

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ROGÉRIO DA COSTA GIÃO

AUTOMAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE MÁQUINAS APAGADORAS
EM COQUERIAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO
POR RÁDIO-FREQUÊNCIA

SANTOS/SP

2019

ROGÉRIO DA COSTA GIÃO

**AUTOMAÇÃO DO POSICIONAMENTO DE MÁQUINAS APAGADORAS
EM COQUERIAS ATRAVÉS DA TECNOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO
POR RÁDIO-FREQUÊNCIA**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho, Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos e Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco.

SANTOS/SP

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

GIÃO, Rogério da Costa.

Automação do posicionamento de máquinas apagadoras em coquearias através da tecnologia de identificação por rádio frequência / Rogério da Costa Gião. -- 2019.
n. de f.

Orientadores: Prof. Dr. João Inácio da Silva Filho.
Prof. Dr. Maurício Fontoura Blos.
Prof. Dr. Marcos Tadeu Tavares Pacheco.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 2019.

1. Automação. 2. Baterias de coque. 3. Rádio frequência
4. Encoder. 5. Sistema de Controle.

I. DA SILVA FILHO, João Inácio. II. BLOS, Maurício Fontoura. III. Pacheco, Marcos Tadeu Tavares IV. Automação do posicionamento de máquinas apagadoras em coquearias através da tecnologia de identificação por rádio frequência.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me apoiando nas minhas decisões e na superação dos desafios.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por nos prover de forças físicas, mentais e espirituais para conseguirmos atingir nossos objetivos.

Especialmente ao professor doutor João Inácio da Silva Filho, pela orientação, disponibilidade, paciência e conhecimento sempre que precisei para a correta elaboração deste trabalho.

Ao professor doutor Maurício Fontoura Blos por nos dar a oportunidade de participar do programa de mestrado e pelo constante incentivo em busca de novos conhecimentos e do nosso crescimento profissional sempre de uma forma muito otimista e desafiadora.

A Universidade Santa Cecília por dispor de todos os recursos necessários para o nosso aprendizado e para a elaboração desta dissertação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Santa Cecília que nos ajudaram muito através do conhecimento passado fundamental para nossa evolução ao longo do curso.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, senhoras Sandra e Imaculada, por sempre nos auxiliarem nas dificuldades encontradas com muita educação e eficiência.

À minha esposa Rosana Balarini Gião por sempre acreditar e me incentivar nas minhas decisões e na busca de novas realizações, mesmo se privando da minha presença em momentos especiais.

RESUMO

Esta dissertação apresenta a arquitetura de hardware e análises dos resultados obtidos com a implantação de um sistema de automação para posicionamento das máquinas apagadoras, utilizadas especificamente nas unidades de produção de baterias de coque em indústrias siderúrgicas. Estas máquinas têm a responsabilidade de receber o carregamento de coque incandescente que é desenfundado dos fornos e levá-lo para a área de extinção da incandescência do coque. A solução adotada para esta implementação foi baseada na tecnologia denominada Identificação por Rádio Frequência (*RFID- Radio-Frequency IDentification*) integrada ao sistema de controle das máquinas, que é baseado em controladores lógicos programáveis. Outras tecnologias são empregadas com o objetivo de posicionar as máquinas apagadoras, no entanto a opção pelo RFID foi feita por conseguir responder adequadamente em um ambiente bastante hostil, típico de uma área de coqueria, com características ambientais que dificultam a implementação de outras soluções. De acordo com os testes realizados constatou-se que a solução proporcionou resultados positivos mesmo não conseguindo obter uma precisão perfeita, mas que, devido a tolerância existente para aceitação do posicionamento das máquinas, o sistema proporcionou um bom grau de confiabilidade. Ao final do processo de instalação foi feito um levantamento durante 4 meses onde constatou-se, além de vantagens indiretas na produção, tais como diminuição de riscos de acidentes com a não necessidade de expor pessoas para operações manuais próximas das máquinas em temperaturas não adequadas, destacou-se de forma direta uma melhora na produtividade, representada pela diminuição de 30% nas horas paradas por problemas mecânicos.

Palavras-chave: Automação, Baterias de Coque, Rádio Frequência, Encoder, Sistema de Controle.

ABSTRACT

This dissertation presents the hardware architecture and analysis of the results obtained with the implementation of an automation system for the positioning of the erasers, used specifically in the production units of coke batteries in the steel industry. These machines have the responsibility of receiving the charge of incandescent coke that is stripped from the furnaces and take it to the extinguishing area of the coke incandescence. The solution adopted for this implementation was based on the technology called RFID (Radio Frequency Identification) integrated to the control system of the machines, which is based on programmable logic controllers. Other technologies are employed with the aim of positioning the erasers, however the option for RFID was made by being able to respond adequately in a very hostile environment, typical of a coke area, with environmental characteristics that make difficult to implement other solutions. According to the tests carried out, it was found that the solution provided positive results even though it did not achieve perfect accuracy, but due to the existing tolerance for acceptance of the positioning of the machines, the system provided a good degree of reliability. At the end of the installation process, a 4-month survey was carried out, in addition to indirect advantages in production, such as the reduction of accident risks with the need to expose people to manual operations near the machines at inappropriate temperatures, an improvement in productivity was directly observed, represented by a 30% decrease in the hours stopped by mechanical problems.

Keywords: Automation, Coke Batteries, Radio Frequency, Encoder, Control System.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Três tipos de automação relativos ao volume e variedade dos produtos.....	6
Figura 2 - Conceito de sistema automatizado.....	8
Figura 3 - Fluxo de produção do aço em uma usina integrada a coque.....	17
Figura 4 - Fluxo de produção do aço em uma usina semi-integrada.....	17
Figura 5 - Imagem dos altos fornos da Usiminas.....	20
Figura 6 - Balanço de material e reações no alto forno.....	21
Figura 7 - Fluxograma do processo de sinterização em uma usina siderúrgica	23
Figura 8 - Fluxograma de uma unidade de produção denominada Coqueria...25	25
Figura 9 - Imagem de uma bateria de coque com os principais equipamentos.....	26
Figura 10 - Imagem da Pirâmide da Automação.....	33
Figura 11 - Diagrama de blocos da estrutura existente em um CLP.....	35
Figura 12 - Imagem de um CLP da marca Rockwell.....	36
Figura 13 - Representação típica de um sistema de RFID.....	39
Figura 14 - Estrutura de memória de uma TAG de RFID passiva.....	42
Figura 15 - Representação de um sistema de medição de referência.....	44
Figura 16 - Funcionamento de um encoder do tipo óptico.....	46
Figura 17 - Bateria de Coque.....	47
Figura 18 - Representação esquemática da vista superior de uma bateria de fornos com as respectivas máquinas posicionadas para o processo de desenformamento.....	48
Figura 19 - CLP da marca Siemens, modelo S7 300.....	49
Figura 20 - Dimensões da TAG de RFID do modelo LRP525HTS.....	50
Figura 21 - TAG de RFID modelo LRP525HTS.....	50
Figura 22 - Antena de leitura de RFID modelo UHF-ANT-3030-01.....	51
Figura 23 - Módulo interface modelo HF-CNTL-232-02.....	52
Figura 24 - Representação esquemática da disposição dos fornos, TAG de RFID, conjunto do carro apagador.....	56
Figura 25 - Representação esquemática da interligação do sistema de leitura RFID ao CLP da locomotiva.....	58

Figura 26 - Representação do bloco de função FB P_RCV.....	61
Figura 27 - Estrutura do bloco de dados do DB 18 utilizado no programa de controle da locomotiva.....	62
Figura 28 - Gráfico dos resultados para a primeira sequência de desenformamento dos fornos.....	65
Figura 29 - Gráfico dos resultados para a segunda sequência de desenformamento dos fornos.....	67
Figura 30 - Gráfico dos resultados para a terceira sequência de desenformamento dos fornos.....	69
Figura 31 - Gráfico dos resultados para a quarta sequência de desenformamento dos fornos.....	70
Figura 32 - Gráfico dos resultados para a quinta sequência de desenformamento dos fornos.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das sequências de desenformamento dos fornos da coquearias.....	57
Tabela 2 - Blocos funcionais e seus significados utilizados pelo cartão CP 340.....	59
Tabela 3 - Apresentação dos resultados obtidos na primeira sequência de desenformamento.....	64
Tabela 4 - Apresentação dos resultados obtidos na segunda sequência de desenformamento.....	65
Tabela 5 - Apresentação dos resultados obtidos na terceira sequência de desenformamento.....	67
Tabela 6 - Apresentação dos resultados obtidos na quarta sequência de desenformamento.....	69
Tabela 7 - Apresentação dos resultados obtidos na quinta sequência de desenformamento.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RFID	–	(Radio-Frequency IDentification) Identificação por Rádio-frequência
CLP	–	Controlador Lógico Programável
TAG	–	Dispositivo que contém as informações de identificação utilizada em sistemas de RFID
CO2	–	Gás carbônico
COKE RATE	–	Relação entre o consumo de coque, principal combustível do alto forno, e a quantidade de gusa produzido
Fe	–	Elemento químico ferro
m	–	Unidade de medida em metros
mm	–	Unidade de medida em milímetros
m ³	–	Unidade de medida volumétrica em metros cúbicos
CO	–	Monóxido de carbono
H2S2	–	Dissulfeto de hidrogênio
SO2	–	Dióxido de enxofre
NH3	–	Amônia
H2	–	Hidrogênio
GCO	–	Gás de coqueria
LD	–	Lado de uma bateria de coque em que se localiza a máquina desenformadora de coque responsável pelo nivelamento do carvão e pela retirada do coque de dentro dos fornos, processo denominado de desenformamento
LC	–	Lado de uma bateria de coque para o qual o coque é direcionado no processo de desenformamento

CTC	–	Carro de transferência de coque, responsável pela abertura da porta do forno e direcionamento do coque
SDCD	–	Sistema digital de controle distribuído
PID	–	Proporcional, integral e derivativo
RF	–	Rádio frequência
AI	–	Auto identificação
LF	–	Low frequency ou baixa frequência. Uma das faixas de frequência em que um sistema de RFID pode operar
HF	–	High frequency ou alta frequência. Uma das faixas de frequência em que um sistema de RFID pode operar
UHF	–	Ultra high frequency ou ultra alta frequência. Uma das faixas de frequência em que um sistema de RFID pode operar
KHz	–	Unidade de medida de frequência em quilo hertz
MHz	–	Unidade de medida de frequência em mega hertz
GHz	–	Unidade de medida de frequência em giga hertz
ISO	–	International Organization for Standardization, Organização Internacional para Padronização
m/s	–	Unidade de medida de velocidade em metros por segundo
bit	–	Dígito binário, menor unidade de uma informação a qual pode se armazenada ou transmitida por um sistema digital.
CPU	–	Unidade central de processamento
Rack	–	Chassi para acomodação dos componentes do CLP

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Percentual

°C – Unidade de medida de temperatura em graus Celsius

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL	11
1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	13
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. SUMÁRIO DO PROCESSO SIDERÚRGICO.....	16
2.1.1. ALTO FORNO.....	18
2.1.2. SINTERIZAÇÃO (AGLOMERAÇÃO).....	21
2.1.3. BATERIAS DE COQUE	23
2.1.3.1. PROCESSO DE ENFORNAMENTO E DESENFORNAMENTO PARA PRODUÇÃO DO COQUE SIDERÚRGICO	28
2.2. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	31
2.2.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	34
2.2.2. SISTEMA AUTO IDENTIFICAÇÃO.....	36
2.2.2.1. SISTEMA DE RFID.....	36
2.2.3. SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DISTÂNCIAS	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1. COQUERIA	47
3.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	48
3.3. CARTÃO (CIRCUITO IMPRESSO) DE COMUNICAÇÃO SERIAL.....	49
3.4. TAG DE RFID	49
3.5. ANTENA DE LEITURA DE RFID	51
3.6. CONTROLADOR RFID	51
3.7. MÉTODOS	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5. CONCLUSÕES	75
5.1. TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia é um dos ramos mais importantes para o desenvolvimento e crescimento econômico de um país. Considerada como indústria de base é responsável pela transformação de minério de ferro em aço dos mais diversos tipos, cada qual com suas características químicas e mecânicas para aplicações em diversos ramos industriais e comerciais.

O aço tem uma importância muito grande nas mais diversas atividades realizadas pelo ser humano e é de fundamental importância para a economia de qualquer país, principalmente pelo fato de ser um produto que faz parte de diversas cadeias produtivas.

É considerado um produto com ciclo de vida longo integrando diversos ramos de atividades industriais, que vão desde a extração de matérias primas necessárias para sua produção, passando pelas indústrias de transformação, as próprias siderúrgicas e chegando as atividades que reciclam o mesmo para reaproveitamento em novos processos (ACOBRAIL, 2007).

Classifica-se em quatro os setores mais significativos que são influenciados pela indústria do aço: Indústria Extrativista, Metalurgia, Setores Consumidores do Aço e o Setor de Beneficiamento e Comercialização de Coprodutos, Resíduos e Sucata.

O setor siderúrgico é considerado estratégico em qualquer país do mundo por se tratar da produção do aço insumo essencial para o desenvolvimento da infraestrutura de diversos setores interferindo diretamente nos índices de crescimento. Atualmente, em um mundo globalizado em que a internacionalização é cada vez maior, o setor siderúrgico busca constantemente uma maior eficiência em seus processos de forma a melhorar a sua competitividade diante desse contexto.

A níveis mundiais, a relação entre produção e consumo de aço tem se mantido estáveis, porém o que se constata é uma grande capacidade instalada para produção e uma queda nos preços aplicados aos produtos siderúrgicos. Também se constata a mudança desse tipo de indústria dos países desenvolvidos para os países em desenvolvimento como Ásia e América do Sul, mudança esta causada principalmente por questões ambientais que se tornam cada vez mais rígidas nos países de primeiro mundo.

No Brasil, analisando-se o aspecto de competitividade, o processo de privatização das empresas do setor, ocorrido entre 1989 e 1993, trouxe grandes benefícios para as empresas que melhoraram os seus processos através de investimentos propiciando um crescimento das suas taxas de produção tanto para o mercado interno como para as exportações (ANDRADE, 1994).

A evolução tecnológica permitiu que novas linha de produtos siderúrgicos fossem criadas, produzindo aços com maior durabilidade, maleáveis e resistentes a corrosão, ampliando desta forma a gama de aplicações nas mais diversas áreas tais como, setor automobilístico, construção civil, máquinas e ferramentas dentre outras. Todo esse avanço alavanca o crescimento industrial para os países proporcionando a geração de divisas através do seu mercado interno e das exportações.

O Brasil possui um parque produtor de aço constituída por 29 (vinte e nove) usinas que são administradas por 11 (onze) grupos empresariais, possui uma capacidade instalada de 48,9 milhões de toneladas de aço bruto por ano, porém no ano de 2016 totalizou uma produção de 30,2 milhões de toneladas representando um sub aproveitamento dos equipamentos disponíveis. A crise econômica mundial que se iniciou no ano de 2009 abalou fortemente o desempenho industrial em nosso país, principalmente nos bens de consumo que utilizam muito o aço como insumo acarretando em uma retração do setor siderúrgico e que até o momento ainda não conseguiu se recuperar.

Outro fato que tem impactado diretamente no desempenho das indústrias siderúrgicas no Brasil é a importação de produtos que já possuem o aço incorporado no seu conteúdo o que diminui a atividade produtiva e conseqüentemente o consumo do aço no mercado interno (ACOBASIL1, 2015).

Por outro lado, o Brasil possui um destaque significativo na produção de minério de ferro, matéria prima principal para produção de aço, ocupando a segunda posição como maior produtor de minério de ferro com uma produção média de 390 milhões de toneladas ao ano, sendo os principais estados produtores Minas Gerais com 67%, Pará com 29,3% e os demais com 3,7%. Um ponto muito importante que é analisado se refere a qualidade do mesmo que considera a quantidade de Ferro contido no minério, nesse quesito o

minério brasileiro tem um destaque especial devido ao alto teor encontrado nas localidades de Minas Geras e do Pará (IBRAM, 2012).

Apesar do Brasil ter uma participação significativa na produção mundial de minério de ferro a sua participação na produção de aço, em relação aos principais países produtores do mundo, é considerada pequena. Sendo o país da América Latina com maior índice de produção de aço bruto, quando comparado aos demais países do mundo, o Brasil não se enquadra entre os cinco maiores produtores mundiais apresentando uma diferença numérica bem significativa em relação aos demais (ACOBRAIL1, 2015).

Na sua essência o aço nada mais é do que uma liga de ferro e carbono. O elemento ferro é amplamente encontrado em diversos pontos do nosso planeta, porém não é encontrado na forma pura e sim ligado ao elemento químico oxigênio (O_2) e a sílica (SiO_2), sendo este composto conhecido como minério de ferro. O carbono é introduzido no processo na siderurgia através do carvão mineral que antes de ser utilizado no processo passa por um beneficiamento visando aumentar o seu rendimento. Este processo de beneficiamento do carvão é conhecido como coqueificação, onde o carvão mineral é transformado em coque, produto que será o combustível para aquecimento do processo e responsável por retirar, através do carbono presente, o oxigênio do minério de ferro deixando o ferro o mais puro possível. O processo de produção de aço a partir de minério de ferro faz uso de enormes quantidades de carvão mineral que possui fundamental importância como maior provedor de recursos energéticos e como redutor dos óxidos de ferro. A relação do consumo de carvão mineral por tonelada de aço bruto produzido nas usinas integradas é da ordem de 500 kg por tonelada (MOURÃO, 2007).

Em um ambiente de retração econômica em que o mundo atualmente se encontra as empresas se veem obrigadas a concorrer no mercado internacional para tentar manter os patamares de produção e para que isso seja viável a redução dos custos de produção se torna essencial. Dentro dessa redução de custos um dos pontos mais importantes que deve ser analisado é a utilização dos recursos energéticos principalmente os que atuam na transformação dos óxidos de ferro em aço propriamente dito.

Um dos processos de produção que é constantemente alvo da busca da redução de custos e consequente aumento de produtividade é justamente o de

transformação do carvão mineral, que tem um custo elevado no mercado internacional, em coque, que é um dos principais insumos na produção de aço bruto (SOUZA, 2009).

O coque metalúrgico é utilizado como principal combustível para geração de calor no processo de transformação de vários tipos de minérios em aço líquido nos equipamentos denominados altos fornos nas indústrias siderúrgicas. O aço líquido, também chamado gusa, é a base para geração dos mais diversos tipos de aço produzidos, cada qual com suas respectivas características que irão ser aplicados em áreas específicas possibilitando os melhores resultados (COSTA, 2008).

O carvão mineral é um tipo de recurso energético classificado como não renovável devido ao tempo necessário para sua transformação e que em comparação a outros tipos de recursos energéticos possui reservas que permitem a sua utilização por um longo prazo (BORBA, 2001).

Diante de um cenário de estagnação do mercado como um todo e principalmente no mercado de aço, as empresas optaram por reduzir, ou até mesmo adiarem, os seus investimentos em projetos de expansão privilegiando somente aqueles investimentos que tragam melhorias nos seus processos, e/ou, enobrecimento dos seus produtos (LIMA, 2016).

Um dos conceitos principais que permitiu a implantação das melhorias necessárias nas indústrias de forma a torná-las mais eficientes e competitivas é o da automação industrial. Pode-se conceituá-la como um conjunto de recursos, tanto de equipamentos como de lógicas de programação, que permitem a criação de sistemas que possuem condições de atuar em uma determinada atividade de forma eficiente através da obtenção de informações providas do próprio processo sobre o qual ela atua. Afirmamos que um sistema de automação realiza lógicas inteligentes capazes de alterar as ações de um processo com a finalidade de torná-lo mais eficiente a todo instante (GROOVER, 2011).

Ainda segundo Groover (2011), considera-se um processo como automatizado quando o mesmo é realizado por uma máquina sem nenhuma participação direta de um trabalhador humano.

Nos tempos atuais a competitividade de uma empresa está intimamente ligada a inovação tecnológica que a empresa possui passando a ser um ponto

fundamental na visão estratégica da mesma. Somente empresas que possuem um bom nível de maturidade e uma base tecnológica implantada conseguem ser competitivas em um mercado cada vez mais globalizado. O mundo sofre mudanças constantes e cada vez mais rápidas fazendo com que processos precisem ser constantemente melhorados, desde formas mais brandas como mais radicais de adaptações, e essas mudanças de alguma forma afetam uma situação já conhecida. Somente com um bom grau de tecnologia as empresas conseguem implantar as mudanças necessárias para uma adaptação rápida e eficiente permanecendo competitiva e naturalmente viva no mercado.

Um dos grandes erros cometidos por empresas é, em nome da economia, realizar automação baseada em sistemas convencionais, desta forma, os benefícios necessários para os dias atuais não serão suficientes. É necessário a implantação de sistemas de automação com as tecnologias de redes de comunicação, sistemas inteligentes, bancos de dados de processo, entre outras, para que se possa extrair desses sistemas as informações no tempo que se necessita, ou seja, em tempo real.

O conceito de integração de sistemas visa principalmente o aumento de produtividade, redução dos custos de produção de seus produtos e melhoria nas condições de trabalho das pessoas aumentando o nível de segurança operacional. Desde então a automação vem se desenvolvendo constantemente com a aplicação de novas tecnologias e não se restringindo mais ao setor industrial, estando presente em quase todos os ramos da nossa sociedade (ROSÁRIO, 2009).

A maior eficiência dos recursos de funcionários que fazem parte da organização, das máquinas que produzem, das matérias primas utilizadas nos processos e dos recursos energéticos necessários para a produção é o que leva a um aumento da produtividade de uma empresa (RITZMAN; KRAJESWSKI e MALHOTRA, 2009).

Segundo Moraes e Castrucci (2007), para que os sistemas de automação possam funcionar de forma adequada a fim de atender a demanda das empresas é necessária a implantação de redes de comunicação que permitem a troca de informações, desde o chão de fábrica até os níveis mais elevados da organização, possibilitando que as tomadas de decisão sejam realizadas instantaneamente e com um grau de precisão muito elevado.

Segundo Groover 2011, divide-se a automação industrial em três categorias de acordo com o tipo de processo produtivo a que se destinam. A figura 1 ilustra essas categorias.

