

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS

REGINALDO DE OLIVEIRA MIRANDA

MODELO DE PREVISIBILIDADE DE GERAÇÃO DE GÁS DE COQUERIA

Belo Horizonte

2016

REGINALDO DE OLIVEIRA MIRANDA

MODELO DE PREVISIBILIDADE DE GERAÇÃO DE GÁS DE COQUERIAS

Monografia apresentada ao curso de Especialização do departamento de Ciência da computação do instituto de ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do certificado de Especialista em Otimização de Sistemas.

Orientadora: Ana Paula Couto Silva

BELO HORIZONTE

2016



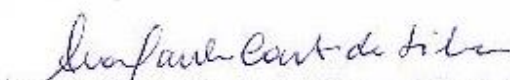
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

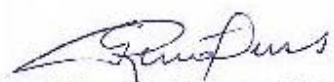
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS: ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
GESTÃO INDUSTRIAL

MODELO DE PREVISIBILIDADE DE GERAÇÃO DE GÁS DE COQUERIAS

Reginaldo de Oliveira Miranda

Monografia apresentada aos Senhores:


Prof. Ana Paula Couto da Silva – Orientadora
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


Prof. Geraldo Robson Matcus
Departamento de Ciência da Computação - UFMG


Prof. Cristiano Arbex Valle
Departamento de Ciência da Computação - UFMG

Belo Horizonte, 14 de dezembro de 2016

© 2016, Reginaldo de Oliveira Miranda
Todos os direitos reservados

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do ICEx - UFMG

Miranda, Reginaldo de Oliveira.

M672m Modelo de previsibilidade de geração de gás de coqueiras. / Reginaldo de Oliveira Miranda. – Belo Horizonte, 2016.
xi, 45 f.: il.; 29 cm.

Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Ciência da Computação.

Orientadora: Ana Paula Couto da Silva

1. Computação. 2. Coqueria. 3. Previsão estatística.
4. Siderurgia. I. Orientadora. II. Título.

CDU 519.6*61 (043)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força e direcionamento para chegar até aqui.

À minha família por ter me apoiado e suportado neste grande desafio.

Agradeço a Usiminas por proporcionar esta rica oportunidade de cursar esta especialização, providenciando recursos para esta concretização.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A minha orientadora Ana Paula Couto Silva, e ao Bruno Santos Malaquias pelo suporte e orientação na elaboração deste trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O setor siderúrgico enfrenta momentos críticos em meio à crise econômica, sendo necessário se adequar ao mercado, buscando sua competitividade. Com isto, é necessário caminhar com os processos buscando a otimização das combinações de matérias primas e o menor custo nos processos. A Coqueria é uma planta no setor siderúrgico que compromete boa parte do custo final do produto. A necessidade de garantir o menor custo e o melhor rendimento possível passa pelas análises dos processos e suas respectivas matérias primas. Ciente desta necessidade, este trabalho visa verificar a existência de correlação linear de variáveis com a geração do gás de coqueria. A partir disto, formular uma equação que traduza o modelo adequado, que possibilita uma melhor previsão de geração gás de coqueria, podendo melhorar a previsão da matriz energética e compor a otimização da mistura de carvões usados na planta. A análise será realizada a partir de análise estatística de dados históricos, coletados do período de 01/10/2012 à 30/09/2016. Com a análise estatística dos dados, realizando regressão linear múltipla, foi proposto um modelo que estima a geração de gás de coqueria, a partir da produção de coque, da umidade da mistura de carvões, do percentual de carvão baixo volátil na mistura de carvões e da matéria volátil da mistura de carvões. Foi possível obter resultados que demonstram coerência entre as respostas dos modelos obtidos e as respostas do sistema real, podendo assim ter uma previsão mais assertiva desta geração.

Palavras-chave: Produção de Gás COG. Coqueria. Modelo de Previsão. Otimização.

ABSTRACT (opcional)

The steel sector faces critical moments in the midst of the economic crisis, being necessary to adapt to the market, seeking every day its competitiveness. With this, it is necessary to walk with the processes seeking the optimization of the raw material mixes and the lowest costs in the processes. Coke is a plant in the steel sector that compromises much of the final cost of the product. The need to guarantee the lowest cost and the best possible yield is analyzed by the processes and their respective raw materials. Aware of this need, this work aims to verify the existence of linear correlation of variables with the generation of coke oven gas, and from this, formulate an equation that translates the appropriate model, which allows a better prediction of coke oven gas generation, and can improve The prediction of the energy matrix and to compose the optimization of the mix of coals used in the plant. The analysis will be performed based on statistical analysis of historical data, collected from 01/10/2012 to 09/30/2016. With the statistical analysis of the data, using a multiple linear regression, a model was proposed that estimates the coke oven gas generation, from the coke production, the moisture of the coal mixture, the percentage of low volatile coal in the coal mixture and Of the volatile matter of the coal mixture. It was possible to obtain results that demonstrate coherence between the responses of the obtained models and the real system responses, thus being able to have a more assertive forecast of this generation.

Keywords: Production of COG gas. Coke oven. Forecast Model. Optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto Geral de uma Coqueria	15
Figura 2 - Coqueificação.....	17
Figura 3 - Processo de Coqueria	18
Figura 4 – Box Plot da Geração de Gás COG	27
Figura 5 – BoxPlot da Produção de Coque	27
Figura 6 - Boxplot da Matéria Volátil da Mistura.....	28
Figura 7 - BoxPlot da Cinza da Mistura de Carvões.....	28
Figura 8 - Box Plot da Umidade da Mistura de Carvões.....	29
Figura 9 - BoxPlot do % de Carvão Alto Volátil na Mistura.....	29
Figura 10 – BoxPlot do % de Carvão Baixo Volátil na Mistura	30
Figura 11 - BoxPlot do % de Carvão Médio Volátil na Mistura	30
Figura 12 – BoxPlot do % de Carvão Soft na Mistura	31
Figura 13 - BoxPlot do % de Coque Verde de Petróleo na Mistura.....	31
Figura 14 - BoxPlot da Temperatura dos fornos.....	32
Figura 15 - BoxPlot do Tempo Bruto de Coqueificação.....	32
Figura 16 - Explicação do BoxPlot	33
Figura 17 - Aplicação do Modelo Proposto (Real X Modelo - Dados de 2013 a 2016).....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das Variáveis.....	23
Tabela 2 - Resultado da Análise Linear Múltipla	35
Tabela 3 - Resultado da Regressão Linear Múltipla	36
Tabela 4 - Gráficos Residuais da Geração de Gás	38
Tabela 5 - Planilha de Dados da Geração de Gás COG Real e Do Modelo.....	41
Tabela 6 - Testes de Comparação da frequência dos dados e a variabilidade entre COG Real e COG do Modelo.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

COG	–	Coke Over Gas (Gás de Coqueria)
AV	–	Alto Volátil
MV	–	Médio Volátil
BV	–	Baixo Volátil
SO	–	Soft
CVP	–	Coque Verde de Petróleo
MV	–	Matéria Volátil
CP	–	Componentes Principais
SAP	–	Systeme, Anwendungen und Produkte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivos específicos.....	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 DESTILAÇÃO DO CARVÃO	15
2.2 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS	22
3.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	26
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS - REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....	34
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
5 CONCLUSÕES	44
6 REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Durante o processo de destilação do carvão mineral nos fornos de coqueria é gerado o gás COG (Coke Over Gas) que é despreendido durante a coqueificação da mistura de carvões, e conduzido através de exaustão ao tratamento, sendo posteriormente direcionado para consumo interno na empresa. Para a produção do coque, a matéria prima principal é o carvão mineral. A formulação de misturas de carvões (são misturados vários tipos de carvões em função de custos e qualidade para a produção de coque) deve levar em consideração vários aspectos ligados a questões comerciais, operacionais, tecnológicas e também ambientais. Então, além de gerar o coque, da destilação dos carvões minerais é gerado também o gás, que é o objeto principal de estudo neste trabalho. Todo o gás real gerado é medido e distribuído às áreas para seu consumo. Ele substitui a compra de outros combustíveis, como o gás natural e o óleo combustível.

A geração de gás influencia na definição dos tipos de carvões a compor a mistura de carvões a ser usado na empresa analisada. Estes carvões são classificados pelo nível de volatilidade (alto volátil, médio volátil, baixo volátil e soft). A otimização do mix de carvões na empresa analisada é realizada utilizando a ferramenta scoop¹, fornecida pela empresa N-side, que tem seus modelos calibrados anualmente. Esta otimização apresenta a resposta de qual o melhor mix de carvões, atendendo às restrições de qualidades, levando em consideração custos, qualidade, geração de coque e geração de gás. Esta ferramenta além de otimizar pelos modelos de qualidade e processos, utiliza uma base histórica (média) para indicar a geração de COG.

Na empresa analisada, a geração real de COG é contabilizada a partir do consumo, ou seja, soma-se o consumo dos 10 consumidores (Laminação a quente, laminação a frio, calcinação, Altos fornos, coquerias, Aciaria 1, aciaria 2, Unigal, Injeção de finos de carvão e Caldeiras), sendo que para cada consumidor há um medidor de vazão deste consumo. Tem-se 10 fontes de possíveis erros de medição. Anteriormente, era utilizado somente um medidor na chegada do gasômetro que

¹ Uipaapl26v:8080/scoop_blh/scoop_blh

media toda a geração, e este valor era rateado pelas áreas. Porém, cada área também tinha o seu medidor e quando era realizado a divisão do consumo total, não era aceito pelas áreas por não ser o valor que o seu medidor havia indicado, então, optou-se por não mais utilizar este medidor e utilizar a soma dos consumidores.

1.1 Problema

Anualmente, é realizado o orçamento para o próximo ano, definindo a geração de gás utilizando média de dados históricos, sem relacionar às variáveis do processo. A empresa possui um déficit de combustíveis energéticos, o que esta quantificação de gás influencia de forma significativa, pois define a necessidade de compra destes combustíveis alternativos, que ele substitui, e também afeta diretamente o custo das coquearias, pois a sua geração retorna um crédito considerável (“venda” interna para as outras áreas), além de ficar uma estimativa fora da realidade, dependendo das variações dos processos propostas no orçamento.

Outra dificuldade é a deficiência na otimização da mistura de carvões, em função da geração de gás entrar como uma constante (não possui um modelo de previsão adequado à realidade), não variando em função dos parâmetros de entrada no software de otimização. Essa otimização e/ou qualquer outra análise em relação à geração de gás pode estar sendo realizada com respostas, que na verdade, não estão otimizadas corretamente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é obter um modelo matemático de previsibilidade de geração do gás de coquearias.

