



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia de Produção



Trabalho de Conclusão de Curso

ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO NO CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0: CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO PARA OS DADOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS RELEVANTES NA ÓTICA DE DISPONIBILIDADE DE UMA SIDERÚRGICA

Davi Ezequiel Nunes da Silva

João Monlevade, MG
2019

Davi Ezequiel Nunes da Silva

**ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO NO
CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0:
CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO PARA OS
DADOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS
RELEVANTES NA ÓTICA DE
DISPONIBILIDADE DE UMA SIDERÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Orientador: Dr. Sérgio Evangelista Silva

Coorientador: Dra. Luciana Paula Reis

**Universidade Federal de Ouro Preto
João Monlevade
2019**

S586e

Silva, Davi Ezequiel Nunes da.

Estratégia de manutenção no cenário da indústria 4.0 [manuscrito]:
construção de significado para os dados de condições operacionais relevantes na
ótica de disponibilidade de uma siderúrgica / Davi Ezequiel Nunes da Silva. -
2019.

42f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Evangelista Silva.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paula Reis.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Indústria - Manutenção . 2. Siderurgia. 3. Estratégia. I. Silva, Sérgio
Evangelista. II. Reis, Luciana Paula. III. Universidade Federal de Ouro Preto.
IV. Título.

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br CDU: 658.5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Davi Ezequiel Nunes da Silva
ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO NO
CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0: CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO PARA OS
DADOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS RELEVANTES NA ÓTICA DE
DISPONIBILIDADE DE UMA SIDERÚRGICA

Membros da banca

Alexandre Xavier Martins - Doutorado - UFOP
Sergio Evangelista Silva - Doutorado - UFOP
Wagner Ragí Curi Filho - Doutorado - UFOP

Versão final

Aprovado em 04 de Dezembro de 2019

De acordo

Professor (a) Orientador (a) Sergio Evangelista Silva



Documento assinado eletronicamente por **Sergio Evangelista Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2019, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0028957** e o código CRC **15651BAA**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.203963/2019-79

SEI nº 0028957

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me concedeu e pela força necessária para vencer os desafios durante este período de graduação que nunca fora dedicado somente a este fim. Saber conciliar os compromissos da vida profissional, particular e acadêmica foi o maior desafio até então, mas enfim é um ciclo que vêm chegando ao fim. Aos meus pais, namorada, amigos e familiares agradeço pela compreensão incondicional nestes anos em que torceram e rezaram para que as etapas fossem concluídas, mas principalmente se preocuparam se estava feliz. Espero recompensá-los com mais presença e carinho e peço perdão pelas ausências que se fizeram necessárias.

Resumo

O caminho de inserção da siderurgia na indústria 4.0 está em formação e a manutenção pode se beneficiar deste momento elevando seu nível de atendimento. Criar um cenário em que estes dois temas comuniquem promovendo o entendimento de como poderão ser as estratégias futuras do mercado e como a tecnologia poderá alavancar os métodos de gerenciamento atualmente aplicados, norteia este trabalho. O mesmo foi executado por meio de um caso estudado no setor de manutenção de uma siderúrgica localizada em Minas Gerais, esta passou por um processo de padronização empregada a todas as unidades pertencentes ao grupo detentor de sua marca. Foi verificado como o modo de trabalho adotado nesta organização poderia se beneficiar aplicando conceitos propostos pela indústria 4.0. Ocorreu o desenvolvimento de um modelo de tratamento de dados que propõe entrada de demandas para a manutenção mediante a criação de significados na observância das condições operacionais que podem sinalizar uma tendência de mau funcionamento do equipamento observado. O modelo possui potencial para aplicação em tomadas de decisões vindas dos próprios equipamentos em que necessita-se da criação de regras para direcionar saídas de significados adequados. Aplicou-se o conceito estudado para verificação de aderência pela criação de regras em um problema de transporte de matérias primas em que o defeito, significado, foi sobrecarga. Neste cenário, utilizando dos sensores instalados nos equipamentos, as regras criadas conseguem monitorar o peso depositado sobre o transportador notificando a manutenção quando a taxa de trabalho definida superar o especificado. A construção de significado para as mudanças de comportamentos das máquinas, apoiam a tomada de decisão otimizando o recurso da manutenção e direcionando-o para intervenções vitais a continuidade operacional.

Palavras-chave: Manutenção Industrial, Indústria 4.0, Construção de Significado.

Abstract

The way for insertion of steel industry in industry 4.0 is is being built and maintenance sector can benefit from this moment by raising its service level. Talking about the two issues, makes us wonder what future strategies might look like and how technology might improve the management methods currently applied. The course completion work was make through a case study in the maintenance sector of a steel industry in Minas Gerais. The steel industry went through a standardization just like the other units belonging to the same group. It was verified what would be the benefits of industry 4.0 in the methods adopted in the unit. A data processing model has been developed that enters demands for maintenance by creating meanings. With rules definition, the model performs tests comparing the information obtained from the sensors of the machines. The model was applied by creating rules for a material transport problem. The defect, in this case meaning, was overload. Its implementation has potential to increase the reliability of maintenance. The construction of meaning for machine parameter changes supports the decision and optimizes the maintenance recourse that will make vital interventions for operational continuity.

Keywords: Industrial Maintenance, Industry 4.0, Meaning Construction.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Revoluções industriais	13
Figura 2 – Fluxo de PCM proposto	18
Figura 3 – Fluxo dos itens de Inspeção da UA	21
Figura 4 – Modelo de Tratamento de dados	23
Figura 5 – Ilustração do transporte de matérias primas	24
Figura 6 – Posicionamento da carga	28
Figura 7 – Amostra do peso transportado simultaneamente, Δw Total	29
Figura 8 – Comprimento entre a calda do material do silo 3 e a ponta do material do silo 1	29
Figura 9 – Metragem a ser descartada do material vindo do silo 1	29
Figura 10 – Comprimento total da carga do silo 1, Δl Silo 1	30
Figura 11 – Comprimento livre proporcional de matéria prima do silo 1	30
Figura 12 – Acionamento do Transportador	34
Figura 13 – Notificação vinda do PIMS para o ERP	35
Figura 14 – Acionamento tradicional	36
Figura 15 – Acionamento inteligente	36
Figura 16 – Fator de Sobrecarga Global	39
Figura 17 – Fator de Sobrecarga Instantâneo	39

Lista de tabelas

Tabela 1 – Fases históricas da manutenção	11
Tabela 2 – Cronograma de implantação da gestão de ativos na UA	17
Tabela 3 – Ciclos de abastecimento do Alto Forno	24
Tabela 4 – Dados básicos sobre as matérias primas	25
Tabela 5 – Constantes do problema	26
Tabela 6 – Tempo decorrido, Δt	27
Tabela 7 – Conclusão de descarga, Δd	27
Tabela 8 – Peso Transportado, Δw	28
Tabela 9 – Comprimento da carga, Δl	28
Tabela 10 – Peso total, Δw_{total}	30
Tabela 11 – Fator de sobrecarga, O_w	30
Tabela 12 – Tempo decorrido para descarga das matérias	31
Tabela 13 – Conclusão de descargas dos demais Silos em referência ao Silo 1	32
Tabela 14 – Peso em toneladas descarregas no transportador	32
Tabela 15 – Comprimento da carga de matéria prima	32
Tabela 16 – Peso total sobre a correia	33
Tabela 17 – Fator de Trabalho	33
Tabela 18 – Aderência do método ao problema	34

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PIMS	<i>Plant Information Management Systems</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
TA	Tecnologia de Automação
TI	Tecnologia da Informação
WCM	<i>World Class Maintenance</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Objetivos	8
1.1.1	Objetivo Geral	8
1.1.2	Objetivos Específicos	8
1.2	Justificativa e Relevância do Trabalho	9
1.3	Organização do trabalho	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	Manutenção industrial na atualidade	11
2.2	Indústria 4.0	12
2.3	<i>Big Data</i>, Sensoriamento e Indústria 4.0	14
3	METODOLOGIA	15
3.1	Objetivo de estudo	15
3.2	Coleta de dados	16
3.3	Tratamento dos dados	16
4	ANÁLISES E RESULTADOS	17
4.1	Cenário de análise	17
4.2	Organização da manutenção	18
4.3	Entradas de dados da manutenção	19
4.3.1	Construção de planos de manutenção	19
4.3.2	Estratégias adotadas para verificações qualitativas e quantitativas	20
4.4	Tratativa atual de desvios	22
4.5	Modelo de tratamento de dados	22
4.6	Aplicação em caso prático	24
4.6.1	Contexto	24
4.6.2	Aplicação do modelo de tratamento de dados	26
4.6.3	Modelo posto em prática	31
4.7	Aplicação no contexto da Indústria 4.0	35
4.7.1	Curto prazo	35
4.7.2	Médio a longo prazo	36
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	41

1 Introdução

O termo indústria 4.0 está cada vez mais presente no meio acadêmico por marcar uma mudança de paradigma da indústria e iniciar uma era mais tecnológica trazendo consigo, novas possibilidades e formatações de negócio. O autor procura vincular este cenário da nova revolução industrial com o estado atual da manutenção do setor siderúrgico.

O trabalho foi desenvolvido a partir de uma gama de informações do ramo de manutenção de uma empresa siderúrgica de grande porte localizada em Minas Gerais. A empresa passa por um momento de evolução em gestão de manutenção, mas ainda se posiciona no nível de suas concorrentes brasileiras limitadas de forma geral pelas infraestruturas de tecnologia de automação e informação (TA/TI) na ótica de comunicação de suas máquinas.

Procurou-se apresentar a configuração de divisão de trabalho adotada nesta empresa em que houve direcionamento para as funções básicas. Iniciar a abordagem pela divisão de trabalho mostrou-se necessário, uma vez que a análise aqui desenvolvida, indicou um novo fluxo que apresenta um caminho autônomo de entrada de informações que hoje não é presente, mas acredita-se que seja uma condição futura observando a popularização da indústria 4.0 que brevemente será uma realidade mais palpável no ambiente siderúrgico brasileiro.

Durante a análise do trabalho é apresentado uma proposta de construção de significado, comunicação da máquina, por intermédio de um modelo de tratamento de dados. O modelo percorre um caminho lógico de entrada de informações vindas do sensoriamento online e definição de regras que ao serem infringidas resultam em significados que promovem ações ditas inteligentes. Esta configuração aproxima a indústria 4.0 do processo de manutenção, o que possibilita a abertura de fronteiras e o equilíbrio entre os custos de investimentos e a melhora na disponibilidade, resultando em eficiência.

O modelo foi posto em prática em um cenário no qual se possuía informações suficientes vindas do equipamento para que se pudesse validar o ciclo. As configurações destas regras não são óbvias e necessitam de um conhecimento prévio do comportamento e modo de operação do equipamento por intermédio de um especialista. Verifica-se que cada significado criado para um problema necessita do entendimento técnico para sua construção, sendo sua homologação efetivada após forte análise dos resultados encontrados.

