



Monografia

Curso de Especialização em Energias Renováveis, Regulação , Geração Distribuída de Energia e Eficiência Energética.

Eficiência Energética em Equipamentos Motrizes com o Emprego de Lubrificantes Especiais

Aluno/ Autor : Irajá Bernardino Ribeiro Júnior

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO
1	10/08/2012	Resumo
2	05/10/2012	Estado da Arte / Bibliografia
3	14/11/2012	Primeira Versão
4	23/11/2012	Versão Final

Abstract

This paper aims to present the use of a reliable methodology for determining the energy benefits is possible the implementation of energy conservation measures in motive power systems installed in industries with a simple change of lubricant, instead another energy efficiency actions as switch lamps and electrical motors , this procedure is a very known and often routine of maintenance professionals , become this option in a very simple and efficient solution to save energy consumption .

The work presented here shows a part of an innovative project initiated in 2007 in the company Klüber Lubrication where it was intended to transpose the challenge of proving the energy gains with the use of synthetic lubricants and special. This verification is necessary to develop a robust method for measuring and verifying often employing little or scientific concepts that are almost never employed in science lubrication.

Currently in industry , the use of mineral oil based lubricants are responsible for about 75% of the market, especially the low price and its use is broad public domain.

This proposal will seek to demonstrate and prove that no occurrence of saving energy by replacing mineral oils, nowadays widely used in industry for the most of application, against synthetic oils, thus proving the financial viability that the use of this solution as well as further mechanical benefits becomes financially viable to do this action to improve operational and mechanical arguing additional energy efficiency.

As every action of measurement and verification, the data will be presented first measurement of energy consumption in the equipment previously selected was lubricated with mineral oil, for a period which is sufficient to ensure that every situations of energy consumption has happened in order to become possible to get a big trust comparison after switch of oil against synthetic from Klüber Lubrication .

After the baseline period, it holds the exchanging all mineral oil contained in the respective equipment and replaced by synthetic oils.

The theoretical argument is that a lubricant such as high performance synthetic Klüber Lubrication increases the capacity of sustaining loads and efficiency of a gear assembly or due to the lower coefficient of friction.

Because the low coefficient of friction, synthetic lubricant bases PAO (polyalphaolefin) and PG (polyglycol) has the ability to increase mechanical efficiency, which theoretically enables a lower power consumption

In order to proof the evidence of this theoretical argument we must to make a measurement, and is preferred to adopt a method recognized by the International Protocol for Measurement and Verification (IPMVP EVO 10000 - 1:2007 BR) with methodologies that are widely recognized by national and international organizations with high reputation .

The main motivation for this study is the fact that according to a study by ANEEL (Energy Regulation Agency of Brazil) , a survey about of the profiles of energy consumption (PPH 2010) , around 60% of consumption of equipment in the industry come from driving motors equipment.

Key words : power consumption, energy efficiency, polymers, specific mechanical energy, torque, Special Lubricant, Klüber ,Polyglycol , polyalphaolefin , gear box , weaving machine , M & V , Turbogenerator .

Agradecimentos

A minha esposa **Salete Giese** , que me acompanha nestes ultimos 20 com muito incentivo e amor ,

Meus filhos **Breno Augusto e Milena** , a razão de meus esforços e sempre construir bons exemplos para seguir ,

Enrique Garcia , Diretor Kluber Lubrication , por seus incentivos ,apoio e o fato de acreditar que o conceito de eficiencia energética com lubrificantes era possível , foi o motor que fez este trabalho andar e chegarmos a esta conclusão fantástica e apaixonante ,

Colegas da Kluber Lubrication , APS Soluções de Energia e da Pricewaterhouse e Coopers grandes parceiros , amigos e por que não dizer co –autores deste trabalho por sempre que foi preciso e possível estarem junto nos trabalhos de campo acompanhando as medições e ajudarem junto aos cétricos de plantão de que tudo o falavamos era realmente possível ! Sem o apoio de cada um deles todo este trabalho não seria possível de ser concluído .

Professores e colegas do presente curso ,em especial as colegas Aline Nascimento e Sabrina macedo verdadeiras referencias para meu aprendizado, crescimento profissional e verdadeiros amigos !

ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	- 8 -
2	ESTADO DA ARTE	- 10 -
2.1	Estudos de Caso	- 10 -
2.2	Metas	- 11 -
3	CONCEITOS DE LUBRIFICAÇÃO E IMPACTO NO AUMENTO DE EFICIENCIA.....	- 12 -
3.1	SOBRE A KLÜBER LUBRICATION.....	- 15 -
4	OPÇÃO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO	- 16 -
4.1	Metodologia.....	- 16 -
4.1.1	Energia Economizada.....	- 18 -
4.1.2	Variáveis Envolvidas	- 18 -
4.2	Inventário dos Equipamentos	- 18 -
4.3	Medições.....	- 19 -
4.4	Fronteira de Medição	- 19 -
4.5	Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição	- 19 -
4.6	Variáveis Independentes.....	- 20 -
4.7	Calibração de Equipamentos	- 20 -
5	DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE	- 20 -
6	PÓS RETROFIT.....	- 21 -
7	SUB-ÁREAS ESPECÍFICAS	- 22 -
8	RESULTADOS DO PROJETO	- 22 -
9	ESTUDO DE CASO – TURBOGERADORES	- 22 -
9.1	MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO.....	- 23 -
9.2	Metodologia e variáveis de Influência.....	- 23 -
9.3	Fronteiras de Medição	- 24 -
9.4	Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição	- 24 -
9.5	Variáveis Independentes e Fatores Estáticos	- 24 -
9.6	Metodologia de Cálculo	- 25 -
9.6.1	Aquisição dos Dados.....	- 25 -
9.6.2	Função por regressão e correlação	- 25 -
9.7	Resultados Obtidos da Linha de Base.....	- 27 -
9.8	PÓS RETROFIT.....	- 28 -
9.9	COMPARATIVO DOS DADOS	- 29 -
9.10	Resultados obtidos	- 30 -
9.10.1	Fronteira de medição: Turbogeração completo	- 30 -

9.10.2	Fronteira de medição : Turbina	33 -
9.10.3	Fronteira de medição: Redutor	35 -
9.11	RESULTADOS FINAIS E AVALIAÇÃO FINANCEIRA	39 -
9.12	AVALIAÇÕES OPERACIONAIS.....	42 -
9.13	CONCLUSÃO –Turbogeradores	42 -
10	ESTUDO DE CASO – TEARES PLANOS.....	43 -
10.1	Fronteira de Medição	44 -
10.2	Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição	44 -
10.3	Variáveis Independentes e Fatores Estáticos	44 -
10.4	Equipamentos.....	45 -
10.5	DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE.....	45 -
10.6	Medições Realizadas.....	45 -
10.7	PÓS RETROFIT	48 -
10.8	Medições Realizadas.....	48 -
10.9	RESULTADOS.....	50 -
10.10	ANÁLISE FINANCEIRA	52 -
10.11	CONCLUSÃO – Teares Planos	54 -
11	ESTUDO DE CASO – REDUTORES PLANETÁRIOS.....	55 -
11.1	Performance de Lubrificação com Sintético	55 -
11.2	Equipamento e Lubrificante	55 -
11.3	Medição e Verificação (M&V).....	56 -
	• Equipamento de Medição :	56 -
	• Medições pré –retrofit (óleo mineral)	56 -
	• Medições pós – retrofit (óleo sintético)	57 -
	Regressão de baseline	57 -
11.4	Resultados.....	58 -
	Estatístico	58 -
	Regressão de baseline	63 -
11.5	Conclusão.....	64 -
11.6	Dados	65 -
11.7	Economia total: moenda 54 + moenda 78.....	71 -
11.8	Conclusão.....	72 -
12	REDUTORES DE GRANDE PORTE – ACIONAMENTO DE EXTRUSORAS- 74	-
12.1	OPÇÃO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO.....	76 -
12.2	Metodologia	76 -
12.3	Medições Realizadas.....	77 -
12.4	Fronteira de Medição	78 -
12.5	Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição	78 -

12.6	METODOLOGIAS DE ANALISE.....	- 78 -
12.7	Metodologia SME (Specific Mechanical Energy).....	- 79 -
12.7.1	Determinação da Linha de Base.....	- 79 -
12.7.2	Determinação do Pós-Retrofit.....	- 80 -
12.7.3	Resultados Metodologia SME (Specific Mechanical Energy).....	- 81 -
12.8	Análise de Regressão	- 81 -
12.8.1	Determinação da Linha de Base.....	- 82 -
12.8.2	Dados Pós Retrofit.....	- 86 -
12.8.3	Resultados.....	- 87 -
12.9	Análise Termodinâmica	- 88 -
12.9.1	Determinação da Linha de Base.....	- 89 -
12.9.2	Determinação do Pós Retrofit.....	- 90 -
12.9.3	Resultados.....	- 91 -
12.9.4	Análise de Potência Útil.....	- 91 -
12.9.5	Análise de Metodologia Pot Util x Pot Entrada.....	- 91 -
12.9.6	Metodologia aplicada aos outros produtos.....	- 95 -
12.9.7	Resultados.....	- 96 -
12.9.8	Conclusões.....	- 97 -
12.10	Análise Couette	- 98 -
12.10.1	Determinação da Linha de Base.....	- 99 -
12.10.2	Determinação do Pós Retrofit.....	- 99 -
12.10.3	Resultados.....	- 99 -
12.11	RESULTADOS COMPARATIVOS E AVALIAÇÃO FINANCEIRA	- 100 -
12.12	AVALIAÇÕES E BENEFÍCIOS MECÂNICOS.....	- 103 -
12.13	BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	- 105 -
12.14	CONCLUSÃO – REDUTORES DE EXTRUSORAS	- 107 -
13	COMPRESSORES DE AR	- 109 -
13.1	Medição e Verificação	- 109 -
13.1.1	Metodologia.....	- 109 -
13.1.2	Medições.....	- 110 -
13.1.3	Integração dos equipamentos utilizados.....	- 113 -
13.1.4	Fluxo de medições.....	- 114 -
13.1.5	Fronteira das medições	- 114 -
13.2	DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE.....	- 115 -
13.3	Lubrificantes avaliados.....	- 115 -
13.4	Atividades realizadas	- 116 -
13.5	Determinação Das Variáveis Envolvidas	117
13.5.1	Potência do conjunto lubrificante-compressor existente (P1).....	117
13.5.2	Potência do conjunto lubrificante-compressor proposto (P2)	117
13.5.3	Tempo	117
13.5.4	Vazão	117
13.5.5	Pressão	117
13.5.6	Temperatura	117
13.5.7	Ajustes.....	118
13.6	Lubrificante Mineral Mobil (LINHA DE BASE)	118

13.6.1	Resultados Obtidos para o Lubrificante Mineral da Mobil	118
13.7	LUBRIFICANTE SINTÉTICO KLÜBER (PÓS RETROFIT).....	119
13.8	Lubrificante Sintético Klüber.....	119
13.8.1	Resultados Obtidos para o Lubrificante Sintético Klüber.....	119
13.9	AVALIAÇÃO LUBRIFICANTE SINTÉTICO TOTAL	120
13.10	Lubrificante Sintético Total.....	120
13.10.1	Resultados Obtidos para o Lubrificante Sintético Total.....	121
13.11	RESULTADOS FINAIS	121
13.12	Análise do Rendimento do Equipamento	121
13.12.1	Análise da Energia Elétrica Consumida.....	123
13.13	Comparação entre os Resultados Obtidos.....	123
13.14	Ganhos Energéticos	124
13.15	Equações Utilizadas	125
13.16	CONCLUSÕES	125
14	CONCLUSÕES FINAIS	126
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
15.1	- índice de Figuras	129

1 OBJETIVO

O presente trabalho objetiva apresentar que com o emprego de uma confiável metodologia para determinação dos benefícios energéticos é possível a implantação das medidas de conservação de energia em sistemas de força motriz instalados em indústrias com a simples troca de lubrificante.

O trabalho apresentado aqui mostra uma parte de um projeto inovador iniciado em 2007 na empresa Klüber Lubrication onde se pretendia transpor o desafio de comprovar os ganhos energéticos com o emprego de lubrificantes sintéticos e especiais . Sendo necessário para esta comprovação o desenvolvimento de um sólido método de medição e verificação empregando muitas vezes conceitos científicos que pouco ou quase nunca são empregados na ciência de lubrificação.

