



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

WINNER MENDONÇA NOBRE LIMA

**AÇÕES PARA REDUÇÃO NO CONSUMO DE GÁS NATURAL EM UM
PROCESSO LITOGRAFICO**

**FORTALEZA
2017**

WINNER MENDONÇA NOBRE LIMA

**AÇÕES PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE GÁS NATURAL EM UM PROCESSO
LITOGRAFICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

**FORTALEZA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L711a Lima, Winner Mendonça Nobre.
Ações para redução no consumo de gás natural em um Processo litográfico / Winner Mendonça Nobre
Lima. – 2017.
33 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.

1. Litografia. 2. Gás natural . 3. Incinerador . 4. Estufa. I. Título.

CDD 620.1

AÇÕES PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE GÁS NATURAL EM UM PROCESSO
LITOGRAFICO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Mecânica do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 07 / 12 / 17

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente, você estará fazendo impossível.”. (São Francisco de Assis)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, Weber Nobre e Janeide Mendonça, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. O cuidado e a dedicação de vocês foi o que deram, em alguns momentos, a esperança para seguir.

A minha parceira de vida, eterna namorada e esposa, Íris Amado, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais vivo de verdade. Obrigado pelo carinho, companheirismo, paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre.

A minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria Alexandra S. Rios, por ter prontificado a auxiliar em meu trabalho e ter disponibilizado todo seu tempo para ajudar na conclusão deste trabalho. Além da excelente profissional que é, demonstrando em todos os momentos em que pudemos conviver que possui o dom do ensino, inspirando seus alunos de forma ímpar.

Aos amigos que a vida acadêmica me deu, Julio César, Carlos Eduardo, Bernardo Amorim, Lucas Carlos, Lucas Luppi, Thaís Baker, Felipe Martins, Lucas Hideki, Cairo Alcântara, Samuel Ximenes, Carlos Itallo, Lucas Cela, Gabriel Fabián, Diego de Souza, João Paulo, Vitor Melos, Lucas Luchese, Caio Torres, que sempre estiveram auxiliando e dando o suporte necessário para conclusão de minha graduação.

Aos amigos que a vida me trouxe, Jamille Soares, Karol Melo, Sergio Apolônio, Julyanna Maciel, Lizânia Andrade, Matheus Marinho, Illan Damasceno, Alessandra Santos, Evilásio Brito, Marina Helena, por estarem sempre presentes incentivando e apoiando a minha caminhada.

Ao Projeto Baja SAE por propiciar um dos melhores momentos na academia que pude ter.

Ao CNPq e Capes, por proporcionar a experiência do Programa Ciência sem Fronteiras.

À University of Guelph, por me acolher tão bem juntamente com o Dr. Stephen Kycia em meu internship.

RESUMO

Em um cenário atual com mercado e política de preços de venda cada vez mais competitivos, a empresa tem pouca influência em seu preço de venda, sendo este muitas vezes definido pelo mercado. Nesse sentido, a prática da gestão dos custos nas empresas tem cada vez mais demonstrada sua essencialidade e objetividade, fornecendo informações atualizadas e importantes conceitos que auxiliam na tomada de decisões nas empresas de um modo geral. O seguinte trabalho foi desenvolvido através de um estudo no setor de Litografia em uma Metalgráfica. A indústria estudada produz latas litografadas, baldes plásticos e rolhas metálicas. As latas são fabricadas nos mais diversos formatos, tamanhos e revestimentos e se destinam ao envase de produtos químicos, inseticidas, derivados de petróleo, tintas, vernizes e alimentos. Inserido no processo de fabricação de todos estes itens, tem-se a litografia do aço, que consiste em imprimir sobre o aço, por meio de prensa, um escrito ou um desenho executado com tinta. Após a impressão, a folha passa por uma estufa, na qual são evaporados os voláteis da tinta e/ou verniz para a cura da folha de aço, os voláteis saem da estufa para um incinerador de gases, com o objetivo de evitar a contaminação do ambiente de forma segura. As estufas e incineradores do processo utilizam gás natural para a geração de calor e este custo é diretamente ligado ao valor final do produto acabado. Aproximadamente 99% do consumo de gás natural da planta se dá na Litografia, a qual é a área onde foi aplicado o estudo. Dessa forma, as ações geradas a partir deste trabalho são: Programação da produção, análise do desgaste de máquinas, quantificação de perdas em tubulações sem revestimento térmico e redimensionamento de insuflamento de incinerador. Estas ações, quando concretizadas, promoverão uma redução no consumo de gás natural, gerando uma economia de até R\$ 57.866,14 por mês.

Palavras Chave: Litografia. Gás Natural. Estufa. Incinerador.

ABSTRACT

In a current scenario with a market and a policy of increasingly competitive sales prices, the companies have little influence on their selling price, which is often defined by the market. In this sense, the practice of cost management in companies has increasingly demonstrated its essentiality and objectivity, providing up-to-date information and important concepts that help decision making in companies in general. The following work was developed through a study in the field of Lithography in a Metalgraphic. The industry in this study produces lithographed cans, plastic buckets and metal crown caps. The cans are manufactured in the most diverse formats, sizes and coatings and are intended for the packaging of chemicals, insecticides, petroleum products, paints, varnishes and food. Inserted in the process of manufacturing all these items, there is the steel lithography, which consists of printing on the steel, by means of a press, a writing or a drawing executed with ink. After printing, the sheet passes through an oven, in which the volatiles of the paint and / or varnish are evaporated to cure the steel sheet, the volatiles leave the oven to a incinerator, in order to avoid contamination of the environment. The ovens and incinerators use natural gas for the generation of heat and this cost is directly linked to the final value of the finished product. Approximately 99% of the natural gas consumption of the plant occurs in lithography, which is the area where the study was applied. Thus, the actions generated from this work are: Production scheduling, Machine wear analysis, quantification of losses in pipes without thermal coating and scaling of incinerator insufflation. These actions, when implemented, will promote a reduction in the consumption of natural gas that saves up to R\$ 57.866,14 per month.