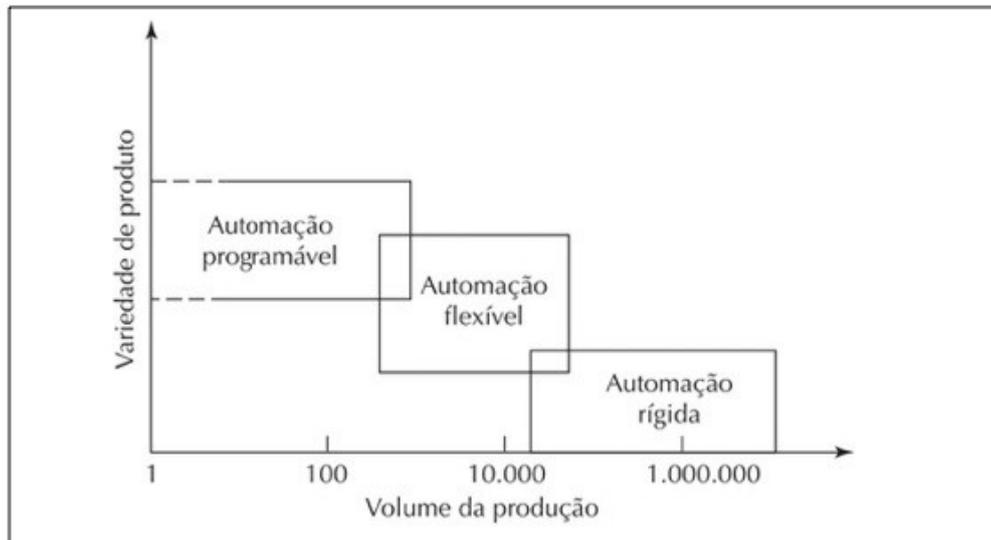


Figura 1. Três tipos de automação relativos ao volume e variedade dos produtos (Groover, 2011).

Na categoria de automação programável, os equipamentos são projetados para alterar a sequência de operação de produção e conseqüentemente as configurações do produto final, desta forma existe a possibilidade de se trabalhar com uma grande variedade de produtos onde pode-se haver mudanças de um modelo para o outro sem perda de tempo. Na última categoria, automação rígida, o processo de produção é simples e sequencial utilizando sempre um movimento linear. Neste tipo de automação consegue-se uma alta produtividade devido à grande quantidade de produtos produzidos reduzindo-se assim o custo operacional (Groover, 2011).

Nas indústrias siderúrgicas uma das áreas produtivas que necessitam de constantes evoluções em seus processos é a denominada Coqueria, ou também conhecida como baterias de coque. Neste tipo de processo industrial a melhoria contínua é sempre um objetivo a ser alcançado tendo em vista que o coque siderúrgico é um dos insumos mais consumidos durante o processo de fabricação do ferro bruto e possui um alto custo de produção, além do que países concorrentes que possuem políticas protecionistas conseguem atribuir

preços menores no mercado internacional prejudicando países produtores de coque que não aplicam essas políticas.

Neste contexto a aplicação de tecnologias de automação industrial se faz de fundamental importância disponibilizando recursos que permitem as empresas alcançarem maiores graus de produtividade aliados a ganhos de segurança operacional, qualidade de seus produtos e proteção ao meio ambiente.

Para uma implementação de um sistema de automação, de forma adequada, faz-se necessária a utilização de diversos elementos, sendo eles mecânicos ou eletroeletrônicos, que possuem a função de controlar máquinas e processos industriais, independentes do tamanho e complexidade que possuam. Dentre os principais componentes eletroeletrônicos aplicados nessa área pode-se citar os computadores e os Controladores Lógicos Programáveis, também conhecidos como CLP, que em diversas situações substituem o ser humano na realização de tarefas com o intuito de aumentar a produtividade ou quando ele não consegue realizá-las.

Atualmente os CLP's são utilizados nos mais diversos ramos industriais com grande capacidade de processamento e com funcionamento em tempo real automatizando processos dos mais variados graus de complexidade.

Os CLP's são programados em linguagens de programação específicas elaboradas em ferramentas dedicadas, mas que permitem a conectividade com quaisquer outro CLP ampliando de forma significativa a capacidade de controle de um ou mais processos industriais de forma simultânea.

A figura 2 representa um sistema automatizado para transformação de uma matéria prima em uma matéria prima com um determinado valor agregado. O processo de transformação dessa matéria prima é que permite essa agregação trazendo mais valor a ela.

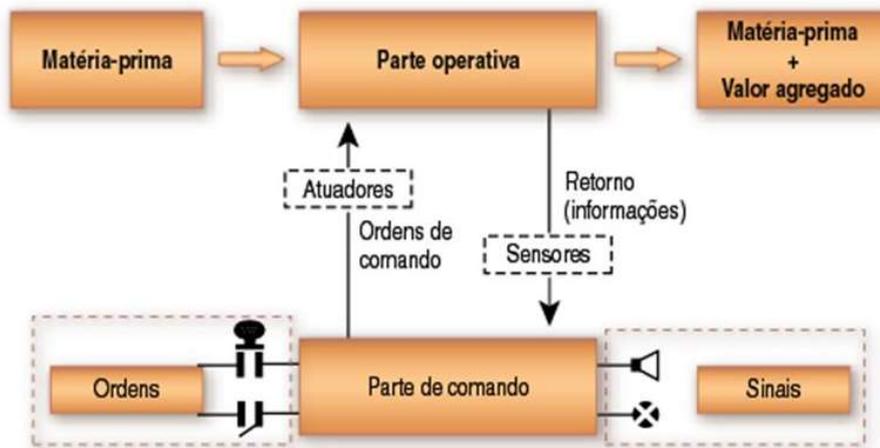


Figura 2. Conceito de sistema automatizado (Rosário 2009).

Para que um sistema automatizado realize de forma satisfatória a atividade para a qual foi projetado, trazendo todos os benefícios por ele proposto, é necessário que o mesmo seja elaborado de forma correta, ou seja, o projeto desse sistema seja bem realizado. Para que isso ocorra o primeiro passo é determinar a que fim este sistema se destina. O segundo passo é identificar as variáveis que fazem parte desse processo e que precisam ser controladas pelo sistema. O terceiro passo é descrever como esse controle será realizado com a máxima precisão possível, ou seja, a elaboração da lógica de controle desse processo para chegar ao resultado esperado. Esta etapa é de fundamental importância, pois irá definir quais componentes serão utilizados para medir as variáveis envolvidas e atuar nos equipamentos de produção de forma a controlar o processo conforme programado (ROSÁRIO, 2009).

As indústrias siderúrgicas se classificam basicamente em dois grupos de acordo com o processo produtivo que adotam na fabricação do aço, são eles: as usinas integradas e as usinas semi-integradas.

Nas usinas integradas existem todos os processos básicos para produção do aço, sendo eles: a redução, o refino e a laminação. As usinas semi-integradas possuem somente os processos de refino e laminação. A diferença entre ambas é o processo de redução responsável pela transformação dos minérios, principalmente o minério de ferro, em ferro líquido, denominado ferro gusa, matéria prima fundamental para sua transformação em aço durante o processo de refino. A área de produção, fonte de estudo deste trabalho,

denominado coqueria é uma das que fazem parte do processo de redução e o seu produto, o coque, é o responsável por ser o combustível do alto forno.

As usinas que não possuem o processo de redução, as usinas semi-integradas, partem da utilização de ferro gusa em estado não líquido, ferro esponja ou sucata, geralmente adquiridos de terceiros para a transformação em aço (MDIC, 2015).

Diversos equipamentos de grande porte fazem parte do processo de produção de coque e dentre eles algumas máquinas móveis têm fundamental importância e interferem diretamente na capacidade de produção dessa unidade. Dentro desse contexto, a implementação de sistemas de automação, que visem automatizar a operação das máquinas móveis, como por exemplo as responsáveis pela atividade de recebimento do coque beneficiado e da extinção do mesmo, denominadas como máquinas apagadoras, é o que empresas desse ramo buscam objetivando que as mesmas operem de forma mais eficiente, minimizando erros operacionais, permitindo a eliminação de postos de trabalho insalubres, aumentando os índices de produtividade, assegurando a qualidade do produto final com um grau de segurança operacional elevado. Denomina-se área insalubre aquela em que o trabalhador fica exposto a riscos que podem comprometer a sua saúde.

Durante o processo de retirada do coque metalúrgico dos fornos de beneficiamento e no processo de extinção do mesmo, que ao sair do forno encontra-se incandescente, ocorre a emissão de quantidades significativas de materiais particulados, gases e vapor de água o que torna o ambiente desse processo bastante hostil e até mesmo agressivo tanto para as pessoas como para equipamentos. Sistemas antipoluição são adotados, mas não se consegue evitar na sua totalidade a eliminação desses agentes ao meio ambiente.

Um dos pontos fundamentais a ser resolvido, para permitir que máquinas móveis, mais especificamente das máquinas apagadoras, sejam totalmente automatizadas, é o de garantir que as mesmas vão se mover para a posição correta, de acordo com o programado, e parar na posição necessária para que ocorra a retirada do coque beneficiado, de dentro do forno, para o interior do vagão do conjunto apagador. No âmbito da automação existem algumas tecnologias capazes de proporcionar uma solução adequada para um correto

posicionamento das máquinas apagadoras durante o processo de desenformamento do coque, dentre elas pode-se apresentar as ondas eletromagnéticas utilizadas nos radares, os equipamentos a *laser* com sensores fotovoltaicos e os equipamentos que fazem uso de ondas de rádio frequência. Cada uma dessas tecnologias apresenta suas particularidades, principalmente no contexto em que serão aplicadas, sendo necessária uma análise do ambiente e das condições a que elas estarão expostas garantindo que não sofrerá interferência para o seu pleno funcionamento.

Dentre as tecnologias citadas, se destaca a baseada na identificação por radiofrequência, cuja sigla em inglês é especificada como RFID (*Radio-Frequency IDentification*). O seu princípio de funcionamento é baseado em uma comunicação por radiofrequência visando a transmissão e recepção de dados de um componente eletrônico que contém informações de identificação para um outro dispositivo que realiza a leitura dos dados. Os componentes que contém as informações de identificação são comumente denominados de TAG.

Existem inúmeras vantagens para utilização dessa tecnologia, destacando-se a facilidade de instalação de uma TAG com a utilização de suportes diversos, confiabilidade pelos resultados obtidos nas suas aplicações, a grande capacidade de adaptação aos sistemas que farão uso dos sinais e uma relação custo benefício muito atraente, já que é uma tecnologia que propicia o armazenamento de informações de uma forma aberta e relativamente simples.

A sua utilização, no âmbito industrial, tem se mostrado muito importante tendo em vista principalmente a sua grande facilidade de utilização permitindo a rápida integração com sistemas de controle de processo e possibilitando assim uma otimização e análise dos dados provenientes dos processos que fazem uso de TAG's de RFID (QUEIROZ, 2014).

A utilização da tecnologia de rastreamento baseada em RFID pode ser uma solução para definir corretamente o posicionamento das máquinas apagadoras em coqueiras das usinas siderúrgicas que fazem uso desse tipo de equipamento, proporcionando as empresas desse segmento obter todos os benefícios provenientes dela principalmente considerando seu baixo custo de implantação mediante o retorno que as mesmas obterão analisando as informações do processo produtivo das máquinas.

A implantação de um sistema desse tipo na área de coqueria, mais especificamente no conjunto apagador de coque, necessita que os equipamentos do sistema de RFID, tais como antena de leitura das TAGS e a TAG de identificação, sejam instalados em locais adequados e devidamente protegidos, pois trata-se de um ambiente extremamente hostil.

Neste projeto, a infraestrutura de instalação foi um ponto de grande relevância, principalmente para a TAG de identificação, que por ter que ser instalada em ponto fixo, ao longo do trilho de rolagem da máquina, necessitou de uma proteção em concreto para garantir a sua integridade física em tal ambiente. Uma proteção, em formato de calota, em concreto de alta resistência, permitiu o perfeito acondicionamento da TAG em ambiente aberto garantindo a proteção contra intempéries e possíveis impactos de pequeno porte.

A conectividade do módulo de leitura do sistema de RFID com o controlador lógico programável da locomotiva foi um ponto primordial para permitir que o mesmo pudesse comandar a máquina em seu deslocamento, em direção ao forno programado, e no momento exato de parar garantindo o perfeito funcionamento do sistema.

1.1. OBJETIVO GERAL

Descrever a forma como foi elaborado e construído um sistema de automação com a utilização do sistema RFID integrado ao sistema de controle existente na máquina apagadora possibilitando que a máquina se posicione automaticamente em frente ao forno programado e, a partir daí, realize o ciclo completo de desenformamento do coque produzido com a efetiva definição da tecnologia a ser implantada, a concepção e especificação das fases do projeto, bem como a etapa de realização dos testes de efetividade do sistema para validação dos resultados.

A partir deste sistema de automação o objetivo é demonstrar que a utilização da tecnologia baseada em RFID pode ser empregada para definir o posicionamento das máquinas apagadoras em coquerias durante o processo de retirada do coque dos fornos de beneficiamento, processo este denominado de desenformamento, permitindo a integração dessa tecnologia ao sistema de

controle das máquinas possibilitando sua operação de forma automática sem a presença de um operador.

Procura-se demonstrar com os resultados obtidos que o sistema de RFID é plenamente viável para posicionamento das máquinas apagadoras em coqueiras, mesmo não apresentando um grau de precisão extremo, tecnologia esta não utilizada normalmente para esse propósito em usinas siderúrgicas. A finalidade é que a leitura e armazenamento dos dados de posicionamento das máquinas, em cada ciclo do processo de desenformamento, propiciem que os dados relativos a esse processo possam ser analisados proporcionando tomadas de decisão mais eficientes.

Os objetivos são fundamentados nos seguintes itens:

- a) O estudo e a instalação de TAG's de RFID, posicionados em locais específicos, permitindo que a máquina apagadora se posicione em frente a um forno específico para o processo de retirada do coque de dentro do forno programado.
- b) A otimização da utilização de uma antena, devidamente especificada para o sistema de RFID, em um determinado local do conjunto mecânico da máquina, o que permite a leitura da TAG no momento certo para que a máquina execute a ação de parar em frente ao forno programado para ser desenformado.
- c) A viabilização de que com a instalação do sistema de automação seja possível realizar a coleta e o armazenamento dos dados gerados pela máquina durante o ciclo de operação de cada desenformamento, através dos quais realizou-se análises dos tempos de cada deslocamento da máquina até um determinado forno. Para este item o objetivo do estudo foi orientado no sentido de que com os resultados disponíveis fosse possível demonstrar índices de produtividade da máquina, registrar possíveis atrasos e solicitar os motivos pelos quais ocorreram.
- d) A efetuação pesquisas e modelagem do processo de aquisição para que os dados, relativos ao modo operante da máquina, permitissem análises em tempo real por sistemas gerenciáveis o que podem assim proporcionar tomadas de decisão mais rápidas e precisas.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Considerando os níveis mundiais constata-se que a produção de aço tem se mantido constantes, porém com uma grande capacidade instalada das empresas e uma queda dos preços que são praticados aos produtos siderúrgicos (ANDRADE, 1994).

A crise econômica, que teve seu início no ano de 2009, que afetou de uma forma muito significativa o setor industrial no Brasil referente a bens de consumo acarretando dessa forma uma queda do setor siderúrgico, queda esta que até hoje não conseguiu ser superada pelas indústrias. Os bens de consumo é um dos ramos que mais fazem uso do aço levando a consequente crise do ramo (ACOBRAIL1, 2015).

Em um ambiente de retração e estagnação mundial do consumo de aço, as empresas têm a necessidade de buscar soluções que permitam se manterem, de forma competitiva, no mercado. A busca por melhores índices de produtividade se faz necessária e constante principalmente em áreas produtivas de alto custo que são os setores responsáveis pela transformação do minério de ferro em aço (SOUZA, 2009).

Dentro de uma indústria siderúrgica a área operacional denominada Coqueria é foco constante de busca de melhorias com o intuito na redução dos seus custos operacionais já que o seu produto, o coque siderúrgico, é um dos insumos mais onerosos do processo como um todo (SOUZA, 2009).

A implantação de sistemas de automação industrial é uma das formas mais eficientes na busca de aumento de produtividade de qualquer processo produtivo permitindo que empresas mantenham os seus processos competitivos principalmente no âmbito de redução de custos e garantia de qualidade de seus produtos (GROOVER, 2011).

A elaboração de um projeto, que tenha como objetivo a automação do posicionamento das máquinas móveis que atuam na área da Coqueria, se faz de grande importância para a busca desse resultado. A redução dos desperdícios de materiais, dos indicadores de manutenção dos equipamentos e a possibilidade de eliminação de postos de trabalho que são insalubres para os trabalhadores também são alvos de projetos de automação.

A automatização total das máquinas móveis, sem que a ação humana seja necessária para operá-las, só é possível se a tecnologia adotada seja capaz de obter resultados expressivos, em termos de precisão e confiabilidade, e que os equipamentos escolhidos sejam capazes de suportar um ambiente hostil, característicos dessa área operacional, desde que sejam acondicionados de forma adequada.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Com o intuito de proporcionar uma visão objetiva do problema que está sendo tratado neste trabalho, bem como a abordagem da solução adotada, o capítulo 1 realiza uma introdução do ramo industrial siderúrgico e a situação econômica que passa. Apresenta-se também a justificativa pela qual as empresas do ramo necessitam investir em sistemas de automação nas mais diversas áreas de produção de uma usina siderúrgica, principalmente na área produtiva denominada coqueria que necessita de constantes processos de melhoria contínua.

No capítulo 2 é apresentado um sumário do processo produtivo de uma usina siderúrgica mostrando as principais características de cada área produtiva bem como os principais produtos de cada um dos processos de uma usina integrada. Ainda nesse o processo, da área foco deste trabalho, é explicado com um maior nível de detalhes focando na área de atuação das máquinas móveis, que fazem parte da coqueria, e suas principais funções dentro do processo de produção do coque, principal combustível e agente redutor do minério de ferro.

A descrição do processo siderúrgico, bem como do processo específico da coqueria, tem como objetivo situar o leitor no contexto do problema que foi estudado e para o entendimento da solução técnica escolhida neste experimento. O estudo da forma de operação das máquinas móveis, que atuam na coqueria, ajudam ao bom entendimento do processo de desenformamento do coque e a necessidade de implantação da solução de posicionamento das máquinas com RFID.

No capítulo 3 apresenta-se, de forma resumida, um descritivo dos materiais utilizados no experimento e a forma como cada um deles foi instalado para que

a obtenção de resultados satisfatórios e robustos transmitindo confiabilidade e segurança para o sistema como um todo. Também neste item demonstra-se a metodologia utilizada para as medições do posicionamento da máquina desenformadora e a quantidade de ensaios que foram realizados de forma a garantir a repetibilidade da operação da máquina de acordo com o esperado.

O capítulo 4 apresenta de forma bem detalhada os resultados obtidos nos ciclos de operação da máquina que serviram de ensaios para o sistema de posicionamento implantado em comparação com os valores de medição adotados como referência para garantir a confiabilidade do sistema.

Ainda no capítulo 4 são discutidos os resultados obtidos de forma a demonstrar a viabilidade de utilização desse sistema em máquinas móveis responsáveis pelo recebimento do coque que está em processo de desenformamento.

No capítulo 5 as conclusões, referentes aos resultados obtidos, são colocadas e mostram ao leitor que tais resultados possibilitam a utilização de tal tecnologia para o posicionamento de máquinas móveis de grande porte em coquearias. Neste item também se demonstram as considerações finais e trabalhos futuros que podem ser estudados a partir deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SUMÁRIO DO PROCESSO SIDERÚRGICO

O aço é um dos produtos mais utilizados como matéria prima nas indústrias de transformação, encontrado em uma gama muito grande de produtos que atendem a sociedade moderna.

O aço é um produto baseado em uma liga de ferro que apresenta um teor de carbono, elemento químico que faz parte da composição do ferro. O ferro é um dos metais encontrados na natureza, em jazidas espalhadas por diversos lugares no mundo, misturado com outros elementos compondo o que se define como minério de ferro (NAZARENO, 2011).

Basicamente existem dois tipos de indústrias siderúrgicas que são classificadas de acordo com o tipo de processo que adotam para fabricação do produto final que é o aço. São elas, as indústrias integradas e as semi-integradas.

No tipo de indústria denominada integrada a coque existem as duas grandes áreas de transformação do ferro em aço em uma mesma unidade industrial. Nesse tipo de indústria o minério de ferro, através de alguns de seus subprodutos, juntamente com o coque metalúrgico e fundentes, transforma-se em ferro gusa, este processo é comumente denominado de redução. Em um outro processo, denominado de refino, o ferro gusa é transformado em aço propriamente dito através de processos de beneficiamento do mesmo. O aço é posteriormente convertido em diversos produtos que são obtidos pela transformação mecânica do aço, de acordo com a aplicação que terá, normalmente em forma de chapas ou bobinas de aço. A este processo de transformação mecânica damos o nome da laminação.

Portanto, uma usina integrada a coque possui os seguintes processos:

- Redução, processo de fabricação do ferro gusa;
- Refino, processo de fabricação e resfriamento do aço;
- Laminação, processo de transformação mecânica do aço em chapas ou bobinas para comercialização final.

Abaixo se apresenta a figura 3 que representa o fluxo de produção em uma usina siderúrgica integrada a coque.

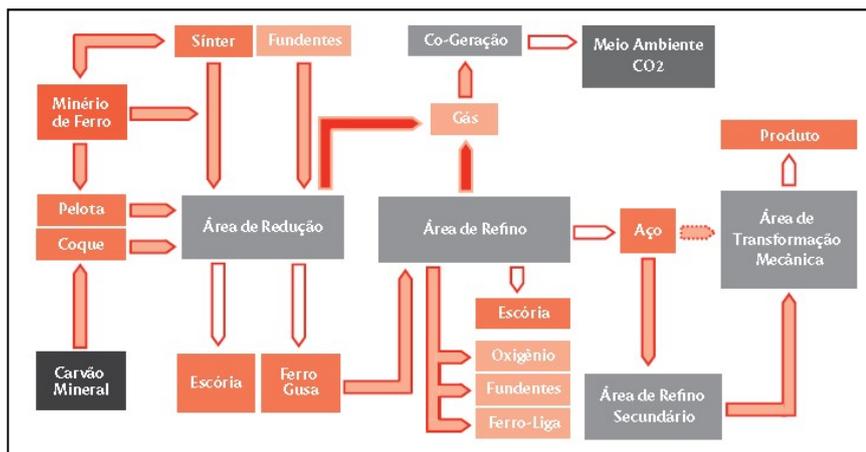


Figura 3. Fluxo de produção do aço em uma usina integrada a coque (CGEE, 2010).

No tipo de indústria denominada semi-integrada, o processo de redução não existe sendo um processo mais compacto. Neste tipo a área de refino, também conhecida como aciaria, são abastecidas basicamente por sucata ferrosa e por ferro gusa em uma quantidade bem menor, além de outros materiais denominados pré-reduzidos e ferro briquetados a quente.

Portanto uma usina semi-integrada possui os seguintes processos:

- Refino (aciaria), processo de transformação das matérias primas em aço;
- Laminação, processo de transformação mecânica do aço em chapas ou bobinas para comercialização final.

Abaixo apresenta-se a figura 4 que representa o fluxo de produção em uma usina siderúrgica semi-integrada.