1.2.1 Objetivos específicos

Analisar a influência de parâmetros operacionais e características da matéria-prima na geração do COG. Será avaliado o período de Outubro de 2012 a Setembro de 2016.

Propor uma equação mais adequada ao modelo, selecionando as variáveis que são mais significativas.

1.3 Justificativa

O setor siderúrgico enfrenta um momento de grandes desafios. Além da crise global enfrentada, há um aumento exagerado nos preços das matérias primas carbonosas, devido a um descontrole no mercado entre a oferta e a demanda, o que traz impacto também nos preços das matérias primas energéticas. Por entender que a geração de gás de coqueria (um grande produto energético), a partir destas matérias primas, afeta diretamente na decisão quanto à matriz energética da empresa e da mistura de carvões, é necessário desenvolver um modelo que descreva e que possa ser utilizado para prever a geração deste gás, que possibilite a previsão desta geração para um melhor orçamento anual. A previsão com nível satisfatório de acurácia pode reduzir os custos com compra de combustíveis externos (os contratos, são definidos baseados nas previsões de orçamento) e também até reduzir custos com matérias primas para as coquerias, caso seja possível este modelo de previsão ser uma das entradas no software de otimização.

2 CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Destilação do Carvão

Para tratar o assunto estudado neste trabalho é necessário entender o processo de destilação do carvão mineral em coqueria com recuperação de subprodutos.

Coqueria é uma planta constituída de fornos horizontais, onde o carvão mineral é submetido a altas temperaturas na ausência de O₂ (Oxigênio), liberando gases e dando origem a um resíduo sólido e poroso denominado coque (LOISON, FOCH, BOYER, 1989).



Figura 1 - Foto Geral de uma Coqueria

Durante o processo de transformação do carvão mineral em coque, é gerado um gás denominado COG (Coke Oven Gas - gás de Coqueria). Este subproduto apresenta um volume de aproximadamente 439 m³/t de coque produzido e um poder calorífico de 4.200 a 4.800 Kcal/m³ (DIEMER et al., 2004).

O processo de coqueria fica mais claro, quando explicado pelas etapas sequenciais deste processo. Segue abaixo as principais etapas do ciclo operacional de uma coqueria (RIZZO, 2004):

A) Preparação da Mistura de Carvões: de acordo com as especificações de qualidade do coque exigida pela área de altos fornos, projeta-se os carvões a compor o mix (otimizado), buscando o controle de algumas variáveis cuja proporção está relacionada com a qualidade do mesmo, tais como: teores de cinza, enxofre, materiais voláteis, carbono, resistência mecânica e umidade. Os carvões que compõem esta mistura passam pela britagem para melhor controle granulométrico. Após a britagem, o mesmo é pesado e passa por um misturador indo para os silos para serem consumidos. São retiradas amostras a cada duas horas para análises físicas e químicas da mistura de carvões.

B) Enfornamento da Mistura de Carvões: é o abastecimento dos fornos com o carvão mineral, que é realizado através de uma máquina chamada carro de carregamento que se desloca na parte superior dos fornos. Os fornos são “alimentados” através de um telescópio, por gravidade, simultaneamente pelas quatro tremonhas (há 4 “bocas” de carregamentos no topo de cada forno). Ao final do carregamento, a barra niveladora entra no forno para distribuir uniformemente o carvão ao longo de todo o seu comprimento. Todo o carvão enfornado é contabilizado, considerando cada forno separadamente, através de balanças inseridas no carro de carregamento.

C) Coqueificação: O processo de transformação do carvão em coque é conhecido como coqueificação. Segundo Rizzo (2005),

A coqueificação consiste em submeter uma mistura de carvões de características adequadas a um aquecimento em ausência de ar, evitando a combustão, promovendo uma destilação do carvão. Esta destilação provoca a liberação de gases e o aparecimento de um resíduo sólido, poroso, infusível, basicamente constituído de carbono, que é o coque. Durante a coqueificação, a mistura de carvões é aquecida em torno de 1100°C numa câmara sem circulação de ar, dotada de uma abertura superior. Esta, por sua vez, permite a saída dos materiais voláteis, que são recolhidos, tratados e utilizados como gás combustível com elevado poder calorífico.

O processo de coqueificação (Figura 2) é iniciado assim que o carvão é introduzido no forno, como pode ser notado pela evolução de gases durante o

enforamento. O desenvolvimento do processo acontece através de duas frentes horizontais (o que designa o forno como horizontal), chamadas de camadas plásticas e definidas pelas temperaturas de início de amolecimento e de ressolidificação da carga, que avançam a partir das paredes (Refratários aquecidos pela combustão de gases nas câmaras de térmicas entre cada parede) em direção ao centro do forno. Esse processo passa por algumas etapas que podem ser divididas em três etapas principais: a 1ª etapa ocorre durante o aquecimento do carvão até 350°C, onde há a retirada da umidade e o início da desvolatilização. A 2ª etapa, chamada de plástica, ocorre entre 350°C e 500°C. Há uma formação de uma pasta que envolve as partes ainda estão sólidas. A 3ª etapa ocorre acima de 500°C, indo até o final da coqueificação quando a temperatura atinge ~1100°C. Nessa fase a característica pastosa começa a endurecer, pois há a perda de mais material volátil, formando o semicoque e finalmente chegando ao produto final, o Coque (COSTA, 2008).

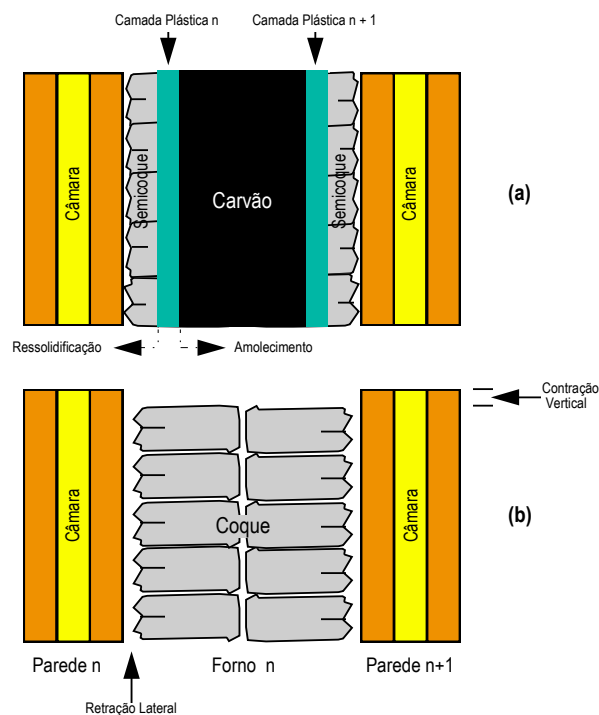


Figura 2 - Coqueificação

D) Desenforamento e Apagamento do Coque: Após a coqueificação, é definido uma escala de desenforamento, alternando os fornos de forma que um

tempo, chamado tempo líquido de coqueificação, seja respeitado. O desenformamento acontece com a operação de um conjunto de máquinas: a Desenformadora e a guia de Coque e o Carro de Extinção. A máquina desenformadora é a responsável por abrir/fechar um lado do forno a ser desenformado, empurrar com o êmbolo, a massa de coque de dentro do forno para o carro de extinção e nivelar o carvão do forno recém enformado. A máquina Guia de Coque é a responsável por abrir/fechar o outro lado do forno a ser desenformado e guiar o coque que está sendo empurrado pelo êmbolo da desenformadora, até o carro de extinção (há uma plataforma que distancia o carro de extinção, então a guia de coque tem uma grade, como se fosse uma extensão do forno). O carro de extinção é responsável por receber o coque incandescente e conduzi-lo à torre de extinção, resfriando assim o coque, e após seu resfriamento, descarregá-lo nas rampas de coque para serem enviados aos Altos fornos.

A figura 3 apresenta o esquema de enformamento e desenformamento do coque (COSTA, 2008):

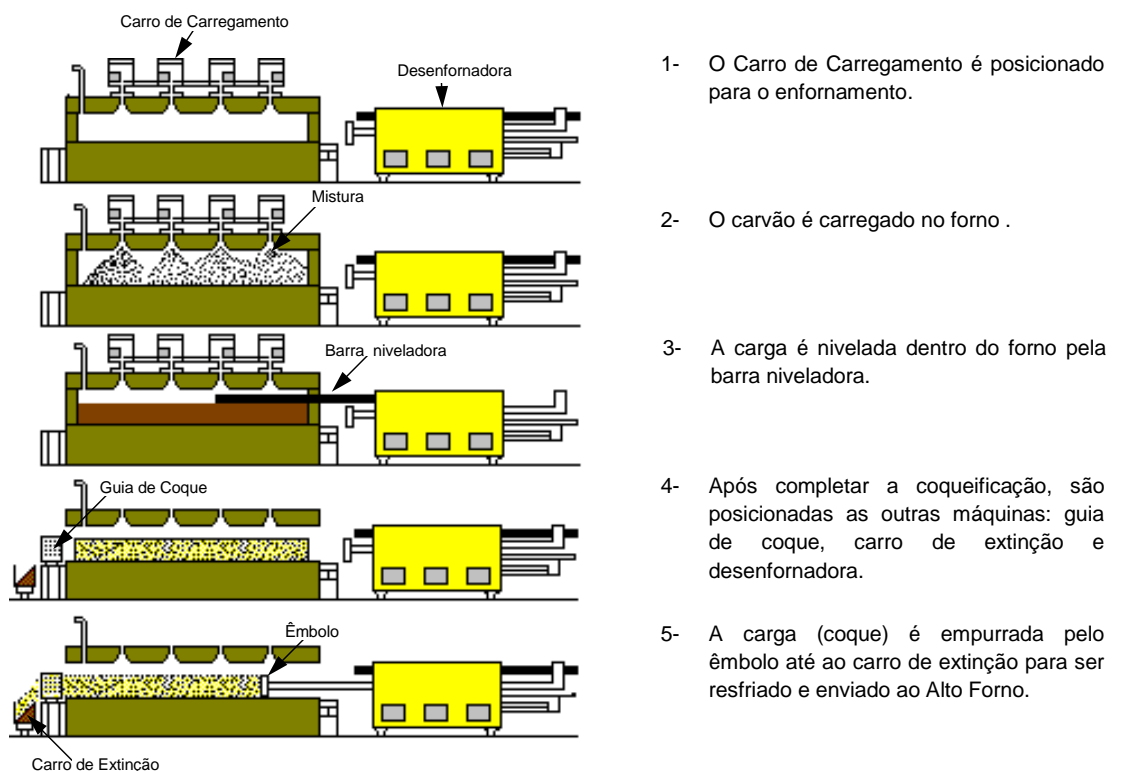


Figura 3 - Processo de Coqueria

E) Geração e Fluxo do Gás de Coqueria: Durante a destilação do carvão, as moléculas complexas das substâncias do carvão sofrem decomposição em produtos mais simples e voláteis (VIEIRA, 2004).