Keywords: *Lithography. Natural Gas. Stove. Incinerator.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Jules Chéret, Bal du Moulin Rouge, 1889. Litografia a cores, 124 x 88 cm.....	17
Figura 2 – Fluxograma Simplificado de Combustível e Gases.....	22
Figura 3 – Corte de uma Tubulação Isolada.....	22
Figura 4 – Maquinário de Litografia em 3D.....	22
Gráfico 1 – Evolução da Participação do GN na oferta Primária de Energia no Brasil.....	20
Imagem 1 – Tubulação sem Revestimento Térmico na Lito 04.....	29
Imagem 2 – Junta de Expansão Antes e Depois.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Leitura de Consumo de Gás Natural.....	22
Tabela 2 – Consumo de Gás Natural.....	22
Tabela 3 – Parâmetros para Simulação de Consumo de GN na Litografia.....	24
Tabela 4 – Resultados da Leitura de Consumo de Gás Natural.....	28
Tabela 5 – Resultados do Consumo de Gás Natural.....	28
Tabela 6 – Resultados da Simulação de Consumo de GN na Litografia.....	29
Tabela 7 – Comparativo Atual e Previsto Após Implementação – Insuflador Estufa.....	30
Tabela 8 – Comparativo Atual e Previsto Após Implementação(\$/mês) –Incinerador 04...30	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEGÁS	Companhia de Gás do Ceará
GN	Gás Natural
Lito	Litografia
SCFM	Square Cubic Feet Meter

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Densidade do ar
μ	Coefficiente de atrito
β	Coefficiente de expansão térmica
k	Condutividade térmica
c_p	Calor específico a pressão constante
α	Difusividade térmica
q	Taxa de transferência de calor
ν	Viscosidade cinemática do ar
Gr	Número de Grashof
Pr	Número de Prandtl
Nu	Número de Nusselt
h	Coefficiente de transferência de calor
A	Área de troca de calor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	17
3.1 Indústria Litográfica.....	17
3.2 Gás Natural.....	18
3.3 Meio Ambiente.....	20
4. METODOLOGIA.....	21
4.1 Localização do estudo.....	21
4.2 Consumo de Gás Natural.....	22
4.3 Análise do Problema.....	22
4.3.1 Programação da Produção.....	23
4.3.2 Desgaste de Máquinas.....	24
4.3.3 Revestimento Térmico.....	24
4.3.4 Desativação de Máquinas.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Consumo de Gás Natural.....	27
5.2 Análise de Problemas.....	27
5.2.1 Programação da Produção.....	27
5.2.2 Desgaste de Máquinas.....	28
5.2.3 Revestimento Térmico.....	29
5.2.4 Desativação de Máquinas.....	32
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	35
ANEXO A – Datasheet Maxon Circular Incino Pak.....	37

1 INTRODUÇÃO

A Metalgráfica produz latas litografadas, baldes plásticos e rolhas metálicas. As latas são fabricadas nos mais diversos formatos, tamanhos e revestimentos e se destinam ao envase de produtos químicos, inseticidas, derivados de petróleo, tintas, vernizes e alimentos. Os baldes plásticos são utilizados no envase de tintas, vernizes, colas e alimentos. As rolhas metálicas atendem à indústria de bebidas carbonatadas, como: cervejas, refrigerantes e água mineral. São exportadas rolhas metálicas para vários países da América do Sul, América Central, América do Norte, Europa e África.

Inserido no processo de fabricação de todos estes itens, tem-se a litografia do aço, que consiste em imprimir sobre o aço, por meio de prensa, um escrito ou um desenho executado com tinta. "Litografia" é um termo de origem grega, formada por lithos (pedra) e graphein (escrever). O termo foi criado por Mitterer em 1805, em Munique. Coube a Alois Senefelder o mérito de ter equacionado e sistematizado os princípios básicos da impressão a partir da pedra. Foi em 1796 em Munique, que Senefelder, autor de teatro de sucesso discutível, na procura de meios de impressão para seus textos e partituras, uma vez que não encontrava entusiasmo por parte dos editores, acabou por inventar um processo químico que permitia uma impressão econômica e menos morosa que os procedimentos gráficos da época. A invenção abriu novos caminhos para a produção artística como significa também um enorme passo na evolução da impressão de caráter comercial. Esta técnica de impressão utiliza uma pedra calcária de grão muito fino e baseia-se na repulsão entre a água e as substâncias gordurosas. Ao contrário das outras técnicas da gravura, a Litografia é planográfica, ou seja, o desenho é feito através da gordura aplicada sobre a superfície da matriz, e não através de fendas e sulcos na matriz, como na Xilogravura e na gravura em metal (VISUAL ARTS CORK, 2009).

Após a impressão, a folha passa por uma estufa, na qual são evaporados os voláteis da tinta e/ou verniz para a cura da folha de aço, os voláteis saem da estufa para um incinerador de gases, com o objetivo de destruir termicamente resíduos perigosos com temperaturas que ultrapassam 700 °C. As estufas e incineradores do processo utilizam gás natural para a geração de calor em seu interior e este custo é diretamente ligado ao valor final do produto acabado.

Na indústria, o gás natural é utilizado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz. Também é utilizado como matéria-prima

nos setores químicos e petroquímicos, principalmente para a produção de metanol, e de fertilizantes, para a produção de amônia e ureia. É usado ainda como redutor siderúrgico na fabricação de aço. O gás natural proporciona uma combustão limpa, isenta de agentes poluidores, ideais para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como na indústria de cerâmica, fabricação de vidro e cimento (ANEEL, 2008).

Dessa forma, este trabalho foi feito buscando diminuir o consumo de Gás Natural nesta indústria, a fim de reduzir o consumo de gás de forma a não afetar na eficiência das máquinas e produção. Os estudos de ações feitos envolveram a análise do sistema de gás natural, estudo dos equipamentos envolvidos no processo de queima do gás e cálculo teórico de redução do consumo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo de possíveis ações que se desenvolvam na Indústria Litográfica que possam promover a redução do consumo de gás, aumentando a margem de lucro da empresa.

2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o funcionamento do Processo Litográfico;
- Estudar o comportamento do consumo de gás e como ele se relaciona com a produção;
- Identificar pontos de melhoria no consumo de gás natural;
- Quantificar as perdas no processo;
- Mensurar monetariamente a oportunidade de ganho com as ações.