Possuir saída de significado de dados monitorados online apoiam a manutenção na tomada de decisão, tornando possível prever o defeito e agir em sua causa antes que esta provoque a parada indesejada do equipamento. Baseada em um dos pilares da indústria 4.0, a proposta com *big data* se apresenta no cenário futuro em que a infraestrutura atinja o nível esperado para inundar o banco de dados com histórico dos ativos em que, então, será indispensável sua aplicação para adquirir valor oriundos destas coletas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Propor modelo de tratamento de dados e formação de significado no contexto da indústria 4.0.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Desenvolver modelo baseado em caso aplicado verificando sua aderência analítica.
- ✓ Definir padrões e descrever seu significado.

1.2 Justificativa e Relevância do Trabalho

A competitividade do mercado impulsiona o posicionamento da manutenção cada vez mais como parte do negócio das empresas por viabilizar ganho de confiabilidade ligado a estabilidade operacional. Identificar o patamar de manutenção da organização torna-se fundamental para traçar as estratégias a serem adotadas observando os objetivos almejados.

A indústria 4.0 dita a tendência tecnológica que torna o mercado ainda mais acirrado, no qual as empresas devem aprimorar suas soluções agregando respostas mais eficientes como fator crucial para sua longevidade e performance. Para Horváth e Szabó (2019, p.4) globalmente existem poucos casos práticos referentes ao tema e "os estudos sobre as forças motrizes e as barreiras da indústria 4.0 geralmente concentram-se apenas em um fator, e vários estudos são limitados ao lado tecnológico".

O trabalho nasce da demanda por relacionar, em um mesmo contexto, o emprego de novas tecnologias (estas embarcadas no cenário da indústria 4.0) com o cenário de massa de dados operacionais que, ao serem interpretados, culminam em análises importantes para o direcionamento do foco da manutenção nas estratégias mais adequadas aos seus ativos. Estudar as possibilidades deste novo mercado enquanto ele se desenvolve, possibilita que os desafios sejam mapeados garantindo equilíbrio das tendências com a realidade atual da indústria brasileira.

Diante destas características e com a crescente transformação dos processos industriais, torna-se necessário a mudança dos conceitos de gestão da manutenção neste cenário siderúrgico e sua transformação em uma estratégia gerencial com princípios que permitam alavancar a aplicação de tecnologias que são fundamentais à indústria 4.0.

1.3 Organização do trabalho

O presente trabalho aborda o tema de indústria 4.0 pensada na ótica da manutenção de uma siderúrgica. Para isto, o mesmo flui na definição de objetivos, aborda as justificativas e entra no campo de revisão de literatura embasando seu conteúdo.

Na metodologia é apresentado além de sua caracterização, o objetivo do estudo e como ocorreram as coletas dos dados bem como à adoção de algumas nomenclaturas abordadas no tópico de análises.

O campo de análises e resultados por sua vez, merece um direcionamento referente a sua construção: em sua primeira seção, é apresentado o cenário analisado no qual o foco é conduzido para uma unidade siderúrgica que detém o problema estudado. Nas seções 4.2 à 4.4 são apresentadas a forma de divisão do trabalho da empresa em uma fase de implantação de política de gestão de ativos que contemplou a revitalização do *software* de gestão aplicado.

Na seção seguinte, 4.5, foi construído um modelo de tratamento de dados para que os dados coletados por intermédio do sensoriamento fossem submetidos a uma inteligência técnica permitindo que a máquina faça a comunicação sobre seu estado atual de desempenho. A seção 4.6, aplica este modelo em um caso prático da unidade siderúrgica na qual o autor estudou o processo de transporte de matéria prima de alto forno.

A inteligência está contida na construção de significado que viabiliza a comunicação da máquina. O significado alcançado, parte da coleta de informações de sensores instalados no equipamento estudado em que o autor criou formulações matemáticas simples para sua conversão para informação. Estas formulações tiveram dois momentos sendo o primeiro deles na subseção 4.6.2 que apontou a especificação e o segundo momento, na subseção 4.6.3, referente ao cálculo propriamente dito em que as variáveis foram substituídas por conteúdos numéricos coletados dos sensores especificados.

Já na seção 4.7, é apresentado a relação deste estudo com a proposta da indústria 4.0. Por fim, atingimos o tópico de conclusões e considerações finais.

2 Revisão de Literatura

2.1 Manutenção industrial na atualidade

Conforme afirmado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (1994, p.6) manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Pinto e Xavier (2015) compreendem a manutenção em 5 fases históricas, com início em 1930 até o presente momento. O último estágio é apresentado como iniciado em 2010, indicando a preocupação com gestão de ativos como ilustrado na Tabela 1. A ABNT (2014, p.16) indica que "gestão de ativos é a atividade coordenada de uma organização para obter valor a partir dos ativos, o que envolve um equilíbrio entre custos, riscos e desempenho."

Tabela 1 – Fases históricas da manutenção

Geração	Início	Direcionamento
Primeira	1930	Conserto após falha
Segunda	1950	Aumento de disponibilidade
Terceira	1970	Aumento de confiabilidade
Quarta	2000	Influenciar nos resultados da organização
Quinta	2010	Gestão de ativos

Fonte: Adaptado dos autores Pinto e Xavier (2015)

A escolha que pondera estes itens até o alcance de equilíbrio, *tradeoff*, reflete a maturidade instalada em nível de excelência. Na contramão desta estratégia estão as políticas de manutenção de caráter reativo, ou seja, uma manutenção com posicionamento corretivo e não planejado, isto é, reagindo aos acontecimentos (XAVIER, 2015). Operar em caráter reativo aponta um cenário incompatível com o mercado observando a velocidade em que a indústria tem incorporado novas tecnologias que alinhadas à manutenção tendem a otimizar o ponto de equilíbrio.

De acordo com Nassar e Dias (2008, p.2) "manutenção planejada busca a garantia de competitividade, atuando diretamente na eliminação de perdas e na melhoria da eficiência, desempenho e qualidade". Este patamar de manutenção é identificado como estágio suporte ao ciclo que almeja alcançar a confiabilidade de ativos, atendendo premissas de identificação previa de falhas, controle orçamentário e programação obedecendo calendário produtivo (GRIFFIN, 2011).

Segundo Xavier (2015, p.3) "como a manutenção é uma função estratégica dentro da organização, o seu desempenho afeta, diretamente, o desempenho da empresa". A Manutenção de Classe Mundial, do inglês *World Class Maintenance* – WCM, vêm agregar fatores de sucesso à manutenção, estruturando etapas robustas embasadas em *benchmark* direcionadas aos principais indicadores de manutenção que, ao serem alcançados, elevam a competitividade da empresa (BLANN, 2002).

Xavier e Dorigo (2013) apresentam inspeção e manutenção preditiva como uma das melhores práticas gerências na manutenção possuindo potencial para aumento de disponibilidade dos equipamentos. O emprego das mesmas amplifica também a confiabilidade e promove a redução de custos indesejados por paradas acidentais de equipamentos.

Ainda com os autores Xavier e Dorigo (2013, p.36), verifica-se o conteúdo que minimamente um plano de manutenção deve conter:

- Frequência de inspeção ou de serviços (quando).
- Os serviços listados no plano (o que fazer).
- Os recursos humanos necessários (quem).
- As técnicas ou soluções que devem ser empregadas (como).
- Aspectos relacionados à liberação dos equipamentos (Operação).
- Aspectos relacionados à segurança.

2.2 Indústria 4.0

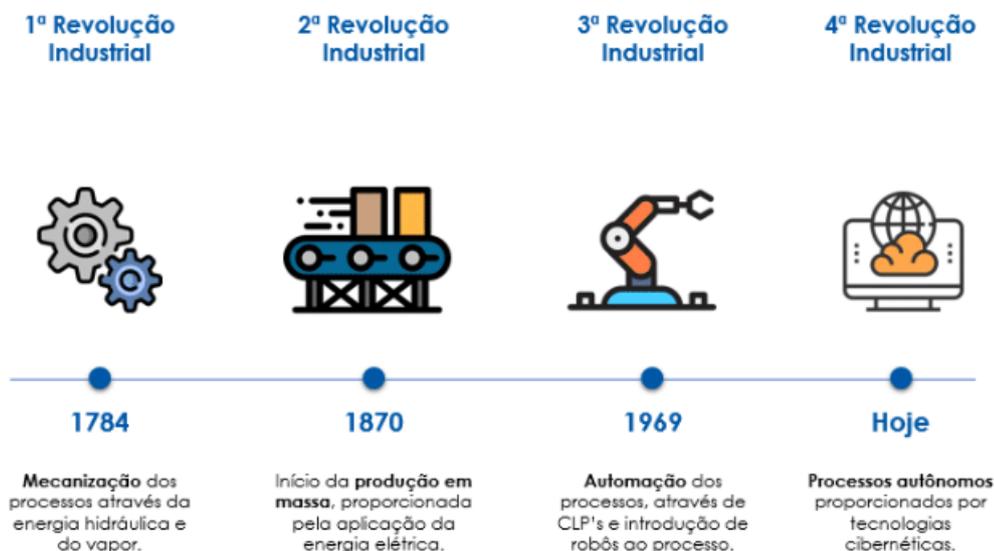
Nos próximos anos as propostas da indústria 4.0 poderão contribuir para redução dos custos de manutenção de equipamentos em até 40% e, da mesma forma, poderão contribuir com a redução do consumo de energia e aumento da eficiência produtiva em até 25% (CNI, 2016). Na página 11, a CNI apresenta uma definição para indústria 4.0:

[...] a incorporação da digitalização à atividade industrial resultou no conceito de indústria 4.0, em referência ao que seria a 4ª revolução industrial, caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual, criando os chamados sistemas ciberfísicos e viabilizando o emprego da inteligência artificial.

O conceito emergiu na Alemanha em 2011 por intermédio da Aliança Alemã de Pesquisa Indústria-Ciência (BUHR, 2017), mas observa-se que passado oito anos da exposição deste, as indústrias brasileiras ainda apresentam resultados pouco tangíveis e não possuem casos disponíveis de plantas inteligentes. Uma das condições para existência deste cenário de plantas inteligentes, apresenta-se na modularização da produção a partir do *feedback* dos ativos em que pode haver ajuste na produção de outros setores ao identificar um gargalo de seu antecessor (CONCEIÇÃO et al., 2017).

A Figura 1 apresenta a ordem cronológica das revoluções industriais até chegarmos na era 4.0.

Figura 1 – Revoluções industriais



Fonte: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>

Horváth e Szabó (2019) identificam a manutenção preventiva como um dos principais fatores da indústria 4.0, no qual destaca-se o aumento de disponibilidade ao se antecipar a intervenção que pode ser iniciada pela notificação vinda do próprio equipamento, reportando seus desvios de parâmetros para a equipe de manutenção. Sistemas cyber físicos viabilizam a conexão do ambiente fabril ao virtual mediante a conectividade proporcionada pela infraestrutura de rede e instrumentação que juntas condicionam as máquinas a comunicação (SALTIÉL; NUNES, 2017).