Atualmente na indústria o emprego de lubrificantes de base óleo mineral são responsáveis por cerca de 75% do mercado , principalmente ao preço baixo e seu uso ser de amplo domínio público .

Esta proposta procurará demonstrar e comprovar que há ocorrência de economia de energia com a substituição dos óleos minerais, atualmente muito utilizados na indústria na maioria das aplicações, por óleos sintéticos , com isto comprovando a viabilidade financeira do emprego desta solução bem como os outros benefícios mecânicos torna-se viável financeiramente fazer esta ação de melhoria operacional e mecânica com o argumento de adicional de eficiência energética.

Como toda ação de medição e verificação será apresentado dados de primeira medição do consumo de energia nos equipamentos previamente selecionados, lubrificados com óleo mineral, por um período de que seja suficiente para se avaliar e aceitar como comportamento recorrente da máquina . Após este período, realiza-se a troca de todo óleo mineral contidos nos respectivos equipamentos e substitui-se pelos óleos sintéticos, na sequência deve-se realizar nova medição e com isto faz-se a comparação .

O argumento teórico é o de que um lubrificante de alto rendimento como o sintético da Klüber Lubrication aumenta a capacidade sustentadora de cargas e a eficiência de uma ou um conjunto de engrenagens devido ao menor coeficiente de atrito.

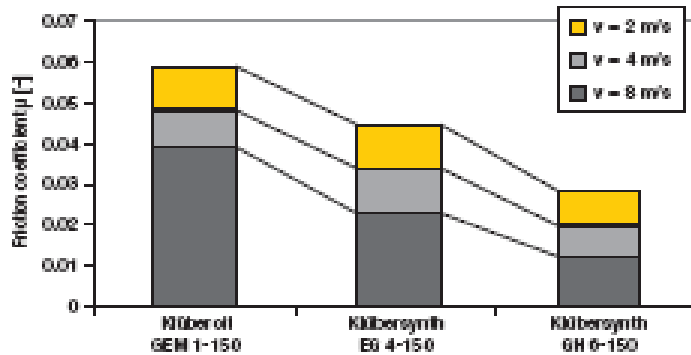


Figura 1 – Coeficientes de atrito para diferentes tipos de óleo base

Justamente devido ao menor coeficiente de atrito, o lubrificante sintético bases PAO (polialfaolefina)e PG (poliglicol) tem a capacidade de aumentar a eficiência mecânica, o que teoricamente possibilita um menor consumo de energia

Para a comprovação deste argumento teórico deve-se fazer uma medição, adotando o método reconhecido pelo Protocolo Internacional de Medição e Verificação (PIMVP EVO 10000 – 1:2007 BR) com metodologias próprias que é amplamente reconhecido pelos principais organismos nacionais e internacionais.

A maior motivação para este estudo seria o fato de que segundo estudo da ANEEL , pesquisa PPH 2010 , cerca de 60 % do consumo dos equipamentos da indústria são provenientes de equipamentos motrizes .

Por equipamento motriz podemos colocar os compressores de ar , motoredutores e bombas como os principais consumidores e os de uso mais difundido e usual nos maquinários e processo industrial e em todos estes equipamentos exigem aplicação de lubrificantes .

De certa forma genérica , a aplicação e emprego de lubrificantes é um pouco banalizada , há um certo pressuposto de que qualquer óleo lubrificante ou graxa são funcionais e atendem as expectativas , não necessitando análise e estudo mais criterioso . A questão cultural nas corporações de buscar paulatinamente por redução de custos muitas vezes é confundida com redução de preços dos artigos de consumo como os lubrificantes sem se preocupar com as diferenças de performance benefícios que está abrindo mão em prol de menor custo de compra .

Um usuário maduro e com noções de conhecimento técnico sobre o assunto consegue distinguir e enxergar um pouco dos benefícios mas muitas vezes estes benefícios são pouco tangíveis e somente é perceptível e mensurável algum tempo após a troca de produto e mesmo assim , com um acompanhamento muito próximo e frequente do equipamento onde o novo lubrificante foi empregado.

O objetivo é mostrar que além de uma boa análise prévia e a otimização do uso de lubrificantes especiais traz benefícios energéticos mensuráveis , fazendo valer a pena o aprofundamento no estudo desta aplicação como solução de eficiência energética .

2 Estado da Arte

O projeto consiste no desenvolvimento de ações de eficiência energética em sistemas de força motriz objetivando a redução do consumo de energia nas indústrias através do uso de lubrificantes sintéticos especiais desenvolvidos para esta aplicação .

Tabela 1 - Atividades a serem desenvolvidas

Ações	Realização	Resultados
Sistema de Força motriz		
Troca de Lubrificante no sistema de conjunto de acionamentos	Substituição do lubrificante atual de origem mineral por um lubrificante de alta performance.	Maior eficiência energética consumo de energia elétrica dos equipamentos obtido pelo menor coeficiente de atrito e possível redução do consumo no sistema de climatização .

2.1 Estudos de Caso

As amostras dos equipamentos, utilizadas para quantificação dos resultados do projeto, foram escolhidas de comum acordo a partir da sugestão do cliente da Kluber Lubrication onde foi feito os ensaios. Para isto, inicialmente foram definidas populações homogêneas, ou seja, que possuam características idênticas ou que tenham grande representatividade no consumo energético .

Os equipamentos selecionados pelo critério simples de terem grande representatividade tanto como usual e estratégico para aplicação de lubrificantes e como equipamentos em alto consumo energético por unidade de produção de uma planta são :

Tabela 2 - Relação de equipamentos para estudo de caso

Equipamento	Fabricante	Quantidade
Tear Plano	Sulzer	1
Compressor de Ar	Atlas Copco	1
Turbogerador 30MW	Siemens -Renk	1
Redutor Planetário	SEW	1
Redutor de acionamento de extrusora	Renk	1

Figura 2 – Figura esquemática – Tear Plano

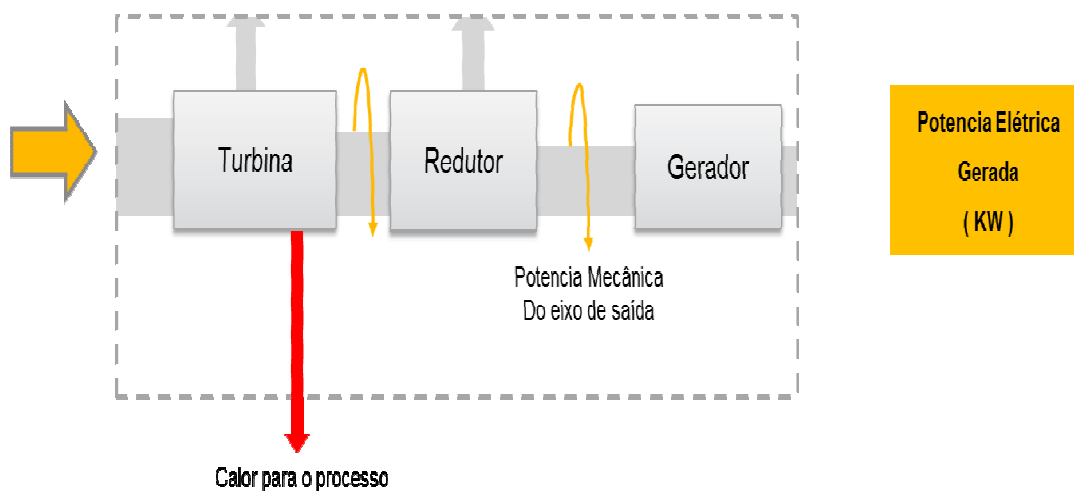


Figura 3- Esquema de um Turbogenerador

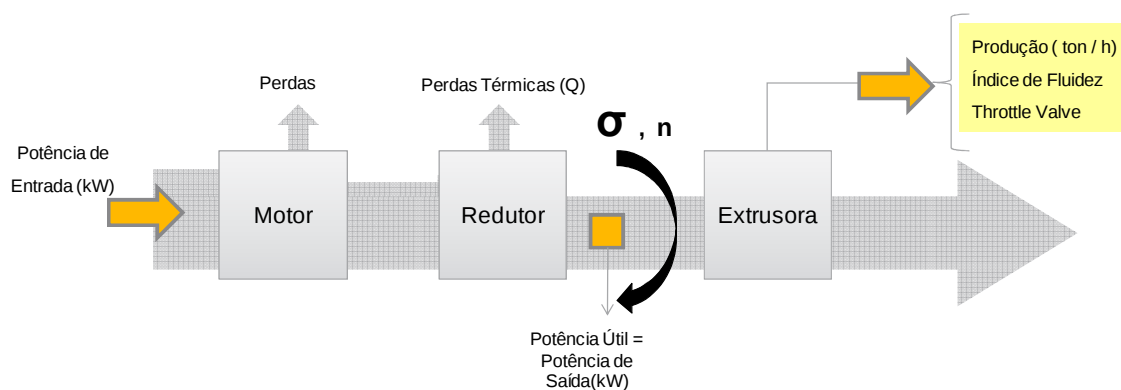


Figura 4 – variáveis de influencia em um redutor de acionamento de extrusora

2.2 Metas

Os resultados das medidas de conservação de energia no sistema de **força motriz** serão quantificados em:

- Energia economizada (kWh/ano)
- Relação kWh / metro ou kg de produto processado
- Relação kWh / vazão de vapor de entrada
- Redução de potencia medida no mesmo intervalo de tempo

3 CONCEITOS DE LUBRIFICAÇÃO E IMPACTO NO AUMENTO DE EFICIÊNCIA.

A lubrificação impacta diretamente sobre o desgaste e a vida útil dos componentes. O impacto do custo direto da lubrificação industrial na manutenção, como o custo da aquisição do lubrificante e mão de obra de lubrificação, em geral, não chegam a 2 % do custo total da manutenção. Por outro lado, os custos envolvendo equipamentos rotativos devido à falha de rolamentos, desgastes de engrenagens, falhas do sistema hidráulico como travamento de válvulas, vazamentos, etc. decorrentes de problemas de lubrificação são em geral muito altos. Estimamos que pelo menos 15 a 25 % do custo de manutenção são decorrentes de falhas de lubrificação. A confiabilidade operacional dos equipamentos depende basicamente da qualidade do lubrificante utilizado e dos procedimentos de lubrificação.

*Fonte: <http://www.excellenceconsult.com.br/modules.php?name=News&file=article&sid=64>

Com a sua excelente capacidade de rendimento, lubricidade e propriedades de dissipação de calor, os óleos lubrificantes são tão valiosos quanto o ouro no que se refere à proteção dos pontos de atrito. Um óleo lubrificante é composto de um óleo base e de aditivos. O sucesso do óleo lubrificante produzido pela Klüber está baseado na combinação certa de ingredientes. Dependendo da aplicação, os seus produtos oferecem proteção contra atrito, desgaste e corrosão, sendo neutros em relação aos outros materiais envolvidos.

As principais funções dos óleos lubrificantes são:

- Formar uma película lubrificante separadora ⇒ evitar ou reduzir o desgaste dos componentes mecânicos.
- Parâmetros:
 - o carga (par de giro, geometria);
 - o velocidade (rpm, geometria);
 - o temperatura;
- Reduzir a fricção ⇒ aumentar a eficiência;
- Proteção contra a corrosão;
- Melhorar a dissipação do calor ⇒ refrigerar os componentes;
- Absorção das partículas de desgaste ⇒ limpar os componentes;

Atualmente por questões de disponibilidade e preço a aplicação mais largamente utilizada na indústria na categoria “óleo lubrificante”, são os óleo de base mineral que apresentam as seguintes características básicas:

- Boa lubricidade;
- Fácil de aditar;
- Neutro frente às vedações (NBR), pinturas e materiais;
- Bom preço;
- Indicado até 80 °C (máx. 100 °C);
- Comportamento deficiente frente às temperaturas altas e baixas;
- Baixa estabilidade a oxidação;
- Fraca biodegradabilidade;

Em face destas características seu emprego é vasto na Indústria, porém, com a evolução, outros tipos de óleo base foram desenvolvidos com o propósito de

melhorar a performance e principalmente reduzir desgastes, aumentando a vida útil dos equipamentos, estes são os lubrificantes sintéticos.