Segundo ARAÚJO (2006), relatório interno da unidade da pesquisa e desenvolvimento da empresa analisada, o gás começa a ser gerado no interior da carga, assim que o carvão é enfiado. A água superficial da camada de carvão que está em contato com a parede do forno evapora-se imediatamente após o carregamento e escapa como gás externo junto com os produtos de carbonização. O carvão ao longo da parede passa rapidamente através do estágio plástico e uma camada de coque de baixa temperatura é formada. Como a temperatura no centro é mais baixa, os produtos que se encaminham para o centro vão se condensando seletivamente e as zonas adjacentes às camadas plásticas se tornam enriquecidas com piche e as mais distantes com alcatrão e hidrocarbonetos leves. O piche, alcatrão e hidrocarbonetos leves são redistilados à medida que a carbonização prossegue, de tal modo que a zona plástica é precedida por uma zona condensada que se torna mais larga e mais impermeável ao gás.

O gás ainda quente, do qual o alcatrão foi removido, aquece a camada interna da carga, tornando-se enriquecido com vapor e flui em direção ao centro da carga. O vapor d'água vai se condensando no interior da carga fria, o que explica a razão da carga ser aquecida rapidamente até 100°C. A separação e redistribuição de água no interior da carga acontecem na primeira hora do processo quando a temperatura do centro da carga atinge 100°C. A água ao se evaporar escapa junto com o gás interno para a zona livre (canal destinado a coletar as matérias voláteis do carvão, formado entre a parte superior da carga e o teto do).

O vapor e o gás interno quebram as pontes de água que impedem com que as partículas de carvão fiquem mais próximas umas das outras. Isso, junto com a ação lubrificante do condensado de alcatrão, leva a um aumento de densidade de carga o que corresponde a uma contração da carga no forno. Em outras palavras, esta primeira contração é terminada no momento em que não há mais água no centro da carga.

À temperatura entre 350 e 550 °C são liberados os voláteis primários, compostos principalmente de alcatrão, além de CO₂, CO, C₂H₆, CH₄ e H₂O (esses voláteis primários, por craqueamento ou polimerização durante difusão através de

poros internos ou camada de partícula origina os voláteis secundários: C₂H₆, CH₄, CO₂, CO, H₂O, líquidos e alcatrão secundário). Entre 550 e 1000°C, são liberados os voláteis terciários, compostos, principalmente, de H₂, além de hidrocarbonetos gasosos saturados e insaturados.

O gás que sai dos fornos é succionado pelos exaustores, saindo do forno pelos tubos coletores, passando pelos resfriadores (onde o gás é resfriado a uma temperatura inferior a 35°C). O condensado nos coletores e nos resfriadores primários é constituído de alcatrão e de água que absorveu a amônia do gás, ele é bombeado para os tanques de decantação, onde há separação por gravidade. O alcatrão bruto é transferido para a usina alcatrão e o licor amoniacal para o destilador de amônia. Na sequencia, o gás passa pelos precipitadores eletrostáticos (finalizando a sua pré limpeza). O mesmo é conduzido então, para os resfriadores finais nos quais é resfriado à temperatura mais baixa possível com a água de resfriamento à disposição, a fim de condensar o naftaleno através de chuveiros de destilado de petróleo onde são removidos os compostos derivados de benzol, conhecidos como óleos leves de Coqueria. O COG é então levado ao gasômetro para distribuição aos consumidores.

2.2 Regressão Linear Múltipla

A regressão linear compreende a análise de dados amostrais para saber se e como duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a ou as outras de maneira proporcional em uma população (LORENTZ, 2011).

Segundo Lorentz (2011), a análise de regressão linear apresenta como resultado uma equação matemática que descreve um determinado relacionamento com base em uma linha reta. A equação pode ser usada para estimar, ou predizer, valores de uma variável quando se conhecem ou se supõem conhecidas os valores das demais variáveis.

Na regressão linear múltipla são consideradas duas ou mais variáveis independentes ou regressoras que possivelmente influenciam a variável dependente, ou seja, no valor de Y. É necessário identificar o impacto coletivo das variáveis independentes, assim como a contribuição de cada uma separada para o efeito geral da variável preditora (SANTOS, 2015).

Modelos de regressão linear múltipla são frequentemente usados como funções de aproximações. Isto é, a verdadeira relação funcional entre Y e as variáveis independentes X_1, X_2, \dots, X_k , é desconhecida; porém em certas faixas das variáveis independentes, o modelo de regressão linear é uma aproximação adequada (MONTGOMERY, Tradução 2012).

Segundo Montgomery (Tradução 2012), em geral a variável dependente ou de resposta, Y , pode estar relacionada a K variáveis independentes ou regressoras. O modelo abaixo é chamado de modelo de regressão múltipla com K variáveis regressoras. Os parâmetros $\beta_j, j = 0, 1, \dots, K$, são chamados de coeficientes de regressão:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + \varepsilon$$

Esse modelo descreve um hiperplano no espaço K - dimensional das variáveis regressoras $\{X_j\}$. o parâmetro β_j representa a variação esperada na resposta Y por unidade de variação unitária em X_j , quando todos os outros regressores restantes X_i ($i \neq j$) forem mantidos constantes (MONTGOMERY, Tradução 2012).

3 METODOLOGIA

A natureza deste trabalho compreende uma empresa siderúrgica de grande porte. Os dados coletados para a análise foram retirados do banco de dados desta, que possui um sistema de gestão bem eficaz, porém, o processo já citado anteriormente, que é objeto de estudo deste trabalho, é muito complexo e agressivo, dificultando assim a filtragem primária dos dados.

Abaixo serão descritas as etapas propostas para o desenvolvimento de um modelo matemático para apoio na previsão da geração de gás nas coqueiras desta Usina. Para isso, são apresentadas as estratégias de: definição das variáveis estudadas, coleta e filtragem/tratamento dos dados, análise das variáveis e proposta do modelo adequado.

Para as análises dos dados, foi utilizada a ferramenta estatística STATGRAPHIC PLUS², sendo esta, disponível na empresa estudada.

3.1 Definição e descrição das variáveis estudadas

A definição das variáveis descritas, foi baseada no conhecimento técnico do autor deste trabalho e de especialistas envolvidos no processo da destilação do carvão, que estão envolvidos no processo da geração de gás de coquearia. Foi procurado em literatura, fatores que influenciam na geração do gás COG, porém, sem muito êxito, pois não é um assunto comum e tratado diretamente. Relatórios históricos da empresa descreviam um modelo antigo, sem muito rastreamento de sua origem, que deixou de ser utilizado pela sua incoerência com a realidade. Este modelo antigo indica apenas três variáveis independentes como significativas na geração do gás COG, sendo: o teor de matéria volátil da mistura de carvões, o teor de cinza da mistura e a temperatura do gás na saída dos resfriadores.

Segue abaixo as variáveis selecionadas para serem estudadas na proposta deste trabalho e que possivelmente possam ter relação com a geração de gás COG tratado (variável independente):

² <http://www.statgraphics.com>

Tabela 1 - Descrição das Variáveis

Variável	Unidade	Descrição
G_COG	NDm	Geração de COG
Prod_Coq	t	Produção de Coque
MV	%	Matéria Volátil da Mistura de Carvões
CZ	%	Cinza da Mistura de Carvões
H2O	%	Umidade da Mistura de Carvões
% AV	%	Carvão Alto Volátil na Mistura
% MV	%	Carvão Médio Volátil na Mistura
% BV	%	Carvão Baixo Volátil na Mistura
% SO	%	Carvão Soft Volátil na Mistura
% CVP	%	Coque Verde de petróleo na Mistura
TB	h	Tempo Bruto de Coqueificação
TCOG_EXG	°C	Temperatura do Gás na Saída dos Exaustores
Temp_COQ	°C	Temperatura dos Fornos na Coqueria

As variáveis citadas na tabela 1, foram baseadas nos dados históricos do processo de destilação de carvão mineral das coquerias da empresa analisada. Os conceitos e comentários das variáveis, abaixo, são segundo o curso da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM, 2014, Carvão Aplicado a Fabricação de Coque de Alto Forno):

1 - Geração de Gás COG: Esta é a variável dependente, Descrita na Seção 2.1 (Geração e Fluxo do gás COG).

2 - Produção de Coque: Existe um modelo matemático para a produção de coque, podendo variar de empresa para empresa. Produção de coque = carvão enornado*(99-(5/6*MV)). Esta produção varia de acordo com o processo de coqueificação, se houver algum problema no processo, causando paradas operacionais pode impactar diretamente na quantidade de t produzidas.

3 - Matéria Volátil do Mix de Carvões: A matéria volátil é o material liberado, exceto a umidade, após aquecida, sendo composta de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, hidrogênio, dióxido de carbono, vapores alcotroados e água quimicamente ligada, sendo muito útil nos balanços de massa. O teor de matéria

volátil é pré-definido para obter um rendimento em coque e gás mais adequado e um nível de pressão de coqueificação inferior ao do limite de segurança operacional. Ela afeta diretamente o rendimento coque/carvão e cuja média objetivada pode ser limitada pelo balanço de gás da usina, levando também em conta a disponibilidade de fontes externas de combustíveis para a matriz interna das usinas, como óleo combustível, GLP e principalmente Gás Natural. A matéria volátil do mix de carvões prevista é calculada pela média ponderada da participação de cada carvão no mix e sua respectiva matéria volátil. Na empresa analisada é coletado amostras da mistura de carvões de 2 em 2 horas para a realização da análise química.

4 - Cinza do Mix de Carvões: A presença de cinzas é devida aos minerais associados à fase original de crescimento da vegetação ou àqueles que entraram nas jazidas durante ou depois do período de formação do carvão. O teor de cinza do mix de carvões prevista é calculado pela média ponderada da participação de cada carvão no mix e sua respectiva cinza. Na empresa analisada são coletadas amostras da mistura de carvões de 2 em 2 horas para a realização da análise química, resultando em 12 amostras reais por dia.

5 - Umidade do Mix de Carvões: Podemos resumir que a umidade residual ou inerente é a água retida nos poros ou capilares do carvão. A umidade total é somatório da umidade superficial e residual ou inerente. O teor umidade do mix de carvões prevista é calculado pela média ponderada da participação de cada carvão no mix e sua respectiva cinza. Esta umidade pode sofrer influência pelas chuvas e a sua variação implica em alterações no processo de coquearias. Na Usiminas são coletadas amostras da mistura de carvões de 2 em 2 horas para a realização da análise química, resultando em 12 amostras reais por dia.