O conceito de indústria 4.0 se operacionaliza na fusão de tecnologias básicas em que Frank et al. (2019) indica o *Big Data* como uma destas tecnologias facilitadoras por trazer em uma massa significativa de dados, a possibilidade de identificação de padrões que, ao serem analisados, retornam em informações valiosas para organização.

2.3 *Big Data*, Sensoriamento e Indústria 4.0

Manyika et al. (2011, p.11) indica que *Big data* refere-se a “conjuntos de dados cujo tamanho está além da capacidade das ferramentas típicas de software de banco de dados de capturar, armazenar, gerenciar e analisar.” Em sua abordagem apresenta que o volume destes dados não é mensurado porque à medida que as tecnologias básicas avançam a relação do que se entende como *big* se desloca.

Bezerra et al. (2019) o reconhece como caminho para viabilizar computacionalmente a análise de dados de grande massa que tem variadas origens. Entende-se que este volume significativo quando analisado adequadamente, substitui a experiência humana e tem permitido que decisões sejam mais frequentemente executadas utilizando deste recurso (QI; TAO, 2018).

Segundo Qi e Tao (2018, p.4) "o significado estratégico do big data não é dominar dados massivos, mas adquirir o valor com significado específico por meio de processamento especializado." A análise se completa na ótica da indústria 4.0 e em nosso escopo de manutenção, quando considera-se a possibilidade de comparar um comportamento em curso com fenômenos similares que foram solucionados e tornam-se disponíveis para este comparativo (PILLONI, 2018).

3 Metodologia

O respectivo trabalho fica caracterizado como de natureza aplicada, uma vez que contextualiza conhecimentos que permitem sua reprodução. Segundo (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35), esta abordagem "objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais".

A classificação da metodologia traz um mix exploratório e descritivo, uma vez que concilia o embasamento bibliográfico com as análises de documentos e históricos de uma organização estudada (TURRIONI; MELLO, 2012). Parte do embasamento descritivo será processado de uma siderúrgica do interior de Minas Gerais que está em fase de implantação de um programa de Gestão de Ativos no qual, os conceitos propostos pela indústria 4.0 podem ser pilares desde que compreendidos e aplicados em casos que possam agregar valor.

Verifica-se caráter qualitativo ao revisar o trabalho de Gerhardt e Silveira (2009, p.32) que retratam que:

[...] os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens.

Dentre as abordagens qualitativas, foi identificado o método exploratório como fator central em que se analisa de forma ampla e detalhada as informações e dados obtidos restringindo estes em um piloto que irá confrontar as hipóteses levantadas (TURRIONI; MELLO, 2012).

3.1 Objetivo de estudo

O modelo de tratamento de dados desenvolvido e estudado neste trabalho, tem objetivo de formar significado no contexto da indústria 4.0. Procurou-se criar, via fluxo, a entrada das informações a serem exploradas e seu tratamento por regras que conduzam a um retorno do *status* do equipamento na ótica de manutenção. Uma vez que o fluxo por si só é abstrato, identificou-se a necessidade de aplicação do mesmo a um caso prático para que se pudesse agregar valor nas etapas de definição das regras e construção de significados.

O caso prático foi construído mediante a exposição do autor a um problema de sobrecarga em um transportador de correia (equipamento utilizado para transportar matéria-prima). O defeito não possui grande recorrência, mas serviu de exemplo, já que se verifica uma complexidade significativa de parâmetros e a ausência de entendimento prévio que pudesse gerar uma demanda preventiva de atuação pela equipe de manutenção.

3.2 Coleta de dados

O estudo ocorreu em uma siderúrgica no setor de alto forno, local em que se desenvolveu o trabalho durante os meses de agosto à novembro de 2019. O tempo compreendido nos três meses de coleta de dados não arremete necessariamente a cronologia das informações, já que a empresa possui um grande acervo disposto em desenhos técnicos, *datasheets*, *software* de gestão e historiador que registra de forma temporal os comportamentos contidos em variáveis obtidas do sensoriamento necessário para se operar de forma remota.

Vários são os equipamentos que possuem potencial para paralisar a operação do alto forno estudado. Em especial para o caso do transportador, foi verificada incidências de 2 falhas nos últimos 5 anos. A frequência baixa pode passar a impressão ao leitor que o problema escolhido não merece a atenção da equipe de manutenção acompanhada, porém cabe aqui a reflexão que o processo de alto forno não admite interrupções e a meta de disponibilidade nesta siderúrgica é de 99% para esta etapa produtiva.

3.3 Tratamento dos dados

Durante a construção o autor criou algumas nomenclaturas para identificar as variáveis e constantes que precisam ser monitoradas no problema estudado:

1. Constantes:

- a) Velocidade do transportador, V ;
- b) Capacidade nominal do equipamento, C ;
- c) Comprimento útil do transportador, L ;
- d) Distância entre um silo e outro, X_n .

2. Variáveis:

- a) Tempo consumido para escoamento de cada matéria prima, Δt ;
- b) Diferença do horário de conclusão e início de descarga, Δd . Necessário para o dimensionamento entre a calda e a ponta dos materiais transportados;
- c) Peso líquido transportado, Δw ;
- d) Comprimento que a matéria prima observada forma sobre o transportador, Δl . Necessário para encontrar qual a fração da carga está contida no cenário em análise;
- e) Peso máximo transportado em simultaneidade na amostra, Δw_{total} ;
- f) Fator percentual de sobrecarga, O_w .

4 Análises e Resultados

4.1 Cenário de análise

Foi abordado a realidade de uma unidade siderúrgica de aços especiais pertencente a líder mundial do setor no ano de 2018. A unidade e o grupo em questão, não serão citados diretamente, a unidade será referenciada como UA (Unidade Analisada) e o grupo como GS (Grupo Siderúrgico).

Durante o período de análise, a motivação do GS estava em aumentar sua parcela de mercado com a aquisição de novas unidades e buscar o fortalecimento de sua cultura organizacional para que seus resultados, anteriormente distintos, se aproximassem de um padrão de alto desempenho operacional, independente da unidade observada. Partindo deste motivador, o GS organizou metas desafiadoras com retorno financeiro para ano de 2020, em que o ganho de performance era seu principal objetivo. O desdobramento foi abrangente aos setores produtivos e de manutenção, iremos abordar neste trabalho as estratégias desdobradas para a manutenção.

Tais estratégias foram inspiradas em *benchmarking* global observando o alcance do GS. O primeiro ciclo foi o de infraestrutura do *software* de gestão, ERP (*Enterprise Resource Planning*), para pavimentar a via de implantação do programa de gestão de ativos. A UA iniciou os trabalhos para mudança de suas rotinas em janeiro de 2018, seguindo um cronograma escalonado por departamentos em que a conclusão, na ótica de infraestrutura, está prevista para Janeiro de 2020, conforme ilustrado pela Tabela 2.

Tabela 2 – Cronograma de implantação da gestão de ativos na UA

Departamentos	Duração	Início	Início Operacional	Conclusão Prevista
Utilidades	509 dias	02/01/2018	13/05/2019	08/01/2020
Redução	421 dias	14/05/2018	29/07/2019	08/01/2020
Aciaria	366 dias	01/08/2018	28/10/2019	08/01/2020
Laminação	325 dias	01/10/2018	04/12/2019	08/01/2020

Fonte: Cronograma da UA adaptado pelo autor

Os dados coletados durante o período de desenvolvimento do trabalho, compreendem o início operacional dos departamentos de Utilidades e Redução. Os esforços foram direcionados para a área de Redução na qual o autor identifica maior complexidade observando: número de empregados de manutenção lotados neste departamento e a complexidade operacional uma vez que o processo de Utilidades trata fornecimento de

gases, energia elétrica e fluídos enquanto o de Redução contém a planta de sinterização e de alto forno.

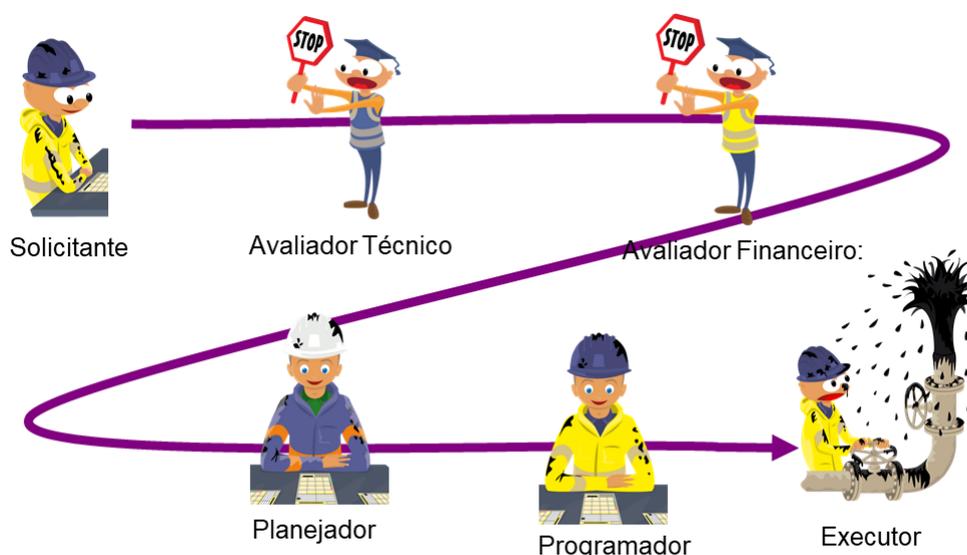
4.2 Organização da manutenção

O GS, baseado nas melhores práticas de manutenção, desdobrou as suas unidades padrões a serem seguidos observando divisão do trabalho e limites de bateria entre as funções. Os gestores de manutenção foram desafiados a realocarem seus recursos observando este novo arranjo.

Dentro dos itens propostos, foi observado o surgimento nesta organização do termo Papéis e Responsabilidades que reflete a divisão do trabalho nas funções fundamentais à boa performance da equipe de manutenção. Sua divisão básica ocorre entre: solicitante, avaliador técnico, avaliador financeiro, planejador, programador e executor. Sendo as funções de engenharia e gerência suporte ao fluxo natural de intervenções de manutenção.

A Figura 2 ilustra o fluxo do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) no qual abordaremos em seguida os limites de bateria:

Figura 2 – Fluxo de PCM proposto



Fonte: Disponibilizado pela UA e adaptado pelo autor

- O solicitante detecta uma anomalia ou defeito na instalação e a registra em uma notificação no ERP. Este ator do processo origina as demandas de manutenção a serem trabalhadas de forma planejada.
- O avaliador técnico lida com todas as solicitações de trabalho recebidas (notificações), verificando a necessidade ou não de atendimento daquele trabalho, isto do ponto de vista técnico. Esta é sua responsabilidade, pois ele responde pela disponibilidade dos

equipamentos de sua área de atuação. Ao concordar com o prosseguimento da tarefa, o mesmo determina a prioridade e estima os custos envolvidos.