Dentre as características diferenciadas podemos enumerar :

- Excelente lubricidade (menor coeficiente de atrito do que os óleos minerais);
- Reduzido ponto de fluidez (mais favorável para baixas temperaturas);
- Excelente capacidade sustentadora de cargas;
- Baixa volatilidade (evaporação reduzida);
- Comportamento favorável viscosidade-temperatura (ampla temperatura de serviço);
- Elevada resistência ao envelhecimento (longos períodos);
- Boa resistência à oxidação;
- Alguns tipos podem atacar vedações e pinturas;

Properties	Mineral Oil	Polyalphaolefines	Polyglycol	Ester*
Viscosity-Temperature Behavior	o	+	++	+
Aging Resistance	o	+	++	+
Low-Temperature Characteristics	---	++	+	+
Wear Protection	o	+	++	++
Friction Coefficient	o	+	++	++
Neutrality Towards Sealing Materials and Paints	++	++/-	---/+	---

++ Very Good + Good o Satisfactory --- Poor
 * The properties of esters depend on the specific type of ester and may differ greatly.

Figura 5 Comparação de propriedades de lubrificantes

Na figura 3 acima é possível perceber que se espera dentre os diferentes tipos apresentados que os óleos de base poliglicol e Ester apresentam as melhores características técnicas.

As figuras 4 e 5 abaixo foram extraídas o artigo „The sense of Synthetics“ e mostra claramente as diferenças de desempenho e comportamento entre os tipos de óleo mineral e os especiais de base sintética Polialfaolefina (PAO)e Pologlicol (PAG) mostra-se que o coeficiente de atrito pode ser um bom referencial de aumento de eficiencia que se pode obter .

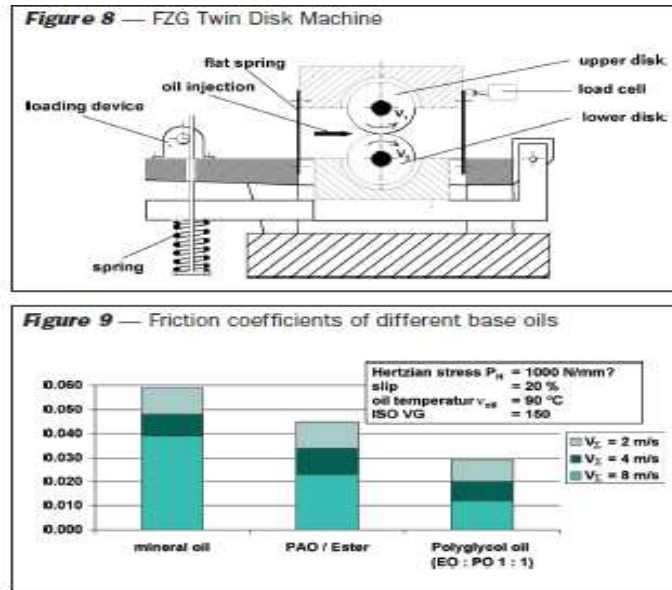


Figura 6-Medidas de coeficientes de atrito em ensaio FZG .

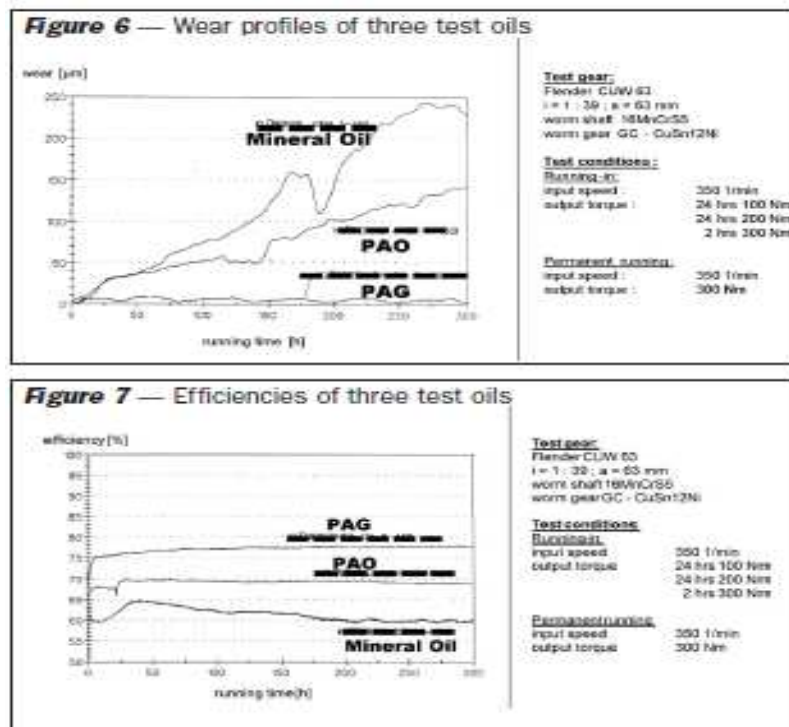


Figura 7-Comparação de Desgaste e Eficiência mecânica

As comparações acima mostram claramente que há uma relação inversa entre desgaste e eficiência, o óleo mineral é o que apresenta a menor eficiência e o maior desgaste, enquanto que os óleo de base Poliglicol (PAG) apresentam aos melhores resultados com maior eficiência e baixíssimo desgaste.

A recomendação de qual o lubrificante que será empregado em um determinado redutor ou outro equipamento passa por critérios que vão além da comparação de coeficiente de atrito, os outros critérios empregados são:

- Temperatura de trabalho
- Carga
- Tipo de engrenagem
- Velocidade / rotação
- Pacotes de aditivos
 - o Antidesgaste
 - o Lubrificantes sólidos
 - o Antiespuma
 - o Anticorrosivos
 - o Melhorador de viscosidade
 - o Metais de sacrifício
 - o Extrema pressão
 - o Etc
- Característica construtiva do equipamento/ elemento a ser lubrificado
- Características do ambiente de trabalho (poeira, umidade, acidez, etc)

Somente sobre estes assuntos enumerados acima há inúmeros artigos e trabalhos com estudos de suas influências em um processo e economia operacional. Apenas para exemplificar um caso há uma forte influência do aumento da vida útil do lubrificante de acordo com o aumento da temperatura de trabalho.

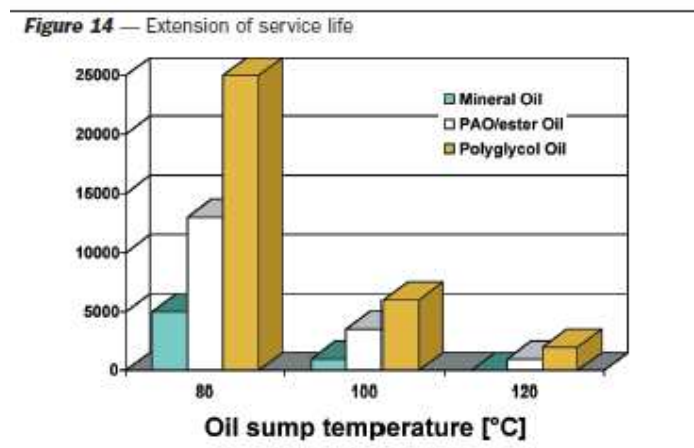


Figura 8 – Comparação de vida útil de acordo com a temperatura

Não é o objetivo deste trabalho mostrar qual o motivo da escolha de um lubrificante ou outro, o objetivo principal é mostrar e comprovar que é possível mensurar ganhos energéticos interessantes com o emprego de lubrificantes especiais no lugar do convencional lubrificante de óleos minerais.

3.1 SOBRE A KLÜBER LUBRICATION

Devido a uma grande oportunidade de disponibilidade de dados e produtos , foi possível fazer um extenso trabalho utilizando e comparando os produtos da empresa Klüber Lubrication com os convencionais de base mineral .

O trabalho apresentado aqui mostra uma parte de um projeto inovador iniciado em 2007 onde se pretendia transpor o desafio de comprovar os ganhos energéticos com o emprego de lubrificantes sintéticos e especiais.

A Klüber Lubrication, empresa de origem alemã, presente em mais de 60 países, fornece soluções em lubrificação para assegurar o perfeito funcionamento e a preservação de elementos mecânicos de equipamentos para atividades industriais, como correntes, engrenagens, barramentos, contatos elétricos, rolamentos, válvulas, sistemas pneumáticos e hidráulicos.

A empresa fornece graxas e óleos (sintéticos e minerais) para uma ampla gama de indústrias: automotiva, têxtil, siderúrgica, alimentícia, mineração e cimento.

Atualmente o projeto Eficiência Energética tem assumido uma relevância estratégica muito alta em seus negócios , fazendo com que muitos de seus novos negócios estão voltados com mais este novo diferencial técnico que aumenta sua competitividade e liderança no mercado .

4 OPÇÃO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

4.1 Metodologia

Um procedimento de medição confiável e aceito por organismos internacionais não só torna mais confiável o resultado de um projeto bem como aumenta a reputação e profissionalismo do trabalho realizado , aumentando a oportunidade e atratividade para obter novos parceiros , investidores e financiadores para algum projeto .

Um erro muito comum, é a expectativa que um usuário tem de que após alguma medida de redução de energia ele vai verificar diretamente no medidor principal (normalmente o medidor da concessionária de energia) de uma planta para confirmar a redução de consumo . Esta ação é válida e perceptível somente se um equipamento em questão for o principal consumidor de uma unidade e que corresponda a pelo menos 80% do consumo .

Esta técnica é restritiva e muitas vezesx válida para detectar consumos em residências e outros estabelecimentos comerciais de pequeno porte . Em uma indústria esta leitura não é possível e nem crível para concluir algum efeito de redução no consumo , muito menos para mensurar qual o montante de dinheiro economizado , isto ocorre devido a alta diversidade de equipamentos e as oscilações em volumes de produção , tornando muitas vezes impossível detectar alguma alteração na conta e afirmar que foi devido a esta ação adotada .

Podemos diferenciar estas duas ações como medição isolada e completa , as diferenças básicas são :

Método de toda a instalação:

Mede TODOS os efeitos na instalação tais como :

- Retrofits e outras mudanças (intencionais ou não)
- Geralmente, usa o medidor da concessionária
- Ajustes podem ser complexos;

Método da medida Isolada :

Mede SOMENTE os efeitos do retrofit

- Economias não são afetadas pelas mudanças fora do limite de medição.
- Normalmente é necessária a adição de um medidor;
- Ajustes podem ser simples

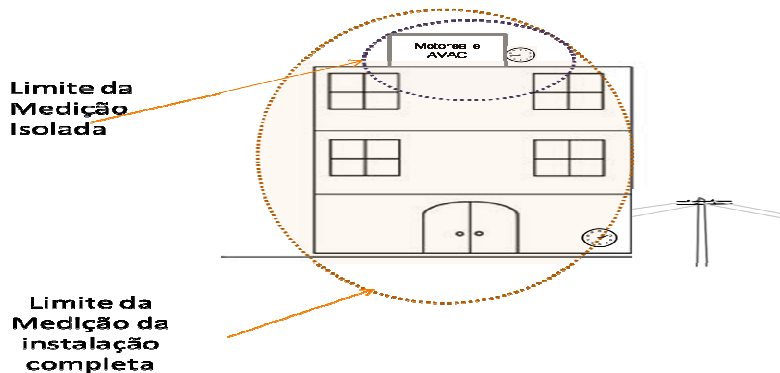


Figura 9- Limites e fronteiras de medição isolada e completa

De uma forma muito simples podemos abordar as opções sugeridas no Protocolo Internacional de Medição e Verificação (IPMVP) , há quatro definições de opções definidas pelas letras A, B ,C e D .

Opção A – medição Isolada , medição dos parametros chaves com algumas suposições , podendo haver incertezas .

Opção B – Medição isolada sem suposições , tudo é medido , não há estipulações .

Opção C – Medição da instalação completa

Opção D – Medição calibrada (dimensionada por software) , com dados

Para a quantificação dos resultados neste trabalho em questão será empregada a opção “B” do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance Energética. Esta opção prevê que todos os parâmetros envolvidos para a mensuração de economia sejam medidos sem nenhuma estimativa envolvida quanto aos valores das variáveis em questão.

Os resultados das medidas de conservação de energia nos sistemas de força motriz são quantificados através da energia economizada correlacionados com variáveis independentes através de modelos matemáticos que reproduzam

fielmente o comportamento de consumo energético em função destas variáveis correlacionadas.

4.1.1 Energia Economizada

Expressa em kWh , calculada conforme a expressão abaixo:

$$EE = (E_1 - E_2) \pm Ajustes$$

Onde:

EE	energia economizada (kWh/ ano)
E ₁	energia consumida pelo conjunto de força motriz existente (kWh)
E ₂	energia consumida pelo conjunto de força motriz eficiente (kWh)
Ajustes	termo que se refere a possíveis ajustes ou adaptações necessárias na linha de base

4.1.2 Variáveis Envolvidas

Energia do conjunto de força motriz existente (E₁)

Refere-se à energia utilizada pelo sistema de força motriz existente, expresso em kWh, e determinado através das metodologias e medições descritas no Plano de Medição e Verificação (linha de base).