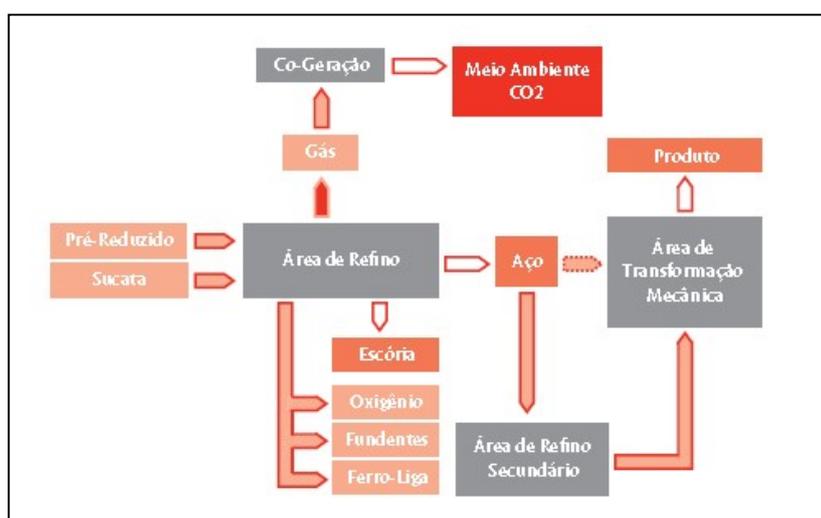


Figura 4. Fluxo de produção do aço em uma usina semi-integrada (CGEE, 2010).

2.1.1. ALTO FORNO

O processo de siderurgia é composto na sua essência pela redução dos óxidos da principal matéria prima que é o ferro, esta redução ocorre pela ação de um componente redutor a qual denomina-se de combustível carbonoso. O ferro é um elemento muito encontrado em vários pontos da crosta terrestre sempre associado ao elemento oxigênio e à sílica, ou seja, o ferro é encontrado no seu ambiente natural na forma de óxido e misturado à uma areia. O material carbonoso responsável pela redução do ferro no processo siderúrgico é o carvão mineral que contém um grande percentual de carbono na sua composição.

O carvão mineral tem dupla função no processo de redução do óxido de ferro, ele atua como combustível, podendo alcançar temperaturas por volta dos 1500°C após o processo de beneficiamento pelo qual ele passa a ser denominado de coque, e como redutor se ligando ao oxigênio, existente no minério de ferro, através das altas temperaturas permitindo que o material resultante seja um ferro livre dos óxidos presentes no início do processo.

Esse processo de liberação do oxigênio da matéria prima ferro através da ligação do mesmo ao carbono existente no carvão mineral é que se denomina de redução. Todo esse processo acontece internamente em um equipamento, geralmente de grande porte, denominado alto forno.

Basicamente o alto forno é um equipamento que recebe materiais que são carregados pela sua parte superior, através de correias transportadoras, e de ar, previamente aquecido, pela parte abaixo da zona de fusão dos materiais. Os materiais que entram são compostos basicamente por minério de ferro, combustível redutor e alguns outros materiais, denominados fundentes, que ajudam no processo de redução e beneficiamento do ferro.

Os principais produtos desse processo de redução são o ferro gusa, o gás de alto forno, a escória e material particulado. O processo se dá basicamente conforme o minério, o combustível (agente redutor) e os fundentes percorrem um caminho descendente dentro do alto forno encontrando os gases provenientes da queima do carbono com o elemento oxigênio que se encontra no ar quente inserido dentro do alto forno (ARAUJO, 1997).

A queima do coque é a responsável pela geração de energia e consequentemente o aumento da temperatura interna do alto forno o que proporciona a fusão dos minérios e fundentes que fazem parte da matéria prima metálica que entra no equipamento. O coque também é responsável pela geração do monóxido de carbono que é o principal agente redutor dos óxidos existentes no minério de ferro.

Ao final do processo do alto forno são obtidos dois produtos que saem do seu interior pela sua parte mais inferior denominada de cadinho, e são denominados de escória e ferro gusa (BUENO, 2012).

Os movimentos de baixo para cima dos gases e de cima para baixo do material sólido é de fundamental importância para que o alto forno possa exercer sua função da melhor forma. Os gases têm a capacidade de transferir a sua energia, em forma de calor, para os materiais que são carregados e essa transferência deve ser a melhor possível dentro do equipamento.

Considera-se um alto forno como um equipamento responsável pela transferência de calor entre os gases e o ar injetados nele para os materiais que são carregados e que sofrem o movimento descendente internamente. Esses materiais inicialmente encontram-se no estado sólido, passam para um estado pastoso e posteriormente para o estado líquido que é a situação ideal para saída do ferro gusa de dentro do equipamento.

Um ritmo ideal de produção de um alto forno, onde o objetivo é termos uma taxa de produção com baixo consumo de combustível, só pode ser atingido quando os gases, que realizam o movimento de baixo para cima, saem do mesmo com os mais altos percentuais de CO_2 (gás carbônico) e com a menor temperatura possível indicando que a transferência de calor para o material sólido foi muito eficiente (ARAUJO, 1997).

A figura 5 mostra o equipamento alto forno de uma usina siderúrgica integrada.



Figura 5. Imagem dos altos fornos da Usiminas (BUENO, 2012).

Basicamente o processo de descida do minério de ferro encontrando os gases, principalmente o monóxido de carbono, em sentido contrário transforma-se em FeO (óxido de ferro II), através de uma reação química denominada de reação de Boudouard, formando o dióxido de carbono. Essa reação ocorre na parte superior e intermediária do alto forno e esse processo também é chamado de redução indireta.

Em uma zona intermediária do alto forno, que recebe o nome de cuba ou rampa, acontece o processo de fusão propriamente dito do óxido de ferro e dos demais elementos que fazem parte do minério de ferro juntamente com os fundentes que fazem parte da carga metálica sólida que entra no alto forno. Esses materiais reagem com o carbono provindo do coque em uma temperatura em torno de 1.200°C , processo este que é denominado de redução direta (BUENO, 2012).

Os produtos resultantes deste processo, o ferro gusa e a escória, são inicialmente armazenados em uma área dentro do alto forno, denominada de cadinho, para posteriormente possam sair do mesmo pelo processo de escoamento através dos chamados furos de gusa, que nada mais são do que aberturas existentes, na parte mais baixa do equipamento, e que são abertas por equipamentos específicos para que os materiais saiam de dentro do forno.

Ao sair do alto forno o ferro gusa e a escória são drenados através de canais até os respectivos locais de cada um deles. O ferro gusa é transferido para carros especiais que o levam até o próximo processo para beneficiamento e transformação em aço, este processo se denomina em algumas regiões de aciaria. A escória é desviada para tanques de água onde sofre o processo de granulação, por impacto térmico, transformando-se em uma espécie de areia extremamente grossa. Este material é descartado pelas indústrias siderúrgicas, sendo aproveitado por outros ramos da indústria em especial a cimenteira (ARAUJO, 1997).

A figura 6 mostra as áreas de reações ocorridas no interior de um alto forno bem como as temperaturas envolvidas em cada camada.

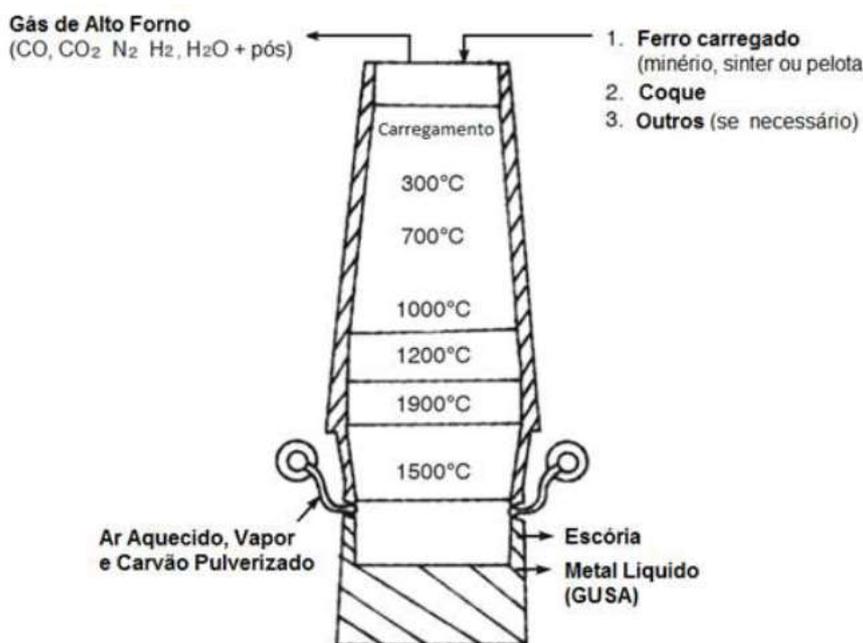


Figura 6. Balanço de material e reações no alto forno (ALVES, 2016).

2.1.2. SINTERIZAÇÃO (AGLOMERAÇÃO)

O Alto Forno é um equipamento que, em seu processo, necessita da utilização de matérias primas com um bom grau de permeabilidade, ou seja, materiais que possuam uma certa uniformidade em relação a sua granulometria. Esta uniformidade facilita a permeabilidade do material facilitando a passagem dos gases pelo meio deles facilitando o processo de fusão dos metais e a formação dos resíduos do processo.

Dos componentes metálicos, que fazem parte da carga de carregamento do alto forno, deseja-se que possuam um alto grau de redução com teores de ferro elevados, o que conseqüentemente acarretará em um baixo consumo de coque, principal combustível do equipamento.

O objetivo principal da aglomeração dos materiais metálicos é proporcionar ao alto forno uma permeabilidade maior da carga facilitando o contato entre os sólidos e os gases redutores aumentando a eficiência do processo diminuindo o parâmetro conhecido como “Coke Rate”, relação entre a quantidade de coque consumida para a produção de uma tonelada de gusa produzido. A diminuição do “Coke Rate” é um dos grandes desafios dos metalurgistas visando sempre a redução dos custos operacionais em um alto forno.

Teoricamente, um bom aglomerado para alto forno deve ser composto de 60% de Fe, o mínimo possível de enxofre bem como de fósforo, uma baixa porcentagem de matérias finas, que possuem granulometria menor que 6mm, e de matérias com uma boa granulometria, possuindo porções maiores que 25mm. Além disso um bom aglomerado deve possuir uma alta resistência a temperaturas e esforços mecânicos aos quais são submetidos, no interior do alto forno, na constituição da carga sem com isso sofrer amolecimento ou decriptação.

Em usinas siderúrgicas integradas de grande porte o processo mais utilizado é o denominado sinterização que permite, em seu processo, a utilização de subprodutos provindos de outras áreas operacionais de uma mesma usina, como por exemplo a carepa, escórias e lamas da área operacional denominada aciaria, responsável pela transformação do ferro gusa em aço propriamente dito.

A sinterização para o processo siderúrgico é o responsável pela aglomeração das partículas minerais em uma massa, com característica porosa, resultante de uma fusão inicial causada pela queima de um determinado combustível que é adicionado a sua mistura de matérias primas (ARAUJO 1997).

Um dos pontos mais importantes no processo de sinterização é a aplicação de uma metodologia eficiente para uma melhor qualificação dos minérios e a definição de uma mistura ideal para obter-se a melhor performance possível no processo de aglomeração das partículas, não esquecendo que o material

resultante deve ter características ideais para um melhor aproveitamento no interior do alto forno, equipamento destino desse material aglomerado. Nas usinas siderúrgicas os critérios técnicos e econômicos são constantemente avaliados para determinação da mistura ideal de materiais para a obtenção do aglomerado com melhor custo benefício (VIEIRA, 2003).

Na figura 7 é representado de forma esquemática a fluxo de produção da área produtiva denominada sinterização, um dos processos mais utilizados em usinas siderúrgicas integradas para produção de aglomerados destinados a altos fornos.

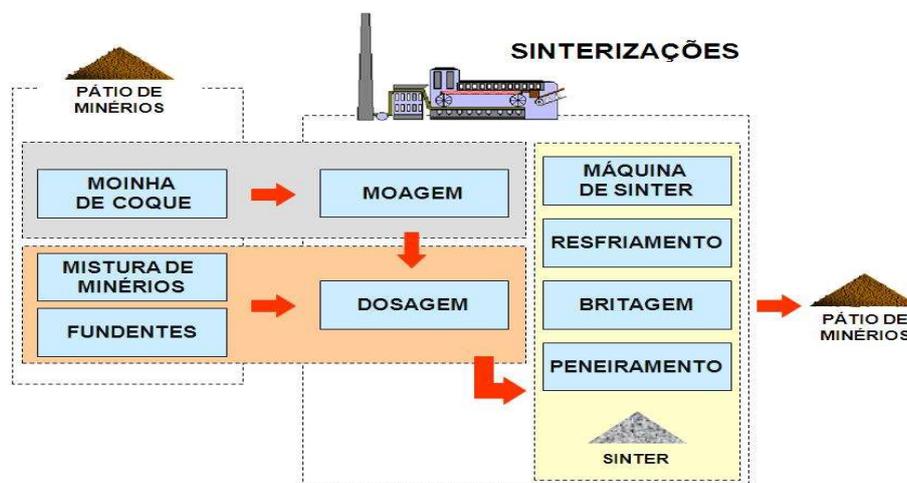


Figura 7. Fluxograma do processo de sinterização em uma usina siderúrgica (BUENO, 2012).

2.1.3. BATERIAS DE COQUE

O coque, produto resultante do processo ocorrido em equipamentos denominados baterias de coque, é o principal combustível e agente redutor utilizado na produção do ferro gusa nos altos fornos siderúrgicos. Dentre as principais características do coque, que o qualificam como material quase que insubstituível para essa função, estão a sua resistência mecânica e a porosidade, características estas que são essenciais para uma melhor performance dos altos fornos (BUENO, 2012).

A matéria prima principal para a produção do coque metalúrgico é denominada carvão betuminoso, ou também chamado de carvão metalúrgico. Este material possui características fundamentais para o processo de pirólise,

responsável pela geração do coque. A capacidade desse tipo de carvão, em se transformar em coque, se dá principalmente a alguns componentes que fazem parte de sua composição que são conhecidos como macerais. Esses componentes ligados a outros elementos, que fazem parte da composição desse tipo de carvão, irão propiciar uma maior, ou menor, capacidade deles de se transformarem em um coque ideal para utilização no processo de alto forno (COSTA, 2008).

A transformação de carvão em coque ocorre devido ao fato das moléculas, que fazem parte da composição do carvão em forma de pedra, quando expostas a determinadas temperaturas, decompõem-se em gases, líquidos e materiais sólidos com peso molecular menor, característica do coque siderúrgico. As temperaturas nas quais esse processo se concretiza ficam em torno de 900° a 1.100°C (ARAÚJO, 1997).

O processo de pirólise do carvão se divide em três etapas principais. Na primeira etapa, que ocorre basicamente durante o aquecimento do carvão, a uma temperatura por volta de 350°C, há uma vaporização do material permitindo a retirada da umidade presente naturalmente no mesmo e o princípio da desvolatilização. Na segunda etapa, comumente chamada de fase plástica, que ocorre entre as temperaturas de 350°C e 500°C, o carvão sofre o processo de decomposição transformando-se em alcatrão e gases resultantes desse processo formando uma massa pastosa que envolve as partes que ainda permanecem sólidas. Na terceira etapa do processo, que ocorre entre as temperaturas de 500°C a 1.100°C, sendo a etapa final do processo de transformação, o material pastoso passa pelo processo de endurecimento e começa a trincar fazendo com o carvão passe a assumir os estados de semicoque e posteriormente de coque (COSTA, 2008).

Em uma usina siderúrgica integrada a coque a unidade de produção denominada Coqueria é composta basicamente pelos seguintes equipamentos: baterias de coque, unidade de tratamento de gases e usinas de efluentes sendo estas duas últimas responsáveis pelo tratamento dos gases gerados, que podem ser reutilizados em outros processos da mesma usina, e de subprodutos que podem ser comercializados para clientes externos. A figura de número 8 demonstra um fluxo de produção de uma Coqueria em uma usina siderúrgica integrada.

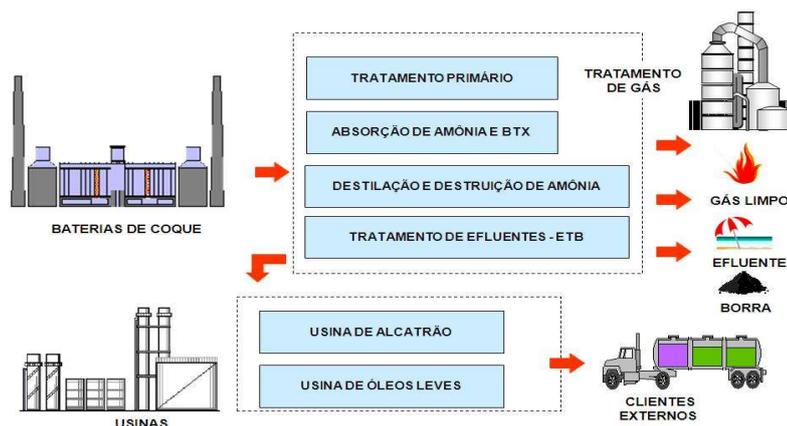


Figura 8. Fluxograma de uma unidade de produção denominada Coqueria (BUENO, 2012)

O processo de transformação do carvão em coque siderúrgico é denominado de coqueificação que significa fazer com que uma determinada mistura de carvões fique exposta a uma determinada temperatura por um certo intervalo de tempo sem a presença do ar, este processo é semelhante ao processo de destilação. O processo de destilação do carvão faz com que ocorra a desvinculação dos materiais voláteis do mesmo surgindo então um material sólido, com um certo grau de porosidade, que não se fundi e com alto grau de carbono o qual é denominado por coque.

Para que este processo ocorra de forma adequada e controlada o carvão é carregado em fornos, com características próprias para o processo de coqueificação, entrando em contato com as paredes do mesmo que são constantemente aquecidas propiciando a transferência de calor para a carga dentro deles contida. A partir de cada parede de um determinado forno aparecem duas superfícies planas e isotérmicas, que com o passar do tempo vão se deslocando para o centro da carga de carvão. O processo de coqueificação é finalizado quando do encontro dessas duas camadas plásticas determinando que todo o carvão, no interior de um forno, foi totalmente transformado em coque (OLIVEIRA, 1996).

Os fornos de coquerias siderúrgicas possuem o formato retangular, altura de até 7,85 m, variam de 12 a 18 m de comprimento e de 350 a 550 mm de largura. Com essas medidas os fornos de coqueria podem possuir um volume efetivo para carga de até 70 m³. Os fornos são carregados com a mistura de carvão através de furos na sua parte superior, que podem variar de três a

cinco, permitindo um total de até 35 toneladas de carvão umedecido de cada vez.

Em cada extremo de um forno existe uma saída para os gases produzidos durante o processo. Essas saídas são conectadas aos denominados tubos de ascensão que, por sua vez, são ligados a um coletor principal que tem a função de levar os gases para o processo de tratamento.

Cada forno possui, em suas extremidades, as aberturas correspondentes para permitir, que através de uma máquina, o coque possa ser retirado do seu interior. Essas aberturas são fechadas durante o carregamento e o processo de coqueificação do carvão. Dispositivos, devidamente projetados em aço inoxidável, ou massas apropriadas, são inseridos nas bordas das portas se adaptando a elas evitando desta forma vazamento de gases ou entrada ar para dentro do forno durante o processo.

Cada câmara, ou forno, é agrupado com outras câmaras, sempre uma ao lado da outra, formando o que se denomina de baterias de coque. A quantidade de fornos em uma mesma bateria pode chegar até o número de 105. Entre um forno e outro é construída uma parede onde existem de 28 a 33 dutos na posição vertical, havendo uma distância entre eles de 380 a 500 mm possuindo uma secção de aproximadamente 250 x 400 mm, além de uma espessura que varia de 100 a 150 mm com juntas devidamente projetadas com o objetivo de evitar a passagem de fluídos de um forno para o outro. Cada fileira de dutos, que ficam entre os fornos, é responsável pelo aquecimento dos dois fornos adjacentes a ela, com exceção feita aos fornos das extremidades das baterias. A figura 9 mostra uma bateria de coque com seus principais equipamentos em duas vistas.



Figura 9. Imagem de uma bateria de coque com os principais equipamentos (BUENO, 2012).

O processo de coqueificação possui um tempo variável que irá depender basicamente dos seguintes fatores: a largura de cada forno que é igual para todos os fornos de uma mesma bateria, da temperatura das paredes dos fornos, do tipo da mistura de carvões que é carregada para o processo, da granulometria e da densidade bruta do carvão. Normalmente, os fornos de coque são elaborados de forma a propiciar uma velocidade de coqueificação, ou de avanço da transformação do carvão em coque internamente, da ordem de 25 a 30 mm por hora (ARAÚJO, 1997).

Todo o processo de transformação do carvão carregado em coque é finalizado quando a temperatura da carga chega a aproximadamente 1.100°C, o que pode ocorrer em um período de 15 a 25 horas de processamento, dependendo das condições já citadas.

Com o término do processo de coqueificação é iniciado o processo de retirada do coque de dentro de cada forno que atingiu o seu tempo para aquela carga. A partir desse momento as portas do forno, de ambos os lados, são abertas e através de máquinas apropriadas, localizadas nos dois lados da bateria, o coque é empurrado de dentro do forno em direção ao carro denominado de “carro de extinção de coque”, ou carro apagador. Nesse momento o coque encontra-se no modo incandescente e necessita passar por um processo de extinção para que posteriormente possa ser transportado para a área de destino, o alto forno, ou para uma área de estocagem.

O produto coque, obtido do processo de coqueificação, contém em sua composição o carbono, cinzas, umidade, materiais não voláteis e uma grande parte de compostos inorgânicos. Para um bom rendimento térmico do coque no processo do alto forno o ideal é que o mesmo possua altos teores de carbono aumentado a capacidade de redução para o qual se destina. A água, geralmente presente na sua composição, principalmente pelo processo de extinção, leva a formação de monóxido de carbono em pequenas quantidades, mas que ajudam no processo de redução, além do hidrogênio. As cinzas também presentes em sua composição não contribuem na ação de redução, pelo contrário, provocam um aumento na quantidade de escória que rouba calor do processo diminuindo o rendimento. A presença do enxofre na sua composição pode vir a interferir não no processo do alto forno propriamente dito, mas na fabricação do aço interferindo na sua qualidade final.

Todos os gases, que são gerados durante o processo de coqueificação, saem do forno por um sistema de dutos localizados no topo das baterias de coque sendo encaminhados para as áreas de tratamento de subprodutos (BUENO, 2012).

O ciclo de operação em uma bateria de coque convencional de uma usina siderúrgica integrada é dividido nas seguintes etapas:

- elaboração e produção da receita da mistura de carvão a ser utilizada;
- enforamento da mistura de carvão elaborada;
- processo de coqueificação durante o tempo necessário;
- desenforamento do coque produzido;
- processo de extinção do coque incandescente;
- manuseio do coque produzido para a área de destino;
- processo de tratamento dos subprodutos do processo (ALVES, 2016).