- O avaliador financeiro confronta as demandas dos avaliadores técnicos, verificando a disponibilidade financeira em função das prioridades da equipe. Quando o trabalho é aprovado financeiramente, o avaliador financeiro permite comprometer o orçamento do departamento no valor estimado pelo avaliador técnico. Variações acima do acordado interrompem o fluxo no ERP, sendo necessária uma nova aprovação.
- O planejador é responsável pela preparação do trabalho. Ele detalha a ordem de serviço aprovada pelo avaliador financeiro determinando a forma de execução da tarefa. Especifica os materiais e componentes necessários e garante sua disponibilidade em uma data anterior à de programação da atividade.
- O programador atua nas ordens já planejadas determinando a data a se executar a atividade em consonância com o calendário produtivo. Associa o recurso adequado à boa execução da tarefa, assegurando que o trabalho ocorrerá da forma que foi planejada.
- O executor conclui o ciclo da rotina de manutenção realizando a intervenção que foi programada.

O fluxo detalhado apresentou os atores da rotina da manutenção, seguiremos focados no papel do solicitante uma vez que este é o principal gerador de demandas e com ele, as informações identificadas em campo tornam-se de conhecimento de todos.

4.3 Entradas de dados da manutenção

4.3.1 Construção de planos de manutenção

Os itens de verificação da manutenção são canalizados de forma preventiva na formulação de planos de manutenção que contém em seus aspectos técnicos, roteiros de itens a serem avaliados pelo inspetor, este enquadrado como solicitante observando os limites de bateria tratados anteriormente. Os roteiros de inspeção construídos na UA são embasados em manuais técnicos, análise de falhas de equipamentos e na experiência da equipe de manutenção que conhece o histórico de seus ativos.

Compreender o tempo médio entre falhas, do inglês *Mean Time Between Failures* - MTBF, é fundamental para racionalizar a frequência com que as inspeções devem ocorrer. Isso é importante por dois principais motivos: direcionamento adequado do recurso e fator humano. Tratando o direcionamento adequado do recurso, ressalta-se o que o balizamento da demanda criada nestes roteiros é fundamental para assegurar que a estratégia adotada seja factível de execução e, em contrapartida, que não haja desperdício de mão de obra.

Já o fator humano se relaciona com a efetividade de cumprimento desses roteiros. O inspetor precisa acreditar no valor que sua atividade possui observando sua relação com a disponibilidade física dos equipamentos. Roteiros com recorrências muito superiores ao MTBF comumente desmotivam o empregado, uma vez que ele repete as tarefas por inúmeras vezes sem identificar desvio algum de parâmetro. Este cenário pode ser o gatilho para descrédito do conteúdo construído, culminando na negligência contida em não visitar os equipamentos munido do roteiro e na frequência determinada ainda que exista o risco de redução de disponibilidade que, de forma geral, é o principal indicador chave de performance (KPI) da Manutenção da UA.

4.3.2 Estratégias adotadas para verificações qualitativas e quantitativas

Pontos de medição qualitativos são ótimos exemplos para reafirmar a importância de racionalização observando MTBF. Este tipo de item depende da experiência e interpretação do usuário, uma vez que os aspectos físicos são determinantes para o retorno positivo ou negativo referente à integridade. Acertar na frequência destes é fundamental para que o Inspetor agregue valor à sua tarefa e antecipe defeitos que não seguem uma tendência quantitativa.

Pontos quantitativos por sua vez, demandam deslocamentos mais frequentes que independem do tempo médio entre falhas, pois seu objetivo está na identificação de tendências que possam trazer previsibilidade observando mudança de comportamento. Na UA estes itens em sua maioria possuem recorrência semanal, possibilitando que amostras coletadas por instrumentos de medição manuais sejam reportados ao ERP, permitindo uma análise gráfica que auxilia o trabalho de engenharia em prognosticar uma falha.

Existe uma tendência natural da UA em investir no monitoramento online de seus ativos. Um ativo monitorado online passa a não demandar do recurso de inspeção para coletas de dados quantitativos, podendo este ser realocado para um outro papel que torne-se gargalo, uma vez que apenas itens qualitativos passam a não demandar do mesmo recurso aplicado anteriormente. Além da otimização de recurso, destaca-se o vasto aumento da base de dados que deixa de ser compreendida de meras 52 coletas anuais (no melhor dos casos) para amostras a cada segundo.

A Figura 3 ilustra o fluxo do solicitante para que os dados coletados tornem-se disponíveis no ERP e possam ser tratados pelos demais atores da manutenção.

Figura 3 – Fluxo dos itens de Inspeção da UA



Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo da UA

Primeiramente o ERP segue sua rotina de emissão de ordens de inspeção que respeitam a periodicidade ajustada durante a criação do roteiro. O Solicitante coleta estas ordens para um dispositivo móvel fazendo o confronto entre, os parâmetros definidos nos roteiros e a realidade encontrada no equipamento. A resposta ao dispositivo móvel sobre a situação do equipamento se dá pelas variações qualitativas impostas pela afirmação de estado "ok" ou estado "não ok". Já para os itens quantitativos têm-se a abertura para lançamento de dados numéricos, por exemplo temperatura de XX,xx °C ou vibração de YY,yy mm/s. Após a coleta de dados ocorre a inserção das informações para o ERP em que a resposta positiva (itens dentro do *range* ou com retorno qualitativo satisfatório) confirmam a atividade, concluindo a ordem de serviço. Já uma resposta negativa (itens fora do *range* ou com retorno qualitativo insatisfatório) criam a solicitação de intervenção no equipamento que será submetida ao avaliador técnico.

4.4 Tratativa atual de desvios

Os dados históricos na UA necessitam de análise de especialistas para entendimento do comportamento das máquinas. A grande questão é que na maioria das vezes estes dados não se transformam em informações, pois seu volume vultoso impede a análise contínua devido as restrições dos recursos humanos disponíveis.

No departamento de Redução, foi verificado que, na maioria das vezes, os desvios são identificados no decorrer da execução da rota de inspeção pelo solicitante ao se verificar uma fuga de parâmetro na execução do 4º passo da Figura 3, momento em que ocorre o confronto do roteiro com a realidade do equipamento. Outro caminho se apresenta como os alarmes de PLC que promovem a interação do operador enquanto fiscal da continuidade do processo com o avaliador técnico, responsável pela disponibilidade.

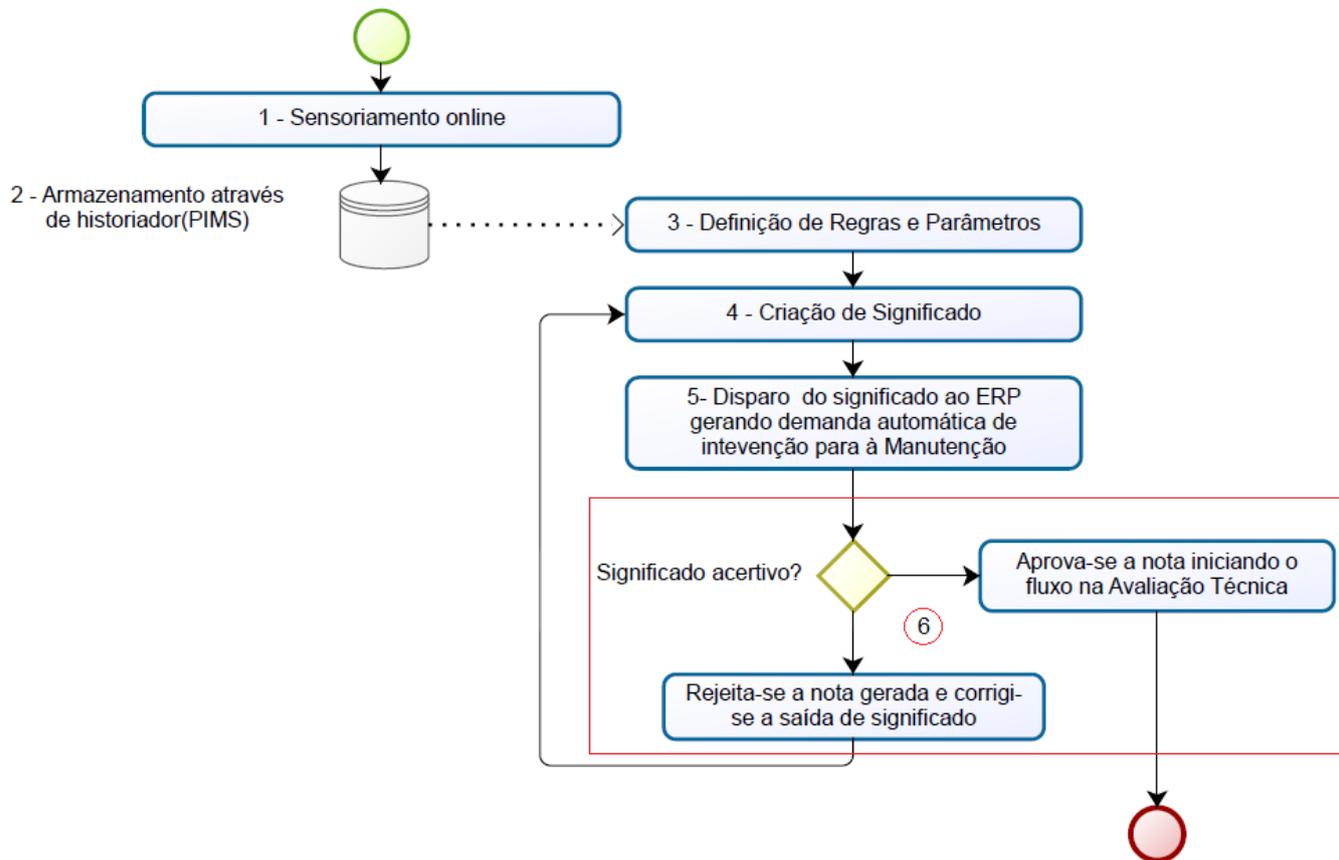
Estas situações ainda são positivas, pois precedem a falha. O caminho de discussão é que nesses casos o risco torna-se iminente e possuir histórico não proporcionou precipitar o entendimento do problema muito menos a antecipação do planejamento para intervenção em um momento mais propício observando o calendário produtivo. Nota-se a necessidade de certo automatismo de diagnóstico que utilizando das correlações, vinculem a inteligência dos especialistas com os parâmetros lidos que resultam em significado para os eventos.