6 - Participação das Classes dos Carvões no Mix: Os carvões são classificados em: (1) AV (Alto Volátil) : carvões com matéria volátil entre 31-40%. São carvões de baixo grau de carbonificação, que conferem uma maior reatividade e menor resistência ao coque. São mais abundantes e em geral possuem custo menores; (2) MV (Médio Volátil): carvões com matéria volátil entre 22-31%. São os carvões mais requisitados na mistura, pois apresentam geralmente as melhores propriedades plásticas para a coqueificação. Eles possuem uma ampla faixa plástica,

o que proporciona boa sobreposição de intervalos de temperatura durante a fluidez dos componentes da mistura; (3) BV (Baixo Volátil): carvões com matéria volátil entre 14-22%. Proporcionam uma boa resistência mecânica ao coque. Entretanto, são limitados a 24% na mistura, pois são responsáveis por aumento da pressão nas câmaras de coqueificação, podendo causar danos aos refratários; (4) SO (Soft): o termo “soft” é empregado para carvões de menor custo no mercado que apresentam fracas propriedades aglutinantes ou pelo menos uma propriedade fora das especificações normais para o processo, tais como o teor de cinza, ou enxofre; (5) CVP (Coque Verde de Petróleo): não considerado carvão, é um aditivo, composto de materiais carbonosos inertes que diminuem a formação de fissuras no coque. Ele contribui muito para o rendimento coque/carvão por possuir baixa matéria volátil (11%), e também para a redução da cinza no coque pois possui cinza próximo de zero.

7 - Temperatura dos fornos da coqueria: A temperatura é a responsável pela coqueificação do carvão mineral e é controlada pela combustão de gás nas câmaras de aquecimento dos fornos. O controle térmico da coqueria é fundamental para a qualidade física do coque e também pelo desprendimento da matéria volátil durante a coqueificação. A maneira como o carvão mineral é aquecido influencia no grau de maturação do material carbonizado, interferindo na intensidade e a fragilidade do coque (GUO; GONG; CHENG, 2004).

8 - Tempo Bruto (TB) de Coqueificação: O TB é definido pelo índice operacional programado. Esse índice é calculado através do tempo entre o desenformamento de um forno e seu próximo desenformamento dividido por 24 horas. Esse índice operacional multiplicado pelo número de fornos da bateria resulta no número de fornos desenformados por dia. Desta forma, o TB é determinado pela produção de coque requerida. Determinado o TB, o controle do Tempo Líquido é feito.

A geração de gás é um processo bem complexo que torna difícil de inferir exatamente a influência das variáveis independentes. No entanto, é possível indicar

possível influência destas variáveis independentes. Após a definição destas variáveis como objeto de estudo, foi dada continuidade no trabalho definindo o período da seleção dos dados, conforme descrito na próxima seção.

3.2 Coleta e análise dos dados

A empresa analisada usa um sistema chamado SIC (sistema Integrado de Coquerias) e o software de gestão SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte - Alemão), que possuem bancos de dados, comportando todas as informações do processo de coqueria, desde a chegada da matéria prima, até a entrega do produto final. A partir destes bancos de dados, foram obtidos os dados analisados neste trabalho. O período dos dados analisados compreende os dias entre 01/10/2012 e 30/09/2016, definiu-se usar este período em função da disponibilidade dos bancos de dados citados e por entender que são suficientes para o trabalho (Total de 1461 dados – Iniciais).

Para a seleção dos dados foi realizado uma primeira filtragem baseada no processo, pois, existe um procedimento na área operacional desta empresa, de que, todo o ajuste de inventário de matérias primas (diferenças entre volume físico e contábil), seja realizado na própria área. Então, são inseridos alguns fatores de correção nos parâmetros de produção, porém, não são todos rastreáveis.

Foi investido bastante tempo nesta primeira filtragem, analisando os dados espelhados aos relatórios operacionais, retirando assim da análise, dados identificados como que foram manipulados pela área de alguma forma ou por problemas em equipamentos de medição. Foram encontrados ajustes na produção de coque, na matéria volátil da mistura dos carvões, no tempo de coqueificação e também alguns problemas nos medidores de vazão que indicam a produção de gás COG. Assim, estes dados foram imediatamente retirados da análise.

Para ajudar a encontrar possíveis manipulações nos dados, ou erro de leitura ou qualquer outro desvio, foram realizadas algumas análises gráficas, indicando outlier, norteando assim possíveis desvios no processo, que podem ser inerentes do processo ou pode ser em função da manipulação dos dados (identificar causas especiais).

Está demonstrado da figura 4 à figura 15 os gráficos boxplot das variáveis analisadas. Os gráficos mostram a distribuição empírica dos dados, fornecendo informação sobre as seguintes características do conjunto de dados: locação, dispersão, assimetria, comprimento da cauda e outliers (medidas discrepantes). Serão comentados após a figura 15.