2.1.3.1. PROCESSO DE ENFORAMENTO E DESENFORNAMENTO PARA PRODUÇÃO DO COQUE SIDERÚRGICO

O processo de produção do coque nas baterias se inicia antes mesmo do enforamento do carvão para dentro do forno. Antes de efetuar a carga para dentro da área operacional de uma bateria de coque deve-se analisar alguns pontos com o objetivo de propiciar ao longo de todo o processo condições ideais para uma boa produção, com qualidade do coque produzido, com segurança para o processo e para as pessoas, com a preocupação do meio ambiente e até mesmo com a preocupação de preservação dos próprios fornos da bateria. Para isso deve-se iniciar o processo analisando a qualidade da mistura de carvões que será utilizada no carregamento, pois através dessa análise pode-se programar de uma forma mais precisa o peso que será lançado por cada boca de abastecimento dos fornos tentando sempre otimizar ao máximo a quantidade a ser abastecida buscando-se o máximo de rendimento dos equipamentos.

Antes do carvão ser colocado para dentro dos fornos de uma bateria de coque ele fica armazenado em silos localizados na parte superior das baterias.

A quantidade de carvão que pode ser colocada nesses silos não é grande, por esse motivo a área de abastecimento de carvão deve também estar em constante atenção para manter um nível mínimo de segurança para que não falte matéria prima para o abastecimento. Esses silos de armazenamento também exercem influência na qualidade do carvão que será carregado, principalmente no que diz respeito a densidade do material, tornando o material mais ou menos denso, o que irá influenciar diretamente no comportamento do processo de produção do coque. Características como a geometria do silo e o nível de armazenamento de material que é mantido nele, bem como o tipo de carvão que está sendo manipulado, pode influenciar positiva ou negativamente no processo através da densidade do material que será carregado.

O carregamento do carvão para dentro do forno é realizado através de máquinas que se localizam no topo das baterias de coque e são comumente denominadas de carros de carregamento de carvão. Suas funções são: efetuar a abertura das bocas dos fornos, descarregar a quantidade pesada da mistura de carvão para dentro do forno que está sendo carregado em um determinado momento, este processo ocorre por gravidade, e fechar a boca novamente para que o processo de coqueificação inicie (SOUZA, 1988).

A máquina responsável pelo carregamento do carvão possui quatro silos de armazenamento, um dispositivo denominado moega para queda de material e um sistema responsável pela abertura e fechamento das bocas dos fornos.

Os silos de armazenamento de carvão das máquinas possuem um tamanho suficiente para uma carga de um forno e uma pequena quantidade a mais para permitir que se faça uma selagem entre o silo da máquina e a boca de carregamento, desta forma evita-se o retorno de gás provindos dos fornos pela moega e para dentro dos silos podendo causar acidentes. A quantidade de carvão que é carregada para dentro do forno é medida através de balanças existentes em cada silo da máquina.

Basicamente a máquina de carregamento inicialmente é carregada com o carvão, no dispositivo denominado torre de carvão, até o peso desejado para uma determinada carga, em seguida a máquina se desloca para a posição sobre o forno a ser carregado, através de dispositivos específicos executa a atividade de abertura das bocas dos fornos com o auxílio de eletroímãs, encaixa as moegas dos silos sobre as bocas abertas, sempre na sequência de

1 a 4 fazendo com que o carvão caia para dentro do forno através do movimento dos parafusos.

A partir do momento que a carga dentro do forno chega em 80% a máquina enforadora interrompe o carregamento entrando em ação a máquina desenforadora em uma das suas atividades. Esta atividade resume-se a inserir uma barra, através de uma pequena comporta localizada na parte superior das portas dos fornos, para nivelar o carvão no interior do forno. Ainda com a barra no interior do forno a máquina enforadora descarrega o restante do carvão correspondente aquela carga e a barra começa a se movimentar com o objetivo de nivelar toda a carga no seu interior.

Com o término do processo de carregamento de um forno a máquina enforadora inicia o processo de encerramento retirando as moegas das bocas do forno e colocando de volta as tampas. A partir desse instante um novo processo de carregamento se inicia e a máquina enforadora se dirige para a torre de carvão para um novo carregamento dos seus silos para um outro forno que faz parte da programação.

O processo de coqueificação, ou transformação do carvão em coque, ocorre depois de um certo período que essa quantidade de carvão fica aquecida no interior do forno. O período varia para que o processo de coqueificação finalize e o coque formado se estabilize permitindo que se inicie o processo denominado de desenforamento.

Com o ciclo de coqueificação completo outra máquina, denominada desenforadora, se desloca até a posição em frente ao forno que será desenforado. Essa máquina fica no lado da bateria de coque conhecido como lado da desenforadora, LD, e é responsável pela abertura da porta do forno do seu lado e por posicionar o embolo, responsável pelo ato de empurrar o coque de dentro do forno para o outro lado da bateria, porém este processo só se inicia após todas as demais máquinas estarem devidamente posicionadas do lado da bateria denominado lado coque, LC.

Do LC existe uma máquina, denominada carro de transferência de coque ou também chamado de carro guia, CTC, que tem a função de abrir a porta do forno desse lado da bateria e colocar na direção do mesmo uma gaiola, que tem a função de guiar o coque que está sendo desenforado para um vagão que recebe o nome de carro apagador. O carro apagador é movimentado com

a ajuda de uma locomotiva que leva o mesmo ao longo da linha de trilhos para os locais destinos de cada etapa do processo. O processo de desenformamento só se inicia quando todas as máquinas estão localizadas na região do forno a ser descarregado, tanto do LD como do LC.

Após todas elas estarem em posição, a máquina desenformadora começa a empurrar o coque de dentro do forno para fora em direção ao carro apagador, que fica localizado abaixo do nível do forno. O coque incandescente é direcionado para ele através da gaiola até que o embolo chegue ao final do seu curso finalizando o processo de desenformamento. O CTC executa o processo de fechamento da porta do forno do LC e se dirige em seguida para o próximo forno a ser desenformado.

O carro apagador, cheio com o coque descarregado, se dirige então para a denominada torre de extinção, onde esse coque será devidamente apagado com uma quantidade de água suficiente para a execução dessa tarefa (COSTA, 2008).

Uma torre de extinção é composta por um reservatório de água com uma capacidade de 40 a 50 m³ e que fica a uma altura de aproximadamente 12 m de altura. Internamente a torre possui um sistema de chuveiros que joga toda essa quantidade de água sobre o coque incandescente que foi levado pelo carro apagador. Esse processo leva em torno de um minuto e por volta de 15 a 20% dessa água sofre o processo de evaporação. A parte da água que não evapora é escoada para um tanque de armazenamento passando por peneiras para sua limpeza e posterior reutilização na torre.

Após o coque ter sido apagado o carro apagador se desloca para o local onde o mesmo será descarregado, este local é denominado rampa de coque, e através dela o coque é liberado para correias transportadoras que o levam para o alto forno ou para áreas de estocagem (ARAÚJO, 1997).

2.2. SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Conceitua-se a automação como uma atividade que visa implementar a substituição do trabalho do homem ou animal por uma máquina de forma parcial ou total. As máquinas devem possuir mecanismos de atuação delas mesmas propiciando que uma determinada tarefa seja executada em um

intervalo de tempo determinado ou respondendo de forma esperada a determinadas condições. Para que esse mecanismo funcione de forma autônoma os sistemas de automação fazem uso da potência proporcionada pela energia elétrica ou de origem mecânica acionando dessa forma alguma máquina responsável por uma atividade específica (GROOVER, 2011).

A automação é uma área de atuação muito ampla e abrange formas de controle em processos industriais que permitem a utilização de máquinas de forma ativa, ou seja, máquinas que possuem a capacidade de responder da melhor forma possível baseada em informações que recebe do próprio processo no qual está exercendo a sua atividade. Em função das informações que recebe e da forma como foi programada para atuar um sistema de automação uma máquina irá gerar os melhores resultados ocasionando em ações efetivas e corretivas que serão executadas. Pode-se citar como principais benefícios da implantação de um sistema de automação a segurança operacional, a saúde e ergonomia em muitas atividades além de resultados de aumento de produtividade e qualidade, tanto dos produtos como na forma de atuação das pessoas (BONETTI E SOUZA, 2013).

A área de automação industrial possui uma ligação extremamente forte com a instrumentação, que disponibiliza uma gama de instrumentos muito ampla para possibilitar a implantação de sistemas desse tipo. Instrumentos com as mais diversas funções são necessárias para esse objetivo dentre eles instrumentos de medição, transmissão, de comparação e de atuação, equipamentos estes que são fundamentais para propiciar que os processos possam ser executados com a mínima, ou nenhuma, intervenção humana.

Os sistemas de automação são basicamente classificados em dois grupos em relação ao tipo de processo aos quais se destinam, desta forma cita-se primeiramente o denominado SDCD, Sistema Digital de Controle Distribuído, que são aplicados em processos do tipo contínuo com o predomínio de medições e controles do tipo PID. O outro tipo de classificação é o que faz uso de CLP's onde esses processos visam a monitoração com sistemas de alarme e intertravamento de segurança dos processos, este tipo de processo se caracteriza fundamentalmente em processos discretos e de batelada havendo a predominância de operações lógicas de ligamento e desligamento de equipamentos com sequenciamento de controle (RIBEIRO, 1999).

No ambiente industrial um sistema de automação é dividido de acordo com a sua funcionalidade em níveis hierárquicos sendo que para cada um existe um padrão de comunicação de dados.

A figura 10 mostra a representação dessa hierarquia em forma de pirâmide, esta é conhecida como Pirâmide da Automação.



Figura 10. Imagem da Pirâmide da Automação (MORAES, 2010).

Na parte inferior da pirâmide, ou base da pirâmide, encontra-se o CLP que tem a função de acionar as máquinas e demais equipamentos de acordo com a lógica com a qual foi programado. Esse acionamento ocorre através de interfaces de comunicação existentes entre os equipamentos e o CLP, este nível é denominado Nível 1 por ser ele diretamente ligado aos equipamentos de campo da unidade de produção.

Cada um dos níveis da pirâmide é responsável pelo tratamento dos dados referentes a ele e a troca de informações entre os níveis é feita por meios de comunicação próprios respeitando a característica de cada um.

A parte superior da pirâmide é responsável pelo tratamento dos dados para o nível corporativo da empresa propiciando aos níveis administrativos um melhor controle das plantas produtivas com tomadas de decisão mais rápidas e eficientes (MOARES, 2010).

2.2.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

O controlador lógico programável, denominado CLP, foi desenvolvido nos anos 70 com o objetivo de permitir um controle dos processos industriais através de lógicas desenvolvidas em programas específicos para cada processo. A partir dessa criação o CLP tornou-se o principal equipamento para implementação de controles de processos industriais automatizados (VIEIRA, 2007).

O CLP é um equipamento eletrônico, microprocessado, que faz uso de uma memória interna para armazenamento de programas em forma de instruções específicas para esse tipo de equipamento de forma a implementar as lógicas de controle de um determinado processo produtivo. Esse controle é realizado através de entradas e saídas de sinais, provindos dos instrumentos de campo, que são tratadas pela lógica de controle a fim de obter o resultado esperado, o controle do processo industrial. Todos os componentes do CLP são elaborados de forma que a sua integração seja a mais simples possível permitindo a sua utilização nas mais diversas arquiteturas possíveis de um sistema de automação. O programa elaborado para controlar um determinado processo pode ser feito facilmente através de uma interface de programação para o usuário e este pode ser alterado facilmente de acordo com a necessidade do processo.

As operações básicas executadas por um CLP são descritas a seguir:

- Recebimento dos sinais provindos dos equipamentos de campo;
- O tratamento e a realização das instruções contidas no programa lógico desenvolvido com os sinais de entrada, programa este que se encontra armazenado na memória do CLP;
- Geração dos sinais de saída, de acordo com a lógica existente, que irão servir de parâmetros para o acionamento dos equipamentos no campo.

O CLP possui interfaces próprias que permitem a interligação dos equipamentos de campo, tais como sensores e atuadores, com ele sem a necessidade de nenhum dispositivo intermediário (RIBEIRO, 1999).

O avanço da tecnologia nesse tipo de equipamento propiciou um grande crescimento nas funcionalidades do CLP principalmente na integração deles

com os mais diversos equipamentos de campo e com outros modelos de CLP, o que antigamente era uma tarefa bastante complexa em diversas situações. As interfaces de programação também evoluíram e ficaram bem mais simples e incorporaram ferramentas de programação em linguagens tradicionais como, por exemplo, a linguagem C. Os protocolos de comunicação também sofreram um processo de padronização facilitando a comunicação do CLP com os mais diversos equipamentos e computadores que tem a função de interface com o usuário final do sistema.

Em paralelo a essa evolução uma série de normas internacionais foram elaboradas com o objetivo de estabelecer padrões e arquiteturas para a concepção e programação desse tipo de equipamento, além de estabelecer regras para o desenvolvimento de interfaces de programação cada vez mais amigáveis para o usuário. As instituições que normalizam a utilização de um CLP buscam a situação em que um determinado programa, desenvolvido em uma certa plataforma de CLP, possa ser utilizado em outra plataforma de forma transparente não ficando presa a solução de um determinado fabricante, porém este é um objetivo ainda difícil de ser alcançado (VIEIRA, 2007).

A figura 11 representa um diagrama de blocos das partes que fazem parte da estrutura de um CLP.

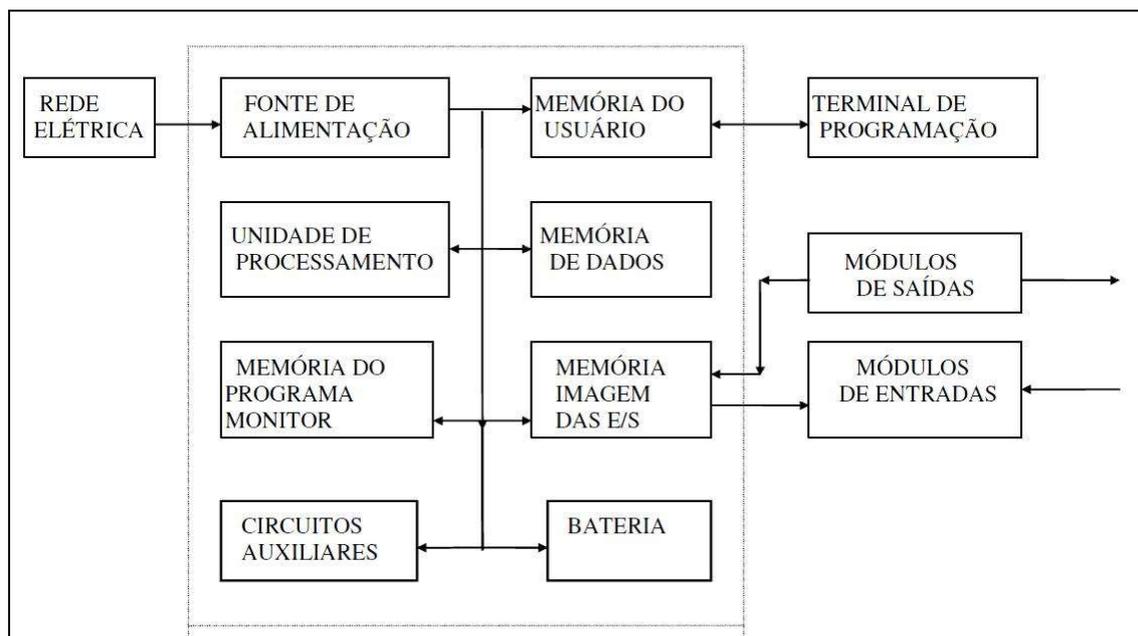


Figura 11. Diagrama de blocos da estrutura existente em um CLP (BUENO, 2012).

A figura 12 mostra um exemplo de CLP com os mais diversos módulos que fazem parte da sua arquitetura.



Figura 12. Imagem de um CLP da marca Rockwell (BUENO, 2012).

2.2.2. SISTEMA AUTO IDENTIFICAÇÃO

Um sistema de auto identificação (AI) é o que permite que um determinado objeto seja identificado de forma automática obtendo dele as informações necessárias para que em um momento posterior as mesmas sejam transferidas para um sistema computadorizado para que elas sejam tratadas sem que não haja nenhuma interferência humana nesse processo.

A não interferência humana no processo de captura e transferência dos dados evita a ocorrência de erros além de propiciar um fluxo de informações mais rápido, preciso e extremamente confiável. O desenvolvimento dessa tecnologia, ao longo dos tempos, permitiu que ela pudesse ser adotada por diversos ramos comerciais e industriais.

O RFID é um tipo de tecnologia que não faz uso de fios para estabelecer comunicação entre o transmissor e o receptor se enquadrando perfeitamente no conceito de um sistema AI.

2.2.2.1. SISTEMA DE RFID

Um sistema de RFID é constituído basicamente por dois componentes através dos quais é possível estabelecer uma comunicação com o intuito de

obter o objetivo final que é a troca de informações entre eles de forma que o sistema possa identificar o elemento desejado. O primeiro componente é o que se denomina de leitor que, através da utilização de rádio frequência, estabelece uma comunicação com o outro componente denominado TAG, ou também conhecido como etiqueta ou *transponder*. Um único leitor pode estabelecer comunicação com mais de uma TAG em uma mesma comunicação estabelecida.

Uma TAG é um componente eletrônico composto por um, ou mais de um, circuito integrado no qual fica armazenado um determinado, e único, número que a identifica. Essa informação fica armazenada em um tipo de memória que pode ser projetada de forma que funcione como somente leitura ou que permita leitura e escrita, portanto podendo ou não terem seus conteúdos modificados. Basicamente o circuito integrado é composto por um *chip* onde ficam as informações armazenadas e uma resistência que faz o papel de uma antena. Esses componentes são envolvidos por um material protetor que pode ser um plástico ou um silicone, por exemplo (DOBKIN e WANDINGER, 2005).

Os leitores de RFID, também denominados de interrogadores, são dispositivos que possuem a função de leitura e/ou gravação de informações para as TAG's que são interrogadas por eles através de ondas de rádio frequência. Esses equipamentos, em sua grande maioria, possuem recursos de armazenamento interno das informações, processamento e até mesmo conectividade com bancos de dados e outras funcionalidades que facilitam a utilização da informação contida na TAG (MORSHED, 2012).

O componente leitor, que tem a função de identificar a TAG, normalmente fica interligado em uma rede de transmissão de dados de forma que a informação de identificação possa ser utilizada em um sistema de destino que irá tratá-la da forma adequada (DOBKIN e WANDINGER, 2005).

A transmissão dos dados entre a TAG e o leitor é feita pelo ar, comunicação sem fio, onde o leitor efetua um questionamento para a TAG que responde as informações de identificação dela mesma. Pelo fato de fazer uso de ondas de rádio frequência é possível estabelecer comunicação entre leitor e a TAG mesmo através de materiais como concreto sem que haja comprometimento da eficiência do sistema, sendo que para isso se faça

necessário uma análise das instalações dos equipamentos envolvidos (MORSHED, 2012).

O componente leitor, ao conseguir estabelecer comunicação com a TAG, anuncia a um sistema sobre a presença dela. Esse sistema possui uma camada de *software* que tem a função de normalizar o tratamento das informações recebidas de forma que estas possam ser utilizadas pelas aplicações que farão uso final das mesmas. Esse *software* é denominado de MIDDLEWARE RFID e ele se localiza em uma camada entre o leitor e as aplicações que farão uso dos dados por ele tratados (GLOVER e BHATT, 2006).

O MIDDLEWARE possui uma função muito importante sendo ele o caminho pelo qual a informação de identificação migra do TAG para um sistema de informações (TI) de uma empresa. Ele é o responsável por direcionar as informações, devidamente decodificadas, para o sistema destino no tempo correto para que não ocorram erros ou repetições das mesmas (MARQUES, 2012).

Os componentes leitores de sistemas de RFID devem possuir a capacidade de identificação de uma determinada TAG em meio a um conjunto de diversas outras o que pode causar uma interferência na leitura devido as várias respostas que chegam até ele. Para um perfeito funcionamento do sistema algoritmos, que evitem a colisão de informações, devem ser utilizados garantindo a integridade da leitura de cada TAG presente em um determinado momento. Os algoritmos podem ser dos tipos probabilísticos ou determinísticos.

Em um algoritmo probabilístico as colisões são evitadas através da resposta das TAG's que passam a ser realizadas em intervalos de tempo aleatórios, neste caso, quando da existência de um grande número de TAG's, o desempenho do sistema fica comprometido.

No algoritmo do tipo determinístico os códigos de identificação das TAG's são gravados segundo o princípio de uma árvore binária, onde no nível zero são armazenados os bits de ordem n do respectivo identificador, já no nível um são armazenados os bits de ordem $n-1$ e assim sucessivamente até o nível n , onde são armazenados os bits de ordem 0. Para que o leitor possa efetuar a identificação de uma TAG em um primeiro momento ele envia para todas as

TAG's um prefixo identificador, podendo ser um 0. A partir desse momento cada TAG realiza uma verificação desse prefixo que confere com o seu *bit* de ordem n , caso a identificação seja afirmativa todo o código é enviado para o dispositivo leitor. Caso somente uma TAG responda de forma completa ao leitor então a identificação fica concluída. Caso contrário, ou seja, mais de uma TAG responda ao leitor, conclui-se que houve colisão, nesse caso o leitor acrescenta mais um bit ao prefixo que foi enviado da primeira vez, e assim sucessivamente até que somente uma TAG retorne ao leitor o código completo de identificação. Este processo tem a vantagem do leitor poder identificar ausência de TAG's em um determinado ponto de forma mais rápida tornando o sistema mais eficiente (MORSHED, 2012).

A figura 13 mostra uma arquitetura típica de um sistema de identificação por rádio frequência com os componentes básicos descritos anteriormente. A figura também mostra uma arquitetura básica de uma TAG de identificação.

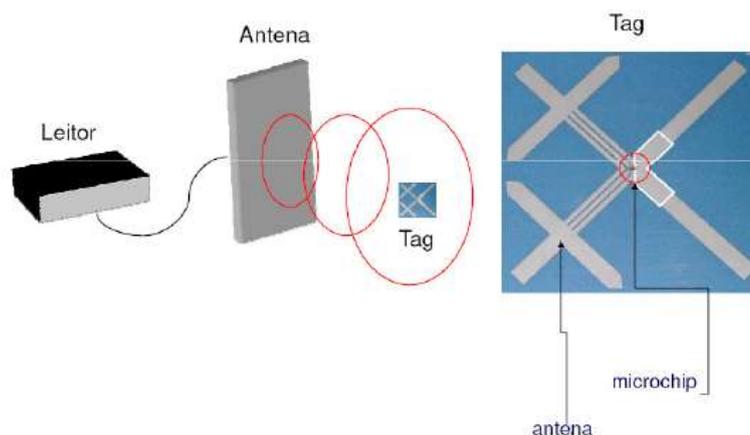


Figura 13. Representação típica de um sistema de RFID (GLOVER e BHATT, 2006).