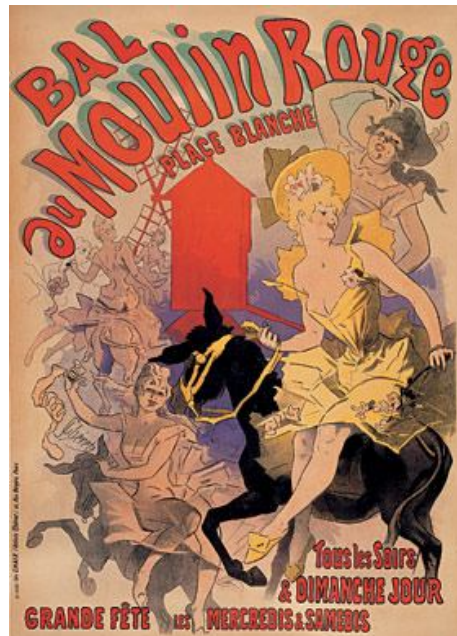
3 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

3.1 INDÚSTRIA LITOGRAFICA

O método de impressão chamado litografia foi inventado por Alois Senefelder na Alemanha em 1798. Litografia é utilizada na impressão de revistas, mapas, jornais, cartazes e outros tipos de impressos, itens produzidos em massa de texto e gráficos. Empresas de impressão litográfica aumentaram em 3000% entre os anos de 1900 e 1970. Atualmente a maioria dos livros são impressos com litografia offset (TIPOGRAFOS, 2007).

Alois Senefelder, inventor da litografia, foi um dramaturgo frustrado pela forma como era caro para fazer cópias de sua obra. Decidiu tentar gravura em lajes de calcário. Para corrigir seus erros, ele usou um fluido feito de luz-negra, a água da chuva, sabão e cera. Senefelder descobriu que seu corretivo líquido, sendo gorduroso, tinha repellido a água e absorvido tinta, por isso, poderia ser utilizado no seu processo. Este processo químico permite uma impressão econômica e menos morosa que os procedimentos gráficos da época (ESTIVALET, 2012). A Figura 1 é um exemplo de Litografia a cores:

Figura 1 - Jules Chéret, Bal du Moulin Rouge, 1889. Litografia a cores, 124 x 88 cm



Fonte: ARTS ENTERTAINMENT, 2008.

A Litografia baseia-se na repulsa recíproca da gordura e da água. Sobre a superfície da pedra desenha-se com instrumentos como tuche, lápis e crayons litográficos à base de gordura. Depois de feito o desenho, a pedra passa por um tratamento químico, recebendo acidulações com uma combinação de goma arábica com ácidos nítrico, fosfórico e tânico, em proporções adequadas a cada tipo de desenho. Quando se acidula a pedra litográfica, conservam-se as áreas sem desenho, eliminando nestas toda a gordura e preparando a pedra para que retenha mais água do que o faria normalmente. Preparam-se as áreas com imagem (desenhadas com gordura), para que estas repilam a água, mas aceitem a tinta gordurosa que será aplicada com o rolo de entintagem. Este fenômeno físico-químico é chamado de adsorção: a atração que certas gorduras manifestam ante a pedra granitada (PACIORNIK, 2011).

As placas de calcário originais eram pesadas, caras, difíceis de armazenar e não podiam dobrar para fazer um cilindro em uma prensa rotativa, de modo que as placas de metal foram introduzidas. Em 1951, a empresa americana 3M desenvolveu o primeiro prato prático de alumínio pré-revestido. No final de 1970, a 3M desenvolveu também “Aqualith”, placas que não precisam de agentes de desenvolvimento especiais após a exposição, as áreas expostas poderiam ser removidas com água. Na década de 1990, a empresa japonesa Toray introduziu uma placa litográfica sem água que repele a tinta das áreas que anteriormente atraíam água (VISUAL ARTS CORK, 2009).

3.2 GÁS NATURAL

A versatilidade é a principal característica do gás natural. Este energético pode ser utilizado tanto na geração de energia elétrica, quanto em motores de combustão do setor de transportes, na produção de chamas (como substituto ao gás liquefeito de petróleo, GLP), calor e vapor. Por isso, a aplicação é possível em todos os setores da economia: indústria, comércio, serviços e residências (ANEEL, 2008).

O gás natural é um hidrocarboneto resultante da decomposição da matéria orgânica durante milhões de anos. É encontrado no subsolo, em rochas porosas isoladas do meio ambiente por uma camada impermeável. Em suas primeiras etapas de decomposição, esta matéria orgânica de origem animal produz o petróleo. Em seus últimos estágios de degradação, o gás natural. Por isso, é comum a descoberta do gás natural tanto associado ao petróleo quanto em campos isolados (gás natural não associado) (BIRELO, 2013).

Assim como ocorre no petróleo, a composição básica do gás natural são as moléculas de hidrocarbonetos (átomos de hidrogênio e carbono) encontradas em estado

volátil e de baixa densidade. O elemento predominante é o gás metano, mas também há, em proporções variadas, etano, propano, butano, gás carbônico, nitrogênio, água, ácido clorídrico e metanol, além de outros. A proporção de cada um na composição final depende de uma série de variáveis naturais, como processo de formação e condições de acumulação no reservatório. Em seu estado bruto, o gás natural não tem cheiro e é mais leve que o ar. Assim, deve ser odorizado para que eventuais casos de vazamento sejam detectados (CEGÁS, 2017).

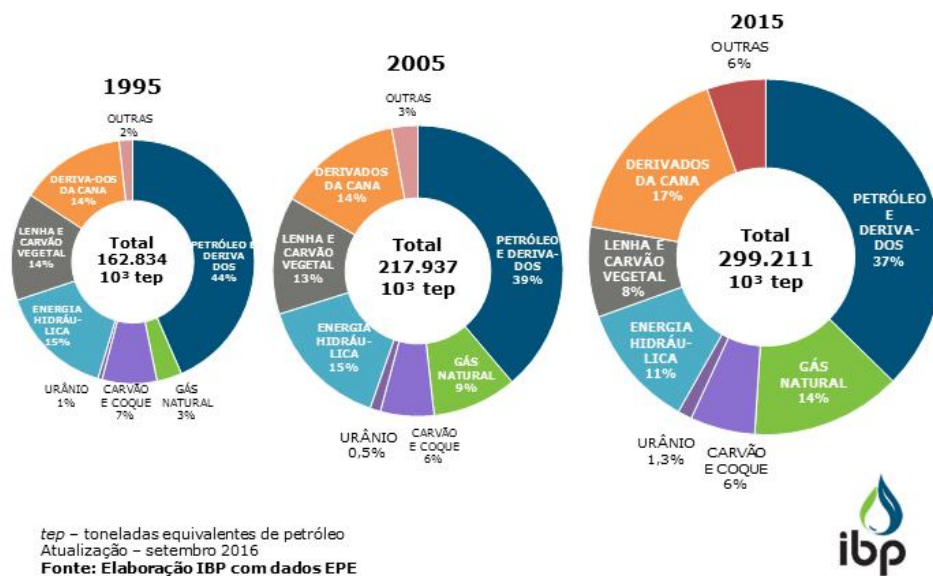
A cadeia produtiva do gás natural envolve seis etapas. A primeira é exploração, na qual o foco é a possibilidade de ocorrência ou não do gás natural. A segunda é a exploração, que consiste na instalação da infraestrutura necessária à operação do poço e nas atividades de perfuração, completação e recompletação de poços (colocação das cabeças de vedação, válvulas, comandos remotos e demais acessórios que permitirão a produção). A terceira é a produção, processamento em campo (para separação do petróleo em caso de o gás ser associado) e o transporte até a base de armazenamento. A quarta é o processamento, na qual se retiram as frações pesadas e se realiza a compressão do gás para a terra ou para a estação de tratamento. A quinta é o transporte e armazenamento (esta última não existe no Brasil, mas é comum em países de clima frio, de modo a formar um estoque regulador para o inverno). E, finalmente, há a distribuição, que é a entrega do gás natural para o consumidor final (ANEEL, 2008).