Energia do conjunto de força motriz eficiente (E₂)

Refere-se à energia utilizada pelo sistema de força motriz eficiente, expresso em kWh, e determinado através das metodologias e medições descritas no Plano de Medição e Verificação (pós-retrofit).

Ajustes

Termo que se refere a possíveis ajustes ou adaptações necessárias na linha de base mediante a alteração dos fatores estáticos ou variáveis independentes. Estes ajustes são fundamentados nos dados obtidos através da produção de cada equipamento.

4.2 Inventário dos Equipamentos

Faz se necessária a realização de um inventário dos equipamentos envolvidos. As principais atividades deste são: levantamento em campo dos sistemas de força motriz existentes, registros técnicos e fotográficos.

4.3 Medições

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados serão realizadas diretamente nos equipamentos selecionados conforme a amostra, quando houver. Além disto, será acompanhada a produção de cada equipamento ou a realizada pelo conjunto sendo medido.

4.4 Fronteira de Medição

O limite para determinação dos resultados será restrito aos equipamentos (com lubrificante mineral e com Sintético), através da medição continua da energia consumida pelos mesmos correlacionando-os com a produção do equipamento.

4.5 Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição

Serão considerados os possíveis efeitos interativos da ação de eficiência energética com outros sistemas da planta industrial, isto é , será considerado o possível efeito de economia do equipamento em um outro sistema conjugado na planta, por exemplo, o sistema de climatização da sala onde estão instalados os equipamentos objetos deste estudo.

Devido ao lubrificante ser de alto rendimento, há um menor coeficiente de atrito, aumentando a eficiencia mecânica, reduzindo o consumo de energia. Assim, a energia economizada no sistema de refrigeração, é calculada conforme as fórmulas abaixo:

$$EE_R = \frac{EE \times 3412,14}{12000 \times t}$$

Onde:

EE_R	Energia economizada no sistema de climatização (TR)
EE	Energia economizada (kWh/ano)
t	Tempo de utilização do período (h)

Os valores inseridos na formula se referem a conversão de kWh para TR. A partir da energia economizada no sistema de climatização (TR), multiplica-se pela relação de eficiência do sistema de climatização, para obter-se o total de energia economizada em kWh, conforme fórmula abaixo:

$$EE_{R(kWh)} = EE_R \times R_{Efic} \times t$$

Onde:

$EE_{R(kWh)}$	Energia economizada no sistema de climatização (kWh)
---------------	--

EE_R	Energia economizada no sistema de climatização (TR)
R_{Efic}	Relação de Eficiência do sistema (kWh/TRh)
t	Tempo de utilização do período (h)

Podem ser verificadas com uma camera termográfica , as temperaturas médias dos equipamentos monitorados, para avaliar as diferenças com o lubrificante mineral e com o lubrificante sintético. As figuras abaixo mostram exemplos de medição com o termovisor.

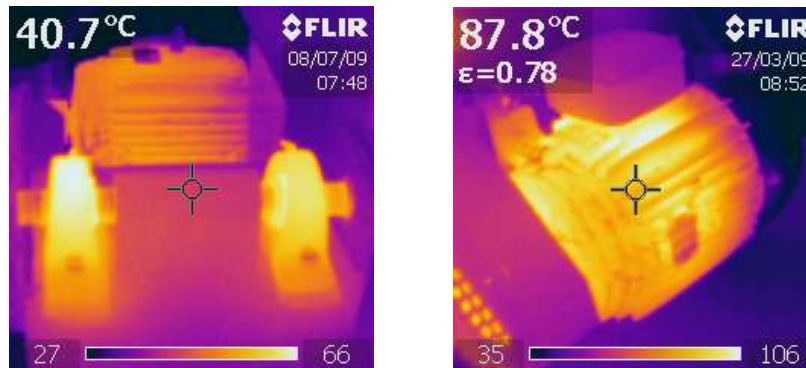


Figura 5 – Exemplo de Medições com o Termovisor – Motor e Rolamento

O procedimento acima foi indicado como forma de avaliação de efeitos interativos existentes , para evitar prolongamento da extensão do trabalho deixamos para outra oportunidade mostrar os resultados dos efeitos interativos , este tema geraria discussão e mais um trabalho exclusivo apenas para este tema

4.6 Variáveis Independentes

São variáveis independentes que afetam diretamente os resultados das medidas de conservação de energia implementadas:

- Potência dos equipamentos monitorados;
- Tempo de operação dos equipamentos monitorados
- Produção dos equipamentos monitorados;

4.7 Calibração de Equipamentos

Os equipamentos de medição utilizados nas medições da linha de base e medições pós retrofit deverão ser os mesmos e calibrados anualmente, por organismo credenciado.

5 DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE

A linha de base representa as características de uso dos equipamentos de força motriz para um ano típico de operação, na indústria beneficiada no projeto, e será apresentada através das variáveis definidas neste plano de medição e verificação:

- Energia do conjunto de força motriz existente (E_1);
- Produção (batida ou metros de fio)

O tempo da medição para a linha de base será de 48 horas consecutivas. Serão registradas as grandezas elétricas no período e monitorado os valores de produção (dados obtidos no display da máquina). Deverão ser observados os dados referentes ao produto (título, processo, lote, etc.)

A linha de base será representada por uma função / modelo matemático que descreve a eficiência da unidade do consumo de referência e determinado através de uma análise de regressão como sendo de:

$$E_1 = f(\text{produção } i, \text{Tempo})$$

Onde

E_1	Energia consumida na linha de base (baseline) (kWh)
Produção <i>i</i>	Volume de produção do produto “i” no sistema [metros/fio, batidas]
Tempo	Duração da produção do produto “i” [hora]

6 PÓS RETROFIT

O período pós retrofit representa as características de uso dos equipamentos de força motriz para um ano típico de operação, nas indústrias beneficiadas no projeto, após o processo de efficientização dos equipamentos quando da troca do óleo lubrificante.

As medições do período pós-retrofit serão realizadas nos mesmos pontos monitorados durante a determinação da linha de base, após a implementação das ações de eficiência energética, porém no período determinado no contrato.

Serão realizadas avaliações periódicas das economias obtidas, e um estudo financeiro com os ganhos.

O período pós retrofit será apresentado através das variáveis definidas em um plano de medição e verificação:

- Energia do conjunto de força motriz existente (E_2)
- Produção (mencionada em Kg/hora , ou metros de produto processado pelo equipamento) .,

O tempo da medição para a pós retrofit será de pelo menos igual ao baseline .

Foram registradas as grandezas elétricas no período e físicas, e monitorado os valores de produção (dados informados pela planta onde a medição foi realizada).

Deverão ser observados os dados referentes ao produto (título, processo, lote, etc.), certificando-se de que o produto é o mesmo do período da linha de base, mantendo-se as mesmas características de produção.

7 SUB-ÁREAS ESPECÍFICAS

Para obtenção dos resultados finais é requerido no meio do caminho aplicação e conhecimento de várias de engenharia e matemática estatística.

As áreas englobadas neste estudo são:

- Estatística (análise de regressão, frequências e distribuição gaussiana)
- Termodinâmica (ciclo Rankine e balanço energético)
- Mecânica Dinâmica
- Mecânica dos Fluidos (estudo de atrito hidrodinâmico)
- Elementos de Construção de Máquinas
- Tribologia

8 RESULTADOS DO PROJETO

Os resultados do projeto serão determinados através das fórmulas constantes no plano de medição e verificação e serão apresentados como Energia Economizada.

$$EE = (E_1 - E_2) \pm Ajustes$$

Onde:

EE	energia economizada (kWh/ ano)
E ₁	energia consumida pelo conjunto de força motriz existente (kWh)
E ₂	energia consumida pelo conjunto de força motriz eficiente (kWh)
Ajustes	termo que se refere a possíveis ajustes ou adaptações necessárias na linha de base

9 ESTUDO DE CASO – TURBOGERADORES

O trabalho consistiu numa primeira medição do consumo de energia nos equipamentos previamente selecionados, lubrificados com óleo mineral, por um período de 30 dias. Após este período, foi realizada a troca de todo óleo mineral contido nos respectivos equipamentos e substituiu-se pelo óleo sintético KLUBER-SUMMIT HYSYN FR-46, sendo que este procedimento de troca ocorreu no período de entressafra prévio à safra 2011/2012.

A medição para determinação e comprovação da economia foi feita em comparação com o mesmo período do ano anterior, ou seja, durante o mês de agosto. Pressupõe-se que, para o mesmo período, as condições de moagem, umidade e poder calorífico do bagaço são similares.

O trabalho neste estudo consiste em isolar as variáveis de influência na medição do consumo de energia elétrica dos equipamentos escolhidos e medir grandezas elétricas e físicas, tais como: potência elétrica gerada (kW), tempo de operação (h), consumo de energia calórica do vapor, consumo de bagaço, para então comparar o consumo requerido por cada conjunto equipamento-lubrificante na Linha de Base (lubrificante existente na máquina) e Pós Retrofit (lubrificante Klüber).

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas em campo, para cada lubrificante, diretamente no local da instalação, nos sistemas de medição da do cliente, SDCD e PI. As medições foram efetuadas com o intervalo de 30s (trinta segundos) entre amostras e as análises foram realizadas com o mesmo período.

Após este processo, foi realizado um estudo que consiste em isolar as variáveis de influência na medição do consumo de energia calórica e geração de energia elétrica e medir grandezas elétricas e físicas, tais como: temperatura, pressão, vazão de vapor, potência elétrica gerada, tempo de operação e consumo de energia térmica, para então comparar o desempenho na Linha de Base (lubrificante mineral) e Pós Retrofit (lubrificante Klüber).

9.1 MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

9.2 Metodologia e variáveis de Influência

Como mencionado acima, para a quantificação dos resultados foi empregada a opção “B” do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (IPMVP).

A escolha da metodologia foi embasada em diversos aspectos técnicos, conforme a tabela 3 do Volume I do IPMVP, EVO 10000 – 1:2007.

- **Caldeira:** consumo de bagaço de cana queimado para geração de vapor
- **Turbina de Alta:** o consumo de energia de uma turbina é influenciado por diversos fatores, tais como:
 - o Vazões de vapor de entrada e saída
 - o Temperaturas das correntes de vapor envolvidas
 - o Pressões do vapor de entrada e saída
- **Turbina de baixa : mesmas variáveis da turbina de alta**
- **Redutor:**
 - o Temperatura de óleo nos mancais do pinhão
 - o Temperatura do óleo nos mancais da engrenagem
 - o Vazão de circulação do óleo
- **Gerador**
 - o Potencia elétrica gerada

Os resultados das medidas de conservação de energia nos sistemas de força motriz são quantificados através:

- Aumento de Energia Gerada (kWh)
- Redução de Consumo de bagaço queimado
- Rendimento , como nas equações abaixo :

$$\eta = \frac{KW_{\text{gerado}}}{\text{Potencia de Entrada}} \quad \text{OU} \quad \eta = \frac{KW_{\text{gerado}}}{\text{Vazão do vapor entrada}}$$

9.3 Fronteiras de Medição

A fronteira de medição definida para este equipamento envolve os limites do equipamento como esquematizado na figura abaixo:

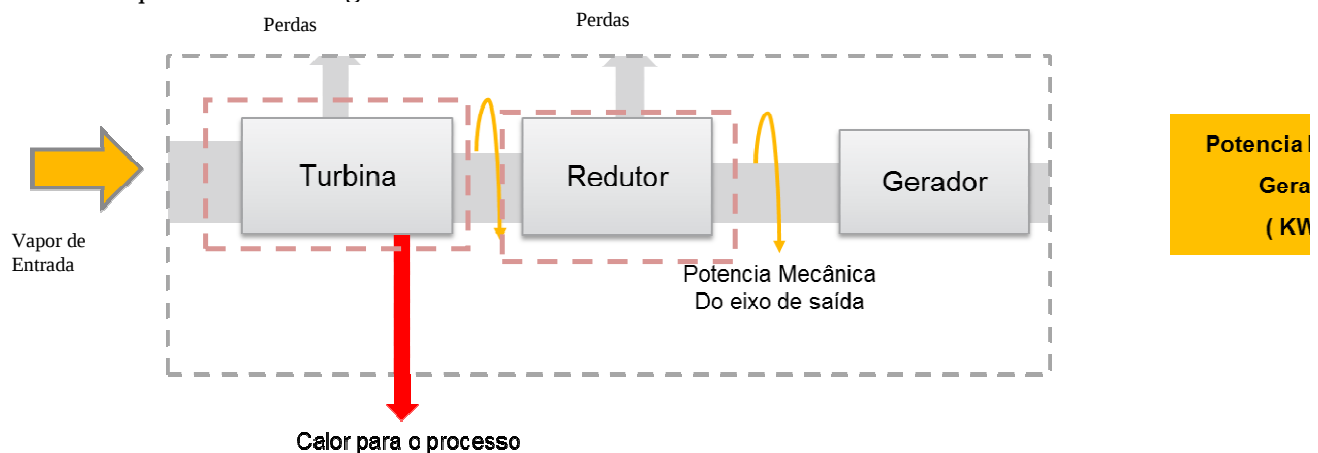


Figura 10 – Fronteiras de Medição

9.4 Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição

Um dos efeitos interativos seria o de considerar a influência no calor adicional gerado para o processo e qual o benefício, porém não foram considerados estes efeitos interativos nos cálculos para determinação do resultado final. Fica a critério do cliente quantificar internamente os benefícios da variação deste efeito.