O componente leitor executa a transmissão de uma energia na forma de rádio frequência através de uma antena, que pode ser mais de uma de acordo com a necessidade, que é captada pelo componente na TAG que funciona como antena realizando a transformação dessa energia em energia elétrica que alimenta o *chip* existente na própria TAG e que contém as informações de identificação. A partir desse instante as informações de identificação são devolvidas para o leitor que fará a tratamento das mesmas (GLOVER e BHATT, 2006).

A TAG possui uma classificação de acordo com a funcionalidade que terão dentro do sistema de RFID sendo elas:

- Passivas: nesse tipo de TAG não existe a necessidade de utilização de baterias já que elas fazem uso da energia enviada pelos leitores que é convertida em energia elétrica. É o tipo de TAG mais utilizado para esse tipo de aplicação possuindo uma arquitetura simples, o que garante uma resistência maior e um tempo de vida mais longo quando comparado aos demais tipos. Além disso a sua arquitetura de construção permite que tenham um tamanho reduzido juntamente com o seu custo.
- Ativas: nesse tipo de TAG existe a necessidade do uso de baterias, pois é através da energia fornecida por elas é que a transmissão das informações nela contidas é efetuada. Possuem uma arquitetura de construção mais complexa e um tempo de vida reduzido. O seu custo de fabricação e manutenção também são mais elevados.
- Semiativas ou também conhecidas como semipassivas: nesse tipo de TAG são utilizadas energias provindas de baterias e do leitor para transmissão dos dados. Devido a sua arquitetura de construção localizam-se em um patamar intermediário em relação aos dois anteriores.

O sistema de RFID faz uso de frequências que definem a potência com a qual as ondas de rádio, utilizadas por ele, serão transmitidas entre os componentes. A intensidade dessa potência é a que normalmente define o alcance, a sensibilidade a possíveis interferências e a outros fatores que possam, de alguma forma, prejudicar o desempenho do sistema como um todo.

Basicamente classificamos as faixas de frequência em que a grande parte dos sistemas de RFID operam em quatro, sendo elas:

- Baixa Frequência (LF): esta faixa define uma frequência entre 125 e 134 KHz;
- Alta Frequência (HF): esta faixa define uma frequência de 13.56 MHz;
- Ultra Alta Frequência (UHF): esta faixa define uma frequência entre 860 e 930 MHz;

- Micro-ondas (Microware): esta faixa define uma frequência entre 2.4 e 5.8 GHz.

Como o sistema de RFID faz uso, para transmissão de dados, de ondas de rádio, as frequências que ficam disponíveis para esse tipo de tecnologia são bastante restritas as classificações apresentadas acima, com isso evita-se que ocorram interferências com outros tipos de dispositivos que se utilizam de ondas de rádio da mesma forma que o sistema de RFID.

As frequências para sistemas de RFID são definidas e regulamentadas por órgãos governamentais podendo diferir de uma localidade para outra em âmbito internacional mesmo havendo a intenção de normatizar uma faixa de frequência internacional, iniciativa esta vinda da ISO.

É através da frequência de operação que se determinam as características de todos os componentes que farão parte do sistema de RFID e que afetarão diretamente na capacidade do mesmo em transitar as informações de forma eficiente. Essas características irão interferir na concepção física das antenas, a distância máxima que os componentes poderão estabelecer comunicação e a sua resistência a possíveis interferências que possam afetar na comunicação do sistema como um todo (MARQUES, 2012).

Diversos fabricantes de componentes de sistema RFID cada um com suas particularidades em relação a forma de comunicação entre leitores e TAG's fazendo com que equipamentos de diferentes marcas não consigam se comunicar entre si. Com o intuito de ampliar a utilização dessa tecnologia diversas organizações criaram uma plataforma para desenvolvedores de sistemas de RFID, que através de padrões de comunicação entre TAG's e leitores, permite a conectividade de produtos de diversos fabricantes.

O tipo de TAG classificada como passiva, utilizada neste trabalho, é capaz de trabalhar com várias informações em sua memória que é segmentada basicamente em quatro blocos sendo que em cada um pode conter zero ou mais palavras de memória. Os blocos são denominados reservados (*Reserved*), código de produto eletrônico (*EPC - Electronic Product Code*), identificação de TAG (*TID - Tag Identification*) e usuário (*User*). A figura 14 demonstra a estrutura de memória de uma TAG do tipo passiva.

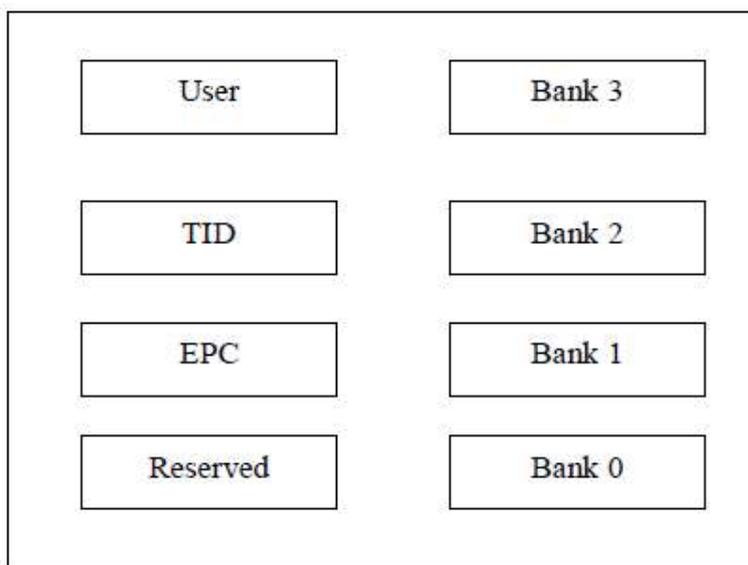


Figura 14. Estrutura de memória de uma TAG de RFID passiva (MORSHEED, 2012).

O bloco de memória denominado *Reserved* tem a função de armazenar a senha para permissão de leitura e/ou escrita na TAG de RFID, caso essa funcionalidade seja utilizada no sistema. O leitor de RFID deve conhecer a senha para emitir um comando para a TAG.

O bloco de memória EPC é formado por um campo de 16 bits que tem a função de validação de redundância cíclica, ou seja, um campo de controle do protocolo de comunicação garantindo compatibilidade de acordo com os padrões estabelecidos para TAG's de RFID entre diferentes fabricantes.

O bloco de memória TID contém uma alocação de 8 bits que tem a função de identificar o fabricante da TAG e demonstrar para o leitor de RFID comandos particulares para acesso a TAG.

O bloco *User* é responsável por armazenar os dados definidos pelo usuário e é nessa área que ocorrem as operações de escrita e leitura. O tamanho desse bloco é determinado pelo fabricante da TAG.

Uma TAG de RFID é um dispositivo considerado de construção simples, já que se trata basicamente de um *microchip* que possui basicamente uma antena, para comunicação sem fio com os leitores, e um pequeno armazenamento de dados onde as informações de identificações ficam contidas. Com essas características não é um dispositivo que possa executar algoritmos de criptografia complexos, que exigem grande capacidade de

processamento, que possam possibilitar um grau de segurança e privacidade mais elevados.

Os sistemas que fazem uso da tecnologia de RFID devem sempre considerar alguns pontos que influenciam diretamente no desempenho tais como, a capacidade de armazenamento da TAG que é bastante limitado, aumentos nessa capacidade influenciam diretamente no custo final do dispositivo; a capacidade de processamento também é um fator limitante, pois possui um baixo poder para essa tarefa restringindo a complexidade dos algoritmos que podem ser executados; a limitação do volume de dados que podem ser transmitidos por uma TAG causada pela largura de banda de comunicação; a escalabilidade relacionada a capacidade que o sistema de identificação deve possuir para conseguir lidar com grandes de TAG's presentes através da utilização de um mesmo canal de comunicação, tendo em vista que existem situações em que muitas TAG's de RFID estarão presentes para serem devidamente identificadas (MORSHED, 2012).

2.2.3. SISTEMA DE MEDIÇÃO DE DISTÂNCIAS

A necessidade de executar medições em ambientes industriais é de fundamental importância para que se possa relacionar uma determinada variável a uma grandeza que permita a sua quantificação. Sistemas de medição surgem nesse sentido com o intuito de suprir a deficiência dos sentidos humanos em quantificar essas grandezas de forma precisa, precisão esta fundamental para o controle nos processos industriais.

A figura 15 mostra a arquitetura de um sistema de medição de referência cujo funcionamento pode ser dividido nas seguintes fases: Sensor / Transdutor, Condicionamento de Sinal, Saída e Realimentação.

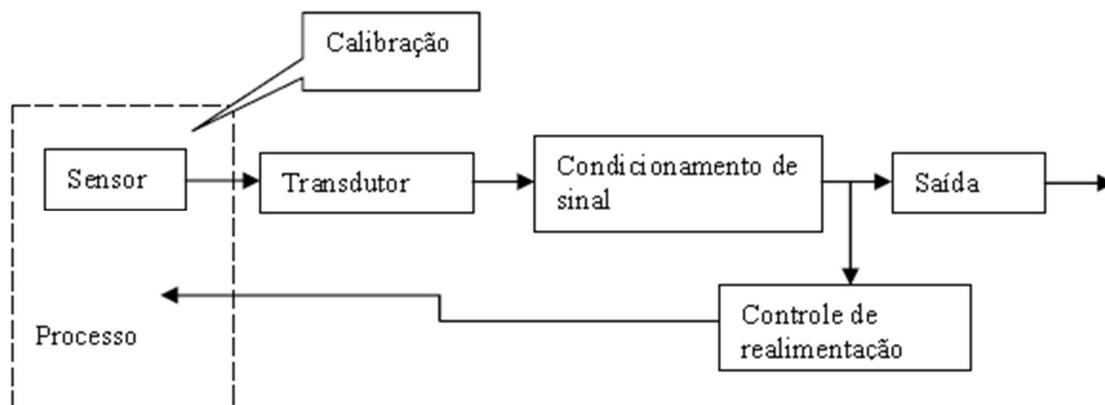


Figura 15. Representação de um sistema de medição de referência (LASMAR et al., 2011)

A parte do sistema de medição denominada de sensor, nada mais é do que um equipamento que possui a característica de identificar a variação de uma determinada grandeza física e enviá-la para um dispositivo que seja capaz de transformar essa informação em uma determinada grandeza que possa ser medida. A grande maioria dos sensores utilizados, nos tempos atuais, tem a capacidade de transformar a variação dessas medições físicas em amplitudes elétricas equivalentes podendo dessa forma serem chamados de transdutores.

O transdutor tem a função de enviar o sinal para o componente denominado “condicionamento de sinal”. Este, por sua vez, o altera com a finalidade de melhorar a sua qualidade, eliminar possíveis sinais indesejados ou até mesmo permitir a conexão do transdutor com o dispositivo de saída.

A parte da saída de um sistema de medição pode ser qualquer dispositivo utilizado para visualização das informações já concretizadas, podendo ser um registrador digital, um display para visualização ou, até mesmo, um sistema que irá receber e tratar essas informações.

Quando o sistema de medição faz parte de um sistema de controle de processo industrial, é muito comum que este possua um sistema de realimentação onde a informação gerada é aplicada novamente como entrada do sistema para que o mesmo faça a correção devida do parâmetro de processo interferindo dessa forma na intensidade da variável que é medida (LASMAR et al., 2011).

Um dos equipamentos mais utilizados na área industrial para medição de distâncias são os denominados *encoders*. Um *encoder* nada mais é do que um

dispositivo eletromecânico que tem a função de transformar um movimento, ou até mesmo uma posição angular, em uma sequência de pulsos cuja frequência fica relacionada ao movimento que o mesmo está analisando. No caso dos *encoders* ópticos esses pulsos são originados por feixes de luz que, ao atravessarem o dispositivo, são detectados por sensores de detecção de luz transformando-os em sinais elétricos.

Classificam-se os *encoders* de acordo com a sua configuração e dessa forma os mesmos se dividem em dois grupos, ambos do tipo óptico, sendo eles: os *encoders* lineares e os rotativos. Os *encoders* rotativos são os mais utilizados principalmente no ambiente industrial.

Os *encoders* ópticos rotativos ainda são classificados em duas categorias, sendo elas: os *encoders* rotativos absolutos e os *encoders* rotativos incrementais. No caso dos *encoders* absolutos uma determinada posição no eixo de rotação, tendo como base um ponto de referência, será representada por uma palavra ou uma sequência de *bits*. No caso dos dispositivos incrementais uma determinada sequência de pulsos é gerada de acordo com a frequência, que sofre uma variação de forma proporcional conforme a velocidade do eixo de rotação do dispositivo.

A figura 15 demonstra o funcionamento básico de um *encoder* do tipo óptico incremental bem como a forma de onda gerada na saída dos sensores do dispositivo. Dois sensores de detecção de luz ficam localizados atrás da placa rotativa, que possui as ranhuras por onde o feixe de luz passa. Pela forma de onda gerada observa-se que existe uma defasagem de 90° dos pulsos gerados pelos sensores. Esta defasagem é necessária para que se possa determinar o sentido de rotação do eixo do dispositivo, sentido este determinado pela detecção das bordas das ondas que sofrem as transições. Define-se que o movimento de rotação será direto quando os sinais de pulso do canal A sofrem a transição de baixo para alto primeiramente em relação aos sinais do canal B. O movimento de rotação será definido com inverso na situação em que a transição ocorra ao contrário.

O gráfico de onda representado pela letra Z demonstra a execução de uma volta completada, sinal este fundamental para determinação de distância percorrida. A figura 16 mostra a representação de um *encoder* e o gráfico de ondas correspondente (SUETAKE, 2008).

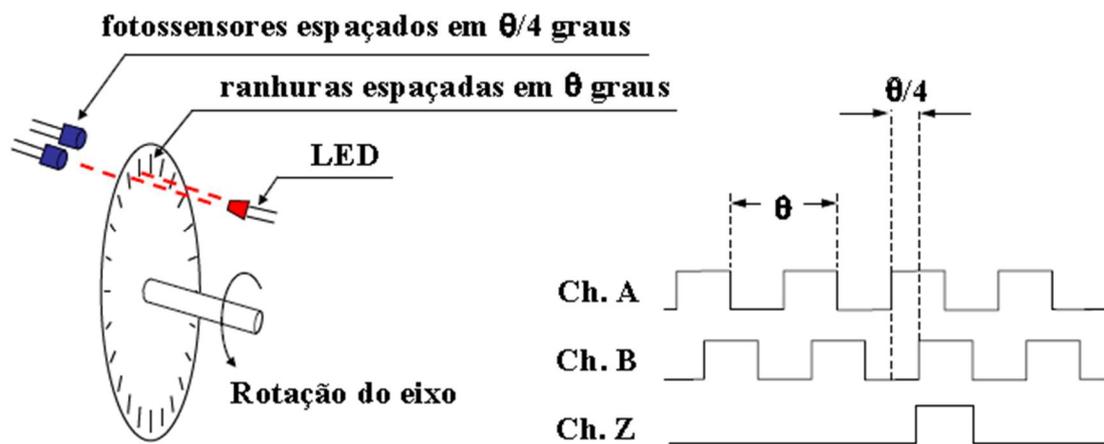


Figura 16. Funcionamento de um dispositivo do tipo óptico incremental (SUETAKE, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. COQUERIA

A coqueria utilizada para o estudo deste trabalho é constituída por três baterias de fornos totalizando noventa e seis fornos do tipo de projeto denominado Krupp Koopers. Cada forno possui portas removíveis dos dois lados para que seja possível a entrada da barra responsável por empurrar o coque para o seu desenformamento, possibilitando que ele saia pela outra porta por onde o mesmo é guiado para o carro apagador. As portas possuem a mesma distância entre os centros de portas adjacentes, distância esta de 1200 mm. Além disso possuem uma altura de 6000 mm e uma largura de 770 mm.

A figura 17 mostra a bateria de coque com a disposição dos noventa e seis fornos.



Figura 17. Bateria de Coque (BUENO, 2012).

A figura 18 mostra uma representação esquemática superior de parte de uma bateria de fornos de coqueria com o objetivo de mostrar o posicionamento das máquinas envolvidas no processo de desenformamento do coque para o conjunto apagador. A representação demonstra o posicionamento das máquinas para o início do processo de desenformamento do forno de número 88.

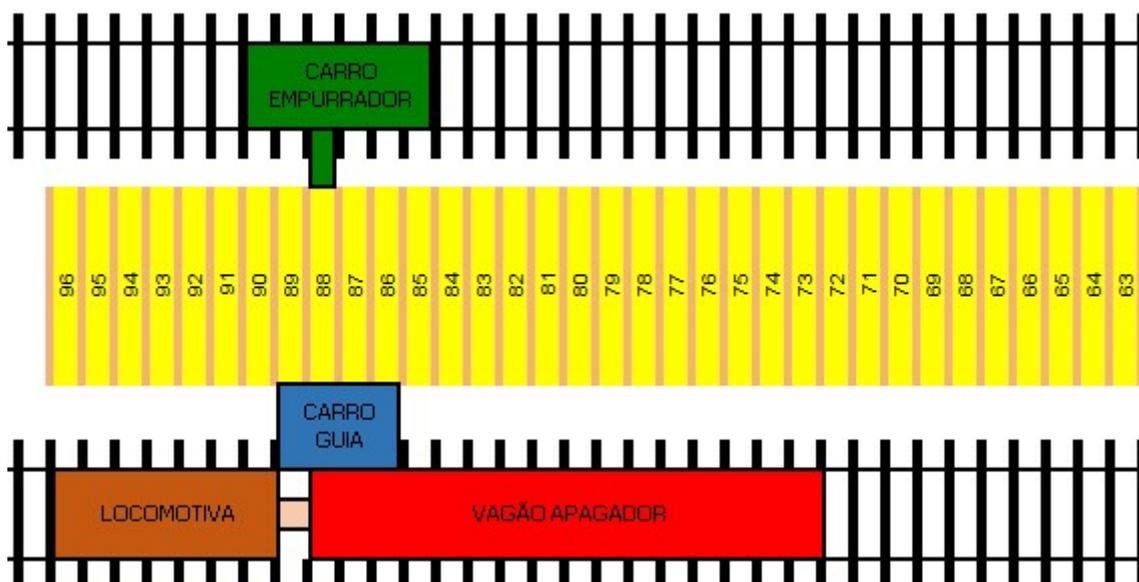


Figura 18. Representação esquemática da vista superior de uma bateria de fornos com as respectivas máquinas posicionadas para o processo de desenformamento.

3.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

A locomotiva, responsável por movimentar o vagão que recebe o coque incandescente ao sair do forno, é controlada por um controlador lógico programável - CLP. Este dispositivo tem a função de controlar as funções mecânicas, hidráulicas e elétricas da máquina atuando sobre dispositivos que fazem interfaces com esses equipamentos, estes recebem a denominação de atuadores sendo cada um projetado para um equipamento determinado.

O CLP também é responsável pela captação dos sinais providos do equipamento disponibilizando esses para o próprio controle da máquina e para informar ao operador da máquina a situação de cada parte. Os dispositivos denominados de sensores são os responsáveis pela leitura dos sinais de campo para o CLP.

Uma outra função muito importante do CLP é efetuar o controle da máquina para situações anormais dos equipamentos impedindo que determinadas ações sejam executadas podendo acarretar danos a locomotiva e situações de risco operacional. Portanto estas situações anormais que exigem a ação do CLP são aquelas que podem colocar, tanto o equipamento quanto as pessoas, em condições de risco.

O CLP utilizado neste trabalho foi o da marca Siemens, modelo S7 300, com todos os componentes, tais como, cartões (circuito impresso) de comunicação, cartões (circuito impresso) de entrada e saída de sinais analógicos e digitais necessários para o seu pleno funcionamento propiciando o controle da máquina. Para desenvolvimento do programa lógico, em linguagem LADDER, foi utilizado o programa do próprio fabricante do CLP denominado STEP7 Professional. A figura 19 mostra um CLP da marca e modelo utilizado neste trabalho.



Figura 19. CLP da marca Siemens, modelo S7 300 (Siemens, 2017).

3.3. CARTÃO (CIRCUITO IMPRESSO) DE COMUNICAÇÃO SERIAL

O controlador lógico programável necessita estabelecer um padrão de comunicação com o módulo leitor dos sinais de RFID de modo que as informações provindas das TAG's, localizadas no centro dos trilhos de rolamento da máquina, e que determinam o número do forno a qual cada uma corresponde, possam ser utilizadas de forma adequada dentro da lógica de controle dentro da unidade de processamento do mesmo.

Para esta finalidade foi utilizado um cartão (Circuito Impresso) de comunicação, compatível com a família de CLP S7 300 da Siemens, que propiciasse o padrão de comunicação serial RS-232, o modelo do cartão escolhido foi o CP 340 que possui uma porta de comunicação serial de 9 pinos.

3.4. TAG DE RFID

Para determinação de cada um dos fornos da bateria de coque pelo sistema de controle foi utilizada uma TAG de identificação por rádio frequência da marca EMS (*Escort Memory System*), modelo LRP525HTS. Este modelo é

considerado um TAG bastante robusto e que tem condições de operar em condições hostis principalmente em relação a temperatura, o que o torna ideal para aplicações industriais, como é o caso desta aplicação.

Essa TAG possui uma memória interna de 112 Bytes, taxa de transferência de dados para leitura de 1200 Bytes por segundo e taxa de transferência de dados para escrita de 500 Bytes por segundo. Faz uso de um *chip* eletrônico do fabricante PHILIPS, modelo I-Code SLI, onde as informações, para leitura e consequente identificação, são armazenadas.

O seu encapsulamento possui um grau de proteção IP68 o que garante a sua resistência a presença de poeira e de imersão em água.

A figura 20 mostra as dimensões desse modelo de TAG de RFID que possui 128 mm de largura, 52 mm de profundidade e espessura de 5 mm.

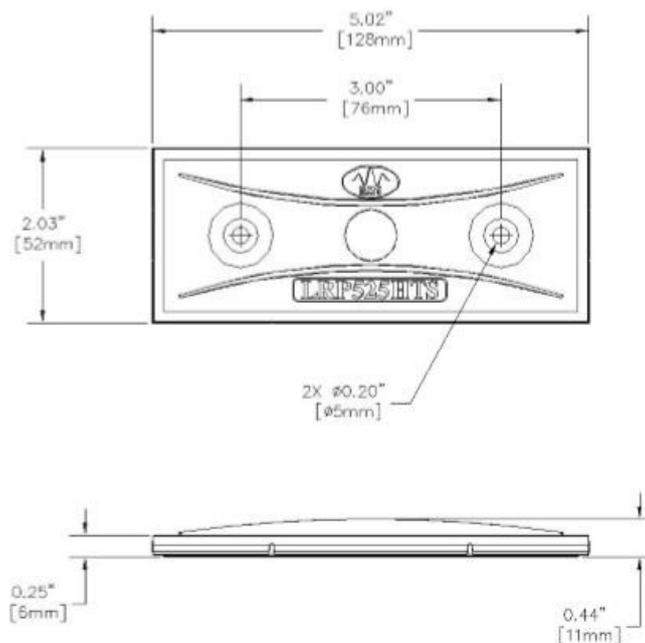


Figura 20. Dimensões da TAG de RFID do modelo LRP525HTS (EMS, 2008).