BoxPlot Geração de Gás COG

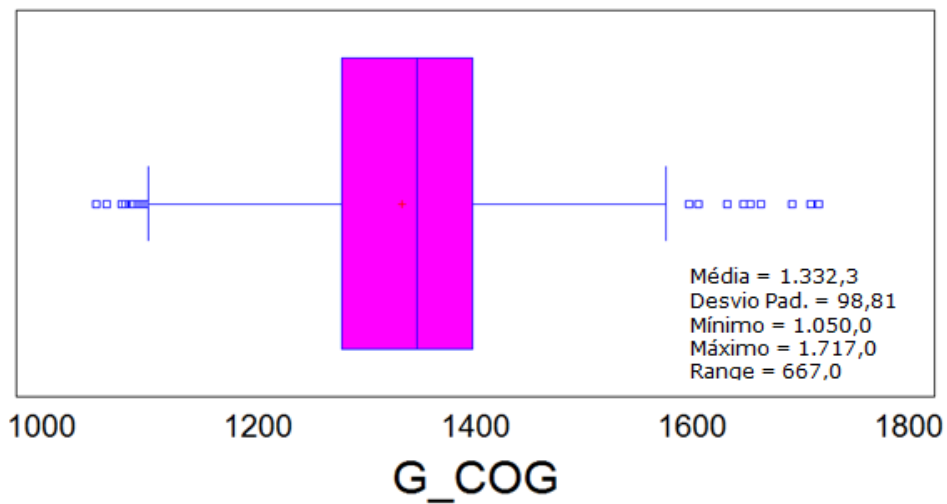


Figura 4 – Box Plot da Geração de Gás COG

BoxPlot Produção de Coque

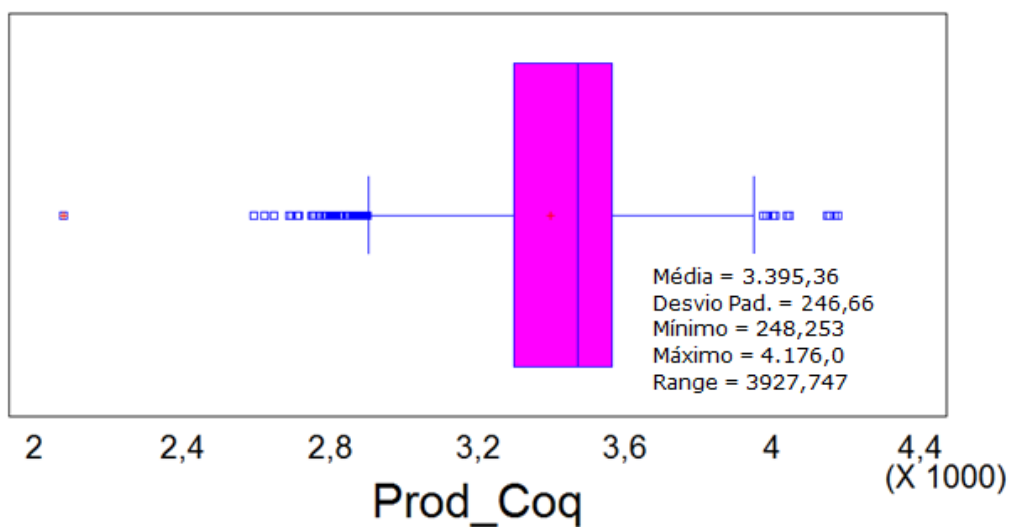


Figura 5 – BoxPlot da Produção de Coque

BoxPlot Matéria Volátil

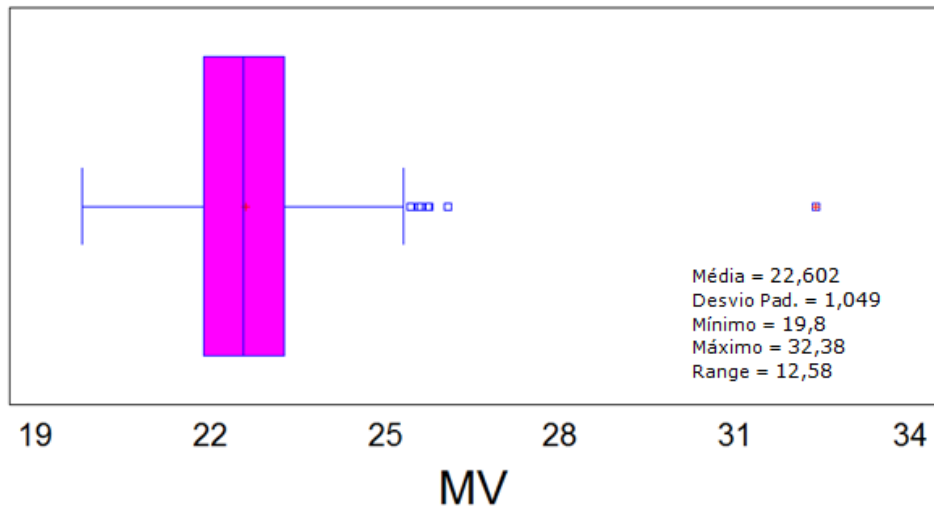


Figura 6 - BoxPlot da Matéria Volátil da Mistura

BoxPlot Cinza da Mistura de Carvões

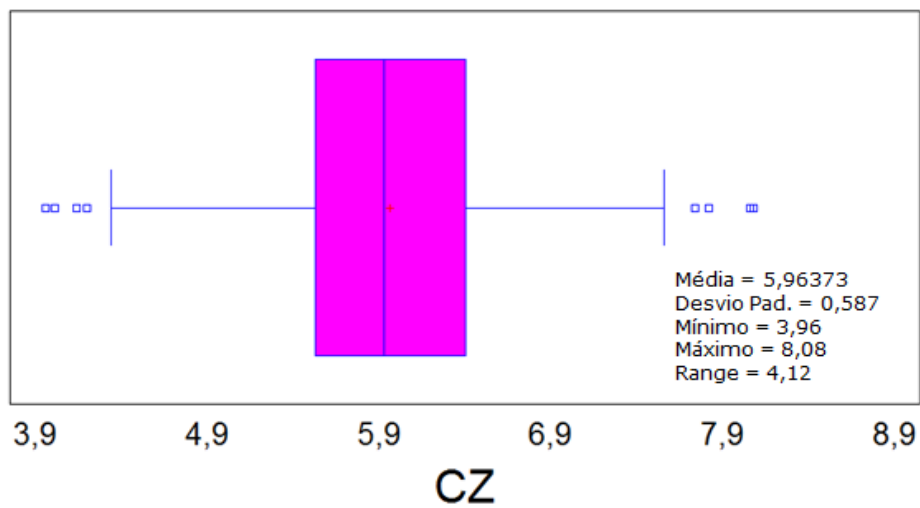


Figura 7 - BoxPlot da Cinza da Mistura de Carvões

BoxPlot Umidade da Mistura de Carvões

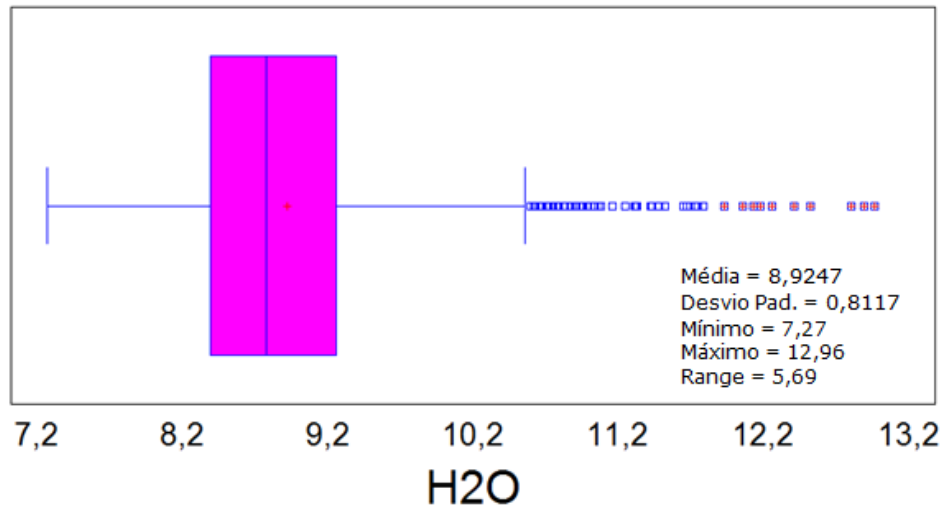


Figura 8 - Box Plot da Umidade da Mistura de Carvões

BoxPlot % de Carvões AV na Mistura

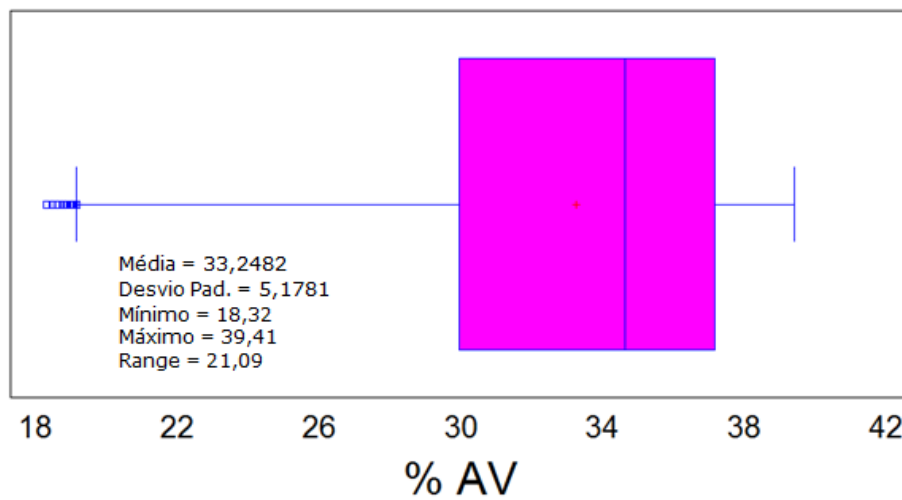


Figura 9 - BoxPlot do % de Carvão Alto Volátil na Mistura

BoxPlot % de Carvões BV na Mistura

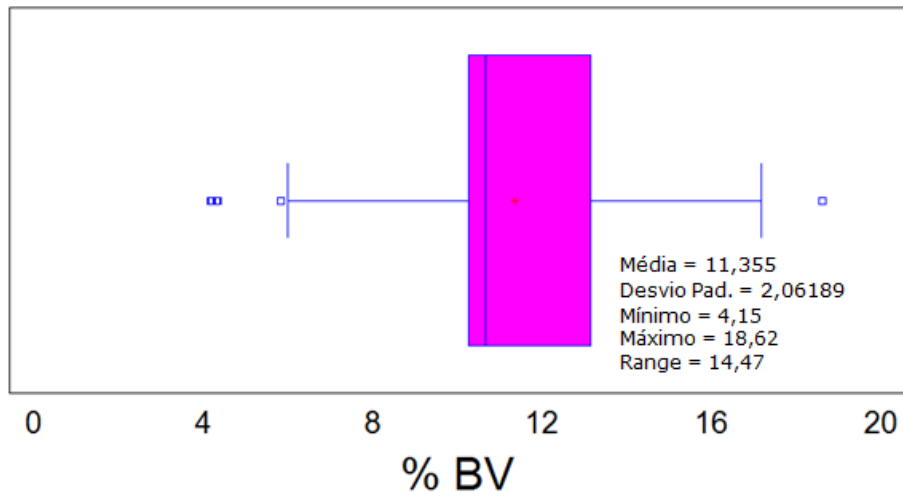


Figura 10 – BoxPlot do % de Carvão Baixo Volátil na Mistura

BoxPlot % de Carvões MV na Mistura

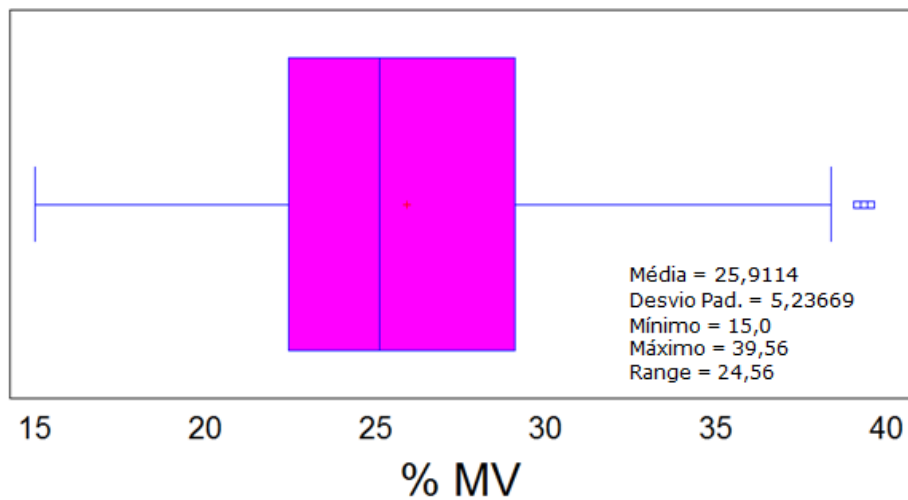


Figura 11 - BoxPlot do % de Carvão Médio Volátil na Mistura

BoxPlot % de Carvões SO na Mistura

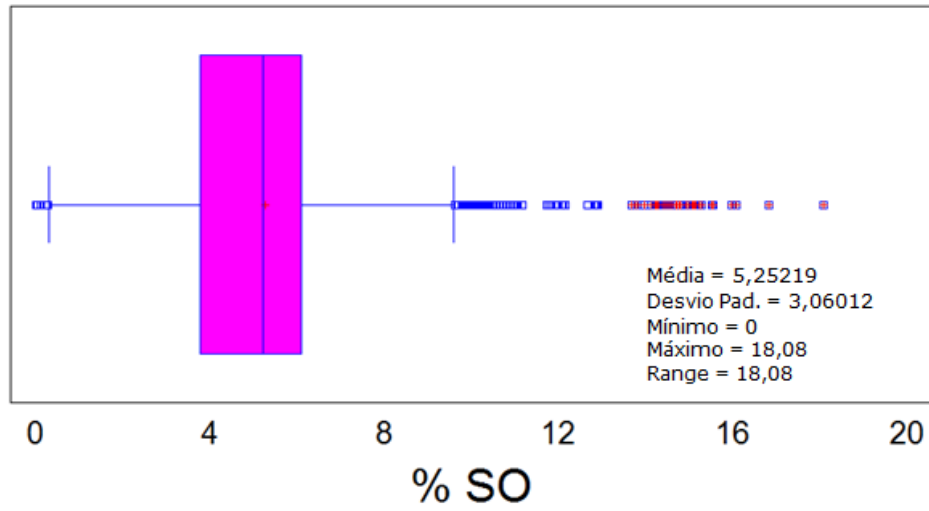


Figura 12 – BoxPlot do % de Carvão Soft na Mistura

BoxPlot % de Carvões CVP na Mistura

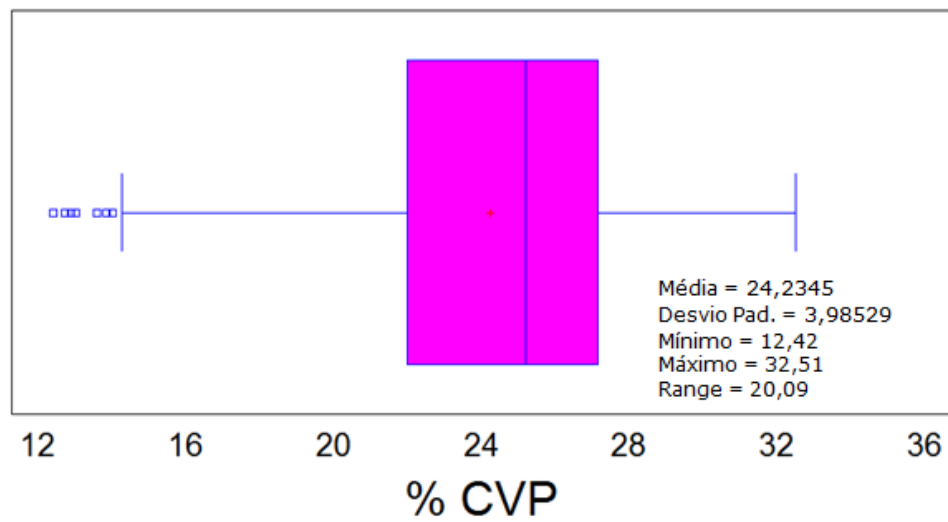


Figura 13 - BoxPlot do % de Coque Verde de Petróleo na Mistura

BoxPlot Temperatura dos Fornos

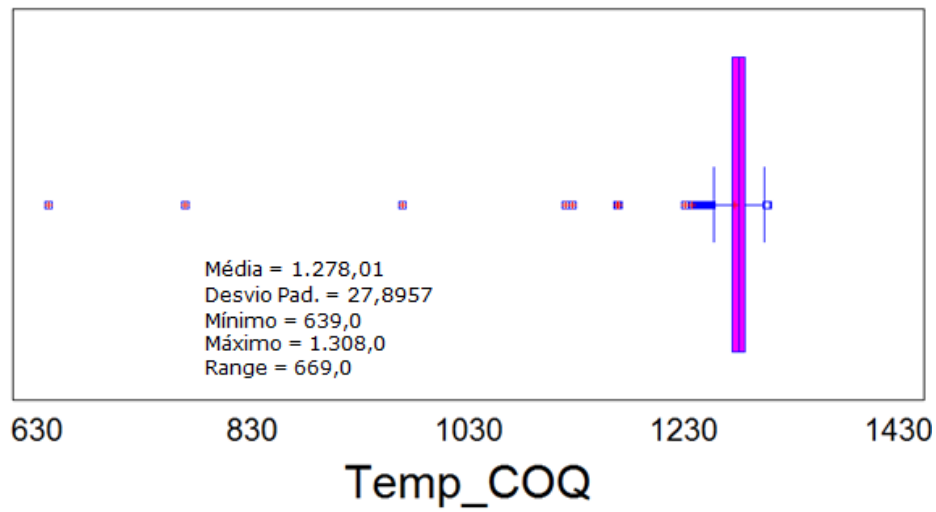


Figura 14 - BoxPlot da Temperatura dos fornos

BoxPlot Tempo Bruto de Coqueificação

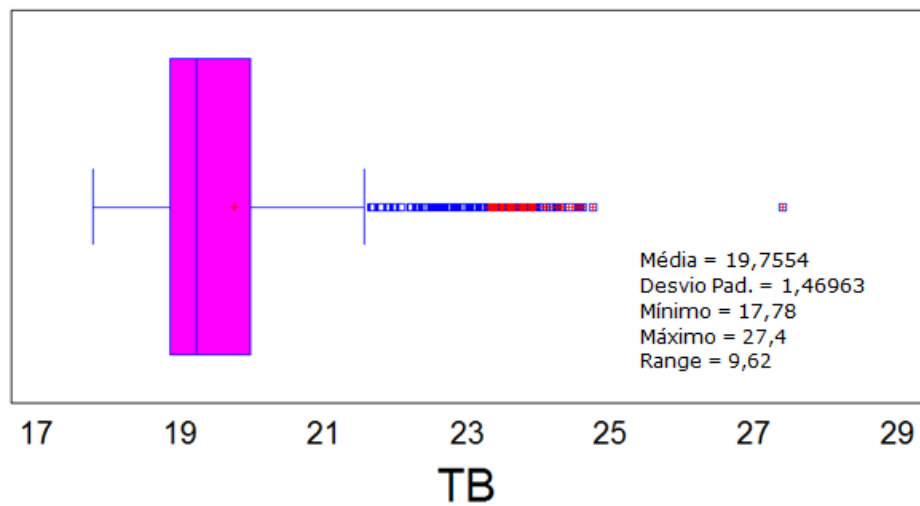


Figura 15 - BoxPlot do Tempo Bruto de Coqueificação

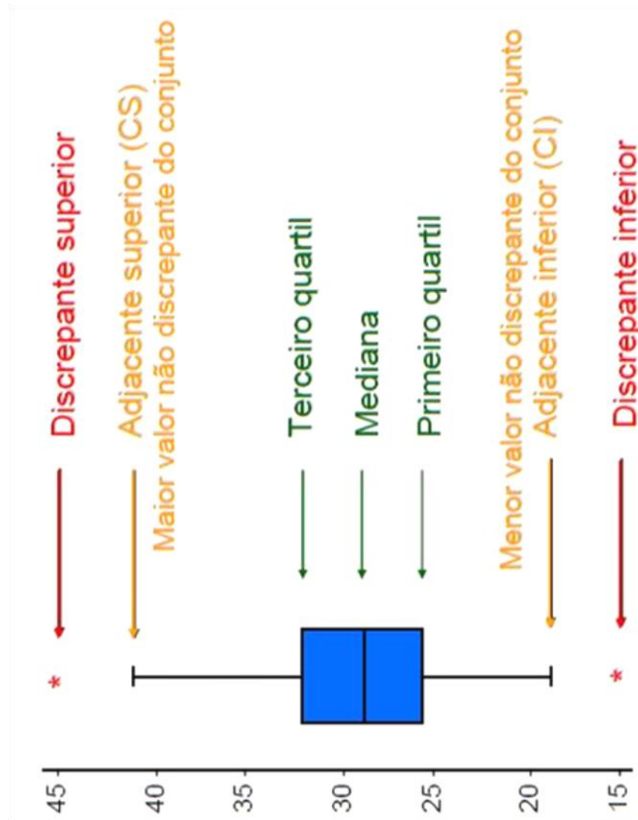


Figura 16 - Explicação do BoxPlot

Nas Figuras 4 a 15, a linha no centro da distribuição corresponde à mediana, que divide em dois grupos, a quantidade de dados de cada parâmetro igualmente. A dispersão é representada pela largura do retângulo ($Q3 - Q1$). O retângulo contém 50% dos valores do conjunto de dados. As posições da mediana e dos quartis dão uma informação da simetria e da dimensão das caudas da distribuição. Quando a distribuição dos dados é simétrica, a linha que representa a mediana ficará localizada no centro do retângulo e as linhas das extremidades do retângulo terão aproximadamente os mesmos comprimentos. Quando a distribuição dos dados é assimétrica à direita, a linha da mediana estará próxima de $Q1$ do que de $Q3$. Quando a distribuição dos dados é assimétrica à esquerda, a linha da mediana estará mais próxima de $Q3$ do que de $Q1$. Estes valores estão em cada gráfico.

Após análise dos gráficos das variáveis, foram identificados alguns dados e até períodos críticos que realmente não podem fazer parte deste estudo. E também

foram analisados os outros pontos isolados, fora dos limites, sendo alguns retirados da análise, pois foram identificados como manipulados.

Estas análises gráficas foram muito úteis, pois identificou problemas que não haviam sido identificados na análise preliminar dos dados e que poderiam influenciar de forma equivocada no resultado final deste trabalho, induzindo a modelo incompatível com a realidade. Foram levantados relatórios operacionais diários para espelhar a análise acima com o intuito de identificar possíveis desvios, ou seja, encontrar realmente dados que não são confiáveis e que não devem participar desta análise.

Com o auxílio das análises acima foi reduzido o valor total de dados iniciais de 1.461 para 1.331, ou seja, foram retirados 130 dados (9% dos dados) que poderiam contaminar a análise.