9.5 Variáveis Independentes e Fatores Estáticos

São variáveis dependentes as geradas e influenciadas pelas variáveis independentes

- Entalpia das correntes de vapor de entrada e saída
- Perdas térmicas
- Potência Mecânica
- Energia gerada

São variáveis independentes as que afetam diretamente os resultados das medidas de conservação de energia implementadas:

- Pressão
- Vazão do vapor

- Temperatura
- Temperatura do óleo no redutor
- Vazão de lubrificante no sistema

São fatores estáticos aqueles onde não se espera que variem ao longo do tempo mas têm influência no resultado:

- Horas de funcionamento
- Poder calorífico do bagaço (PCI) , o PCI varia ao longo da safra porém para efeito de comparação de resultados será adotado o mesmo valor para os dois períodos (12 KJ / Kg).

9.6 Metodologia de Cálculo

Nos itens abaixo são explicados, passo a passo, a metodologia para obtenção da Linha de Base.

9.6.1 Aquisição dos Dados

Dados foram obtidos pelo registros armazenados no SDCD do cliente. foi enviada planilha no formato Excel contendo os dados das variáveis dependentes e independentes para realização dos cálculos necessários para se alcançar uma conclusão.

Arquivo eletrônico com os cálculos realizados são parte integrante deste relatório.

9.6.2 Função por regressão e correlação

Regressão é uma técnica estatística que permite explorar e inferir a relação de uma variável dependente (variável de resposta) com variáveis independentes específicas (variáveis explicatórias). A análise da regressão pode ser usada como um método descritivo da análise de dados (como, por exemplo, o ajustamento de curvas) sem serem necessárias quaisquer suposições acerca dos processos que permitiram gerar os dados.

Regressão designa também uma equação matemática que descreva a relação entre duas ou mais variáveis

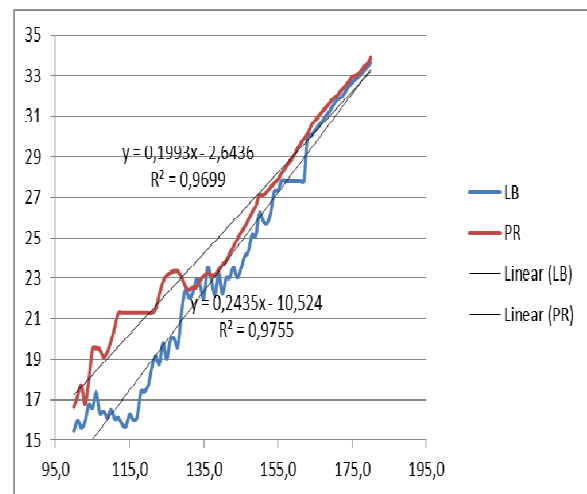
No estudo em questão a variável dependente é a energia gerada (MW) em função da variável independente “ vazão de vapor “ na entrada da turbina .

A regressão, em geral, trata da questão de se estimar um valor condicional esperado, ou seja , através de análise de dados medidos no baseline e no pós retrofit é possível determinar uma equação matemática que explique o fenômeno e com isto determinar um valor esperado da variável dependente (Potencia Gerada) para um determinado valor de variável de entrada (Vazão de vapor).

O índice de correlação (R^2) determina o quão precisa é a equação de regressão ou o quanto o fenômeno físico analisado é explicado pela equação .Índices de

correlação maiores que 70% são considerados de grande aceitação e explicação dos fenômenos por uma equação matemática.

Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (ton / h)	Potência Gerada (MW)
164,050000	30,380000
169,540000	31,460000
172,230000	32,240000
174,220000	32,910000
175,910000	33,600000
177,500000	34,120000
179,030000	34,680000
180,580000	35,050000
182,420000	35,440000



As equações da figura acima explicam com bom grau de certeza (0,99) o fenômeno físico analisado a partir dos dados obtidos.

O passo a passo é como abaixo .

- Determinação da equação no período Baseline e Pós Retrofit.
- No período Pós Retrofit para cada vazão de vapor medida aplica-se a equação do período Baseline(*Pot LB calculada = f(vazão_i)*) e determina o valor da potencia gerada para aquela vazão lida .

- Calcular para cada linha de leitura o ganho de potencia obtido ;

$$Ganho_{vazão\ i} = Potencia\ PR\ lida - Potencia\ LB\ calculada$$

- Calcular a média obtida de todos os ganhos

9.7 Resultados Obtidos da Linha de Base

Na **Error! Reference source not found.** tabela abaixo é apresentado um resumo dos dados monitorados nos dois períodos.

Período = LB

Descriptive Statistics ^a						
	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Potência Entrada (MW)	62.779	92,3810	89,4660	181,8470	170,289374	8,8517080
Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (t/h)	62.779	91,1300	93,8700	185,0000	174,064882	8,9298794
Vazão 2	62.779	65,95	25,23	91,18	63,6170	6,43392
Potência Térmica (MW) Alta	62.779	20,4644200	10,4784640	30,9428840	27,250832283	1,9310498
Entalpia Vapor 3	62.779	118,5027	2.693,8426	2.812,3453	2.781,379594	7,0684624
Temperatura vapor na entrada da turbina baixa	62.779	76,8500	222,9200	299,7700	279,688453	4,5839574
Carga Térmica Baixa (MW)	62.779	4,6411	2,1527	6,7938	5,567091	,3649784
Potência Gerada	62.779	22,5600	14,6800	37,2400	33,088057	2,4226725
Valid N (listwise)	62.779					

a. Período = LB

Foi determinada a função de regressão conforme abaixo

Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: PGerLB

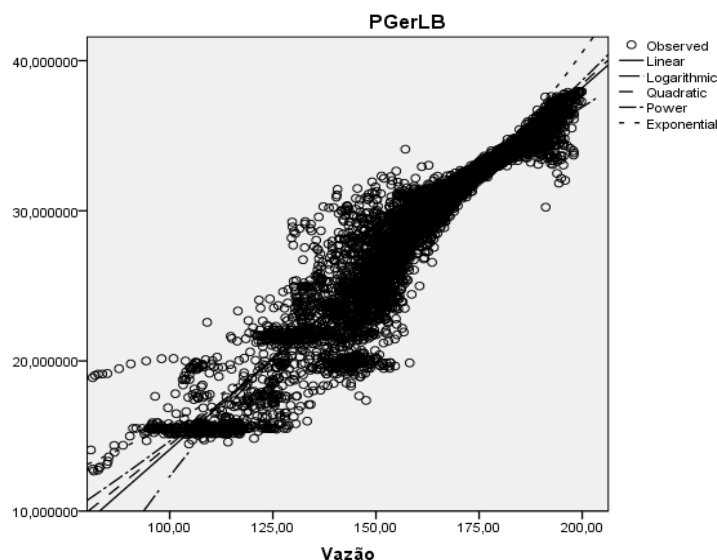
Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	,905	62.609,202	1	6.547	,000	-10,524	,241	
Logarithmic	,890	52.856,346	1	6.547	,000	-151,031	35,470	
Quadratic	,906	31.395,888	2	6.546	,000	-6,781	,198	,000
Power	,886	50.899,018	1	6.547	,000	,023	1,401	
Exponential	,881	48.666,705	1	6.547	,000	6,174	,009	

The independent variable is Vazão.

Devido ao maior coeficiente de explicação R^2 (0,902) e por estar melhor alinhado à explicação do fenômeno físico (**Energia = $m\Delta H - T\Delta S$**) foi adotado o modelo linear.

Logo, a equação da reta da linha de base é:

$$Pot\ Gerada = 0,241xVazão - 10,524$$



9.8 PÓS RETROFIT

O período pós retrofit representa as características de uso do equipamento após o processo de efficientização dos equipamentos quando da troca do óleo lubrificante. As medições desse período foram realizadas nos mesmos pontos monitorados durante a determinação da Linha de Base, imediatamente após a implantação da troca do lubrificante e período de maturação do mesmo.

Período = PR

Descriptive Statistics^a

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Potência Entrada (MW)	65.183	94,2450	86,5350	180,7800	156,292350	11,3687248
Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (t/h)	65.183	94,8100	90,1500	184,9600	159,946796	11,5805194
Vazão 2	65.183	50,86	30,06	80,92	57,9521	6,18260
Potência Térmica (MW) Alta	65.183	76,2733090	11,7998310	88,0731400	25,809662487	2,8517096591
Entalpia Vapor 3	65.183	417,3423	2.703,4185	3.120,7608	2.743,487675	7,9768144
Temperatura vapor na entrada da turbina baixa	65.183	270,6500	229,1300	499,7800	255,115224	5,1730314
Carga Térmica Baixa (MW)	65.183	12,2771	1,8737	14,1509	4,048873	,4233936
Potência Gerada	65.183	23,1600	12,8400	36,0000	29,481144	3,1840294
Valid N (listwise)	65.183					

a. Período = PR

Model Summary and Parameter Estimates^a

Dependent Variable: Potência Gerada

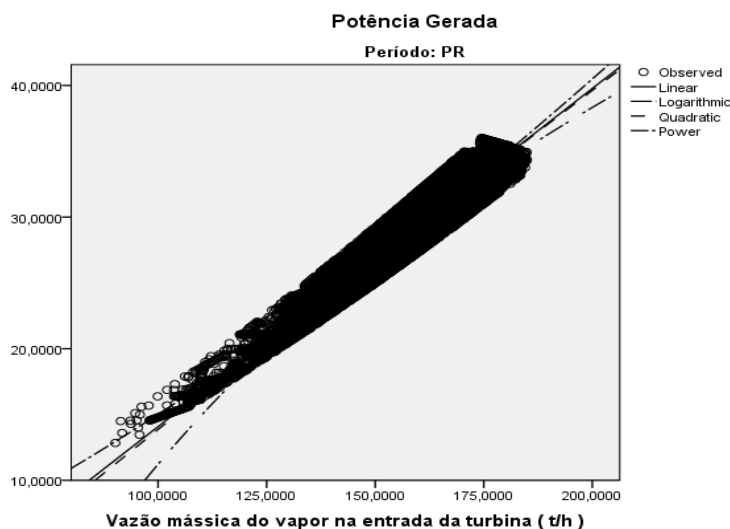
Equation	Model Summary					Parameter Estimates		
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	,873	449.335,816	1	65.181	,000	-2,645	,1993	
Logarithmic	,869	433.339,572	1	65.181	,000	-149,886	39,110	
Quadratic	,873	224.725,049	2	65.180	,000	-13,435	,281	-7,702E-5
Power	,888	514.236,884	1	65.181	,000	,021	1,431	

The independent variable is Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (t/h).

a. Período = PR

Seguindo a mesma linha de raciocínio do período linha de base , a equação do período pós retrofit (PR) fica :