4.5 Modelo de tratamento de dados

A Figura 4 representa o modelo proposto para tratamento de dados por intermédio de criação de significado. O modelo interage com a indústria 4.0 quando viabiliza-se a comunicação da máquina utilizando do sensoriamento online aplicado sobre regras. Estas regras, devem ser construídas embasadas em conhecimento específico sobre o comportamento do ativo a ser monitorado. O fluxo de decisão será abordado de forma teórica apresentando 6 etapas:

1. Necessidade de sensoriamento online das variáveis que são primordiais para formação do cenário de monitoramento desejado. O sensoriamento se dá por instrumentos que se comunicam com o PLC retornando variadas informações de acordo com sua especificação. São exemplos clássicos: temperatura, vibração, posição, peso, umidade, pressão e vazão.
2. Os dados obtidos precisam ser armazenados de forma contínua em um historiador que os disponibilize para o cruzamento de diferentes parâmetros.
3. Definição de regras trata-se da especificação de quais valores ou limites de tolerância são parâmetros e a definição por independência ou correlação destes critérios.
4. Criação de significado – Utilizar da sobreposição das regras criadas para resultar em uma resposta. No contexto de manutenção, um diagnóstico.

Figura 4 – Modelo de Tratamento de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

5. Comunicação com ERP – Caminho de *input* do significado criado no historiador para o *software* de gestão por meio de uma nota de manutenção que nada mais é que um pedido de trabalho textual associado ao equipamento em questão. Este *input* tem objetivo de criar de forma automática demanda as equipes de manutenção eliminando etapas do solicitante em equipamentos que possuem sensoriamento.
6. A tomada de decisão enviada ao ERP é então aprovada ou rejeitada pelo avaliador técnico. Quando aprovada, o mesmo inicia o fluxo de intervenção retratado na Figura 2. Em caso contrário, rejeita-se a notificação e atualiza-se a sobreposição de regras existentes no 4º passo deste conceito.

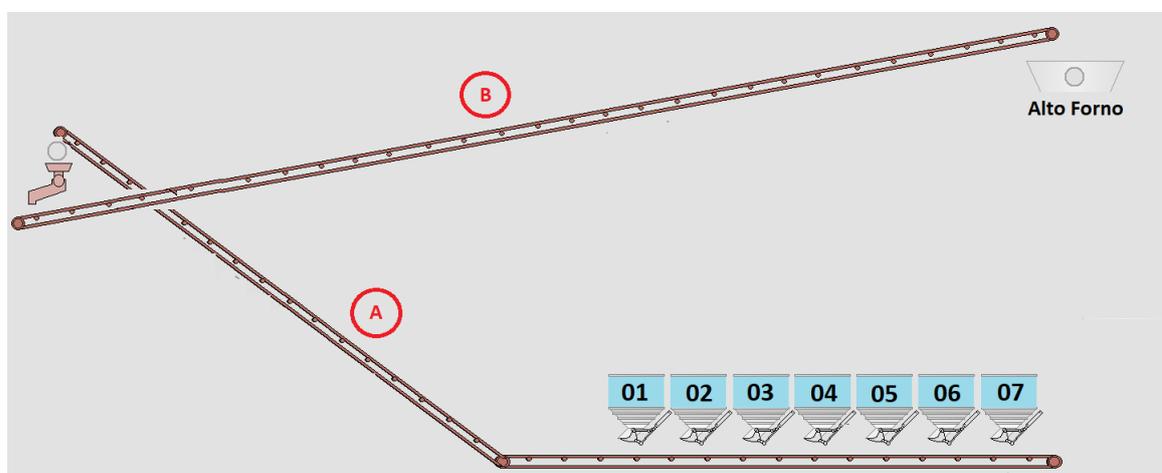
Observa-se que as etapas apresentadas retiram do circuito a interação do solicitante e traz a inteligência dos profissionais de manutenção para criação de regras e significados no que diz respeito ao monitoramento do processo. A seguir colocaremos o fluxo proposto exposto a um caso real da UA.

4.6 Aplicação em caso prático

4.6.1 Contexto

Abordaremos o caso do principal transportador de correia da UA que possui finalidade de abastecer o processo de alto forno com as matérias primas que são utilizadas para obtenção do ferro gusa. A Figura 5 foi desenvolvida para ilustrar a etapa de extração de matérias primas pelos silos de pesagem e armazenagem de 01 a 07 pela correia transportadora intitulada "A" que transfere para a correia de nomenclatura "B" encaminhando o mix de matérias primas para o alto forno.

Figura 5 – Ilustração do transporte de matérias primas



Fonte: Adaptado pelo autor baseado na tela de supervisão da UA

O ciclo completo de abastecimento é apresentado na Tabela 3. Os combustíveis são armazenados nos silos 6 e 7, porém não são representativos para este estudo uma vez que seu peso específico é irrisório quando comparados com a composição de carga metálica. As cargas metálicas por sua vez estão contidas nos silos de 1 a 5 obtendo dois momentos de transporte que se diferem pela seleção do silo 2 em alternância com o silo 5 como indicado na Tabela 3. Estes momentos são necessários por se tratar do gargalo do sistema em que o tempo de preparação dos silos é o fator limitante para início de transporte.

Tabela 3 – Ciclos de abastecimento do Alto Forno

Ciclo	Tipo de Material	Composição
1ª Carga	Carga Metálica	Silo 1 + Silo 2 + Silo 3 + Silo 4
2ª Carga	Combustível	Silo 6
3ª Carga	Carga Metálica	Silo 1 + Silo 3 + Silo 4 + Silo 5
4ª Carga	Combustível	Silo 7

Fonte: Elaborado pelo autor com informações da UA

A capacidade e a demanda de tonelage dos silos 2 e 5 são idênticas sendo a duplicidade de silos necessária para suprir a programação do processo, mas dispensável para análises em separado uma vez que resultam nas mesmas conclusões. Seguiremos então com o cenário do ciclo de 1ª carga que contempla as matérias primas dos Silos de 1 a 4 indicados na primeira linha da Tabela 3.

O transportador B possui capacidade nominal de 1500 t/h no qual seu fator limitante, na ótica da manutenção, está na simultaneidade de transporte de diferentes matérias primas quando estas superam 37,48 toneladas sobre o lençol da correia. Nessa situação, superar a tonelage, provoca paradas acidentais do transportador por sobrecarga culminando na interrupção do mesmo por perda de transmissão.

A Tabela 4 traz mais informações sobre o mix analisado sendo que na média, o transporte de carga metálica flutua na casa de 50 toneladas por abastecimento. Garantir o correto funcionamento do transportador, sem paradas por sobrecarga, implica na preocupação de realizar o transporte do mix sem exceder o fator limitante.

Tabela 4 – Dados básicos sobre as matérias primas

Origem	Matéria Prima	Peso médio contido no <i>mix</i> metálico
Silo Balança 01	Small Coque	2,65 ton
Silo Balança 02	Sinter	40,81 ton
Silo Balança 03	Minério Granulado	2,89 ton
Silo Balança 04	Pelota de Minério	2,89 ton

Fonte: Elaborado pelo autor com informações da UA

Na ótica do controle de processos e produção de gusa, a constante variação das granulometrias de matérias primas respeitam as especificações. Porém, quanto menor a granulometria, menor o tempo demandado para escoamento e maior o peso depositado sobre a área do comprimento livre do transportador. Isto pode promover a ocorrência do evento sobrecarga. Os momentos de entrada dos silos seguem uma ordem fixa em que se varia apenas o peso de cada matéria prima com objetivo de corrigir as variações de qualidade do gusa em consonância com os parâmetros especificados pela UA.

Apesar dos históricos de interrupções do transportador por este evento ainda não existe um sistema de monitoramento para o estouro de capacidade que gere uma demanda preventiva à manutenção. Observando esta necessidade, o autor estudou as condições constantes e variáveis deste sistema para propor parâmetros e um processo de formação de significado para esta questão.

4.6.2 Aplicação do modelo de tratamento de dados

Seguindo as etapas do modelo, será instanciado cada um dos passos no processo de transporte de matérias primas da UA:

1. Sensoriamento online necessário para coleta das variáveis:
 - a) Sensores de posição nos silos que retornam o horário de abertura e fechamento.
 - b) Células de carga para medição do peso líquido transportado calculando o diferencial entre o peso inicial e final do silo. Para este item, duas condições oscilam: o peso definido para o ciclo de abastecimento em questão e o residual de matéria prima retida ao silo por agarramento.
2. Armazenamento de dados por intermédio de historiador – Será considerado o PIMS (*Plant Information Management Systems*) como historiador devido sua vasta utilização em processos industriais e sua disponibilidade na UA. Lembrando que PIMS é um conceito de historiador e não a marca de uma empresa já que este é desenvolvido por algumas empresas de TA/TI.
3. As regras arremetem ao cruzamento de constantes e variáveis que são desenvolvidas a seguir:
 - a) Constantes são apresentadas na Tabela 5. Destaca-se novamente nosso fator limitante de 37,48 toneladas:

Tabela 5 – Constantes do problema

Descrição da Constante	Constante	Valor da Constante
Velocidade do Transportador	V	2,09 m/s
Capacidade de Transporte Simultâneo	C	37,48 ton
Comprimento Útil do Transportador	L	188 m
Conversão de variação do horário para tempo	T	86400
Posição do Silo Balança 01	X1	-
Posição do Silo Balança 02 em relação ao 01	X2	17,261 m
Posição do Silo Balança 03 em relação ao 01	X3	25,861 m
Posição do Silo Balança 04 em relação ao 01	X4	29,946 m

Fonte: Elaborado pelo autor durante a coleta em *datasheets* e desenhos do transportador B

b) Já as variáveis, serão apresentadas a seguir como 18 informações subdivididas em 6 grupos: tempo decorrido, conclusão de descarga, peso transportado, comprimento da carga, peso total e fator de sobrecarga:

- i. Tempo decorrido - Período entre início e término do descarregamento da matéria prima obtidos pelos sensores de posição. Variável existente na subtração do horário de fechamento do silo balança em análise com seu respectivo tempo de abertura que em seguida é multiplicado pela constante 86400 que converte horas para segundos.

Tabela 6 – Tempo decorrido, Δt

Variável	Racional	Tipo
Δt Silo 1	$\Delta t \text{ Silo 1} = (Tf(1) - Ti(1))*T$	Tempo decorrido
Δt Silo 2	$\Delta t \text{ Silo 2} = (Tf(2) - Ti(2))*T$	Tempo decorrido
Δt Silo 3	$\Delta t \text{ Silo 3} = (Tf(3) - Ti(3))*T$	Tempo decorrido
Δt Silo 4	$\Delta t \text{ Silo 4} = (Tf(4) - Ti(4))*T$	Tempo decorrido

Fonte: Elaborado pelo autor

- ii. Conclusão de descarga - O Silo que armazena small coque, Silo 1, por regra é sempre o primeiro a ser habilitado iniciando assim o transporte. O tempo de conclusão de descarga consiste na subtração do horário de término de descarga dos demais silos em referência ao Silo 1 que em seguida também é multiplicado pela constante 86400 para conversão em segundos.

Tabela 7 – Conclusão de descarga, Δd

Variável	Racional	Tipo
Δd Silo 1	N/A	Conclusão de descarga
Δd Silo 2	$\Delta d \text{ Silo 2} = Tf(2) - Ti(1) *T$	Conclusão de descarga
Δd Silo 3	$\Delta d \text{ Silo 3} = Tf(3) - Ti(1) *T$	Conclusão de descarga
Δd Silo 4	$\Delta d \text{ Silo 4} = Tf(4) - Ti(1) *T$	Conclusão de descarga

Fonte: Elaborado pelo autor

- iii. Peso transportado - Peso da matéria prima em toneladas descarregadas no transportador obtidos com as células de carga. Consiste da subtração do peso inicial da matéria prima armazenada nos silos com o peso remanescente.