3.3 Análise Estatística dos dados - Regressão Linear Múltipla

Foram inseridas as variáveis significativas na rodada da análise de regressão linear múltipla (statgraphics), que de 12 variáveis independentes, participam do modelo somente 4 variáveis, que explicam 73,02% da variabilidade da geração de COG.

Na análise de regressão linear múltipla, são analisadas quais variáveis são significativas em relação à variabilidade da variável dependente (Geração de gás COG). Ele testa todas as variáveis em relação à dependente, buscando explicar ao máximo, esta variabilidade.

Tabela 2 - Resultado da Análise Linear Múltipla

Multiple Regression - G_COG (Outlier)

Multiple Regression Analysis

Dependent variable: G_COG
Selection variable: Outlier

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	187,363	42,5045	4,40807	0,0000
MV	6,70573	1,5571	4,30655	0,0000
§ BV	-1,52579	0,725537	-2,10298	0,0355
H2O	-13,8465	1,7563	-7,88392	0,0000
Prod_Cog	0,334376	0,00599876	55,7409	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,53162E6	4	2,3829E6	897,88	0,0000
Residual	3,52174E6	1327	2653,91		
Total (Corr.)	1,30534E7	1331			

R-squared = 73,0204 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 72,9391 percent

Standard Error of Est. = 51,5162

Mean absolute error = 40,7053

Durbin-Watson statistic = 0,89285 (P=0,0000)

Lag 1 residual autocorrelation = 0,552051

$$G_COG = 187,363 + 6,70573 * MV - 1,52579 * § BV - 13,8465 * H2O + 0,334376 * Prod_Cog$$

A Tabela 2 mostra os resultados a partir da análise das variáveis independentes em relação à variável dependente, indicando quanto da variabilidade da geração de gás COG é explicada pelo modelo. Os resultados do modelo de regressão são detalhados no capítulo a seguir.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Diante das análises neste trabalho, percebe-se que nem todas as variáveis são significativas e influenciam diretamente no desempenho da produção de COG nas coquerias. Após a realização da análise das variáveis individualmente e da regressão linear múltipla e seu entendimento, as avaliações estatísticas indicaram que a geração de COG está correlacionado fortemente com as variáveis a seguir, ficando estas, inseridas no modelo: 1) Produção de Coque, 2) Material Volátil, 3) Umidade e 4) Carvão Baixo Volátil na mistura de carvões. Segue abaixo o modelo proposto pela regressão linear múltipla:

Tabela 3 - Resultado da Regressão Linear Múltipla

Multiple Regression - G_COG (Outlier)

Multiple Regression Analysis

Dependent variable: G_COG
Selection variable: Outlier

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	187,363	42,5045	4,40807	0,0000
MV	6,70573	1,5571	4,30655	0,0000
% BV	-1,52579	0,725537	-2,10298	0,0355
H2O	-13,8465	1,7563	-7,88392	0,0000
Prod_Coq	0,334376	0,00599876	55,7409	0,0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	9,53162E6	4	2,3829E6	897,88	0,0000
Residual	3,52174E6	1327	2653,91		
Total (Corr.)	1,30534E7	1331			

R-squared = 73,0204 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 72,9391 percent
Standard Error of Est. = 51,5162
Mean absolute error = 40,7053
Durbin-Watson statistic = 0,89285 (P=0,0000)
Lag 1 residual autocorrelation = 0,552051

G_COG = 187,363 + 6,70573*MV - 1,52579*% BV - 13,8465*H2O + 0,334376*Prod_Coq

Na tabela 3, identifica-se os seguintes pontos:

(1) A equação da reta ajustada:

$$Y = 187,363 + 6,70573 * X1 - 1,52579 * X2 - 13,8465 * X3 + 0,334376 * X4$$

Onde:

Y representa Geração de gás COG

X1, a Matéria Volátil da Mistura de Carvões;

X2, o Carvão Baixo Volátil na Mistura de Carvões;

X3, a Umidade da Mistura de Carvões;

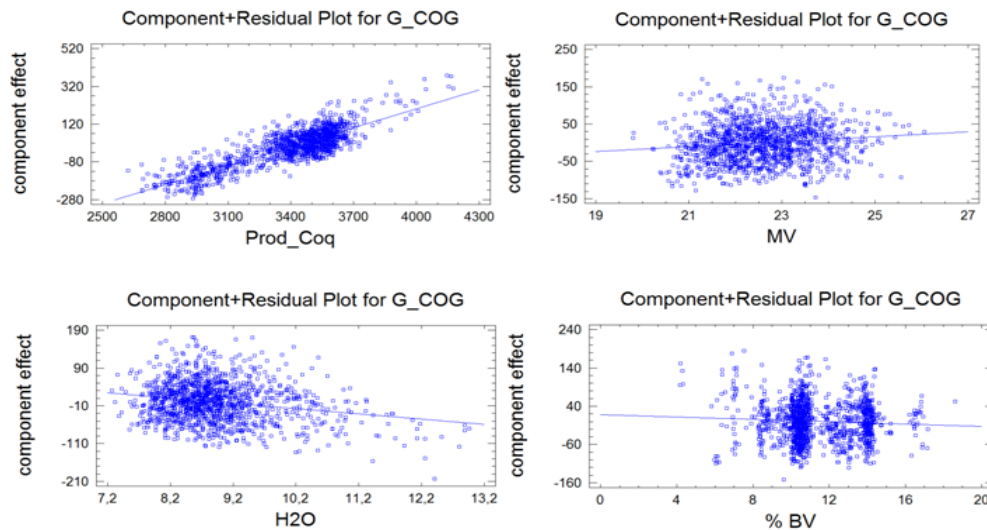
X4, a Produção de Coque.

(2) O coeficiente de determinação (R^2) é $R\text{-Sq} = 73,02\%$ e o coeficiente de determinação ajustado para o número de parâmetros é $R\text{-Sq ajust} = 72,93\%$.

(3) O quadro da análise de variância para a regressão, indica que o modelo de regressão linear foi significativo, já que a fonte de variação associada ao modelo (*Regression*) é significativa ($P = 0.000$). No entanto, a análise será focada no coeficiente de determinação ajustado, que indica o percentual dos dados que são significativamente representados pela equação proposta.

Não é possível simplificar mais este modelo. Analisando o resultado da análise demonstrada na tabela 3, o valor p mais alto nas variáveis independentes é 0,0355, pertencente a % de BV. Como o valor maior de p é menor que 0,05, esse termo é estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95%. Consequentemente, não é necessário remover mais nenhuma variável do modelo, o tornando aceitável.

Tabela 4 - Gráficos Residuais da Geração de Gás



Estão demonstrados na tabela 4, os gráficos de cada variável em relação à geração de COG (as que foram selecionadas no modelo). Percebe-se que :

(1) A produção de coque se relaciona de forma mais significativa com a geração de gás, e positivamente (a reta da correlação está inclinada para cima), por isso o seu sinal no modelo fica positivo.

(2) A Matéria Volátil possui uma correlação menor com a geração de gás. Esta variável é a que teoricamente tem a maior correlação, porém devido sua variação ser pequena, não é percebido nesta análise. A sua relação também é positiva (inclinação para cima).

(3) O % de BV e a H2O se relacionam com a geração de gás negativamente (inclinação da reta é para baixo).

Segue abaixo a avaliação do porque as variáveis que foram selecionadas para compor o modelo, realmente tem este comportamento:

✓ A produção de coque está diretamente ligada à geração de gás, pois quanto mais produz coque, mais carvões são enfiados, que compõem os voláteis que farão parte do gás COG. A cada rodada de produção nos fornos, inicia-se um novo ciclo de destilação do carvão neste. Então, se há paradas operacionais que

impactam na produção de coque ou o aproveitamento da área útil do forno não é totalmente ocupada, reduzindo assim a geração de gás e vice versa.

✓ A matéria volátil, é por definição, um fator fundamental na geração de gás, pois o seu próprio nome já diz, quantidade de material disponível para volatilizar no processo de destilação do carvão mineral.

✓ A umidade elevada da mistura de carvões impacta grandemente o controle térmico das coquerias, sendo na maioria das vezes, sua variação não acertada instantaneamente. A resposta às ações numa alteração de umidade dos carvões são posteriores prejudicando assim a coqueificação, que por sua vez impacta na completa volatilização dos gases. Por isso o impacto negativo, quanto maior a umidade menor a geração de gás COG.

✓ A participação dos carvões baixo voláteis implica numa maior retenção de gás, pois a sua fase de coqueificação, fase plástica, é mais viscosa sendo que a retenção de gases é maior, não escapam, proporcionando ao se expandirem um aumento de volume, com inchamento grande, acarretando também pressão sobre as paredes dos fornos. Este tipo de carvão além de possuir teores de voláteis baixos, ele contribui na retenção dos voláteis.

Finalizando, a Figura 17 apresenta um comparativo dos dados reais da geração de gás COG, comparado com a aplicação do modelo proposto neste trabalho. Nota-se que os dados obtidos pelo modelo de regressão linear múltipla se aproxima dos dados reais. Mas percebe-se que há distorções em alguns períodos, em função dos ruídos ($100 - 73,02 = 26,98\%$) que não foram explicados pelo modelo, citados na seção conclusão como sugestão de trabalhos futuros.

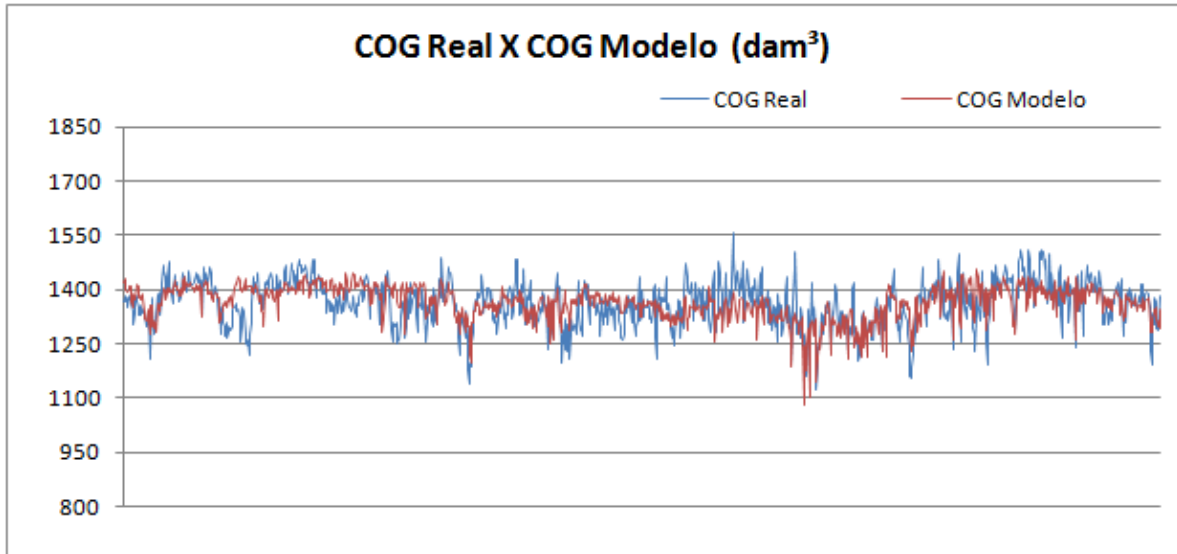


Figura 17 - Aplicação do Modelo Proposto (Real X Modelo - Dados de 2013 a 2016)

Para melhorar a análise, foi calculado os erros máximo, mínimo e da média, demonstrado na tabela 6, a partir dos dados da tabela 5:

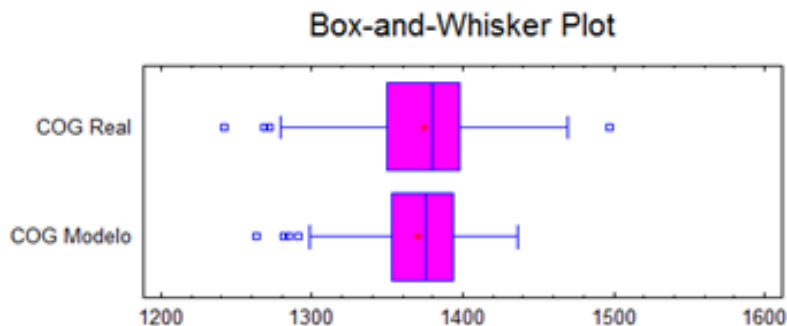
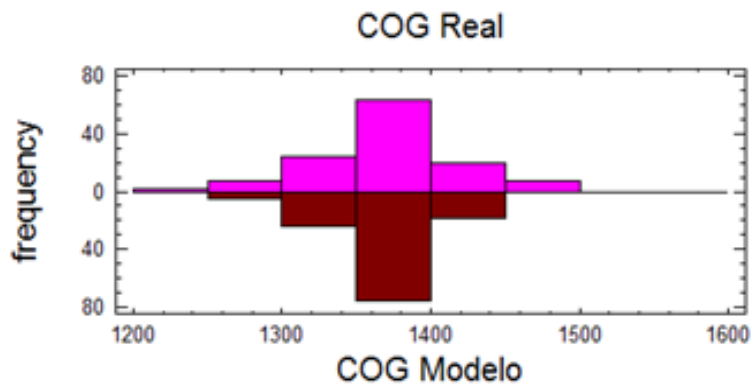
Tabela 5 - Planilha de Dados da Geração de Gás COG Real e Do Modelo