O transporte do poço às unidades de consumo exige a construção de uma rede de gasodutos de capacidade e pressão variáveis. O ramal principal, que liga o poço às instalações de distribuição, é dimensionado para transporte de grandes volumes a elevada pressão. Os ramais secundários, que chegam ao consumidor final, são menores, mais pulverizados e, no geral, subterrâneos. Para o caso de grandes consumidores, há uma estação intermediária chamada *city gate*. No caso de não ser possível construir o gasoduto, o gás passa por um processo de liquefação, no qual atinge 160 graus abaixo de zero. Esse processo reduz o volume 600 vezes, o que favorece o transporte por navios chamados “metaneiros”. No porto receptor, esse material é encaminhado a plantas ou terminais de armazenamento e regaseificação para posterior distribuição.

No Brasil, a única companhia a operar na exploração e transporte de gás natural é a Petrobrás, sozinha ou em parceria com a iniciativa privada (como é o caso do gasoduto Bolívia/Brasil). Já para a distribuição, o país tem 27 empresas, das quais a maioria conta com a participação da Petrobrás no capital acionário. Essas empresas detêm o monopólio de atuação em suas regiões de concessão. De acordo com o relatório anual do

Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis referente a 2015, o gás natural é responsável por 14% da oferta de energia primária do país. No gráfico 1, pode-se ver a participação do gás natural na oferta primária de energia no Brasil.

Gráfico 1 - Evolução da participação do gás natural na oferta primária de energia no Brasil.



Fonte: IBP, 2016.

3.3 MEIO AMBIENTE

A utilização do gás natural vem se expandindo ao acompanhar a tendência mundial de busca por fontes de energia mais eficientes e limpas. Dentre os vários aspectos do uso desse combustível, pode-se citar:

Vantagens: por realizar combustão completa, o gás natural gera menores emissões de gases de efeito estufa em relação ao petróleo e carvão mineral, apresentando reduzido risco de acidentes, visto que possui densidade menor que a do ar, facilitando a sua dispersão na atmosfera em caso de vazamentos.

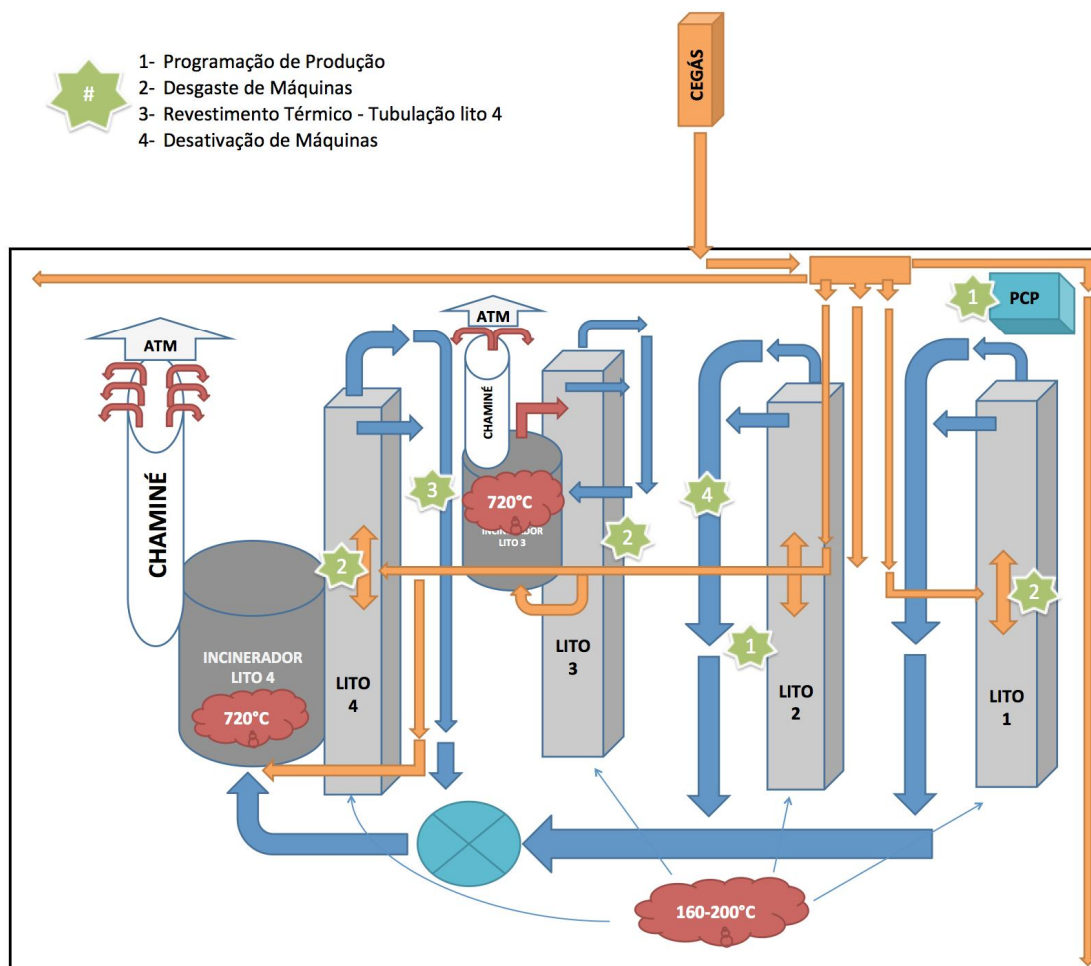
Desvantagens: embora os gases emitidos sejam em menor quantidade, esses gases contribuem para o aumento do efeito estufa; em locais de baixa concentração de oxigênio, se entrar em combustão, pode gerar monóxido de carbono (tóxico) (UCS USA, 2017).