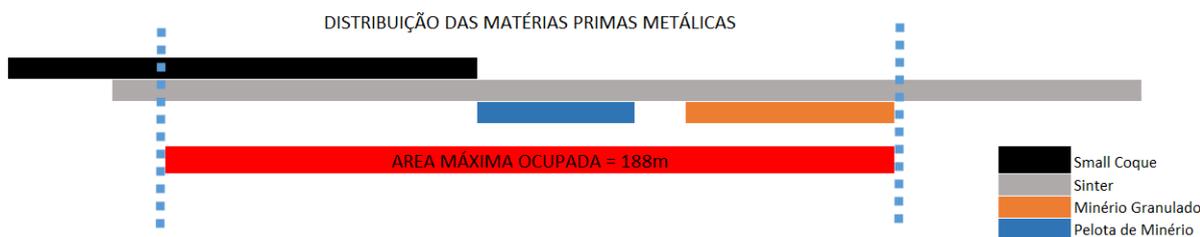
Tabela 8 – Peso Transportado, Δw

Variável	Racional	Tipo
Δw Silo 1	Δw Silo 1 = $W_i(1) - W_f(1)$	Peso Transportado
Δw Silo 2	Δw Silo 2 = $W_i(2) - W_f(2)$	Peso Transportado
Δw Silo 3	Δw Silo 3 = $W_i(3) - W_f(3)$	Peso Transportado
Δw Silo 4	Δw Silo 4 = $W_i(4) - W_f(4)$	Peso Transportado

Fonte: Elaborado pelo autor

- iv. Comprimento da carga - Medida em metros de cada matéria prima depositada sobre o lençol da correia transportadora. Obtida com a multiplicação da velocidade do transportador, 2,09 m/s, pelo Δt de cada silo. Esta variável torna-se primordial para entendimento do problema, pois conforme ilustrado na Figura 6, ela projeta a sobreposição das matérias primas sobre a área máxima possível de ser ocupada no transportador, 188 metros.

Figura 6 – Posicionamento da carga



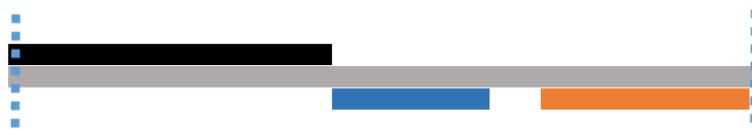
Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

Tabela 9 – Comprimento da carga, Δl

Variável	Racional	Tipo
Δl Silo 1	Δl Silo 1 = Δt Silo 1 * V	Comprimento de carga
Δl Silo 2	Δl Silo 2 = Δt Silo 2 * V	Comprimento de carga
Δl Silo 3	Δl Silo 3 = Δt Silo 3 * V	Comprimento de carga
Δl Silo 4	Δl Silo 4 = Δt Silo 4 * V	Comprimento de carga

Fonte: Elaborado pelo autor

- v. Peso total - Resultado procurado para verificar se a restrição de capacidade do transportador foi ultrapassada. Encontrado no somatório do peso total dos Silos 3 e 4 e da fração correspondente dos Silos 1 e 2. Como ilustrado na Figura 7, descarta-se a ponta da matéria prima do silo 1 e a ponta e calda da matéria prima do silo 2.

Figura 7 – Amostra do peso transportado simultaneamente, Δw Total

Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

- A. Encontra-se a fração de material do Silo 1 por meio do cálculo de toneladas por metro seguida da multiplicação deste resultado pelo comprimento livre proporcional.

O cálculo de toneladas por metro no silo 1 se dá na divisão do peso líquido do silo 1, Δw Silo 1, pelo comprimento da carga do silo 1, Δl Silo 1.

O comprimento livre proporcional de matéria prima do silo 1 será apresentado em 3 etapas para apoio ao entendimento do raciocínio. Primeiro se encontra o comprimento entre a calda do material do silo 3 e a ponta do material do silo 1 por intermédio da multiplicação do período de conclusão de descarga do silo 3, Δd Silo 3, pela constante de velocidade do transportador, $V=2,09\text{m/s}$ somada a constante da distância do silo 03 em relação ao silo 01, $X3=29,946\text{m}$. A Figura 8 representa esta informação.

Figura 8 – Comprimento entre a calda do material do silo 3 e a ponta do material do silo 1



Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

O segundo passo está na verificação do ponto de corte da ponta do material do silo 1 que será desprezada uma vez que esta supera o comprimento útil do transportador, $L=188\text{m}$. A formulação se dá pela subtração de L do resultado anterior, comprimento entre a calda do material do silo 3 e a ponta do material do silo 1. A Figura 9 ilustra o cenário em que se identifica o comprimento de matéria prima a ser desconsiderada do cálculo.

Figura 9 – Metragem a ser descartada do material vindo do silo 1



Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

Já o terceiro passo consiste na soma do comprimento total da carga do silo 1, Δl Silo 1, com o resultado do passo anterior em que foi destacado a metragem a ser descartada. A Figura 10 ilustra comprimento total da carga do silo 1 (Δl Silo 1) enquanto a Figura 11, representa o comprimento de matéria prima do silo 1 que irá compor o peso total.

Figura 10 – Comprimento total da carga do silo 1, Δl Silo 1



Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

Figura 11 – Comprimento livre proporcional de matéria prima do silo 1



Fonte: Elaborado pelo autor observando o fluxo de abastecimento dos transportadores

B. Já a fração de material do Silo 2 é encontrada no cálculo de toneladas por metro seguida da multiplicação deste resultado pelo comprimento útil do transportador, $L=188m$. O cálculo de toneladas por metro no silo 2 se dá na divisão do peso líquido do silo 2, Δw Silo 2, pelo comprimento da carga do silo 2, Δl Silo 2.

De forma matemática, a Tabela 9 explora a construção apresentada até aqui para o somatório do peso total dos Silos 3 e 4 e da fração correspondente dos Silos 1 e 2.

Tabela 10 – Peso total, Δw_{total}

Variável	Racional	Tipo
Δw_{total}	$\Delta w_{total} = \Delta w \text{ Silo } 1 / \Delta l \text{ Silo } 1 * (\Delta l \text{ Silo } 1 + L - (\Delta d \text{ Silo } 3 * V + X3)) + \Delta w \text{ Silo } 2 / \Delta l \text{ Silo } 2 * L + \Delta w \text{ Silo } 3 + \Delta w \text{ Silo } 4$	Peso Total

Fonte: Elaborado pelo autor

vi. Fator de sobrecarga (O_w) - Razão entre o peso total, Δw_{total} , e a capacidade do transportador, C .

Tabela 11 – Fator de sobrecarga, O_w

Variável	Racional	Tipo
O_w	$O_w = \Delta w_{total} / C$	Fator de sobrecarga

Fonte: Elaborado pelo autor

4. Criação de significado – contido no retorno de informação sobre o peso transportado pela correia no qual valores acima de 100% refletem em sobrecarga enquanto resultados menores que este são de operação normal. O modelo de predição proposto está construído apontando como gatilho o acionamento automático da equipe de manutenção na razão de 95% da capacidade.
5. Comunicação com ERP – Saída do PIMS para o ERP solicitando programação de intervenção preventiva para ajuste da abertura dos silos reduzindo o percentual de sobrecarga para 80%.
6. Tomada de decisão – O avaliador técnico verifica, utilizando do PIMS, se a saída procede ou se trata-se de um falso verdadeiro. Se confirmado, submete a demanda ao fluxo para que seja planejada a intervenção. Senão, recusa-se a nota e atualiza-se a sobreposição de regras que levaram a este significado.

4.6.3 Modelo posto em prática

Para melhorar a compreensão e análise dos dados, utilizando do PIMS da UA, foram coletadas amostras historiadas dos sensores de posição e células de carga dos silos. As tabelas a seguir representam dados de uma dessas amostras seguindo os seis grupos de variáveis apresentados anteriormente e contidas no terceiro passo do modelo de tratamento de dados da Figura 4, definição de regras e parâmetros.

As variações de tempo, Δt , estão disponíveis na 5ª coluna da Tabela 12, Resultado, com unidade de tempo em segundos. Estas indicam o tempo necessário na amostra exposta para realizar a descarga de cada uma das matérias primas.

Tabela 12 – Tempo decorrido para descarga das matérias

Variável	Horário Final	Horário Inicial	Constante T	Resultado (s)
Δt Silo 1	10:19:30	10:18:26	86400	64
Δt Silo 2	10:20:19	10:18:27	86400	112
Δt Silo 3	10:20:02	10:19:42	86400	20
Δt Silo 4	10:19:28	10:19:09	86400	19

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nas coletas realizadas na UA

O tempo consumido para conclusão das descargas dos silos, Δd , é indicada na 5ª coluna da Tabela 13, Resultado, com unidade de tempo em segundos. Aponta a diferença contida em segundos entre o fechamento, conclusão do esvaziamento, dos Silos de 2, 3 e 4 em relação a abertura do Silo 1.

Tabela 13 – Conclusão de descargas dos demais Silos em referência ao Silo 1

Variável	Horário Final Silo Analisado	Horário Inicial Silo Referência	Constante T	Resultado (s)
Δd Silo 2	10:19:30	10:18:26	86400	64
Δd Silo 3	10:20:02	10:18:26	86400	96
Δd Silo 4	10:19:28	10:18:26	86400	62

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nas coletas realizadas na UA

O peso líquido das matérias primas transportado para o alto forno, Δw , fica exposto na 4ª coluna da Tabela 14, Resultado, com unidade de massa em toneladas.

Tabela 14 – Peso em toneladas descarregas no transportador

Variável	Peso Inicial	Peso Final	Resultado (Ton)
Δw Silo 1	2,82	0,18	2,64
Δw Silo 2	41,47	0,99	40,48
Δw Silo 3	3,60	0,60	3,00
Δw Silo 4	3,18	0,28	2,90

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nas coletas realizadas na UA

A metragem resultante da deposição do material descarregado sobre o transportador A, Δl , está exibida na 4ª coluna da Tabela 15, Resultado, com unidade de comprimento em metros.

Tabela 15 – Comprimento da carga de matéria prima

Variável	Δt Silo	Velocidade do Transportador	Resultado (m)
Δl Silo 1	64	2,09	133,76
Δl Silo 2	112	2,09	234,08
Δl Silo 3	20	2,09	41,80
Δl Silo 4	19	2,09	39,71

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nas coletas realizadas na UA

Após o cálculo, o peso total calculado nesta amostra aponta 40,29 toneladas transportadas em simultaneidade no momento de pico, item resultante do cálculo de Δw_{total} salientado na Tabela 16.