A figura 21 mostra as características físicas da TAG de RFID do modelo LRP525HTS.



Figura 21. TAG de RFID modelo LRP525HTS (RFID Journal, 2017).

3.5. ANTENA DE LEITURA DE RFID

Neste sistema de identificação por rádio frequência foi utilizada como dispositivo leitor da TAG uma antena da marca Datalogic, modelo UHF-ANT-3030-01. Este modelo foi escolhido devido a total compatibilidade com a TAG de RFID determinada para o sistema.

Esse modelo possui uma forma quadrática com 30 cm, trabalha em uma frequência de 915 MHz e tem um grau de proteção IP67 garantindo a sua resistência a poeira e a imersão em ambiente líquido até um metro durante trinta minutos. Essas características foram de fundamental importância para definição desse modelo, pois o ambiente a que ela ficaria exposta é bastante agressivo a qualquer componente de um sistema de automação.

A figura 22 mostra um desenho esquemático da antena citada como leitor das TAG's de RFID.

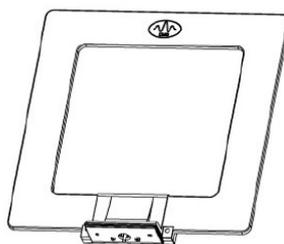


Figura 22. Antena de leitura de RFID modelo UHF-ANT-3030-01 (EMS, 2008).

3.6. CONTROLADOR RFID

Como interface de comunicação entre a antena de leitura e o CLP foi utilizado um módulo de conexão e comunicação que tem a função de estabelecer a leitura das informações contidas na TAG de RFID.

O módulo utilizado foi do fabricante EMS, modelo HF-CNTL-232-02. Esse módulo estabelece uma conversão do sinal lido da TAG de RFID no padrão de comunicação RS-232 serial.

A figura 23 mostra o modelo de interface utilizado para comunicação entre a antena de leitura da TAG de RFID e o controlador lógico programável.



Figura 23. Módulo interface modelo HF-CNTL-232-02 (EMS, 2008).

3.7. MÉTODOS

Os equipamentos envolvidos neste estudo e descritos nos itens acima foram instalados em uma área de produção denominada coqueria em uma usina siderúrgica na região do pólo industrial de Cubatão no estado de São Paulo. Esta unidade de produção de coque é composta por noventa e seis fornos divididos em três baterias, ou conjuntos de fornos, formando o denominado grupo 1 de baterias de coque.

Os fornos de coqueificação do carvão são descarregados e posteriormente carregados em sequências programadas de forma a garantir que fornos adjacentes não fiquem vazios o que pode comprometer a vida útil do equipamento devido a aquecimento excessivo. Os fornos de uma bateria de coque são construídos lado a lado de forma que seja possível o compartilhamento de equipamentos responsáveis pelo aquecimento e demais funções do processo, desta forma torna-se impossível parar o aquecimento de um único forno sem comprometer o processo dos demais de uma mesma bateria. Outra função de uma programação adequada das sequências de desenformamento e enformamento é o de garantir que cada forno será desenformado logo após o cumprimento do tempo programado de coqueificação, não deixando o material dentro do forno por mais tempo do que o necessário trazendo prejuízos operacionais principalmente pelo consumo de combustíveis desnecessariamente. Com a programação adequada também se obtém o máximo aproveitamento das máquinas móveis fazendo com que elas operem ininterruptamente extraindo delas o máximo rendimento.

A coqueria em questão trabalha com cinco sequências de desenformamento, uma de cada vez. Uma determinada sequência só pode se iniciar a partir do momento que a anterior foi finalizada. Cada uma dessas sequências intercala cinco fornos para cada passo programado de desenformamento e determina quais são os fornos que serão desenformados em uma determinada sequência.

Caso uma determinada sequência não possa ser realizada, como por exemplo, por um problema em um dos fornos, é necessário realizar todo o planejamento das sequências novamente sempre respeitando os intervalos entre os fornos que serão desenformados.

A operação de desenformamento do coque envolve as máquinas móveis denominadas desenformadoras, carro guia e carro apagador, sendo este último o equipamento foco deste trabalho.

O carro apagador é composto pela locomotiva, responsável pela movimentação do conjunto ao longo do trilho de rolamento e pelo vagão que recebe o coque que sai do forno e é guiado pelo carro guia para o seu interior. Antes que o processo de descarregamento do forno se inicie a locomotiva movimenta o vagão até em frente ao forno que será desenformado de forma que o início do vagão fique em frente ao forno. Por questões de segurança o vagão é posicionado de tal forma que haja uma folga de um metro do seu início em relação ao forno evitando que possíveis quedas de material ocorram diretamente no chão. O carro apagador se movimenta, a uma certa velocidade, à medida que o coque vai sendo descarregado de forma a distribuir o mesmo, o mais igualmente possível, dentro do vagão. Para que essa distribuição ocorra é necessário que o carro apagador se movimente a uma velocidade proporcional a que ocorre o desenformamento do coque através do movimento da cremalheira dentro do forno na operação de empurrar o coque para fora do forno. O controlador lógico programável da locomotiva é que controla a velocidade da máquina através do recebimento do sinal da velocidade da cremalheira que é movimentada pela máquina desenformadora.

A locomotiva sempre opera empurrando o vagão, após ser carregado com o coque desenformado, em direção a torre de extinção para a execução do processo de extinção do mesmo, dessa forma garante-se que o vagão se

posicione dentro da torre mantendo a locomotiva fora do alcance do despejo de água, necessária para o processo.

A locomotiva utilizada neste trabalho possui um comprimento de 7.260 mm. O eixo de ligação entre a locomotiva e o vagão possui um comprimento de 1200 mm. O vagão onde o coque é carregado durante o processo de desenformamento possui um comprimento de 18.000 mm. Dessa forma o conjunto formado por esses três equipamentos possui um comprimento total de 26.460 mm, ou 26,46 m. A máquina apagadora opera durante vinte e quatro horas por dia, com uma pessoa por turno de oito horas no comando, sendo a responsável pelo deslocamento e posicionamento do conjunto quando operado de forma manual.

Todos os fornos do grupo 1 de baterias de coque utilizados possuem as mesmas dimensões sendo elas: largura de cada porta de forno de 770 mm, altura de cada porta de forno de 6000 mm, largura de cada coluna de separação entre os fornos de 300 mm e distância entre o centro de duas portas consecutivas de 1200 mm.

Todas as TAG's de RFID utilizadas neste trabalho foram instaladas entre os trilhos de rolamento do conjunto do carro apagador, bem ao centro, de forma que as mesmas ficassem de frente aos fornos a uma distância de 1200 mm uma da outra. Com essa disposição cada uma das TAG's ficou instalada de forma igualitária em relação ao centro das portas dos fornos, ou seja, cada TAG representa a posição central de uma determinada porta de forno em específico. Todas as TAG's foram encapsuladas em uma forma de concreto tipo calota permitindo a sua proteção mecânica e das demais intempéries a que ficam expostas, além de permitir uma fixação ao solo mais adequada e consistente.

O posicionamento de cada TAG, que contém a identificação de cada um dos fornos, levou em consideração a distância da locomotiva e do engate para garantir que o início do vagão ficasse corretamente em frente ao forno que a antena de RFID, que foi instalada no início da locomotiva, realizasse a leitura. Dessa forma foi necessário instalar a TAG de um determinado forno com a defasagem de oito fornos, inclusive com TAG's posicionadas fora da área dos fornos, permitindo o posicionamento para os oito fornos iniciais do grupo 1. Da

mesma forma os oito fornos finais, do forno 88 ao 96, não possuíam TAG em frente a suas portas.

Portanto, para o desenformamento do forno de número 10, por exemplo, a locomotiva deve parar em cima da TAG que possui a identificação de número 10, mas que na realidade está posicionada em frente ao forno de número 18.

A antena de leitura de RFID foi instalada na parte inferior da locomotiva no lado oposto ao que se localiza o engate para o vagão de carregamento do coque. A mesma foi posicionada a um metro do extremo da parte estrutural da locomotiva para o seu centro de forma que a mesma ficasse na sua parte inferior possibilitando uma boa proximidade da TAG ao longo do centro do trilho de rolamento. O motivo pelo qual a antena foi colocada a um metro do início da locomotiva foi para garantir que o vagão parasse com a distância de segurança, que também é de um metro, em relação ao forno que será desenformado.

As distâncias físicas para realização do levantamento dos dados, para cada um dos fornos, levaram em consideração o posicionamento de cada TAG ao longo do trilho de rolamento a partir do ponto em que a locomotiva se encontrava na torre de extinção para o apagamento do coque. Um sinal digital, fornecido por um elemento eletromecânico, informa ao CLP que o vagão se encontra na torre de extinção e com isso o encoder é calibrado para a posição inicial. A distância da posição da locomotiva, quando na torre de extinção, até o primeiro forno é de dez metros e essa medida é considerada para as medidas de referência deste trabalho.

A figura de número 24 mostra uma representação esquemática da disposição de parte dos fornos que fazem parte da coqueria, da posição das TAG's ao longo do trilho de rolamento e uma demonstração da locomotiva, eixo de ligação e do vagão apagador. Através dela pode se verificar as distâncias consideradas para o posicionamento de cada TAG para a compensação dos tamanhos da locomotiva, eixo e vagão apagador, dessa forma o vagão sempre fica posicionado em frente ao forno correspondente a TAG que a antena, localizada na locomotiva, realiza a leitura.

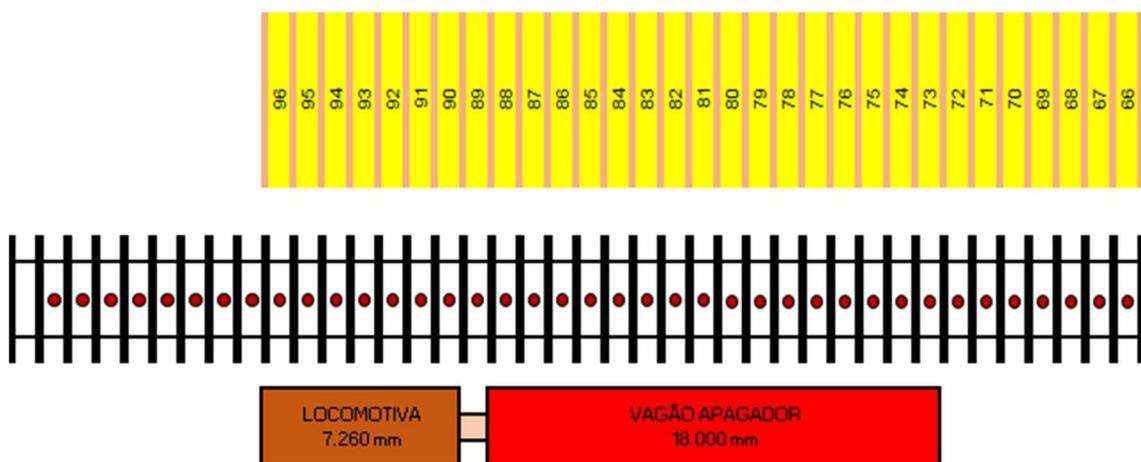


Figura 24. Representação esquemática da disposição dos fornos, TAG's de RFID, conjunto do carro apagador.

O *encoder*, utilizado como parâmetro de referência para o sistema de posicionamento de RFID, permite um comparativo das distâncias esperadas em relação as obtidas. O mesmo já fazia parte do conjunto da locomotiva e encontrava-se instalado em uma roda, denominada roda falsa, que tem a função de simplesmente rodar sem nenhuma influência de tração da máquina fornecendo os pulsos corretamente para o encoder. Dessa forma o *encoder* envia as informações de distância percorrida para o CLP que disponibiliza a informação para ser armazenada na base de dados.

As sequências de desenformamento dos fornos executadas nessa unidade são apresentadas na tabela 4. Cada sequência só pode ser iniciada após o término da anterior e as mesmas não podem ser modificadas de forma a garantir o tempo mínimo de coqueificação do carvão. Caso haja a necessidade, por qualquer anormalidade do processo, de se alterar a sequência de desenformamento é necessário que seja realizada a reprogramação de todas as sequências subsequentes de forma a garantir o tempo mínimo de permanência do carvão no interior do forno.

A programação da sequência de desenformamento só pode ser alterada em caso de alguma anormalidade causada por algum problema inerente ao processo ou a uma falha das máquinas móveis responsáveis pelo enformamento e desenformamento. Na realização das sequências para este trabalho nenhuma anormalidade foi detectada, o que permitiu que oito repetições da sequência de número 1 ocorressem normalmente.

A tabela 1 mostra uma descrição das sequências de desenformamento do coque dos fornos da coqueria com a identificação da sequência e os números dos fornos que devem ser desenformados.

Tabela 1 – Descrição das sequências de desenformamento dos fornos da coqueria

Identificação da sequência	Número dos fornos a serem desenformados
1	1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 66, 71, 76, 81, 86, 91, 96
2	2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37, 42, 47, 52, 57, 62, 67, 72, 77, 82, 87, 92
3	3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68, 73, 78, 83, 88, 93
4	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49, 54, 59, 64, 69, 74, 79, 84, 89, 94
5	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95

(Fonte: COSTA, 2008)

Para comprovação da eficiência do sistema de posicionamento do carro apagador em frente ao forno programado de forma automática optou-se por escolher uma única sequência de desenformamento e repeti-la durante um certo número de vezes de forma que os resultados possam ser comparados. A sequência escolhida para obtenção dos dados foi a de número 1 e os dados foram adquiridos durante a execução da mesma durante cinco vezes, respeitando-se os intervalos, de acordo com a programação prevista da unidade de produção.

Os dados de medição de distâncias foram obtidos pela leitura do sinal enviado pelo encoder ao controlador lógico programável responsável pelo controle da locomotiva que movimenta o carro apagador. Os dados foram lidos pelo controlador lógico programável e, através do sistema supervisor, armazenados em uma base de dados local do próprio *software* a partir do qual os resultados puderam ser extraídos. As leituras de medição fornecidas pelo encoder serviram de referência para determinar se a locomotiva parava na posição esperada através da leitura da TAG correspondente ao forno programado. A partir do momento que iniciou-se os testes, a máquina passou a

operar de acordo com o programado considerando as informações de leitura do sistema de RFID.

As informações com os números de identificação dos fornos foram gravadas nas TAG's de RFID. Essas informações foram lidas pela antena de leitura, que foi posicionada na parte inferior da locomotiva na parte à frente da mesma, e enviadas através do módulo transdutor para o controlador lógico programável, responsável por fazer a locomotiva se movimentar e parar na posição correta referente ao forno. Para este trabalho as TAG's de RFID já foram adquiridas com as informações de números dos fornos gravadas pelo próprio fabricante. A informação de próximo forno a ser desenfundado é carregada no CLP através de uma entrada de dados manual do operador da máquina. A partir do momento que essa informação é fornecida a máquina se movimentava automaticamente em direção do forno o qual será desenfundado.

Para estabelecer a comunicação entre o módulo de interface de leitura do sinal de RFID e o CLP foi utilizado um cartão de comunicação, que faz uso do protocolo RS-232 serial, cartão este que faz parte da família S7 300 da Siemens. O modelo do cartão é o CP 340 e o mesmo foi instalado em uma das posições do *rack* do conjunto do controlador lógico programável.

A figura 25 demonstra, de forma esquemática, como foi feita a ligação da antena de leitura da TAG de RFID até o CLP.

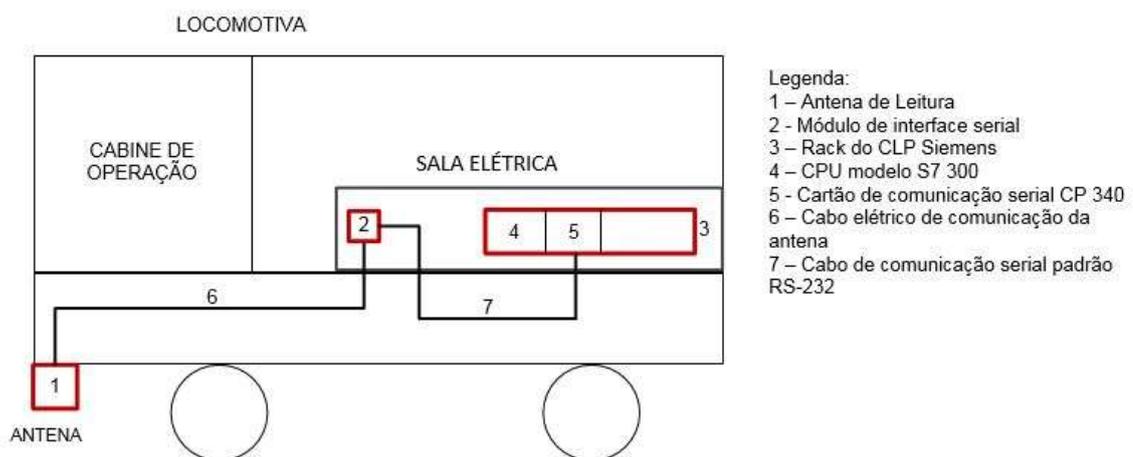


Figura 25. Representação esquemática da interligação do sistema de leitura RFID ao CLP da locomotiva.

A antena, localizada na parte inferior da locomotiva, foi interligada através de um cabo de comunicação, modelo CBL-1478, ao módulo de interface serial,

que por sua vez, foi ligado através de um cabo padrão serial RS-232 de nove pinos ao cartão do CLP modelo CP 340. Este cartão é de fabricação da Siemens sendo compatível com a família S7 300 de controladores.

O cartão de comunicação CP 340 é configurado através do próprio software de configuração do sistema do CLP, no caso foi utilizado o programa de configuração da Siemens STEP 7. Através do módulo de propriedades do objeto, relacionado ao *hardware* do cartão, é possível estabelecer os parâmetros de comunicação para permitir a inicialização da comunicação serial. Para que o software STEP 7 possa reconhecer corretamente o cartão é necessário indicar em qual posição, ou *slot*, do *rack* do CLP ele foi instalado. Dessa forma a CPU do CLP consegue encontrar o processador de comunicação do cartão e estabelecer a troca de informações através de blocos internos próprios desenvolvidos pela própria Siemens. A comunicação entre a CPU e o cartão CP 340 ocorre via blocos de funções (FB) e os protocolos de comunicação do próprio cartão.

Os blocos funcionais, que tem a função de estabelecer a troca de mensagens, formam a interface entre a CPU e o cartão CP 340 e estes devem ser chamados de forma cíclica a partir do programa que é executado pela CPU. Nesta comunicação utilizou-se o protocolo de comunicação serial ASCII que permitiu o vínculo com o módulo de interface de leitura da TAG de *RFID*.

O CLP, da família S7 300, possui blocos de funções internas que permitem a inicialização e o controle entre ela e o cartão CP 340. A tabela 2 mostra os blocos funcionais no CP 340 e os seus respectivos significados.

Tabela 2 – Blocos funcionais e seus significados utilizados pelo cartão CP 340 (SIEMENS, 2011).

FB/FC	SIGNIFICADO
FB 2 P_RCV	O bloco funcional P_RCV permite receber dados de uma comunicação e armazená-lo em um bloco de dados.
FB 3 P_SEND	O bloco de funções P_SEND permite enviar todo ou parte de um bloco de dados para um parceiro de comunicação.
FB 4 P_PRINT	O bloco de funções P_PRINT permite a saída de um texto de mensagem contendo 4 variáveis para uma impressora.
FC 5 V24_STAT	A função V24_STAT permite ler os estados do sinal na interface do CP 340 pelo RS 232C.
FC 6 V24_SET	A função V24_SET permite ler os estados do sinal na interface do CP 340 via RS 232C.

Para fazer uso dos blocos de funções é necessário copiar o bloco desejado para uma determinada funcionalidade e o incluir no projeto em uso. Apenas alguns blocos estão disponíveis para utilização como um meio de comunicação sendo eles, o bloco P_SEND (FB 3) para envio de dados, e o bloco P_RCV (FB 2) para recebimento de dados dentro do ciclo do programa. Somente um bloco FB P_SEND e um bloco FB P_RCV podem ser inseridos no programa principal para cada cartão do tipo CP 340 instalado. Pode-se programar somente um bloco de dados instanciados para o FB P_SEND e o FB P_RCV, pois os blocos de dados da instância possuem as informações de status necessários para uma sequência de FB interna.

Em uma sequência de recepção de dados pela CPU do CLP o bloco de função FB P_RCV efetua a transmissão dos dados do CP 340 para uma área de dados do CLP S7 300 determinada pelos parâmetros DB_NO, DBB_NO e LEN. Esse bloco de função pode ser requisitado no ciclo de execução do programa pela CPU ou em um programa controlado por tempo. Quando o estado de sinal no parâmetro EN-R estiver em "1" permite uma validação para leitura dos dados pelo cartão CP 340. Um evento de transmissão dos dados pode ser cancelado colocando-se o mesmo parâmetro em "0", nesse caso a transmissão é cancelada e uma mensagem de erro é enviada como situação.

O parâmetro LADDR define o endereço do cartão CP 340 a ser acessado através do bloco de função chamado pelo programa principal.

Caso no parâmetro R for detectado um valor de estado em "1" o trabalho de envio dos dados é cancelado e o FB P_RCV é jogado para o estado inicial permanecendo assim até que esse parâmetro volte para o estado "0" quando a mensagem passa a ser transmitida novamente desde o início.

O parâmetro NDR é responsável por mostrar se a mensagem foi transmitida totalmente sem erro. Caso algum erro tenha ocorrido o parâmetro ERROR fornece a indicação e o número do erro é mostrado no parâmetro STATUS, este permanece com o valor "0" quando não houver erro. Os parâmetros NDR, ERROR e STATUS também são acionados quando a transmissão pelo FB P_RCV for reinicializada.

A figura 26 mostra uma representação do bloco de função FB P_RCV utilizado na transmissão dos dados do cartão CP 340 para a CPU do CLP S7 300.

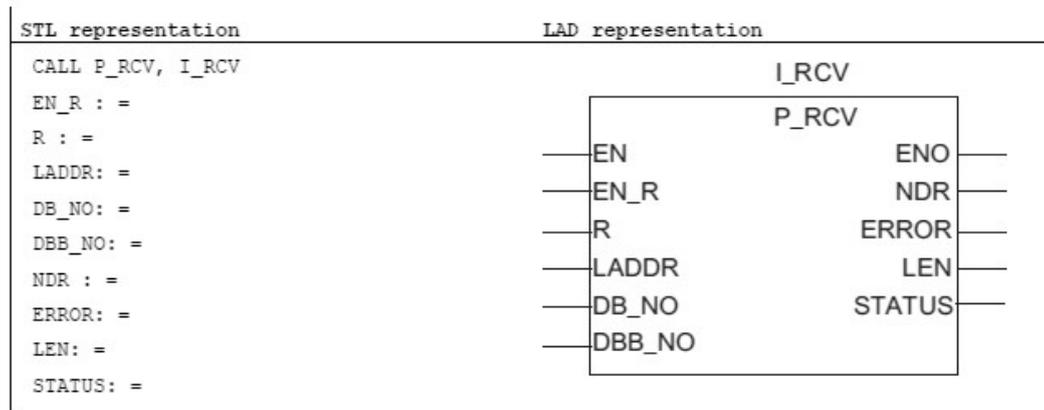


Figura 26. Representação do bloco de função FB P_RCV (SIEMENS, 2011).