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO

O estudo foi realizado no Processo de Litografia de uma Metalgráfica, onde foram realizadas as análises. Na Figura 2 está apresentado o fluxograma do processo de Litografia e as ações que foram estudadas:

Figura 2 - Fluxograma Simplificado de Combustível e Gases



Fonte: Autor

4.2 CONSUMO DE GÁS NATURAL

Inicialmente, é necessário obter o consumo de gás natural em cada máquina a fim de ter um melhor entendimento se existe diferença no consumo entre as máquinas. A leitura foi feita diretamente no registro de leitura de consumo na CEGÁS. Na entrada da fábrica, existe uma pequena estação de distribuição de Gás Natural, na qual existe a aferição constante da CEGÁS e pode ser realizado o acompanhamento do consumo através do registro. Para isto, foram realizadas leituras em diversas situações, na Tabela 1 estão os parâmetros monitorados:

Tabela 01 - Leituras de Consumo de Gás Natural

Situação	Leitura (m ³ /h)
1) Lito 01 + Incinerador 04	
2) Lito 04 + Incinerador 04	
3) Lito 01 + Lito 04 + Incinerador 04	
4) Lito 03	

Fonte: Autor

Nesta tabela, temos quatro situações de consumo. A primeira situação, temos apenas a Lito 01 e o Incinerador 04 ligados simultaneamente, portanto a leitura de consumo medida será exatamente o consumo destes dois equipamentos. Analogamente teremos o mesmo ocorrendo para as demais situações.

Obtendo estes valores, o que resta é encontrar os valores de consumo individuais por máquina. Para isso, deve-se subtrair a situação 1 ou 2 da situação 3 na Tabela 01 para encontrar o valor do consumo individual de uma das estufas. Em seguida, apenas substituindo o valor, facilmente encontra-se os demais valores de consumo para a estufa restante e incinerador 4, como mostrado na Tabela 02.

Tabela 02 - Consumo de Gás Natural

Situação	Consumo (m ³ /h)
Lito 01 = Sit. 3 – Sit. 2	
Lito 04 = Sit. 3 – Sit. 1	
Incinerador 04 = Sit. 3 – Consumo Lito 1 e 4	
Lito 03	

Fonte: Autor.

4.3 ANÁLISE DO PROBLEMA

O consumo do gás natural é diretamente ligado aos seguintes pontos:

- 1- Programação de produção: A forma como a produção é disposta entre as máquinas, produzindo pequenas quantidades e gerando *setup* na produção.
- 2- Desgaste das máquinas (Redução de Produção Nominal): O projeto inicial dos incineradores foi para uma quantidade de voláteis relativa à nominal da máquina. Se a produção é reduzida, a vazão de ar passada pelo incinerador também é reduzida.
- 3- Revestimento térmico: Tubulações de passagem de gás em alta temperatura podem perder elevado nível de calor se não revestida termicamente. Sua influência será direta no consumo do gás natural para manutenção da temperatura no incinerador.
- 4- Desativação de máquinas: O incinerador 4 é projetado para uma volume de gases de 3 estufas. A desativação de uma dessas estufas provocará um consumo excessivo distribuído entre apenas 2 estufas.

4.3.1 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

O setor de planejamento e controle de produção é responsável por programar as linhas produtivas para suprir a demanda de outras áreas da empresa. Esta programação nem sempre leva em conta os custos agregados à produção, como por exemplo o gás natural. Neste este caso, considerou-se o desenvolvimento de um indicador de produção, levando-se em conta a quantidade de folhas que deveriam ser produzidas e a nominal da máquina, relacionando com as paradas para *setup* previstas e o consumo de gás que seria gerado a partir destes fatores.

Para o desenvolvimento deste simulador, foi necessário o consumo específico de cada máquina e conciliar este consumo com a programação destas, assim como estabelecer economia de combustível se a máquina fosse desligada durante uma parada. A interação entre todos estes fatores resultou na elaboração da Tabela 03.

Tabela 3 - Parâmetros para Simulação de Consumo de GN na Litografia

Simulação – Litografia					
Folhas Lito 1:		Turnos Lito 1:		Folhas por turno 1:	
Folhas Lito 4:		Turnos Lito 4:		Folhas por turno 4:	
Folhas Lito 3:		Turnos Lito 3:		Folhas por turno 3:	
Tempo de Paradas Lito 1:				Quant. de Paradas Lito 1:	
Tempo de Paradas Lito 3:				Quant. de Paradas Lito 3:	
Tempo de Paradas Lito 4:				Quant. de Paradas Lito 4:	
Consumo Lito 1:	0	m ³			
Consumo Lito 3:	0	m ³		Custo de Gás:	R\$ 0
Consumo Lito 4:	0	m ³		Custo de Gás por folha:	R\$ 0
Consumo Inc L4:	0	m ³			
Consumo Previsto:		0	m ³		
Consumo Previsto m ³ /1000fls:		0	m ³ /1000fls		
Meta Cumprida?		0			

Fonte: Autor.

4.3.2 DESGASTE DO MAQUINÁRIO DE LITOGRAFIA

O desgaste natural das rolarias da litografia ocasiona a redução da velocidade nominal de máquina a fim de reduzir os defeitos de produção e conseqüentemente reduzir paradas de máquina. Esta redução de velocidade não foi compensada nas estufas e incineradores. Tendo em posse o *Datasheet* dos queimadores *Circular Incino-PAK* da fabricante Maxon utilizados, conforme é possível verificar no “ANEXO A” deste trabalho, sabe-se que é possível obter a quantidade de energia gerada no equipamento à partir da Equação 01:

$$\frac{BTU}{h} = SCFM \times Fator "k" \quad (1)$$

Na qual:

Fator K: depende da temperatura de entrada e saída da mistura ar + gases da estufa.

SCFM: “Square cubic feet meter”, é uma medida de volume. Referente ao volume que está sendo aquecido.

4.3.3 REVESTIMENTO TÉRMICO

Durante a análise visual, foi encontrado um trecho de tubulação no qual não há revestimento térmico onde deveria existir. A perda térmica nesta tubulação sem revestimento pode ser calculada por meio das equações 2 (Lei do resfriamento de Newton), 3 (MILCENT, 2006) e 4 (MILCENT, 2006):

(2)

Na qual:

q = taxa de transferência de calor, por convecção(W);

h = coeficiente de convecção (ou de película, ou de filme)(W/m².K);

A_s = área da superfície de contato com o fluido(m²);

T_p = temperatura da parede(°C);

T_f = temperatura do fluido (°C).