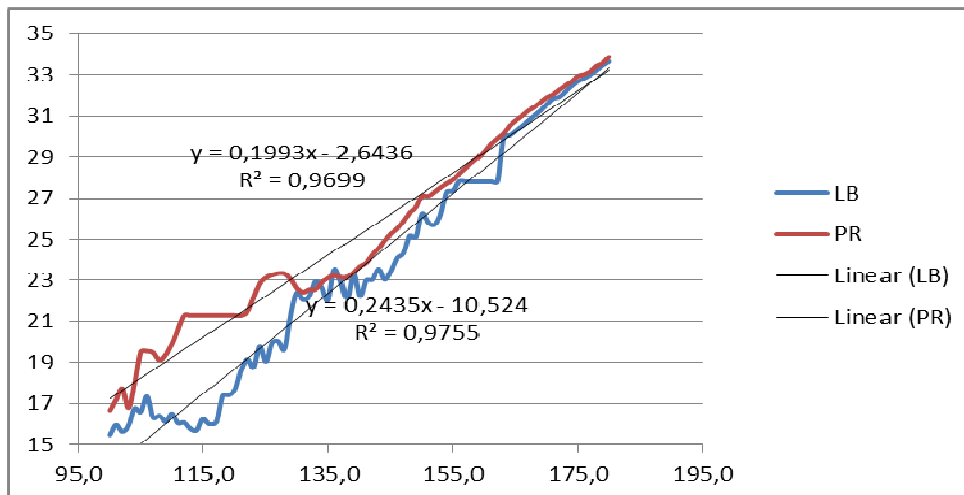
$$Pot\ Gerada = 0,1993xVazão - 2,645$$



9.9 COMPARATIVO DOS DADOS

Para que seja possível uma comparação adequada das ações antes e após a troca do lubrificante, ajustam-se o período da baseline e o pós retrofit para um mesmo conjunto de condições para se efetuar comparações válidas. Assim, com todos os dados monitorados no período de pós retrofit, avaliou-se cada produto individualmente, e comparou-se com os dados da linha de base, como ação de ajuste no baseline e pós retrofit, é definida uma função matemática para cada um desses períodos que reproduz o comportamento/resposta do

Como comparação gráfica , é possível perceber as diferenças de rendimento conforme o gráfico abaixo

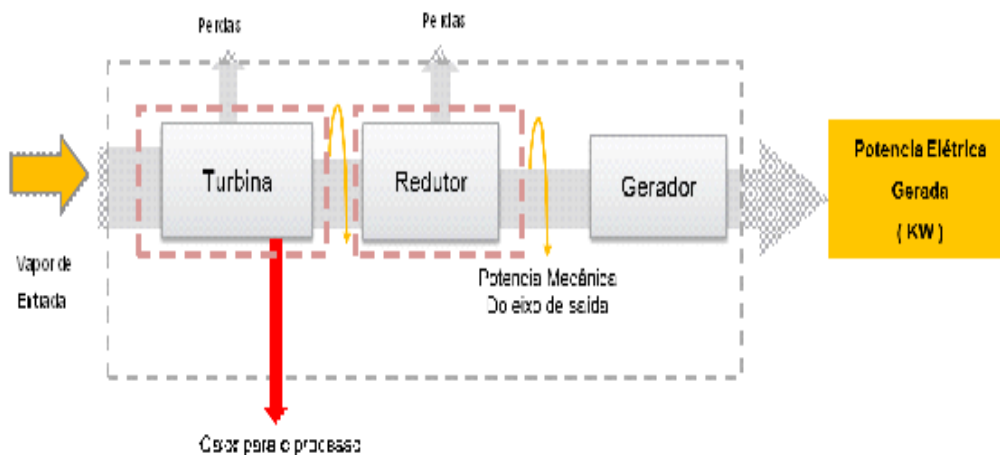


Para efeito de quantificação é necessário realizar cálculos para cada faixa de vazão de vapor de entrada. Devido ao enorme volume de dados para comparação (100.000 pontos no total), os dados foram distribuídos em 10 faixas diferentes (ou percentil) analisando o comportamento LB e PR para cada uma das faixas !

9.10 Resultados obtidos

Utilizando a metodologia definida e descrita no item 9.6.2 foi realizada a comparação entre os dados medidos no Pós Retrofit e no Baseline. Consequentemente, foram obtidos os seguintes resultados:

9.10.1 Fronteira de medição: Turbogenerador completo



Nesta fronteira de medição são avaliadas as variações de potência gerada em função da mesma vazão do vapor de entrada.

Empregando nos dois períodos (LB e PR) os dados obtidos através de cálculos de regressão, temos:

Comparação entre valores das **Potencias PR calculada com a Potencia LB calculada**

Statistics^a

		Vazão do vapor	Potencia Calculada LB	Potencia Calculada PR	DELTA = LB - PR
		Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (t/h)	IF (Período = "PR") POTGERLB=Vazãomás sicadovapornaentradat urbinath*0.2435-10.524	IF (Período = "PR") POTGERPR=0.199 3 * Vazãomássicadovap ornaentradataturbin ath-2.6436	IF (Período = "PR") DELTAPOT=POT GERLB- POTGERPR
N	Valid	65.183	65.183	65.183	65.183
	Missing	0	0	0	0
Median		161,560000	27,997186000	29,555300	-1,55644800
Percentiles	10	145,010000	24,785934	26,2568930	-2,287958
	20	151,170000	26,285894	27,48458100	-2,0156860
	30	155,460000	27,33050999	28,339578000	-1,826068
	40	158,670000	27,11214500	28,97933100	-1,6841860001
	50	161,560000	27,997185860	29,555308004	-1,55644800
	60	164,280000	28,4781800	30,0974040	-1,436224000
	70	166,900000	29,435614999	30,6195700	-1,3204200
	80	169,550000	29,9614250	31,147715000	-1,203290000
	90	173,070000	30,81854499	31,8492510	-1,04770600

a. Período = PR

Comparação entre valores das **Potencias PR medida com a Potencia LB calculada**

Statistics ^a					
		Vazão do vapor	Potencia Calculada LB	Potencia Real PR	DELTA = LB - PR
		Vazão mássica do vapor na entrada da turbina (t/h)	IF (Período = "PR") POTGERLB=Vazão mássica do vapor na entrada da turbina * 0.2435 - 10.524	Potência Gerada (dado real da medição)	IF (Período = "PR") delta POTGER=PO TGERLB - Potência Gerada
N	Valid	65.183	65.183	65.183	65.183
	Missing	0	0	0	0
Median		161,560000	28,81586000	29,870000	-1,81931503
Percentiles	10	145,010000	24,785934	25,310000	-3,48186205
	20	151,170000	26,2858946	26,960000	-2,94164500
	30	155,460000	27,3305099	28,040000	-2,52640700
	40	158,670000	28,1121450	28,980000	-2,16459100
	50	161,560000	28,8158600	29,870000	-1,81931500
	60	164,280000	29,478180	30,670000	-1,49503500
	70	166,900000	30,11614999	31,480000	-1,1454150
	80	169,550000	30,761425	32,360	-,779755000
	90	173,070000	31,61854499	33,2300	-,35928400

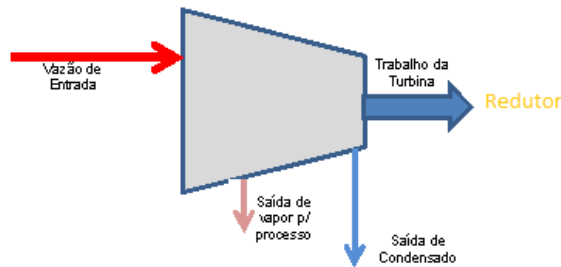
a. Período = PR

Resumindo os dois métodos de cálculo temos :

Tipo de cálculo	Ganho Médio na Geração
Ganho =Potencia PR Medida – LB Calculada	1,819 MW
Ganho = Potencia PR Calculada – LB Calculada	1,556 MW

Por conservadorismo, é padrão adotar-se o menor resultado. Podemos afirmar que o ganho médio, após a troca de óleo, foi de pelo menos **1,556 MW** em termos de geração de potência.

9.10.2 Fronteira de medição : Turbina



Cálculo de potência de entrada da turbina se faz necessário para verificar se, na mesma condição de trabalho, a qualidade do vapor se altera ou não. Esta análise é importante de se fazer para verificar qual é a variação de temperatura do vapor superaquecido e, por consequência, qual seria a sua entalpia. Esta variação de energia tem impacto direto no consumo de bagaço.

Foi realizada análise dos dados e foram analisados estatísticas de comportamento de vazão de entrada de vapor e da energia fornecida ao sistema, ou seja:

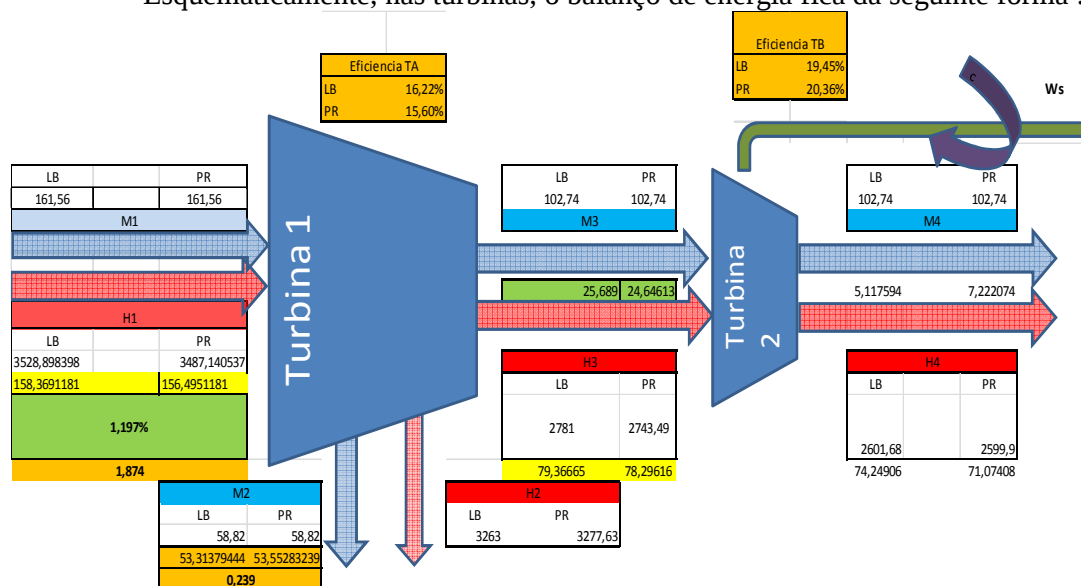
$$PotEntrada = f(vazão\ de\ entrada)$$

Fazendo-se a comparação na média da vazão do vapor no período **PR: 161,56 ton/h.**

Vazão de entrada (ton / hora)	Período	Potencia de Entrada (MW)	Diferença (MW)
161,56	LB	158,369	1,874
	PR	156,495	

O resultado de um período ter uma potência de entrada maior que o outro significa que é necessário uma carga térmica maior no vapor para um mesmo serviço. Por carga térmica, entende-se maior temperatura e pressão e, conseqüentemente, maior consumo de bagaço .

Esquematicamente, nas turbinas, o balanço de energia fica da seguinte forma :



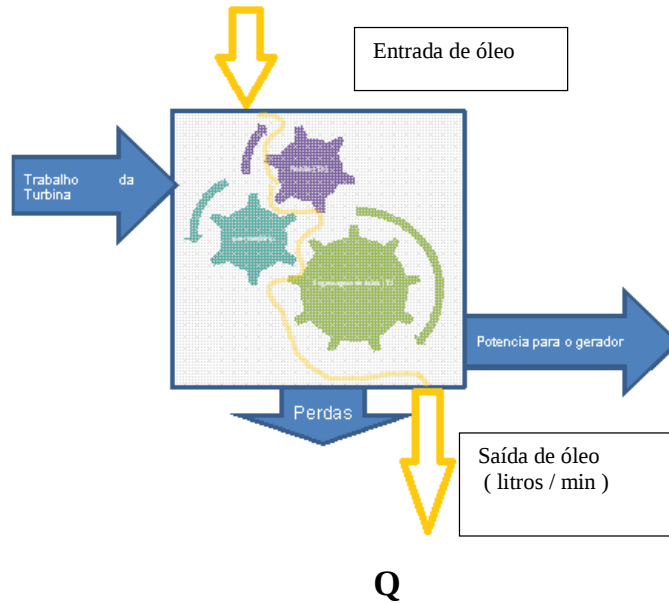
Na mesma análise, o consumo médio de bagaço de cana no período PR empregado na queima para gerar a mesma vazão de 161,56 ton/h foi de 45,03 ton/h.