No programa elaborado para o posicionamento da locomotiva os dados recebidos pela CPU, provindos do cartão CP 340, eram armazenados em um bloco de dados, denominado DB 18, onde todas as informações necessárias para o controle da máquina ficavam disponibilizados para especificar o momento de enviar os comandos para a máquina diminuir a velocidade e parar a máquina na posição desejada.

A figura 27 mostra a estrutura do bloco de dados do DB 18 que fica dentro da CPU do CLP e que tem a função de fornecer os dados para a lógica de controle.

Block: DB18

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	SAIDA_INVERSOR	INT	0	SETPOINT DE SAIDA PARA INVERSOR DE TRANSLAÇÃO
+2.0	TAG_DESTINO	INT	0	NUMERO DO TAG DE DESTINO
+4.0	TAG_ANTERIOR	INT	0	LEITURA DO TAG ANTERIOR AO TAG ATUAL
+6.0	TAG_ATUAL	INT	0	LEITURA DO TAG ATUAL DO RFID
+8.0	TAG_POSTERIOR	INT	0	LEITURA DO TAG POSTERIOR AO TAG ATUAL
+10.0	PARA_CARRO	BOOL	FALSE	FAZ O CARRO PARAR QUANDO NAO ACHA A REFERENCIA DE PRIMEIRA
+10.1	ANDA_CARRO	BOOL	FALSE	START DO INVERSOR PARA O CARRO TRANSLADAR
+10.2	TRANSLADANDO_SENTIDO T1	BOOL	FALSE	CARRO TRANSLADANDO SENTIDO TORRE 1
+10.3	TRANSLADANDO_SENTIDO T3	BOOL	FALSE	CARRO TRANSLADANDO SENTIDO TORRE 3
+10.4	PAROU_FORA_REFERENCIA	BOOL	FALSE	CARRO PAROU FORA DA REFERENCIA
+10.5	SENTIDO_CERTO	BOOL	FALSE	ANDANDO NO SENTIDO CERTO 1 ERRADO OU PARADO 0
+10.6	SENTIDO_ERRADO	BOOL	FALSE	ANDANDO NO SENTIDO ERRADO 1 CERTO OU PARADO 0
+12.0	VALOR_SENTIDO_ANTERIOR	DINT	L#0	VALOR DA POSIÇÃO SENTIDO ANTERIOR
+16.0	VALOR_ATUAL_ENCODER	DINT	L#0	VALOR ATUAL DA POSIÇÃO DO ENCODER
+20.0	VALOR_SENTIDO_POSTERIOR	DINT	L#0	VALOR DA POSIÇÃO SENTIDO POSTERIOR
+24.0	VALOR_POSICAO_DESTINO	DINT	L#0	VALOR DA POSIÇÃO DESTINO
=28.0		END_STRUCT		

Figura 27. Estrutura do bloco de dados do DB 18 utilizado no programa de controle da locomotiva.

O endereço 2.0 contém a informação do forno de destino ao qual a locomotiva deve se deslocar para se posicionar para a operação de desenformamento do coque. O endereço 6.0 contém a informação do forno atual por onde a locomotiva está se deslocando, esta informação é atualizada a cada ciclo de execução do programa pela CPU.

Com as informações disponibilizadas para o programa, os comandos executados pelo CLP para a locomotiva se mover, em direção ao forno destino, e para parar na posição correta ocorrem com agilidade e precisão suficientes para uma operação adequada ao processo.

Outras informações também são utilizadas pelo controle para situações de erro de leitura da TAG de RFID fazendo com que a máquina possa corrigir o seu posicionamento. Situações de anormalidades também são tratadas evitando dessa forma mal funcionamento do sistema.

Em casos de falhas em que o sistema não consiga se corrigir, ou em situações de anormalidade na comunicação a máquina entra para o estado de emergência e permanece parada de acordo com as normas de segurança operacional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento dos dados apresentados nesta seção foi realizado através de uma base de dados local do sistema de controle da máquina locomotiva que faz parte do conjunto apagador. Todos os dados foram registrados na sua forma original sem nenhum tipo de tratamento ou de filtro.

Todas as informações que servem para a análise dos resultados estão sendo mostradas em tabelas que relacionam dados de identificação da sequência de desenformamento executada, dos fornos que fazem parte da sequência e das TAGS de RFID instaladas ao longo do trilho de rolamento do conjunto de extinção. As tabelas também demonstram as distâncias físicas existentes entre os fornos considerando o centro de cada porta de forno, as medidas físicas que a locomotiva, do conjunto apagador, tem que percorrer no momento em que se encontra na posição de extinção, quando este se encontra na área da torre de extinção, até a TAG de identificação do próximo forno que deve ser desenformado. São apresentados também os resultados obtidos pela medição apresentada pelo encoder, no momento em que a locomotiva deve parar pela ação de identificação da TAG correspondente ao forno a ser desenformado bem como o erro percentual relativo a medida física das TAGS e a medição realizada pelo *encoder*.

Os resultados de erro percentual são mostrados em forma de gráficos relacionando o erro com o parâmetro adotado como máximo, de 5%, para uma condição segura de operação para a máquina apagadora.

A fórmula para cálculo do erro percentual é apresentada abaixo em valores absolutos.

$$ERRO = \left(\frac{DIST\ MEDIDA\ PELO\ ENCODER - DIST\ FÍSICA\ A\ SER\ PERCORRIDA}{DIST\ FÍSICA\ A\ SER\ PERCORRIDA} \right) * 100$$

A tabela de número 3 apresenta os resultados obtidos na primeira sequência de desenformamento realizada para validação deste trabalho.

Tabela 3 – Apresentação dos resultados obtidos na primeira sequência de desenformamento.

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
1	1	1	1200	20800	20055	3,58
	6	6	7200	22000	21221	3,54
	11	11	13200	23200	22540	2,84
	16	16	19200	24400	23689	2,91
	21	21	25200	25600	24815	3,07
	26	26	31200	26800	26112	2,57
	31	31	37200	28000	27294	2,52
	36	36	43200	29200	28155	3,58
	41	41	49200	30400	29451	3,12
	46	46	55200	31600	30921	2,15
	51	51	61200	32800	32007	2,42
	56	56	67200	34000	33285	2,10
	61	61	73200	35200	34410	2,24
	66	66	79200	36400	35573	2,27
	71	71	85200	37600	36821	2,07
	76	76	91200	38800	38024	2,00
	81	81	97200	40000	39191	2,02
	86	86	103200	41200	40397	1,95
91	91	109200	42400	41574	1,95	
96	96	115200	43600	42625	2,24	

Na primeira sequência de desenformamento executada pode-se observar que as medições obtidas pelo *encoder* ficaram sempre abaixo das medidas físicas de onde as TAGS realmente encontram-se instaladas. Analisando a coluna de erro relativo as medidas físicas com as medições constatadas pelo *encoder*, constatou-se que este se manteve na ordem de 2,6%. Esta sequência apresentou o maior valor de erro percentual entre todos os resultados, sendo o valor de 3,58%, mesmo assim ficando abaixo do valor considerado como máximo de 5%, os demais valores obtidos propiciaram que a média do erro ficasse com um valor baixo.

A figura de número 28 mostra o gráfico representativo dos resultados obtidos, na primeira sequência de posicionamento dos fornos para desenformamento, do erro percentual para cada um dos fornos da sequência.

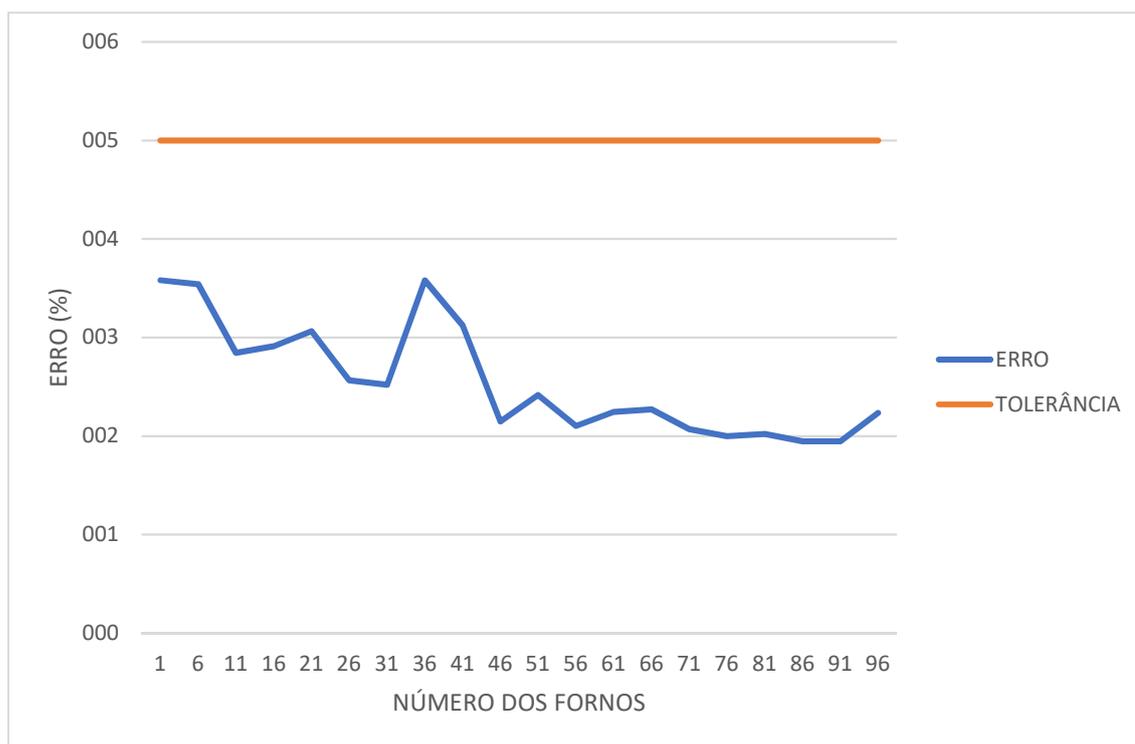


Figura 28. Gráfico dos resultados para a primeira sequência de desenformamento dos fornos.

A tabela de número 4 apresenta os resultados levantados na segunda sequência de desenformamento utilizada para validação deste trabalho, lembrando que as sequências utilizaram sempre os mesmos fornos para análise de repetibilidade.

Tabela 4 – Apresentação dos resultados obtidos na segunda sequência de desenformamento.

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
2	1	1	1200	20800	20098	3,38
	6	6	7200	22000	21310	3,14
	11	11	13200	23200	22460	3,19
	16	16	19200	24400	23720	2,79

Tabela 4 – Apresentação dos resultados obtidos na segunda sequência de desenformamento (continuação).

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
2	21	21	25200	25600	24889	2,78
	26	26	31200	26800	26131	2,50
	31	31	37200	28000	27322	2,42
	36	36	43200	29200	28184	3,48
	41	41	49200	30400	29499	2,96
	46	46	55200	31600	30885	2,26
	51	51	61200	32800	32015	2,39
	56	56	67200	34000	33266	2,16
	61	61	73200	35200	34430	2,19
	66	66	79200	36400	35551	2,33
	71	71	85200	37600	36872	1,94
	76	76	91200	38800	38063	1,90
	81	81	97200	40000	39206	1,99
	86	86	103200	41200	40421	1,89
	91	91	109200	42400	41567	1,96
	96	96	115200	43600	42769	1,91

Na segunda sequência de deslocamento do conjunto da máquina pode-se constatar que a locomotiva apresentou comportamento semelhante realizando a sua parada por completo sempre antes das medidas físicas relativas ao posicionamento das TAGS ao longo do trilho de rolamento. Observa-se também que o erro em relação as medidas físicas e as realmente executadas pelo sistema de RFID também se mantiveram próximos aos da sequência de número 1, com uma média de 2,48%.

A figura de número 29 mostra o gráfico representativo dos resultados obtidos, na segunda sequência de posicionamento dos fornos para desenformamento, do erro percentual para cada um dos fornos da sequência.

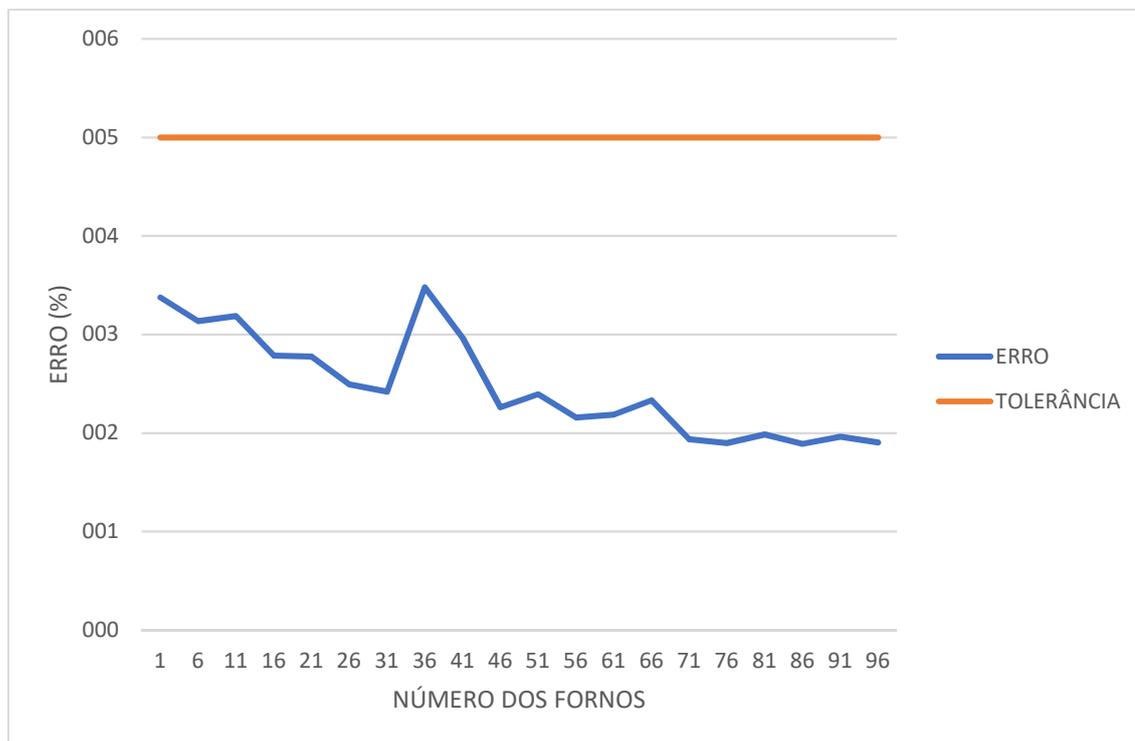


Figura 29. Gráfico dos resultados para a segunda sequência de desenformamento dos fornos.

A tabela de número 5 apresenta os resultados obtidos na terceira sequência de desenformamento realizada pelo conjunto apagador para validação deste trabalho.

Tabela 5 – Apresentação dos resultados obtidos na terceira sequência de desenformamento.

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
3	1	1	1200	20800	20121	3,26
	6	6	7200	22000	21388	2,78
	11	11	13200	23200	22356	3,64
	16	16	19200	24400	23897	2,06
	21	21	25200	25600	24915	2,68
	26	26	31200	26800	26117	2,55
	31	31	37200	28000	27365	2,27
	36	36	43200	29200	28201	3,42
	41	41	49200	30400	29458	3,10
	46	46	55200	31600	30741	2,72

Tabela 5 – Apresentação dos resultados obtidos na terceira sequência de desenformamento (continuação).

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
3	51	51	61200	32800	32113	2,09
	56	56	67200	34000	33277	2,13
	61	61	73200	35200	34481	2,04
	66	66	79200	36400	35529	2,39
	71	71	85200	37600	36883	1,91
	76	76	91200	38800	38055	1,92
	81	81	97200	40000	39294	1,77
	86	86	103200	41200	40379	1,99
	91	91	109200	42400	41522	2,07
	96	96	115200	43600	42818	1,79

A terceira sequência de posicionamento do conjunto apagador mostra que a locomotiva se comportou de maneira muito semelhante as sequências anteriores apresentando resultados de medição do encoder na mesma faixa de valores fazendo com que o erro percentual se mantivesse na ordem de 2,5%, com um valor médio de 2,43%.

A figura de número 30 mostra o gráfico representativo dos resultados obtidos, na terceira sequência de posicionamento dos fornos para desenformamento, do erro percentual para cada um dos fornos da sequência.

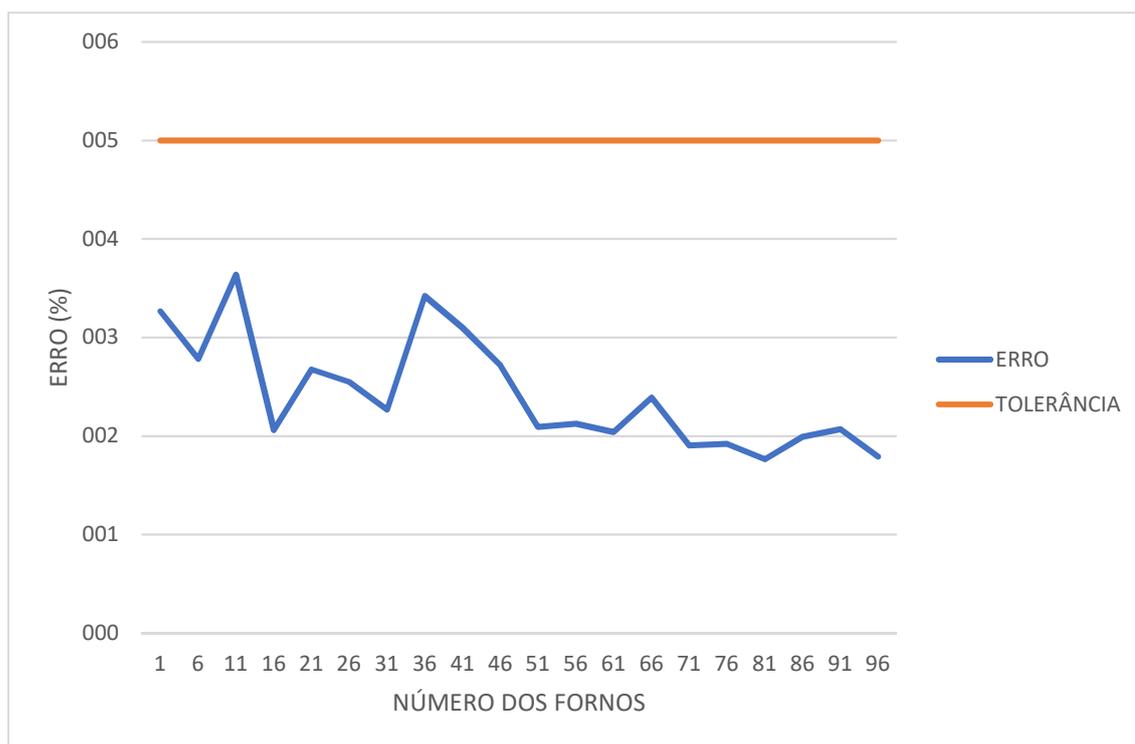


Figura 30. Gráfico dos resultados para a terceira sequência de desenfornamento dos fornos.

A tabela de número 6 apresenta os resultados conseguidos com a execução da quarta sequência de desenfornamento pelo conjunto apagador.

Tabela 6 – Apresentação dos resultados obtidos na quarta sequência de desenfornamento.

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
4	1	1	1200	20800	20164	3,06
	6	6	7200	22000	21271	3,31
	11	11	13200	23200	22371	3,57
	16	16	19200	24400	23904	2,03
	21	21	25200	25600	24846	2,95
	26	26	31200	26800	26233	2,12
	31	31	37200	28000	27387	2,19
	36	36	43200	29200	28298	3,09
	41	41	49200	30400	29570	2,73
	46	46	55200	31600	30844	2,39
51	51	61200	32800	32092	2,16	

Tabela 6 – Apresentação dos resultados obtidos na quarta seqüência de desenformamento (continuação).

SEQÜÊNCIA	SEQÜÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
4	56	56	67200	34000	33291	2,09
	61	61	73200	35200	34417	2,22
	66	66	79200	36400	35328	2,95
	71	71	85200	37600	36788	2,16
	76	76	91200	38800	38054	1,92
	81	81	97200	40000	39241	1,90
	86	86	103200	41200	40326	2,12
	91	91	109200	42400	41592	1,91
	96	96	115200	43600	42874	1,67

A figura de número 31 mostra o gráfico representativo dos resultados obtidos, na quarta seqüência de posicionamento dos fornos para desenformamento, do erro percentual para cada um dos fornos da seqüência.

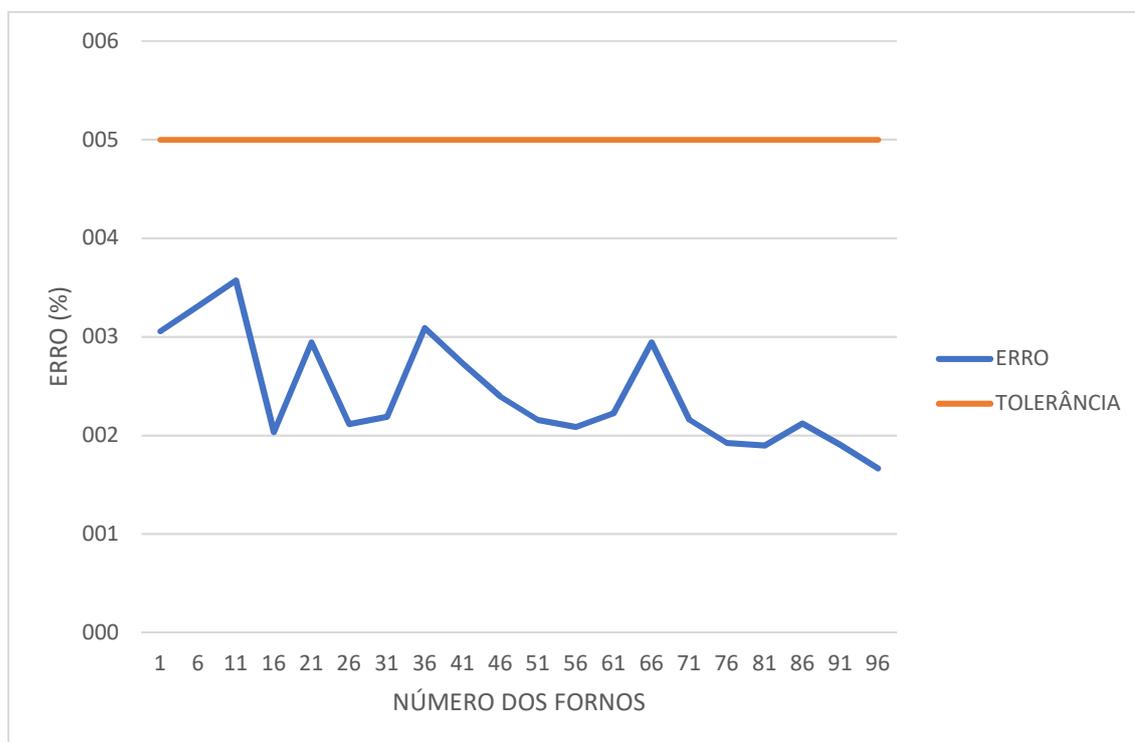


Figura 31. Gráfico dos resultados para a quarta seqüência de desenformamento dos fornos.