Data	Geração COG Real (dam³)	Geração COG Modelo (dam³)	Diferença (dam³)	Diferença (%)	Data	Geração COG Real (dam³)	Geração COG Modelo (dam³)	Diferença (dam³)	Diferença (%)
01/06/2016	1420	1389	-31	-2,2%	01/08/2016	1380	1353	-27	-2,0%
02/06/2016	1469	1387	-82	-5,6%	02/08/2016	1304	1335	31	2,4%
03/06/2016	1497	1407	-90	-6,0%	03/08/2016	1333	1366	33	2,5%
04/06/2016	1459	1395	-64	-4,4%	04/08/2016	1303	1380	77	5,9%
05/06/2016	1410	1377	-33	-2,3%	05/08/2016	1360	1371	11	0,8%
06/06/2016	1364	1374	10	0,7%	06/08/2016	1340	1357	17	1,3%
07/06/2016	1360	1392	32	2,4%	07/08/2016	1337	1349	12	0,9%
08/06/2016	1409	1387	-22	-1,6%	08/08/2016	1305	1377	72	5,5%
09/06/2016	1355	1396	41	3,0%	09/08/2016	1322	1345	23	1,7%
10/06/2016	1370	1373	3	0,2%	10/08/2016	1370	1372	2	0,1%
11/06/2016	1395	1372	-23	-1,6%	11/08/2016	1315	1340	25	1,9%
12/06/2016	1397	1390	-7	-0,5%	12/08/2016	1356	1372	16	1,2%
13/06/2016	1380	1347	-33	-2,4%	13/08/2016	1361	1376	15	1,1%
14/06/2016	1388	1422	34	2,4%	14/08/2016	1382	1381	-1	-0,1%
15/06/2016	1332	1322	-10	-0,8%	15/08/2016	1397	1394	-3	-0,2%
16/06/2016	1348	1393	45	3,3%	16/08/2016	1399	1396	-3	-0,2%
17/06/2016	1354	1398	44	3,2%	17/08/2016	1415	1389	-26	-1,8%
18/06/2016	1394	1402	8	0,6%	18/08/2016	1419	1384	-35	-2,5%
19/06/2016	1465	1409	-56	-3,8%	19/08/2016	1345	1376	31	2,3%
20/06/2016	1367	1380	13	1,0%	20/08/2016	1390	1332	-58	-4,2%
21/06/2016	1313	1365	52	4,0%	21/08/2016	1431	1372	-59	-4,1%
22/06/2016	1396	1394	-2	-0,1%	22/08/2016	1373	1360	-13	-0,9%
23/06/2016	1427	1360	-67	-4,7%	23/08/2016	1272	1314	42	3,3%
24/06/2016	1368	1395	27	2,0%	24/08/2016	1307	1333	26	2,0%
25/06/2016	1390	1389	-1	-0,1%	25/08/2016	1323	1325	2	0,2%
26/06/2016	1417	1410	-7	-0,5%	26/08/2016	1306	1387	81	6,2%
27/06/2016	1349	1435	86	6,4%	27/08/2016	1391	1369	-22	-1,6%
28/06/2016	1308	1380	72	5,5%	28/08/2016	1370	1376	6	0,4%
29/06/2016	1364	1390	26	1,9%	29/08/2016	1380	1368	-12	-0,9%
30/06/2016	1398	1385	-13	-0,9%	30/08/2016	1398	1378	-20	-1,4%
01/07/2016	1390	1393	3	0,2%	31/08/2016	1388	1350	-38	-2,7%
02/07/2016	1389	1396	7	0,5%	01/09/2016	1374	1364	-10	-0,7%
03/07/2016	1395	1404	9	0,6%	02/09/2016	1354	1359	5	0,4%
04/07/2016	1406	1405	-1	-0,1%	03/09/2016	1365	1364	-1	-0,1%
05/07/2016	1242	1263	21	1,7%	04/09/2016	1387	1357	-30	-2,2%
06/07/2016	1374	1436	62	4,5%	05/09/2016	1354	1376	22	1,6%
07/07/2016	1438	1391	-47	-3,3%	06/09/2016	1350	1341	-9	-0,7%
08/07/2016	1342	1337	-5	-0,4%	07/09/2016	1354	1345	-9	-0,7%
09/07/2016	1339	1370	31	2,3%	08/09/2016	1373	1353	-20	-1,5%
10/07/2016	1355	1393	38	2,8%	09/09/2016	1381	1357	-24	-1,7%
11/07/2016	1453	1403	-50	-3,4%	10/09/2016	1361	1358	-3	-0,2%
12/07/2016	1430	1363	-67	-4,7%	11/09/2016	1413	1353	-60	-4,2%
13/07/2016	1272	1370	98	7,7%	12/09/2016	1416	1379	-37	-2,6%
14/07/2016	1354	1404	50	3,7%	13/09/2016	1340	1342	2	0,1%
15/07/2016	1391	1359	-32	-2,3%	14/09/2016	1359	1346	-13	-1,0%
16/07/2016	1399	1393	-6	-0,4%	15/09/2016	1390	1365	-25	-1,8%
17/07/2016	1467	1411	-56	-3,8%	16/09/2016	1393	1370	-23	-1,7%
18/07/2016	1450	1412	-38	-2,6%	17/09/2016	1387	1371	-16	-1,2%
19/07/2016	1419	1384	-35	-2,5%	18/09/2016	1374	1377	3	0,2%
20/07/2016	1437	1391	-46	-3,2%	19/09/2016	1350	1305	-45	-3,3%
21/07/2016	1448	1391	-57	-3,9%	20/09/2016	1279	1284	5	0,4%
22/07/2016	1440	1419	-21	-1,5%	21/09/2016	1269	1281	12	0,9%
23/07/2016	1393	1416	23	1,7%	22/09/2016	1333	1317	-16	-1,2%
24/07/2016	1410	1415	5	0,4%	23/09/2016	1302	1333	31	2,4%
25/07/2016	1398	1395	-3	-0,2%	24/09/2016	1379	1343	-36	-2,6%
26/07/2016	1434	1396	-38	-2,6%	25/09/2016	1365	1348	-17	-1,2%
27/07/2016	1387	1386	-1	-0,1%	26/09/2016	1293	1318	25	1,9%
28/07/2016	1391	1360	-31	-2,2%	27/09/2016	1288	1299	11	0,9%
29/07/2016	1395	1395	0	0,0%	28/09/2016	1296	1314	18	1,4%
30/07/2016	1452	1404	-48	-3,3%	29/09/2016	1380	1291	-89	-6,4%
31/07/2016	1399	1404	5	0,4%	30/09/2016	1376	1345	-31	-2,3%

Tabela 6 - Testes de Comparação da frequência dos dados e a variabilidade entre COG Real e COG do Modelo.

SnapStat: Two Sample Comparison

	COG Real	COG Modelo
Count	122	122
Average	1374,25	1370,54
Median	1379,5	1376
Standard deviation	47,1361	32,0083
Minimum	1242	1263
Maximum	1497	1436
Std. skewness	-0,975104	-3,764
Std. kurtosis	0,412726	2,09186



A análise da tabela 6 é uma comparação de alguns parâmetros comparando o resultado do modelo proposto, com os dados reais. O que se pode concluir com a análise da tabela 6:

- (1) As medidas de tendência central dos dados reais comparado com os dados do modelo indicam equivalência, uma aproximação entre elas.
- (2) O gráfico de frequência mostra que há uma variação na distribuição dos dados, porém, também seguem uma aproximação.

(3) O Boxsplot mostra que a variabilidade dos dados, que é considerada o que está dentro da caixa (De Q1 a Q3, onde estão 50% dos dados), segue a aproximação. Percebe-se que a amplitude (distância do valor mínimo ao valor máximo) dos dados reais, é maior do que a dos dados do modelo, ou seja, a dispersão no real é maior do que a dispersão no modelo.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a análise de dados sobre a geração de gás de coqueria, propondo um modelo de previsão deste produto. As análises indicam que o modelo é útil para ser aplicado na previsão citada. O erro padrão estimado no modelo (51 Dam³) é considerado aceitável, por se tratar de um processo industrial de grande complexidade e agressividade. Com este modelo fica possível melhorar a previsão da matriz energética desta empresa, uma vez que a geração de gás COG impacta diretamente no orçamento desta matriz energética e os contratos são acordados com antecedência baseados nesta previsão.

Por usar um valor histórico para prever a geração de gás nesta empresa, valor este que não tem nenhuma variação em relação as variáveis do processo, o modelo proposto por este trabalho pode resultar em valores mais próximos do real.

Diante da análise do modelo apresentado neste trabalho podemos perceber que das 12 variáveis analisadas, 4 são significativas para mostrar o desempenho da produção de gás COG, explicando 73% da variabilidade deste processo .

Para aprimoramento deste modelo, segue abaixo sugestões para trabalhos futuros:

- Reativar a medição do gás COG na chegada do gasômetro e a geração a ser contabilizada por este oficialmente, pois hoje é contabilizado pela soma de 10 medidores de vazão (consumidores), podendo ter maiores interferências de medição e ou variação do gasômetro;
- Retirar os ajustes por problemas de inventário de matérias primas (diferença entre o estoque físico e contábil), do processo, ou seja, estudar alguma forma de incluir fatores de correção de inventário em alguma parte do processo que não impacta em análises diretas do processo. Hoje toda diferença de inventário é necessário penalizar o processo, absorvendo assim as diferenças. Não é mais passado as diferenças para os resultados diretos financeiros da empresa.
- Analisar a relação do PCI do gás COG com as variáveis referentes a matérias primas, pois não é só gerar gás, mas gerar gás com melhor poder calorífico.
- Desenvolver uma metodologia de previsão da eficiência da limpeza do gás COG, para ser uma variável a compor a análise de previsão de geração de COG.

6 REFERÊNCIAS

LORENTZ, E. G. Certificação em Engenharia da Qualidade. Curso Preparação para Exame ASQ/CQE. 2011 (volume II).

RIZZO, E. M. S. Introdução aos Processos Siderúrgicos. [S.l.]: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005.

MONTGOMERY, D., RUNGER, G. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros, 5ª edição, 2012.

DIEMER, P. et al. Potentials for Utilization of Coke Oven Gas in Integrated Iron and Steel Works. 2004.

LOISON, R.; FOCH, P.; BOYER, A. Coke: quality and production. 2. ed. London: Butterworths, 1989.

ULHÔA, M. B. et al - Influência de Fatores de Fabricação Sobre a Pressão de Coqueificação e a Resistência do Coque, XXVI Seminário de Redução de Matérias-Primas Siderúrgicas, 27 a 29/11/1995, Belo Horizonte-MG.

COSTA, L.C - Carvão Aplicado a Fabricação de Coque de Alto Forno. Treinamento - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2014.

COSTA, L.C. Parâmetros de Controle do Processo de Coqueificação das Baterias de Fornos da Cosipa. Tese (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2008.

MAGNUSSON, W. E.; MOURÃO, G. Estatística sem matemática: a ligação entre as questões e a análise. Curitiba: 2003.

CAPUTO, P. D.; JÚNIOR, J. A. de C.; LOPES, S. L. Utilização de SYGAS em Substituição a combustíveis Gasosos em Processos Siderúrgicos. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista, 2009.

REGAZZI, A. J. INF 766 - Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.