Como a condutividade térmica de metais é alta, podemos desprezar a resistência devido à condução pela parede. Podemos calcular h por meio das equações 3 e 4:

$$- \quad \text{para} \quad (3)$$

$$- \quad \text{para} \quad (4)$$

Na qual:

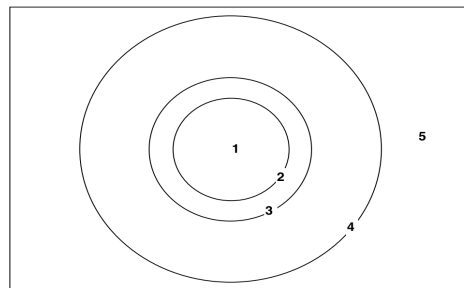
d = diâmetro da tubulação

$$\text{—————} \quad (5)$$

Variação de Temperatura

Na Figura 3 é dado uma referência dos pontos que serão avaliados nas equações de perda de calor. Segundo INCROPERA (2006), para uma superfície com isolamento, as perdas térmicas podem ser calculadas por meio das equações 6,7,8,9,10 e 11:

Figura 3 – Corte de uma Tubulação Isolada



Fonte: MILCENT (2006)

De acordo com a Figura 4, os índices representam:

- 1- região no interior do tubo;
- 2- face interna da parede do tubo;
- 3- face externa da parede do tubo e face interna do isolamento;
- 4- superfície externa do isolamento;
- 5- região onde se encontra o fluido que envolve o isolamento (normalmente o ar).

Supondo a transferência de calor por condução e convecção (sem radiação), a taxa de transferência de calor é dada pela equação 6:

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_3 - T_5)}{\frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{k_{3-4}} + \frac{1}{h_{4-5}}} \quad (6)$$

r_3 = raio externo da tubulação onde passa o fluido e interno do isolante;

r_4 = raio externo do isolante;

h_{4-5} = coeficiente de convecção entre a superfície do isolante e o meio;

k_{3-4} = condutividade máxima do material isolante.

O coeficiente de convecção depende da temperatura do filme de ar que envolve o isolamento. Para determinar T_4 e portanto a quantidade de calor perdida, é necessário o emprego de iterações com as equações 7,8,9,10 e 11:

$$\frac{k_{3-4}(T_3 - T_4)}{\ln \left(\frac{r_4}{r_3} \right)} = h_{4-5} \cdot r_4 (T_4 - T_5) \quad \text{Utilizando: } h_{\text{estimado}} \quad (7)$$

Utilizando o T_4 obtido na equação 7 pode-se confirmar ou não a estimativa de h_{4-5} nas equações 8, 9, 10 e 11:

$$Gr = g \cdot \beta \cdot (T_4 - T_5) \cdot \frac{d^3}{\nu^2} \quad (8)$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (9)$$

$$Nu^{1/2} = 0,60 + 0,387 \left\{ \frac{Gr \cdot Pr}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{16/9}} \right\}^{1/6} \quad \text{Para: } 10^{-5} < Gr \cdot Pr < 10^{12} \quad (10)$$

$$h_{\text{calculado}} = \frac{Nu \cdot k}{d} \quad (11)$$

Após encontrar o $h_{\text{calculado}}$, usar este no lugar de h_{estimado} e continuar iterando até o momento em que $h_{\text{calculado}} = h_{\text{estimado}}$.

4.3.4 DESATIVACÃO DE MÁQUINAS

Com a desativação da máquina 02, o sistema deve permanecer vedado para que não exista a entrada de ar fresco diretamente para o incinerador 04. Para analisar se ar estava sendo insuflado, colocou-se uma folha e papel em uma das entradas de ar na estufa de modo que pôde-se afirmar se havia ou não fluxo de ar.

Além disto, assim como na seção 4.3.2 Desgaste do Maquinário de Litografia, na qual foi visto que as estufas necessitam de menos ar fresco do que é insuflado atualmente, tem-se que o incinerador 4 está insuflando mais ar do que necessário devido à desativação da estufa 02. Para calcular a quantidade de ar que deve ser incinerado, deve-se utilizar as quantidades de ar provenientes das estufas 01 e 04, sua economia de gás natural pode ser determinada através da equação (1).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises foram estabelecidos de acordo com as metodologias aplicadas e discutidas anteriormente para o consumo de gás natural, programação de produção, desgaste do maquinário de litografia, revestimento térmico e desativação de máquinas.

5.1 CONSUMO DE GÁS NATURAL

A partir das leituras feitas no registro da CEGÁS na fábrica, realizando a leitura durante 1 hora por 3 vezes em cada situação e realizando a média das 3 medidas, obtivemos os resultados apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Resultados de Leituras de Consumo de GN

Situação	Leitura (m ³ /h)
1)Lito 01 + Incinerador 04	212
2)Lito 04 + Incinerador 04	215
3)Lito 01 + Lito 04 + Incinerador 04	265
4)Lito 03	86

Fonte: Autor.

Conforme as situações na Tabela 4, pode-se calcular os consumos individuais na Tabela 5:

Tabela 5 - Resultados de Consumo de Gás Natural

Situação	Consumo (m ³ /h)
Lito 01 = Sit. 3 – Sit. 2	50
Lito 04 = Sit. 3 – Sit. 1	53
Incinerador 04 = Sit. 3 – Consumo Lito 1 e 4	162
Lito 03	86

Fonte: Autor.

5.2 ANÁLISE DE PROBLEMAS

5.2.1 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Com a aplicação desta melhoria, pôde-se obter um maior controle sobre a programação da produção, de modo que se a simulação apontar que o setor está sendo programado de forma não econômica, a programação deverá ser revista. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da simulação do processo de Litografia:

Tabela 6 - Resultados da Simulação de Consumo de GN na Litografia

Simulação – Litografia					
Folhas Lito 1:	25000	Turnos Lito 1:	2	Folhas por turno 1:	12500
Folhas Lito 4:	20000	Turnos Lito 4:	2	Folhas por turno 4:	10000
Folhas Lito 3:	36000	Turnos Lito 3:	2	Folhas por turno 3:	18000
Tempo de Paradas Lito 1:	130	Quant. de Paradas Lito 1:	1		
Tempo de Paradas Lito 3:	150	Quant. de Paradas Lito 3:	2		
Tempo de Paradas Lito 4:	130	Quant. de Paradas Lito 4:	1		
Consumo Lito 1:	737	m ³			
Consumo Lito 3:	1301	m ³		Custo de Gás:	R\$ 10.242
Consumo Lito 4:	830	m ³		Custo de Gás por folha:	R\$ 0,13
Consumo Inc L4:	2822	m ³			
Consumo Previsto:	5690	m ³			
Consumo Previsto m ³ /1000fls:	70,2	m ³ /1000fls			
Meta Cumprida?	70,2				

Fonte: Autor.