Adotando o PCI do bagaço de 12,1 MJ/ Kg, é possível fazer a comparação de consumo de bagaço:

Consumo de Bagaço na Queima		
	LB	PR
PCI (MJ / Kg)	12,51	12,51
Kg/s	12,6594019	12,5096
Kg/h	45.573,85	45.034,57
Ton/dia	1.093.772	1.080.830
Consumo Diário de bagaço	1.939.367	1.916.418
Rendimento da Caldeira	56,40%	
Economia Diária de bagaço (ton)	22,95	

9.10.3 Fronteira de medição: Redutor

No redutor, há o seguinte fluxo de energia e perdas:



Procedimentos de cálculo para encontrar o rendimento, antes e após a substituição do óleo, foram adotados à partir da medição da potência mecânica, vazão de óleo circulante, assim como o delta de temperatura do óleo.

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Q = Energia térmica dissipada

$\dot{m}$ = vazão mássica do óleo lubrificante

C_p = calor específico do óleo lubrificante

ΔT = temperatura de saída do óleo – temperatura de entrada do óleo

O menor calor dissipado Q reflete ganho em potência mecânica a ser transferida para o gerador, resultando numa maior potência elétrica com o mesmo trabalho vindo do eixo da turbina gerada.

Período = LB

		Pinhao	Engrenagem	DELTAT
N	Valid	100.000	100.000	100.000
Median		100,375000	59,87500	40,5000
Percentiles	10	99,0952500	59,500000	39,000
	20	99,75000	59,62500	39,8000
	25	100,0000	59,750000	39,982500
	30	100,00000	59,762500	40,1250
	40	100,250000	59,875000	40,372500
	50	100,375000	59,87500	40,5000
	60	100,597500	60,0000	40,7500
	70	100,75000	60,1250000	40,875000
	75	100,75000	60,1250000	41,0000
	80	100,87500	60,125000	41,1250000
	90	101,000	60,332500	41,375000

a. Período = LB

Período = PR

		Pinhao	Engrenagem	DELTAT
N	Valid	100.001	100.001	100.001
Median		103,750	62,1250	41,4750
Percentiles	10	100,7500	61,62500	39,000
	20	102,7500	61,87500	40,37500
	25	103,000	61,87500	40,6825
	30	103,250	62,00000	40,8750
	40	103,500	62,12500	41,250000
	50	103,7500	62,1250	41,475000
	60	104,000	62,2500	41,712500
	70	104,250000	62,3750	41,947500
	75	104,25000	62,3750	42,12500
	80	104,3900	62,5000	42,132499
	90	104,75000	62,87500	42,472500

Para a mesma vazão de entrada de vapor a **161,56 ton/h**, temos o seguinte comportamento de perda térmica:

Período = LB

	Mean	Std. Deviation
DELTAT	40,111	2,78072603
Cp	2,86500	
vazãooleo	26,6600	
Perdatermica=vazãooleo * Cp *	3.063,976	212,394340
DELTAT		

Período = PR

	Mean	Std. Deviation
DELTAT	40,702	4,490914
Cp	2,06000	
vazãooleo	27,5600	
Perdatermica=vazãooleo * Cp *	2.310,976	254,965
DELTAT		

Ganho de Potência devido ao menor atrito no redutor

O ganho de potência ou de energia gerada é calculado pela diferença entre as perdas térmicas dos dois períodos.

$$\text{Ganho} = 3.063,976 - 2.310,976 = 753 \text{ KW}$$

$$\text{Ganho} = 753,0 \text{ KW}$$

Diagrama de um sistema de transmissão de energia mecânica.

O diagrama ilustra o fluxo de energia através de um sistema de engrenagens e um redutor. O eixo de entrada (verde) entra por uma engrenagem lateral esquerda e aciona um conjunto de engrenagens. O eixo principal (verde) passa por um redutor (caixa azul) e sai por uma engrenagem lateral direita. O eixo de saída (verde) é acionado por uma engrenagem lateral esquerda e sai por uma engrenagem lateral direita.

Detalhamento dos dados de eficiência e potência:

- Estágio 1 (Entrada):**
 - W_s: 30,62962
 - LB: 19,591%
 - PR: 20,36%
 - 31,358
- Redutor:**
 - Delta T: 40,111
 - Cp: 2,865
 - 3,064346329**
- Estágio 2 (Saída):**
 - Delta T: 40,702
 - 2,06 CP
 - 2,31289522**
 - 24,52%
- Estágio 3 (Saída):**
 - W_g: 28,76786
 - 29,63786
- Estágio 4 (Saída):**
 - Vazão: 26,6655
 - 27,585
 - 0,751451**

- Aumento de eficiência em 24% ou 0,75 MW
- Eficiência da turbina aumentou em 0,77% ou 0,73 MW
- Aumento de geração em 1,5 MW devido ao desempenho do lubrificante
- Economia de bagaço em torno de 23 toneladas por dia
- Vapor para o processo de maior qualidade térmica (240 KW)

9.11 RESULTADOS FINAIS E AVALIAÇÃO FINANCEIRA

Como resultado do sistema, apresentamos resumidamente abaixo:

Variável	Baseline	Pós-retrofit	Diferença / Ganho
Energia de Entrada	158,37 MW	156,50 MW	1,87 MW
Consumo Diário de bagaço (Ton.)	1.939,37	1.916,83	22,95 ton
Trabalho na saída da Turbina	30,63 MW	31,36 MW	0,73 MW
Eficiência da turbina %	19,34%	20,04 %	0,70 %
Dissipação térmica no redutor	3,064 MW	2,312 MW	0,752 MW
Energia Gerada	27,997 MW	29,55 MW	1,556
Rendimento turbo gerador $\eta = \frac{KW_{gerada}}{Potencia\ da\ Entrada}$	17,69 %	18,88 %	1,19 %
Ganhos Totais de Eficiência	6,3 % (Térmica)		5,56% (Geração)

Os ganhos podem ser desmembrados nos dois grupos principais e relevantes financeiramente. O aumento de energia gerada que impacta em mais receita com exportação de energia para a concessionária e a redução de consumo de biomassa (bagaço).

Levando em conta valores médios do bagaço e de energia praticados pelo mercado com o tempo de duração da safra de 220 dias ou 5.280 horas, é possível contabilizar financeiramente o benefício alcançado.

Economia com Bagaço	
Tempo de Safra / Geração	220 dias
Economia Diária de bagaço (ton)	22,95 ton /dia
Preço Bagaço	R\$ 65,00 / tonelada
Economia Anual	R\$ 328.167,12

Receita adicional com Energia	
Geração Adicional	1,556 MW
Energia Mercado Livre	R\$ 120,00 / MWh
Receita Anual	R\$ 985.881,60

Total	
Economia com Bagaço	R\$ 328.167,12
Aumento de Receita com maior Geração	R\$ 985.881,60
Total	R\$ 1.314.048,72

Levando em conta os investimentos necessários para a implementação do produto e os custos operacionais envolvidos e também considerando que o novo período de troca é de 3 anos (ou safras) contra 1 ano atualmente com óleo mineral .

Dados de custos operacionais para confecção do Fluxo de caixa .

Project Financials Input		
Project Start Year	2013	
Project End Year	2016	
Implementation Month	0	
Initial Test Date	01/01/2011	
Current Energy Costs (per MWh)	Energy Source	R\$ 100,00
	Wire	R\$ 20,00
	Demand	R\$ -
	Total cost per MWh	R\$ 120,00
Client's Mineral Oil Cost (R\$/Liter)		R\$ 4,50
% Oil Flushing		10%
Applicable oil exchange level		100%
Sythetic Oil Replacement Index		10%
Percent of Mineral Oil Replaced and Exchanged		100%
Mineral Oil Exchange Index		10%
Oil Disposal Cost per Liter		R\$ 0,45
Filter Replacement Cost		R\$ -
Periodical Maintenance Cost		R\$ -
Coalescentes Replacement Costs		R\$ -
Labor, exchange, and replacement oil cost per Liter		R\$ 2,00
Oil FR 46 Price	R\$	24,00
Flushing Oil Price	R\$	24,00

Dados de custos financeiros e impostos envolvidos ;

Taxes		
Tax	Client	Kluber
	%	
GIS	1,65%	1,65%
Discount Rate	15,00%	15,00%
ISS	2,00%	2,00%
INSS	4,00%	4,00%
ICMS	18,00%	18,00%
IPI	15,00%	15,00%
PIS/Cofins	9,25%	9,25%

Com o emprego de óleo mineral podemos considerar que o projeto atual com óleo mineral tem o seguinte desempenho financeiro de despesas .

Mineral Oil				
Year	2013	2014	2015	2016
Revenue				
From EE	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub Total	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Investments				
Investment for Oil Change -RETROFIT	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub Total	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Costs				
Oil for Replenishing	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)
Oil for Exchange	R\$ (45.000,00)	R\$ (45.000,00)	R\$ (45.000,00)	R\$ (45.000,00)
Disposal Fee	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)	R\$ (6.750,00)
Oil exchange labor	R\$ (20.000,00)	R\$ (20.000,00)	R\$ (20.000,00)	R\$ (20.000,00)
Filter exchange costs	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Coalescentes Exchange Costs	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Periodical Maintenance Costs		R\$ -		R\$ -
Lubricant Replenish Labor	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)
Sub Total	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)
Cashflow Total	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)	R\$ (81.500,00)
NPV	R\$ (267.582,85)			
IRR	#NUM!			

Para efeito de comparação teremos o fluxo de caixa para a Cliente com a implementação de lubrificação com Hysyn FR 46 no turbogerador TG 4 ficaria :

Kluber Synthetic Oil				
Year	2013	2014	2015	2016
Revenue				
From EE	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00
Sub Total	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00	R\$ 1.311.552,00
Investments				
Investment for Oil Change -RETROFIT	R\$ (569.072,16)			
Investment for Oil Flushing	R\$ (27.347,56)			
M&V equipment investment	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Sub Total	R\$ (596.419,73)	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Costs				
Oil for Exchange	R\$ (596.419,73)	R\$ (56.907,22)	R\$ (56.907,22)	R\$ (56.907,22)
Lubrication Service	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Regular Oil Exchange				
Report -M&V	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Oil exchange labor	R\$ (30.000,00)			
Filter exchange costs		R\$ -		R\$ -
Periodical Maintenance Costs				
Coalescentes Exchange Costs			R\$ -	
Lubricant Replenish Labor	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)	R\$ (3.000,00)
Sub Total	R\$ (629.419,73)	R\$ (59.907,22)	R\$ (59.907,22)	R\$ (59.907,22)
Cashflow Total	R\$ 682.132,27	R\$ 1.251.644,78	R\$ 1.251.644,78	R\$ 1.251.644,78
NPV	R\$ 3.539.919,08			
IRR	#NUM!			
PBS	0,48	6 meses		

Fazendo as comparações entre os projetos é possível computar qual seria a rentabilidade e viabilidade dos mesmos.

Year	Projects Comparision				
	Synthetic	Mineral	Líquido	Acumulado	Acumulado Liq
0	R\$ 682.132,27	R\$ (81.500,00)	R\$ 763.632,27	R\$ 682.132,27	R\$ 763.632,27
1	R\$ 1.251.644,78	R\$ (81.500,00)	R\$ 1.333.144,78	R\$ 1.933.777,06	R\$ 2.096.777,06
2	R\$ 1.251.644,78	R\$ (81.500,00)	R\$ 1.333.144,78	R\$ 3.185.421,84	R\$ 3.429.921,84
3	R\$ 1.251.644,78	R\$ (81.500,00)	R\$ 1.333.144,78	R\$ 4.437.066,62	R\$ 4.763.066,62
4	R\$ (504.878,05)	R\$ -	R\$ (504.878,05)	R\$ 3.932.188,58	R\$ 4.258.188,58

O resultados financeiros finais de valor presente líquido e retorno de investimento :

Respostas para os projetos			
	Synthetic	Mineral	Líquido
PBS	(0,54)	-	(0,57)
PBD	-	-	-
VPL	3.126.455,29	(267.582,85)	3.518.836,27
VFL	4.134.737,12	(353.878,32)	4.653.660,96

9.12 AVALIAÇÕES OPERACIONAIS

Cabe lembrar que, os benefícios do produto Klüber avaliado, não compreendem somente os de economia de energia. Dentre os benefícios adicionais, podemos enumerar:

- Produto resistente a fogo, com ponto de autoignição ao redor de 450°C, evitando sinistros nesses equipamentos devido à condição de trabalho em alta temperatura.
- Produto biodegradável
- Vida útil cerca de 3 vezes superior à de um óleo mineral
- Baixa formação de resíduos no reservatório, colaborando para limpeza e maior vida útil do equipamento e peças
- FZG > 12. Esta característica é fundamental para um bom comportamento do redutor, diminuindo o desgaste nos dentes das engrenagens.
- Alto Índice de viscosidade, por volta de 220, o que significa um filme lubrificante mais efetivo em temperaturas mais elevadas.
- Redução de emissões de CO2 devido a menor queima de bagaço.

