Acabado |

**APÊNDICE IV – FORMULÁRIO PARA REGISTROS DE CAUSA DE VARIAÇÃO
NO CONTROLE DE PROCESSO**

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS INDUSTRIAIS – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

**FORMULÁRIO PARA COLETA DE INFORMAÇÕES – DESCRIÇÃO DE CAUSAS E AÇÕES
CORRETIVAS**

VARIAÇÃO IDENTIFICADA (ALERTA): _____

CAUSA DE VARIAÇÃO: _____

Tipo de ação: Limpeza () Ajuste Pontual () Regulagem c/ Parada () Troca ()

DESCRIÇÃO DA AÇÃO DE CORREÇÃO: _____

APÊNDICE V – Exemplo de rede Semântica