A partir desta simulação, pode-se observar o consumo previsto e analisar a melhor forma de programar a produção de folhas na litografia. Após a aplicação desta ferramenta, pôde-se notar que o seu erro percentual gira em torno de 3% a 10%. Julga-se como assertiva esta simulação, pelo seu baixo índice de erro.

5.2.2 DESGASTE DO MAQUINÁRIO DE LITOGRAFIA

Com a redução do desempenho das máquinas, afetando diretamente na quantidade de folhas que são processadas pela estufa e incineradores, o volume mínimo de ar que se pode injetar no sistema é dado em função da quantidade de voláteis presentes na mistura, um valor muito alto pode causar auto-ignição da mistura na tubulação e isto não é desejado. Sabendo-se que o volume de voláteis foi reduzido devido à quantidade reduzida

de folhas sendo processadas na estufa, pode-se inferir que as estufas estão operando com folga e este é um ponto onde é possível gerar economia.

Para determinar o volume mínimo de ar injetado foram realizados testes empíricos, pesando-se a folha antes e depois da sua passagem na estufa. O resultado foi a evaporação de 30880 g de voláteis para uma nominal de 4000 fls/h. Como o ar a ser injetado deve possuir uma concentração de no máximo 25 g/m³. Com isto, chegamos à: $\frac{30880 \text{ g}}{25 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} = 1253 \text{ m}^3$, aplicando-se um fator de segurança de 20%, obtemos uma vazão necessária de 1500m³/h para cada estufa.

Sabendo-se que cada estufa injeta 4500 m³/h de ar fresco, pode-se comparar o consumo atual com o consumo previsto com o novo volume de ar injetado conforme a equação (1). Sabendo que 1500 m³/h = 883 SCFM e 4500 m³/h = 2647 SCFM e o Fator “k” referente à temperatura de entrada e saída de gases deve permanecer constante, na Tabela 7 o comparativo:

$$\frac{BTU}{h} = SCFM \times Fator "k" \quad (1)$$

Tabela 7 - Comparativo Atual e Previsto Após Implementação – Insuflador Estufa

Atual	2647 x Fator "k"	R\$ 15.720,00
Após Implementação	883 x Fator "k"	R\$ 5.344,80
Resultado	-66%	-R\$ 10.375,20

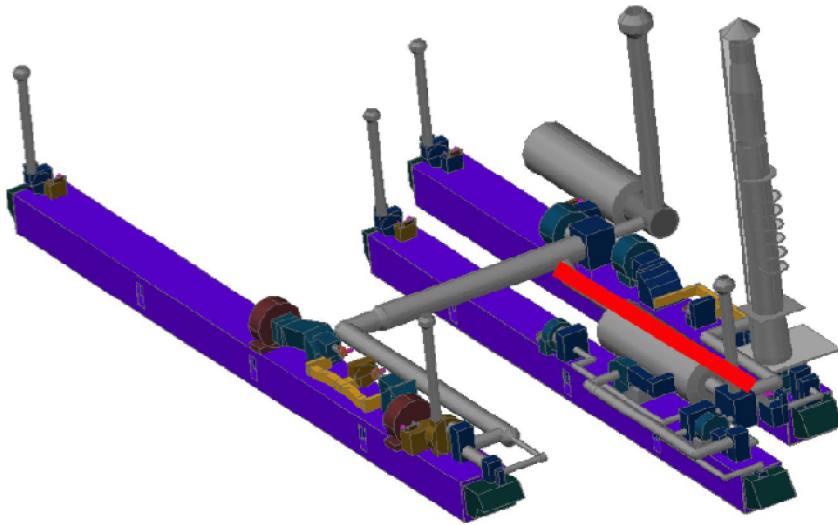
Fonte: Autor.

Esta redução de 66% no consumo de gás natural nas estufas, com a redução do volume de ar fresco injetado, corresponde a uma redução de R\$ 10.375,20 mensal em cada estufa.

5.2.3 REVESTIMENTO TÉRMICO

Foi visto um trecho de tubulação sem revestimento térmico, no qual o ar é conduzido a aproximadamente 190 °C. Isto ocasiona perdas energéticas que podem ser calculadas. Estas perdas acarretam em um maior consumo de gás natural para que ocorra o reaquecimento desta massa de ar que perdeu calor. O trecho está localizado na saída da estufa 04 e sua entrada é dada no incinerador 04. Conforme mostrado na Figura 4 em vermelho e na Imagem 1 da tubulação:

Figura 4 – Maquinário de Litografia em 3D



Fonte: Autor

Imagem 1 - Tubulação sem Revestimento Térmico na Lito 04



Fonte: Autor.

Analisando as perdas térmicas desta tubulação, tem-se:

$$\frac{Q_{\text{perda}}}{L} = 29,05E6 \text{ — } , \text{ conforme equação (5).}$$

— , para

— , pela equação (4).

— , através da equação (2).

$$q = 141178,95 \text{ KWh (Perdido em 1 ano)}$$

Sabendo que 1m^3 de gás natural possui PCI(Poder Calorífico Inferior)= 9,76 KWh, e o m^3 de gás natural é R\$ 1,31:

$$\text{Custo da perda de calor no ano: } \$ = \frac{141178,95 \text{ KWh}}{9,76 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^3}} \times 1,31 \frac{\text{R\$}}{\text{m}^3} = \text{R\$ } 18.949,22 \text{ (ano)}$$

Foi sinalizado pela empresa a existência do revestimento térmico Lã de Rocha com a espessura de 100 mm. Analisando as perdas térmicas desta tubulação com este revestimento térmico:

Estimando inicialmente $h_{4-5} = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, pois segundo NETO (2010), os valores de convecção natural do ar giram em torno de 5 a $30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

$$\frac{0,04(190-T_4)}{\ln\left(\frac{0,32}{0,22}\right)} = 10,032(T_4 - 35) \therefore T_4 = 36,63^\circ\text{C}$$

$$\text{Gr} = 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot \frac{1}{309} \text{K}^{-1} \cdot (1,63) \cdot \frac{(0,64\text{m})^3}{(1,71 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} \therefore \text{Gr} = 2,34\text{E}7$$

$$\text{Pr} = \frac{1007 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 1,91 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}}{0,0273 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}} \therefore \text{Pr} = 0,704$$

$$\text{Nu}^{1/2} = 0,60 + 0,387 \left\{ \frac{2,34 \cdot 10^7 \cdot 0,704}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,704}\right)^{9/16}\right]^{16/9}} \right\}^{1/6} \quad \text{Para: } 10^{-5} < \text{Gr} \cdot \text{Pr} = 1,65\text{E}7 < 10^{12}$$

$$\text{Nu} = 32,75$$

$$h_{\text{calculado}} = \frac{32,75 \cdot 0,0273 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0,64\text{m}} \therefore h_{\text{calculado}} = 1,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Segue-se iterando, sempre utilizando $h_{\text{estimado}} = h_{\text{calculado}}$. Após 4 iterações, facilmente é encontrado que $h_{\text{calculado}} = 2,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$.

$$q = \frac{2 \cdot \pi \cdot 22\text{m}(190 - 35)}{\frac{\ln\left(\frac{0,32}{0,22}\right)}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{2,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}}$$

$$q = 2256,87 \text{ W}$$

$$q = 10399,65 \text{ KWh (Perdido em 1 ano)}$$

Sabendo que 1m^3 de gás natural possui $\text{PCI} = 9,76 \text{ KWh}$, e o m^3 de gás natural é $\text{R\$ } 1,31$:

$$\text{Custo da perda de calor no ano: } \$ = \frac{10399,65 \text{ KWh}}{9,76 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^3}} \times 1,31 \frac{\text{R\$}}{\text{m}^3} = \text{R\$ } 1395,85 \text{ (ano)}$$

O resultado é a economia em 1 ano de **R\$ 17.553,37**.

5.2.4 DESATIVAÇÃO DE MÁQUINAS

Foi visto que há vazamento de ar fresco diretamente para o incinerador 04 através da tubulação da máquina 02 desativada. A solução para este problema é bastante simples e foi realizada durante o estudo. Aplicou-se uma flange no local de uma junta de expansão, como visto na Imagem 2, de modo que não há mais a possibilidade da passagem de ar para o incinerador, eliminando todos os pontos em que a vedação poderia não ser completa - ocasionando vazamentos - como *dampers* e conexões.

Imagem 2 - Junta de Expansão Antes e Depois



Fonte: Autor.

Como a Lito 02 está desativada e o Incinerador 04 foi projetado para 3 estufas, pode-se redimensionar o insuflamento das estufas para o incinerador a partir dos valores obtidos no item 5.1.2, $1500\text{m}^3/\text{h}$ para cada estufa, gerando um nominal de $3000\text{m}^3/\text{h}$ para o

incinerador 04. Esta redução pode ser efetuada através da instalação de um inversor de frequência no motor da ventoinha ou um *damp*er para controlar o fluxo de gases. A Tabela 8 mostra um comparativo da configuração atual e do que é previsto:

Tabela 8 - Comparativo Atual e Previsto Após Implementação (\$/mês) – Incinerador 04

Atual	$5882 \times \text{Fator "k"}$	R\$ 50.932,80
Após Implementação	$1764 \times \text{Fator "k"}$	R\$ 15.279,84
Resultado	-70%	-R\$ 35.652,96

Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

Ao analisar a fábrica, pôde-se entender o processo e aplicar diversos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Mecânica e comprovadamente propor mudanças que causem redução no consumo de Gás Natural no processo.

A análise prévia do comportamento do consumo de gás natural foi de suma importância para a criação do Simulador de Litografia apresentado neste trabalho, que tem como intuito guiar a programação da fábrica, de modo a ter a menor quantidade de consumo possível.

Foram avaliados 4 pontos de potencial melhoria de consumo de gás natural: Programação da Produção, Desgaste do Maquinário, Revestimento Térmico e Desativação de Máquinas. Poderá ser obtido a partir deste trabalho uma economia prevista com as ações no valor de R\$57.866,14 por mês, que representa aproximadamente 40% do custo de gás natural mensal da planta.

O projeto foi apresentado à diretoria da empresa e foi incluído no planejamento estratégico do ano de 2018 para ser executado.

REFERÊNCIAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil** 2008. Homepage. Disponível em: < http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf> Acesso em: 12 de outubro de 2017.

TIPOGRAFOS. **A Litografia** 2007. Homepage. Disponível em:< <http://tipografos.net/tecnologias/litografia.html>> Acesso em: 4 de outubro de 2017.

ARTS ENTERTAINMENT. **A História da Litografia Impressão** 2012. Homepage. Disponível em: < <http://pt.artsentertainment.cc/Art/outros-Arte/1009023484.html>> Acesso em: 23 de setembro de 2017.

VISUAL ARTS CORK. **Lithography: Type of Printmaking** 2009. Homepage. Disponível em: < <http://www.visual-arts-cork.com/printmaking/lithography.htm>> Acesso em: 24 de setembro de 2017.

INCROPERA, F.P. et al. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer** 2006. Danvers, MA. United States of America. 1024p.

MILCENT, P. F. **Noções de Isolamento Térmico de Tubulações**. 2006. Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná.

UCS USA. **Coal and Other Fossil Fuels** 2017. Homepage. Disponível em: < <http://www.ucsusa.org/clean-energy/coal-and-other-fossil-fuels/environmental-impacts-of-natural-gas>> Acessado em: 01 de Novembro de 2017.

PACIORNIK, V.F. 2011. **A invenção da litografia: o tratado de Alois Senefelder**. Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo. 232p.

ESTIVALET, L. 2012. Novo procedimento no processo litográfico. Pós-Graduação em Artes Visuais, Universidade Federal de Santa Maria. 2012.

BIRELO, F.J. 2013. **Novas Aplicações do Gás Natural e do Gás Liquefeito**: análise econômica e socioambiental e a utilização nas indústrias asfálticas. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

IBP. **Evolução da Oferta de Energia Primária** – Brasil. 2016. Rio de Janeiro – RJ. Homepage. Disponível em: <<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/oferta-de-energia-primaria-brasil/>> Acessado em: 8 de Novembro de 2017.

MAXON. Maxon Corp. **Circular INCINO-PAK**. Datasheet. Disponível em: <<https://maxoncorp.com/products/naturalgasburnerlow/circular-incino-pak-low-temp/?back=product>> Acessado em: 23 de agosto de 2017.