Tabela 16 – Peso total sobre a correia

Variável	Resultado (Ton)
Δw_{total}	40,29

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nas coletas realizadas na UA

Observando o fator de trabalho apresentado na Tabela 17 verifica-se a utilização do transportador acima da capacidade em 7,5% ou 2,81 toneladas. Aqui atingimos o quarto passo do modelo de tratamento de dados da Figura 4, criação de significado. A amostra escolhida para aplicação do modelo foi de um cenário de parada indesejada do equipamento para que houvesse melhor entendimento do problema. Nestas situações, o foco é reestabelecer o processo, removendo o excesso de carga sobre o transportador manualmente pela equipe de operação enquanto a manutenção verifica a integridade física do equipamento e corrige os desvios necessários.

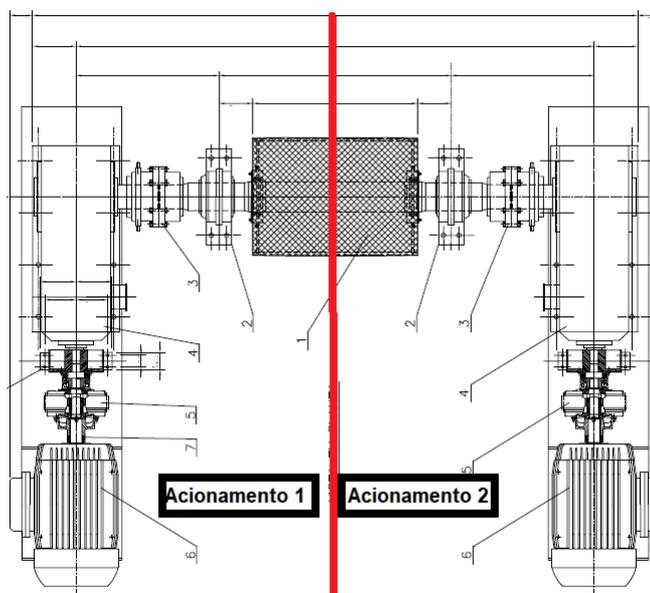
Tabela 17 – Fator de Trabalho

Variável	Resultado (%)
Ow	107,50

Fonte: Adaptado pelo autor das coletas da UA

O tempo de indisponibilidade da máquina varia entre uma e duas horas para reestabelecimento. Este cenário é relativamente positivo e possível graças a duplicidade de acionamento que consiste em um conjunto extra de motor e redutor instalado e disponível em modo *stand-by* (pronto para operar) como verificado na Figura 12. Ainda assim pode-se estimar uma perda de produção próxima a 500 toneladas de produto somada a instabilidade do processo no momento de retomada de operação.

Figura 12 – Acionamento do Transportador



Fonte: Adaptado pelo autor de desenho técnico disponibilizado pela UA

O cálculo apresentado respeitou as informações de uma amostra do dia 02/06/2015. Acessar este histórico foi viável graças ao PIMS. Para a verificação de aderência analítica, foram estudadas outras 5 amostras em que uma destas foi escolhida observando que havia-se o registro de uma data de parada acidental do equipamento distinta da explicitada pelo cálculo. A Tabela 18, registra estas informações com ocorrências de parada *versus* operação normal ao se transitar na constante de capacidade do transportador.

Tabela 18 – Aderência do método ao problema

Data da amostra	Peso Transportado	Efeito de parada?
10/08/2014	38,73	SIM
05/01/2015	35,59	NÃO
02/06/2015	40,29	SIM
28/10/2015	33,86	NÃO
24/03/2016	30,01	NÃO
19/08/2016	32,67	NÃO

Fonte: Adaptado pelo autor das coletas da UA

Para reduzir a incerteza deste processo, apresenta-se como um ganho de performance o monitoramento deste equipamento utilizando das correlações relacionadas acima, direcionando a equipe de manutenção para uma atuação preventiva. O equipamento em questão já é sensoreado ao nível desejado para que esta coleta possa ocorrer online, a contribuição deste trabalho que pode ser implementada pela UA por intermédio do autor está em viabilizar a análise online por meio de construção de significado estruturada no modelo de tratamento de dados.

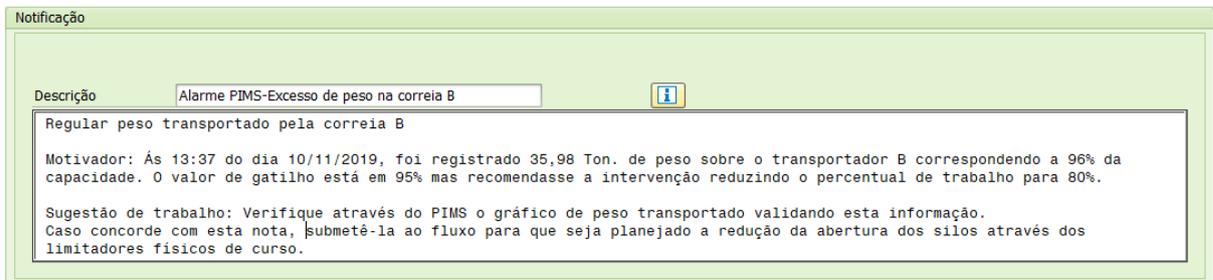
4.7 Aplicação no contexto da Indústria 4.0

O problema desenvolvido foi considerado para que se tornasse explícito a possibilidade de ganho utilizando criação de significado. Agora que se possui o significado, seguiremos em duas vertentes. A primeira de curto prazo observando os recursos disponíveis na UA e uma segunda de médio a longo prazo em que se carece de investimento, mas se apresenta ainda mais apoiada na indústria 4.0 uma vez que além da comunicação vinda da máquina, se sugere uma auto regulação da abertura dos silos sem necessidade de intervenção da manutenção.

4.7.1 Curto prazo

Utilizar do PIMS como caminho para o cálculo automático das regras aqui desenvolvidas em detrimento de fazê-las no PLC se dá pela abertura e segurança de trabalhar com dados e não com as lógicas de automação elaboradas e operantes nos PLC's. Outro aspecto é que a comunicação do PIMS com o ERP, para viabilizar a abertura automática das notificações vindas dos equipamentos, necessita apenas da coleta das informações que servirão de gatilho e precisarão ser registradas em um *drive* com acesso a mesma rede em que se opera o PIMS e o ERP. A Figura 13 apresenta como poderia ser este registro que iniciará a demanda por correção de forma preventiva, antecedendo a falha.

Figura 13 – Notificação vinda do PIMS para o ERP

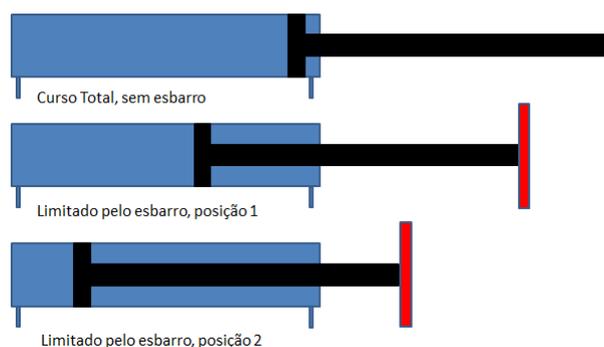


Fonte: Elaborado pelo autor via ERP da UA

4.7.2 Médio a longo prazo

Pensando em uma atualização da tecnologia disponível atualmente na UA, para abertura e fechamento dos silos, verifica-se que a adoção de uma sistema de acionamento proporcional poderia ser aplicado como auto regulação embasada no significado da variável Ow. Nesta ótica, aumenta-se a confiabilidade do processo e se extingue a necessidade de ação da manutenção. Para melhor compreensão, o acionamento tradicional dos silos se dá por um cilindro pneumático que possui curso de 860mm recebendo comando pleno de abre e fecha. O curso total pode ser reduzido quando se antecipa o limitador de posição, esbarro, mediante a desmontagem e realocação manual deste artifício. Esta é a ação que deve ser programada pela manutenção quando se configura uma taxa de trabalho acima de 95%. A Figura 14 demonstra algumas possibilidades de ajuste baseados em simbologia técnica acrescida do esbarro que está destacado na cor vermelha.

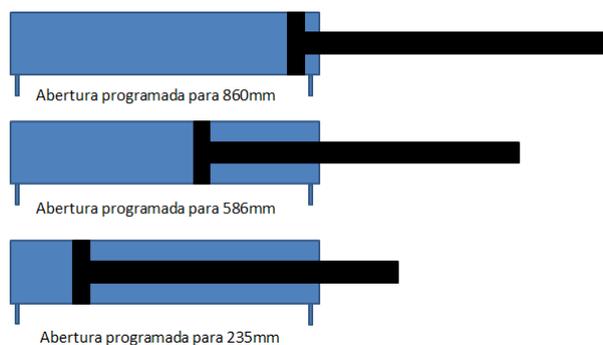
Figura 14 – Acionamento tradicional



Fonte: Elaborado pelo autor

Existem no mercado cilindros com posicionadores que trabalham sem esbarro dosando sua abertura ao respeitar parâmetros estabelecidos. A ilustração da Figura 15 procura apresentar o mesmo comportamento exposto na Figura 14, porém sem a aplicação do esbarro.

Figura 15 – Acionamento inteligente



Fonte: Elaborado pelo autor

Tendo este recurso ajustável instalado, pode se alcançar a auto regulação em dois momentos. Porém, agora necessita-se do PLC e não do PIMS uma vez que será necessário intervir no processo e não mais fazer sua leitura pelo historiador solicitando o trabalho para a manutenção.

No primeiro momento, o sistema se auto monitora utilizando das regras e significados explorados neste trabalho. A partir daí, necessita-se agora de uma intervenção de automação para que as regras estejam disponíveis no PLC e por intermédio delas o sistema calcule, baseado no último transporte, qual deve ser a abertura proporcional dos silos para que se aproxime a variável Ow de uma constante. O segundo momento se dá quando o novo significado, abrir cilindro do silo X com YY mm de curso, é implementado pelo PLC e a correção flui como um novo comando inserido na linha de programação do transporte.

5 Conclusões e Considerações Finais

Conforme apresentado no campo de Análises e Resultados houve a preocupação de contextualizar a formatação de trabalho apontado pelo GS como melhores práticas de manutenção e como estas se operacionalizam em suas unidades produtivas. Observa-se que o foco por atingir maturidade em manutenção é legítimo e primordial para estabilidade operacional necessária para se manter competitivo no mercado de aços.