A quarta sequência de medições executada demonstra que a locomotiva manteve novamente uma regularidade no seu comportamento quando consideramos as medições para um mesmo forno. Apesar dessas variações o erro percentual se manteve em um patamar muito estável apresentando um resultado igual ao da sequência anterior com 2,43%. Esta sequência obteve o menor valor de erro percentual de 1,67% obtido para a TAG do forno de número 96. Quatro medições desta sequência tiveram valores acima de 3% fazendo com que o erro se mantivesse no patamar obtido.

A tabela de número 7 apresenta os resultados obtidos para a quinta sequência de operação, assim como as demais, com a locomotiva operando em modo automático sem a interferência do operador.

Tabela 7 – Apresentação dos resultados obtidos na quinta sequência de desenformamento.

SEQUÊNCIA	SEQUÊNCIA DE FORNOS	NÚMERO TAG DE RFID	DISTÂNCIA FÍSICA (mm)	DISTÂNCIA FÍSICA A SER PERCORRIDA (mm)	DISTÂNCIA MEDIDA PELO ENCODER (mm)	ERRO (%)
5	1	1	1200	20800	20207	2,85
	6	6	7200	22000	21297	3,20
	11	11	13200	23200	22388	3,50
	16	16	19200	24400	23778	2,55
	21	21	25200	25600	24755	3,30
	26	26	31200	26800	26265	2,00
	31	31	37200	28000	27315	2,45
	36	36	43200	29200	28264	3,21
	41	41	49200	30400	29614	2,59
	46	46	55200	31600	30873	2,30
	51	51	61200	32800	32117	2,08
	56	56	67200	34000	33324	1,99
	61	61	73200	35200	34485	2,03
	66	66	79200	36400	35307	3,00
	71	71	85200	37600	36802	2,12
	76	76	91200	38800	38081	1,85
	81	81	97200	40000	39257	1,86
	86	86	103200	41200	40374	2,00
91	91	109200	42400	41637	1,80	
96	96	115200	43600	42821	1,79	

A figura de número 32 mostra o gráfico representativo dos resultados obtidos, na quinta sequência de posicionamento dos fornos para desenformamento, do erro percentual para cada um dos fornos da sequência.

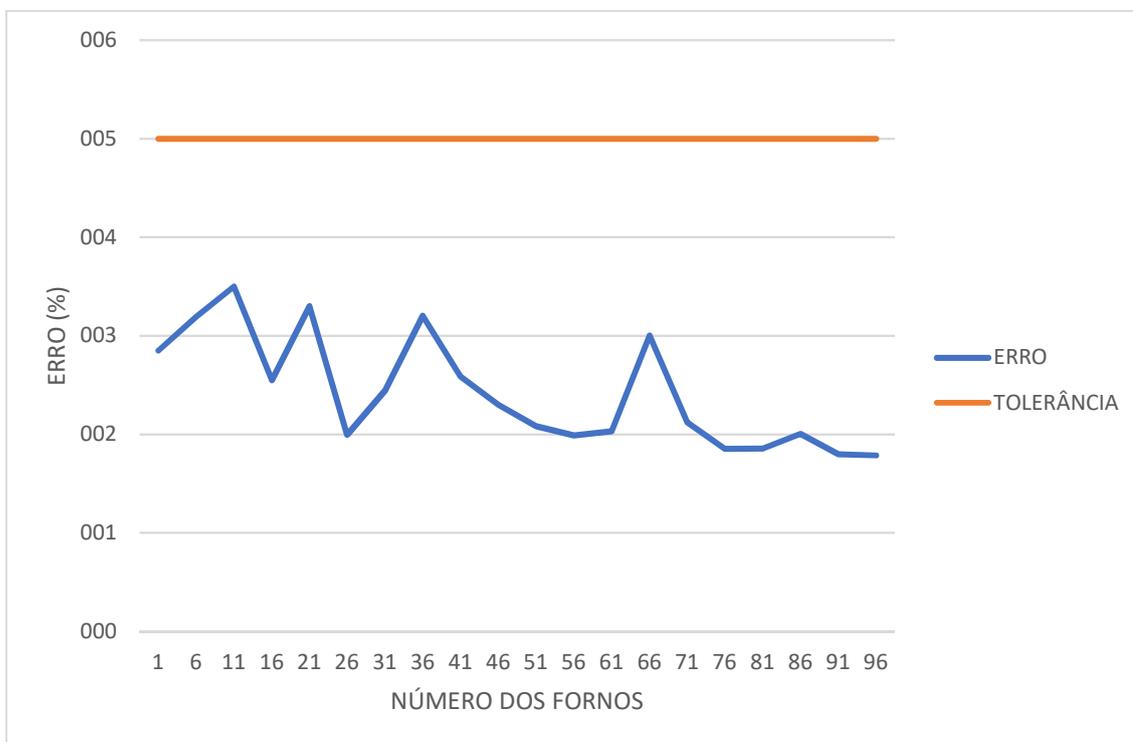


Figura 32. Gráfico dos resultados para a quinta sequência de desenformamento dos fornos.

A quinta sequência de desenformamento nos mostra pequenas variações nas medições assim como nas demais sequências já realizadas, porém o erro médio se manteve inalterado no valor de 2,43%.

Os resultados alcançados com a sequência de medição cinco demonstram uma estabilidade operacional da máquina até a última sequência que serviram para o levantamento dos dados deste trabalho.

As variações apresentadas nas medições ficaram bem abaixo do valor limite adotado como margem de segurança operacional da máquina, percentualmente o erro médio ao longo de todo o experimento ficou em 2,46%. O maior valor percentual de erro foi de 3,58 e o menor valor foi de 1,67 representando uma diferença muito pequena entre ambas as medidas.

Observa-se que em 100% das medições o erro percentual permaneceu dentro do parâmetro, de 5%, considerado como ideal para que o conjunto

apagador possa operar de forma segura e com a máxima eficiência de todo o conjunto.

A estabilidade operacional da locomotiva, demonstrada pelos números apresentados, proporciona para a mesma uma forma de utilização do conjunto mecânico muito mais equilibrado com aceleração e desaceleração sempre dentro de patamares ideais para a preservação do equipamento e com maior eficiência na sua utilização.

As medições apresentadas pelo encoder, que representam as medições percorridas pela máquina, mostram que a locomotiva sempre efetuou a sua parada antes das medições esperadas, demonstradas pelas medidas físicas onde as TAGS de RFID se encontram instaladas. Isso pode ser explicado pelo fato de que a antena de leitura da TAG de RFID, que foi instalada na parte inferior da locomotiva, possui uma amplitude de leitura, dessa forma quando a antena se aproxima da TAG de RFID a uma distância média, ela já consegue realizar a leitura e identificação da TAG, mesmo não estando totalmente sobre a mesma. Ao efetuar a leitura o sistema já entende que chegou a posição de parada e manda acionar o freio da máquina para que a mesma pare. Por esse motivo observa-se que as medições realizadas são sempre menores que as físicas. Esse fato ocasiona uma parada antecipada da máquina, porém esse erro não se refletiu significante para a operação adequada do conjunto.

Devido a amplitude do sinal de leitura da antena as medições nunca alcançaram 0% de erro, pois assim que a antena detectava a presença da TAG, e isso ocorria sempre antes dela se posicionar exatamente em cima da TAG, o comando para parada da máquina era executado pelo CLP, por isso sempre houve a presença de um erro em relação a medição física da TAG.

Com a utilização da locomotiva em automático com o sistema de posicionamento verificou-se uma redução do desgaste do sistema mecânico da mesma, principalmente das partes relacionadas ao freio mecânico. Este equipamento, em condições corretas de operação, tem a função de manter a máquina parada quando esta encontra-se em situação de estacionada. Com a operação da locomotiva em manual pelo operador, este faz uso do conjunto de freios para diminuir a sua velocidade e parar o conjunto apagador, o que acaba causando um desgaste excessivo do conjunto.

Quando operada em modo automático, com o sistema de posicionamento funcionando, a máquina tem a redução da sua velocidade e conseqüentemente a sua parada total em função da atuação do sistema de controle que é realizada pela atuação dos drives de acionamento dos motores elétricos. Com isso o conjunto mecânico dos freios deixou de ser exigido em situações não desejadas, o que ocorria com frequência pela atuação manual dos operadores, para concretizar a parada da máquina. O desgaste do conjunto mecânico de freios da locomotiva teve uma redução ocasionando uma diminuição das intervenções para manutenção desses componentes mecânicos.

Além do conjunto de freios outro componente mecânico da locomotiva também obteve ganhos com a redução de desgaste, foi o conjunto de rodas, que com a operação mais suave controlada pelo sistema de controle deixaram de serem operadas em condições inadequadas.

A ação manual do operador, para efetuar a diminuição e parada do conjunto apagador, ocorre em 80% dos deslocamentos do mesmo para se posicionar em frente ao forno programado.

As reduções de desgaste dos freios e do conjunto de rodas da locomotiva ocasionaram em uma diminuição das paradas operacionais por problemas mecânicos da ordem de 30%.

Com a operação em modo automático da máquina apagadora estima-se uma redução de três postos de trabalho, referentes aos operadores das locomotivas, já que a mesma é operada em três turnos de oito horas cada ininterruptamente.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado a implantação de um sistema de automação onde demonstrou-se que a utilização da tecnologia de identificação por rádio frequência no posicionamento de máquinas móveis, responsáveis pela extinção do coque após o desenformamento, em processos industriais de coqueria é plenamente eficaz permitindo que a mesma se movimente, como deve ocorrer dentro das suas atribuições, e pare em uma determinada posição de acordo com o programado de forma autônoma. Através da interação do sinal provindo da leitura da TAG de RFID, pela antena de leitura, com o controlador lógico programável, responsável pelo controle de movimento e de parada da máquina, comprovou-se que é plenamente viável a utilização dessa tecnologia para determinação dos momentos exatos nos quais o CLP deve efetuar o comando para diminuição da velocidade da máquina e de acionamento dos freios para a parada da máquina na posição representada pela TAG correspondente ao forno desejado. A resposta do sistema de controle mediante a leitura da TAG de RFID pela antena mostrou-se efetivamente adequado ao processo das máquinas apagadoras, propiciando uma resposta de todo o sistema em tempo hábil para a obtenção dos bons resultados.

Os resultados demonstram que 100% das medições efetuadas em relação às esperadas ocasionaram em erros que permanecem dentro do parâmetro esperado como ideal para a operação da máquina apagadora. Com os resultados obtidos nas sequencias de desenformamento verificou-se que a tecnologia de RFID pode ser implantada nas máquinas de movimentação do coque devido ao fato de os valores de erro apresentados estarem bem abaixo dos limites estipulados como ideais visando garantir a segurança operacional tanto para as pessoas como para os próprios equipamentos. Comprova-se assim que a utilização desta tecnologia é plenamente viável para o posicionamento de máquinas móveis em ambientes hostis onde a existência de grande quantidade de material particulado, vapor e temperaturas mais elevadas prejudicam a implantação de outras tecnologias que são sensíveis a interferências dessas naturezas. Para garantir o pleno funcionamento das TAGS de RFID nesse tipo de ambiente deve-se propiciar condições mínimas de proteção para os equipamentos com o objetivo de não ultrapassar os limites

de operação indicados pelo fabricante como foi feito para este com a proteção mecânica a TAG com o encapsulamento adequado.

A tecnologia aplicada na locomotiva permitiu que a mesma operasse em condição automática sem nenhuma intervenção do operador da máquina fazendo com que os movimentos de aceleração e desaceleração fosse totalmente controlada pelo CLP, desta forma garante-se que o acionamento dos motores da máquina fosse sempre respeitado de acordo com o programado e dentro dos parâmetros máximos permitidos pelos fabricantes. Essa regularidade proporciona uma estabilidade muito grande para o equipamento trazendo uma diminuição no desgaste dos equipamentos elétricos e mecânicos aumentando a vida útil, reduzindo as intervenções de manutenção. Antes da implantação do sistema de posicionamento automático a intervenção manual, de forma inadequada para os equipamentos, ocorria em 80% dos deslocamentos da máquina para posicionamento no forno programado.

A operação em automático das máquinas obtida pela implantação desse sistema, também trouxe uma regularidade operacional para toda a planta da coqueria reduzindo atrasos e garantindo que os tempos programados para as atividades de desenformamento sejam respeitados podendo aumentar dessa forma os índices de produtividade como um todo. A possibilidade de implantação de uma operação totalmente em automático mostrou-se plenamente possível fazendo com que a máquina receba a programação dos fornos a serem desenformados e a execute sem a intervenção do operador da máquina.

Comprova-se com este estudo que a tecnologia de RFID é plenamente viável para determinação do posicionamento de máquinas móveis de grande porte, desde que não se exija um nível de precisão de 100%, pois um erro de posicionamento sempre ocorreu neste trabalho causado pela amplitude do sinal de leitura da antena de RFID, esta caracteriza-se como uma desvantagem da utilização desta tecnologia.

A implantação do sistema proporcionou o armazenamento de dados, em base de dados relacional, relativos a operação das máquinas móveis de transporte do coque, o que possibilita que sejam analisados os índices de produtividade da máquina bem como os indicadores fundamentais para programação da manutenção da máquina.

Quanto a segurança operacional da planta esta pode apresentar melhora nos resultados com a implantação do sistema de operação em automático, pois a máquina ficou imune a erros causados por operações inadequadas do ser humano. Esta técnica minimizou erros operacionais, que causam queda de grande quantidade de material para fora do vagão apagador, fatos estes que ocorrem com uma frequência de uma vez a cada seis meses em média, na qual a queda desse material traz grandes transtornos para a operação da coqueria com paradas operacionais e danos a equipamentos.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros baseado neste estudo citam-se três principais. São estes:

a) - Desenvolvimento do sistema de troca de mensagens, entre todas as máquinas da coqueria, informando o posicionamento de cada uma delas e em que estágio de operação se encontram permitindo que todas as operações de máquinas móveis na coqueria sejam realizadas em modo automático, sem intervenção do operador. Todas as condições de segurança operacional devem ser contempladas e devidamente testadas para essa situação.

b) - Implantação de um sistema de gerenciamento dos indicadores da máquina possibilitando que os níveis gerenciais e de manutenção possam analisar em tempo real as condições operacionais do equipamento. Os dados passam a ser analisados por todos os níveis corporativos da organização propondo mudanças visando a melhoria contínua dos processos produtivos.

c) - Implantação de um sistema de alarmes para condições anormais de operação das máquinas podem reduzir situações de risco e não permitir que operações inadequadas sejam executadas o que pode acarretar em acidentes trazendo danos a equipamentos e pessoas.

REFERÊNCIAS

ACOBRASIL. **Relatório de Sustentabilidade**, Instituto Aço Brasil - 2007, Disponível em:

http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_2007.pdf.

Acesso em 15 de agosto de 2017.

ACOBRASIL1. Instituto Aço Brasil - 2015, Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/dados.asp>. Acesso em 15 de agosto de 2017.

ALVES, J. L. S.; Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. **"Diagnóstico do Tratamento e Reuso de Efluentes de Coqueria por Meio de Técnicas Estatísticas de Análise Multivariada"**. José Luiz Sendim Alves. Orientador: Prof. Msc. Antônio Santoro e do Prof. Dr. Luiz Renato Bastos Lia, 2016

ANDRADE, M. L. A.; CUNHA L. M. S.; VIEIRA, J. R. M. **Siderurgia Brasileira no Contexto Mundial**, Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V.1, N.1, Junho 1994

ARAUJO, L.A.; **Manual de Siderurgia - Volume 1** - São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997; ISBN: 85-86127-11-6

ARAÚJO, L.P.O. **"Carvão Mineral"**, Departamento Nacional de Produção Mineral, Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/carvao-mineral-sumario-mineral-2014>, Acesso em 02 de dezembro de 2017.

BHUPTANI, M.; MORADPOUR, S.; **RFID: implementando o sistema de identificação por radiofrequência**. São Paulo: IMAM, 2005.

BONETTI, C. O.; DE SOUZA, J. **Automação No Abastecimento De Adesivos Para o Processo De Montagem de Calçados – Um Estudo de**

Caso. 15º Congresso Internacional e Exposição Sul-Americana de Automação, Sistemas e Instrumentação; São Paulo, 2013.

BORBA, R.F. "**Carvão Mineral**". Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-carvao-mineral/view> - Acesso em 02 de dezembro de 2017.

BUENO, N. M.; Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. "**Automação no Controle do Tempo de Coqueificação em Baterias de Coque - Siderurgia**". Nilson Magalhães Bueno. Orientador: Professor Doutor Eduardo Mario Dias, 2012

CGEE; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Siderurgia no Brasil - 2010-2025. Subsídios para tomada de decisão** – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COSTA, L.C. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. "**Parâmetros de Controle de Processo de Coqueificação das Baterias de Fornos de Coque da COSIPA**". LUIZ CLÁUDIO COSTA. Orientador: Prof. Dr. Francisco Javier Ramirez-Fernandes. 2008.

DOBKIN, D.; WANDINGER, T.; **A Radio-Oriented Introduction to Radio Frequency Identification**. RFID Tutorial on High Frequency Electronics, 2005.

EMS, **Cobalt HF – Series Manual**, Datalalogic Automation S.r.l., Revisão 7, 2008.

FLEURY, P. F.; **Logística Empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

GLOVER, B.; BHATT, H.; **RFID Essentials**. 1ª ed., California: O'Reilly, 2006. ISBN 10: 0-596-00944-5, ISBN 13: 9780596009441.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2011.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral Brasileira**, Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf>. 2012. Acessado em 20 de agosto de 2017.

JESUS, C. A. G. **Sumário Mineral. Departamento Nacional de Produção Mineral**. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/aco-sumario-mineral-2014>. Acesso em 01 de dezembro de 2017.

LAHIRI, S.; **RFID Sourcebook**. 2ª ed.; Massachusetts: IBM Press, 2006. ISBN 0-13-185137-3.

LASMAR, D.I.; SALOMÉ, A.F.M.; MAIA, A.A.T.; JUBIO, J.C.; ROSSI, G.A.; **Validação metrológica experimental de sistema de posicionamento automatizado**. Associação brasileira de engenharia e ciências mecânicas. 6º Congresso brasileiro de engenharia de fabricação, Rio Grande do Sul, 2011.

LIMA, T.M., NEVES, C. A. R., **Sumário Mineral**, Departamento Nacional de Produção Mineral, ISSN 0101-2053, Volume 35, 2016.

MARQUES, J.M.D.C.; Dissertação apresentada à Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. **"Análise dos fatores que influenciam a eficiência da tecnologia RFID aplicada a sistemas de produção"**, 2012.

MDIC, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/legislacao/9-assuntos/categ-comercio-exterior/478-metallurgia-e-siderurgia-2>, 2015, Acesso em 15/01/2018.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c 2007. 347 p.

MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P.L.; **Engenharia de automação industrial**, 2ªed., Editora Nacional, Rio de Janeiro, 2010

MORSLED, M.; Thesis submitted to the Faculty of Computing, Engineering and Technology, Staffordshire University, in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. **Effective Protocols for Privacy and Security in RFID Systems Applications**. 2012.

MOURÃO, M. B., Yokoji, A., Malynowsky, A. **Introdução à Siderurgia**. 1. ed. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

MOUSSA, S. **Robótica industrial**. São Paulo, SP: Ed. do Autor, 2011.

NAZARENO, J.N.S; **Siderurgia**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, 2011.

OLIVEIRA, J.L.R.; Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da UFMG como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. **"Estudo do comportamento técnico da briquetagem parcial da mistura, com a adição de carvão "NON-COKING COAL", para produção convencional de coque"**, 1996.

PARDINI, D.; MATUCK, P.J.P.; **Mudanças nas práticas organizacionais com a implementação do programa de gerenciamento da cadeia de suprimentos (CGS) em uma multinacional do setor siderúrgico**; Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação; ISSN online: 1807-1775; Vol. 9, Jan/Abr 2012.

QUEIROS, E.L.; ARAÚJO, T.A.D.; HORTA, M.M.B.; **RFID e o seu uso na indústria**. Semana Acadêmica - Revista Científica. ISSN 2236-6717. Disponível em <https://semanaacademica.org.br/artigo/rfid-e-o-seu-uso-na-industria>, Acesso em 25/01/2018.

RFIDJournal; Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?640#back-from-modal>; Acesso em 20 de dezembro de 2017.

RIBEIRO, M. A. **Automação Industrial**, 3^oed. Tek Treinamento & Consultoria Ltda. Salvador, 1999.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J.; MALHOTRA, M. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial**. 1. ed. São Paulo, SP: Editora Baraúna, 2009.

SIEMENS. **Manual S7 300 - PtP coupling and configuration of CP 340**. São Paulo, 2011.

Siemens; Disponível em: https://www.google.com.br/search?q=s7+300&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj58ftkrDcAhWDQ5AKHaJoA30Q_AUICigB&biw=1438&bih=652#imgrc=qLyqRfgreGyDvM:, Acesso em 20 de dezembro de 2017.

SOUZA, L.O.B.; Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da UFMG como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. **"Características de coques oriundos de diferentes condições de coqueificação e suas influências sobre a reação C-CO₂"**, 1988.

SOUZA, A. M. T. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como

requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica. **“Estudo de efficientização de uso de energia em uma usina siderúrgica integrada”**, Área de concentração: Calor e Fluidos. ANGELA MENIN TEIXEIRA DE SOUZA. Orientador: Prof. Dr. Geraldo Augusto Campolina França. 2009.

SUETAKE, M.; Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre em engenharia Elétrica. **"Implementação de Sistemas Inteligentes em Processadores Digitais para Controle de Máquinas Rotativas"**, São Carlos, 2008.

VIEIRA, C.A.; ROSIÈRE, C.A.; PENA, E.Q.; SESHADRI, V.; ASSIS, P.S.; **Avaliação técnica de minérios de ferro para sinterização nas siderúrgicas e minerações brasileiras: uma análise crítica**. Revista Escola de Minas, Versão On-line ISSN: 1807-0353, 2003.

VIEIRA, A.D.; Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção de título de doutor em Engenharia Elétrica. **"Método de Implementação do Controle de Sistemas a Eventos Discretos com Aplicação da Teoria de Controle Supervisório"**, Florianópolis, 2007.