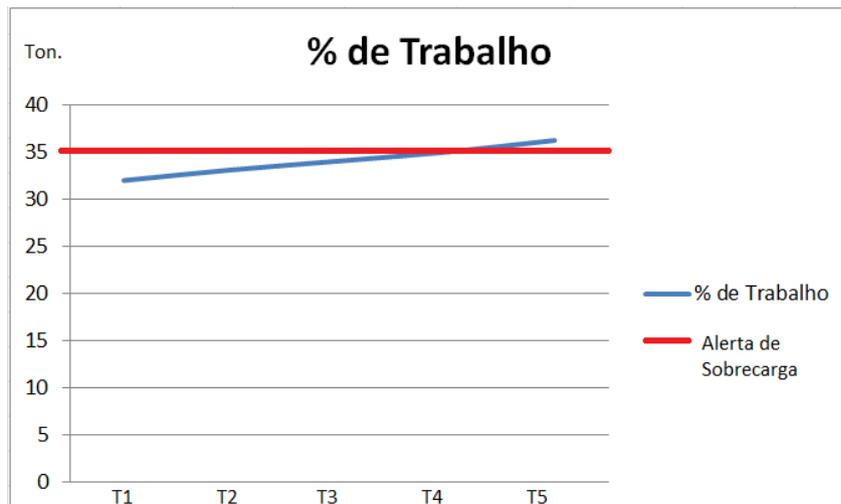
O emprego de sensoriamento e tecnologia para que as máquinas tornem-se conectadas é um dos pilares da indústria 4.0. Vemos que o setor siderúrgico brasileiro, amostrado pelas empresas do GS em principal a UA, está caminhando para o fortalecimento de infraestrutura de TA/TI viabilizando a conectividade e disponibilização de informação em tempo real.

Paralelo a esta caminhada estão as rotinas de manutenção disponíveis e organizadas no ERP que periodicamente emite demandas preventivas. Inserir entrada de informação embasada na solicitação de trabalho vindo da máquina, foi o tema explorado no nexo de indústria 4.0 aplicada à manutenção. Para o caso do transporte de matérias primas apresentado, verifica-se viabilidade na saída de significado principalmente por se ter disponível as medições online dos parâmetros necessários e por certificar-se que ao colocá-lo em prática ele nos retorna a resposta esperada, sobrecarga. Visto que as informações das variáveis explicitadas são de um cenário historiado em que ocorreu o evento de parada, caso a equipe de manutenção tivesse esta inteligência monitorando seu equipamento ininterruptamente, seria possível programar a intervenção antes que ocorresse a parada acidental.

As conclusões alcançadas durante o cruzamento dos comportamentos estudados, serão disponibilizadas à UA necessitando o desenvolvimento para que as condições disponíveis de forma avulsa se submetam as regras aqui criadas. Obter inteligência utilizando do historiador já é um avanço significativo, mas torna-se importante a comunicação com o ERP, pois esta comunicação remove a atividade do solicitante para itens quantitativos em que se possui monitoramento online. Esta ação foi trabalhada no quinto passo do modelo de tratamento de dados sendo a via de entrada à carteira de atividades da manutenção.

Já o gatilho foi identificado na ruptura do percentual de utilização exposto neste trabalho como fator de sobrecarga, Ow. Ele foi indicado como normal enquanto o peso transportado for inferior a 95% da capacidade. O sexto passo do modelo se refere à verificação sobre a veracidade do significado gerado. Neste item, entende-se que uma saída gráfica monitorando a tendência gerada pela variável Ow apoia a tomada de decisão quando se plota a variação de forma continua como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Fator de Sobrecarga Global

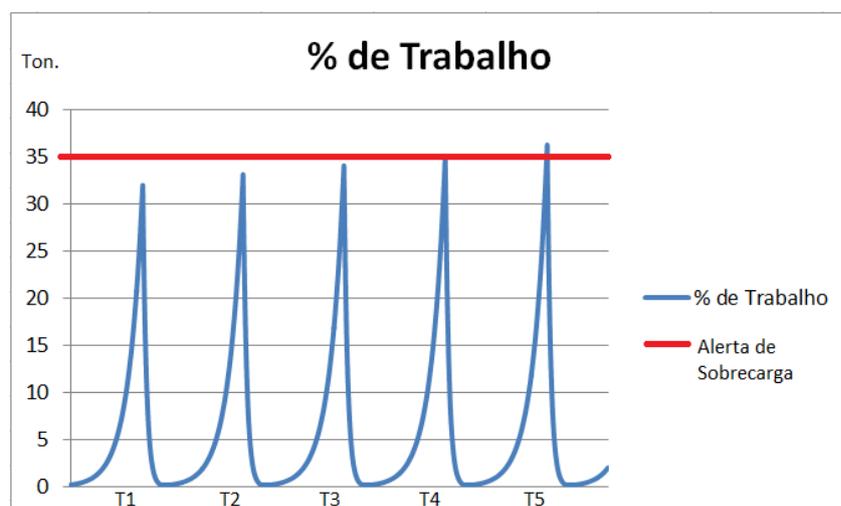


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao visitar esta proposta gráfica, o avaliador técnico conseguirá fazer a análise validando, ou não, o comportamento que gerou a notificação vinda do equipamento. Para a ilustração da Figura 16, foram considerados valores que apontassem tendência ao avançar de 5 períodos sendo que o último deles seria o responsável pelo acionamento da manutenção ao ultrapassar o fator de trabalho de 95%.

Em uma nova ótica, acompanhamento instantâneo do peso transportado, verifica-se a possibilidade de saída gráfica ainda mais consistente como ilustrado na Figura 17. Nesta condição, seria necessário a substituição da variável *Ow* por uma outra variável que armazenasse o peso instantâneo podendo se aplicar mais uma regra, como por exemplo, o tempo em segundos em que se trabalhou acima de 95% da capacidade de transporte.

Figura 17 – Fator de Sobrecarga Instantâneo



Fonte: Elaborado pelo autor

Devido à complexidade do cenário escolhido, foi definido abordar apenas um significado na rotina da manutenção da UA. Porém, este caminho torna-se válido para todo item significativo de processos produtivos que possuam o sensoriamento adequado. O ponto principal está no entendimento necessário para criar regras válidas para novos cenários. Fica o anseio do autor pelas possibilidades que virão ao passo da tendência cada vez mais presente na construção de acessos aos “chamados” das máquinas que enfim, solicitarão atenção para seus sintomas.

O conceito de *Big Data* não foi aprofundado, mas acredita-se em sua permanência neste conteúdo, pois uma vez que se alcance volumes significativos de informação, o cruzamento manual destes sem uma inteligência computacional irá inviabilizar o cenário de uma fábrica inteligente em que deixamos de ter uma correia transportadora reportando um tipo de evento para trabalhar com os ditos sistemas cyber físicos.

Compreende-se o tema do trabalho como atual observando a variedade de autores identificados com publicações do ano corrente. Na relação com o meio acadêmico, verifica-se uma entrega de um caso prático de como pode ser o início do caminho para a indústria 4.0 no cenário siderúrgico brasileiro. De forma geral temos muitas revisões de literatura, focos conceituais, mas poucas visões de mercado. São 8 anos corridos desde a introdução do conceito da indústria 4.0 e entende-se que ela é uma oportunidade que vem sendo adotada mediante a pilotos, experimentos, e não de uma forma instantânea que abranja imediatamente toda a variação do segmento.

Como expansão deste assunto em oportunidades futuras, verifica-se possibilidade de aplicação do modelo em novos cenários apresentando a viabilização do *report* da máquina ao ERP. Este é o caminho sequencial ao abordado até aqui, mas abre-se também uma nova ótica sugerindo aplicações práticas de *Big Data* voltados ao entendimento de parâmetros contidos na operação das máquinas.

Uma vez que o cenário de estudo teve um escopo restrito à manutenção, fica a reflexão sobre a necessidade de maior aprofundamento para que o modelo de tratamento de dados seja aplicável a outros segmentos. O potencial contido em parametrizar decisões e interpretações de um especialista em relação à máquina, colocando-a para trabalhar em função de seus objetivos, é imensurável e promete mudar os padrões hoje disponíveis.

Referências

- ABNT. *NBR 5462:1994 - Confiabilidade e manutenibilidade*. [S.l.], 1994. 37 p.
- ABNT. *NBR ISO 55000:2014 - Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia*. [S.l.], 2014. 23 p.
- BEZERRA, A.; SILVA, I.; GUEDES, L. A.; SILVA, D.; LEITÃO, G.; SAITO, K. Extracting value from industrial alarms and events: A data-driven approach based on exploratory data analysis. *Sensors*, p. 21, 2019.
- BLANN, D. World-class maintenance: Putting your facility on the road to success. *EBSCO Publishing*, Raleigh, N.C., p. 4, 2002.
- BUHR, D. Social innovation policy for industry 4.0. *FRIEDRICH-EBERT-STIFTUNG*, p. 25, 2017.
- CNI. *DESAFIOS PARA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL*. [S.l.], 2016. 37 p.
- CONCEIÇÃO, D. R. d.; SILVA, J. A. d.; AZZOLINI, M. G.; LUNARDI, R. C.; ESTEVES, R. P. Gerenciamento hierárquico de ambientes inteligentes utilizando snmp. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos — XXXV - Pages 446 - 459*, p. 14, 2017.
- FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALAC, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics — 210 - Pages 15 - 26*, p. 12, 2019.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. S. Métodos de pesquisa. *UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL- UFRGS*, 2009.
- GRIFFIN, D. Attitudes in maintenance towards excellence: Pas55-1 2008. *1º SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MANUTENÇÃO / ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção*, p. 56, 2011.
- HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Driving forces and barriers of industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting & Social Change — 146 - Pages 119 - 132*, p. 14, 2019.
- MANYIKA, J.; CHUI, M.; BROWN, B.; BUGHIN, J.; DOBBS, R.; ROXBURGH, C.; BYERS, A. H. Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. *McKinsey Global Institute*, p. 156, 2011.
- NASSAR, W. R.; DIAS, S. M. d. A. Evolução da manutenção planejada na cosipa. *23º Congresso Brasileiro de Manutenção / ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção*, p. 15, 2008.
- PILLONI, V. How data will transform industrial processes: Crowdsensing, crowdsourcing and big data as pillars of industry 4.0. *future internet*, p. 14, 2018.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. d. A. N. *Manutenção - Função estratégica*. [S.l.]: QUALITYMARK, 2015. 436 p. (4-2012). ISBN 978-85-414-0040-4.

QI, Q.; TAO, F. Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison. *IEEE Access*, p. 9, 2018.

SALTIÉL, R. M. F.; NUNES, F. d. L. A indústria 4.0 e o sistema hyundai de produção: Suas interações e diferenças. *SIMEP*, p. 11, 2017. ISSN 2318-9258.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. *UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ- INIFEI*, 2012.

XAVIER, J. d. A. N. Manutenção classe mundial. *TECÉM — GP005*, Belo Horizonte, p. 10, 2015.

XAVIER, J. d. A. N.; DORIGO, L. C. F. *Manutenção orientada para resultados*. [S.l.]: QUALITYMARK, 2013. 296 p. (1-2010). ISBN 978-85-730-3903-0.



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO NO CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0: CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO PARA OS DADOS DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS RELEVANTES NA ÓTICA DE DISPONIBILIDADE DE UMA SIDERÚRGICA**” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, **10 de Dezembro** de **2019**.

Davi Sequial Nunes da Silva

Nome do Aluno (a)