9.13 CONCLUSÃO –Turbogeradores

Baseado nas medições e estudos realizados foi identificada de forma precisa a economia de energia e ganhos operacionais utilizando o lubrificante Sintético Klüber em comparação ao óleo mineral antes empregado .

Os cálculos para obtenção dos resultados foram de alta complexidade devido a quantidade de variáveis e dados que influenciam no consumo energético do equipamento tais como :

- Consumo horário de bagaço
- Pressão de vapor
- Temperatura de vapor
- Vazão de vapor
- Temperatura de mancal da turbina
- Temperatura de engrenagem do redutor
- Temperatura de pinhão do redutor
- Potencia Elétrica Gerada para a rede

Os ganhos totais observados e projetados foram :

Benefício Obtido	Unidade / ano
Economia de Bagaço (23 ton / dia)	R\$ 328.167,12
Aumento de Geração de Eletricidade (1,55 MW ou 4,5%)	R\$ 985.881,60
Redução de emissões de CO ₂	26.000 ton CO₂
VPL (3 anos)	R\$ 3.340.000,00

O total do benefício financeiro alcançado com a troca de lubrificante na média seria R\$ 1.314.000,00 /ano .

O valor do benefício financeiro justifica por si só o investimento (cerca de R\$ 600.000,00) para a troca de óleo mineral para o óleo KLUBER-SUMMIT FR 46 com um período de retorno de 6 meses .

O Valor presente líquido (VPL) do projeto para o tempo de vida do óleo no equipamento (3 anos) com uma taxa conservadora de atratividade (wacc) de 15% é de R\$ 3.340.000,00 .

Os resultados operacionais e financeiros alcançados apresentados neste relatório mostram que o retorno e atratividade do projeto (troca de óleo lubrificante) são bastante representativos e evidentes .

10 ESTUDO de CASO – TEARES PLANOS

O trabalho consistiu numa primeira medição do consumo de energia nos equipamentos previamente selecionados, lubrificados com óleo mineral, por um período de 24 horas. Após este período, realiza-se a troca de todo óleo mineral contidos nos respectivos equipamentos e substitui-se pelos óleos sintéticos (KLUBERSYNTH GH 6). Aguarda-se em torno de 15 dias para maturação do óleo e efetua-se nova medição, pelo período de 24 horas, observando as mesmas características de funcionamento.

Os testes e medições foram realizados no parque fabril de um cliente em Rondonópolis/MT.

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas em campo, para cada lubrificante, diretamente no local da instalação, no circuito elétrico específico de alimentação do tear. As medições foram efetuadas com integração de 30s (dois segundos) entre amostras e as análises foram realizadas com a mesma integração.

10.1 Fronteira de Medição

O limite para determinação dos resultados é restrito ao equipamento (Tear), através da medição da energia consumida pelos mesmos.

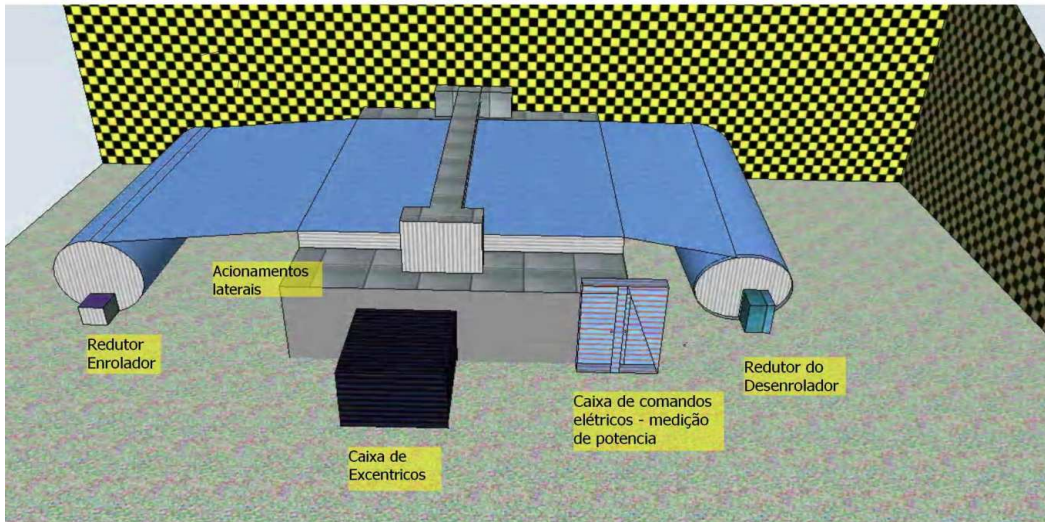


Figura 11 Fronteira de medição – Tear plano

10.2 Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição

Não foram considerados os possíveis efeitos interativos nos cálculos para determinação do consumo e demanda de energia da linha de base.

10.3 Variáveis Independentes e Fatores Estáticos

São variáveis independentes que afetam diretamente os resultados das medidas de conservação de energia implementadas:

- Tipo de produto (características, batidas, gramatura, etc.);
- Produção, em metros;

São fatores estáticos que influenciam os resultados, porém, não se espera uma variação significativa ao longo do período pós-retrofit:

- Turnos de operação: alteração nos turnos, em especial os que ocorrem no período noturno;

Estes fatores foram verificados ao longo dos períodos de medição, após a implementação das ações de eficiência energética, e caso ocorra alguma alteração nos valores adotados a linha de base deverá ser ajustada.

10.4 Equipamentos

As medições de grandezas elétricas foram realizadas com o equipamento descrito abaixo.

- *EQUIPAMENTO MEDIDOR/REGISTRADOR ELETRÔNICO MARH 21 99100335*
Limite de Erro do Equipamento: $\pm 2\%$
- *Alicates e/ou Cintas para Corrente escalas 10 a 3000 Aca*
Precisão: $\pm 1\%$ leitura, $\pm 0,1^a$

10.5 DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE

A Linha de Base representa as características de uso do equipamento antes das ações de efficientização e será apresentada através das variáveis definidas neste estudo.

10.6 Medições Realizadas

As medições para determinação das variáveis envolvidas para quantificação da linha de base foram realizadas diretamente no equipamento envolvido, nas características de operação da instalação. As medições tiveram duração de 24 horas e ocorreram entre o período de 25/05/2011 á 26/05/2011.

Os dados monitorados no equipamento foram:

- Medição de potência no tear;
- Acompanhamento dos dados de produção;

Nas tabelas que seguem são apresentados os dados referentes à produção do período e ao óleo atualmente utilizado.

Tabela 1 – Dados de Produção

CARACTERÍSTICAS	DADOS DA LINHA DE BASE
<i>Código do tecido</i>	AF3111 02 Z4 561
<i>Urdume</i>	10 + 8,5 FS
<i>Trama</i>	6,5
<i>RPM</i>	750
<i>Batida/cm</i>	14,5
<i>Gramatura padrão</i>	373 g/m
<i>Potência média medida</i>	2,6 kW

O gráfico a seguir, mostra a medição de grandezas elétricas, realizada no período, no que diz respeito à potência elétrica da máquina. Observa-se que a potência média do equipamento em plena carga, é de 2,55 kW.

Observa-se também, que as potências na faixa de 0,27kW representam paradas parciais da máquina, para realinhamento das condições de trabalho (troca de fio arrebitado, mudanças operacionais como troca de turno ,etc..)

Figura 12 – Gráfico das Medições – Linha de Base

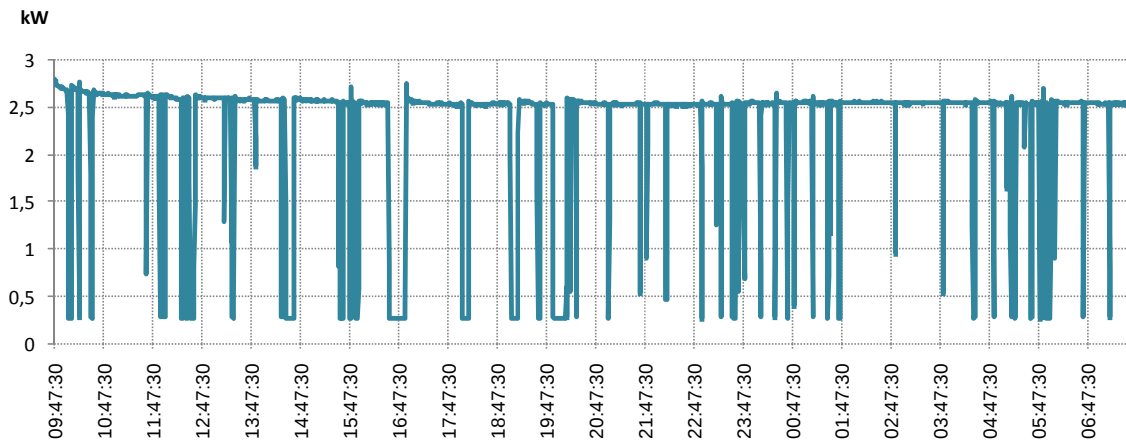


Tabela 4 – Dados Médios das Grandezas elétricas registradas

	Unidade	Fase A	Fase B	Fase C
Tensão de linha	V	238,25	236,348	238,089
Corrente	A	4,95	5,18	5,15
Potência	kW	0,76	0,78	0,76
FP	-	0,72	0,70	0,69

A tabela abaixo apresenta o resumo das medições realizadas, mostrando os valores mensurados para a linha de base do tear avaliado.

Tabela 5 – Determinação da Linha de Base

LINHA DE BASE PARA O TEAR			
Potência	Mínima	kW	0,26
	Média	kW	2,29
	Máxima	kW	2,80
Tempo total analisado		h	21,9
Energia consumida no período analisado		kWh	50,20
Produção da máquina no período		m	590,93
Produção horária da Máquina		m/h	26,9831
Consumo Específico		m/kWh	11,783
		kWh/m	0,0849

Os dados de produção, em metros, informados acima, foram obtidos da tela do equipamento, conforme mostra a figura abaixo. Como o período de contagem da máquina, foi superior ao período de medição, fez-se uma correção dos dados.



Tabela 2 – Dados de Produção Reais e Corrigidos

	Unid.	Dados Supervisório	Dados Medição
Data e Hora Inicio	-	25/5/2011 09:42	25/5/2011 09:47
Data e Hora Fim	-	26/5/2011 08:39	26/5/2011 07:41
Total	h	22,95	21,90
Produção	m	619,8	591,44

10.7 PÓS RETROFIT

O período pós retrofit representa as características de uso do equipamento após o processo de “eficientização” dos equipamentos quando da troca do óleo lubrificante. As medições desse período foram realizadas nos mesmos pontos monitorados durante a determinação do Pós Retrofit, imediatamente após a implantação da troca do lubrificante e período de maturação do mesmo.

10.8 Medições Realizadas

As medições para determinação das variáveis envolvidas para quantificação do pós retrofit foram realizadas diretamente no equipamento envolvido, nas características de operação da instalação. As medições tiveram duração de 24 horas e ocorreram entre o período de 24/08/2011 à 25/08/2011.

Os dados monitorados no equipamento foram:

- Medição de potência no tear;
- Acompanhamento dos dados de produção;

Nas tabelas que seguem são apresentados os dados referentes à produção do período e ao óleo atualmente utilizado.

Tabela 7 – Dados de Produção

CARACTERÍSTICAS	DADOS DA LINHA DE BASE
<i>Código do tecido</i>	AI 2111 A4
<i>Urdume</i>	8/1
<i>Trama</i>	6,5
<i>RPM</i>	750
<i>Batida/cm</i>	13,5
<i>Gramatura padrão</i>	390 g/m
<i>Potência média medida</i>	2,29 kW

O gráfico a seguir, mostra a medição de grandezas elétricas, realizada no período, no que diz respeito à potência elétrica da máquina. Observa-se que a potência média do equipamento em plena carga, é de 3,09 kW. Observa-se também, que as potências na faixa de 0,35kW representam paradas parciais da máquina, para realinhamento das condições de trabalho (troca de fio arrebitado, desalinhamento, etc..)

Figura 14 – Gráfico das Medições – Pós Retrofit

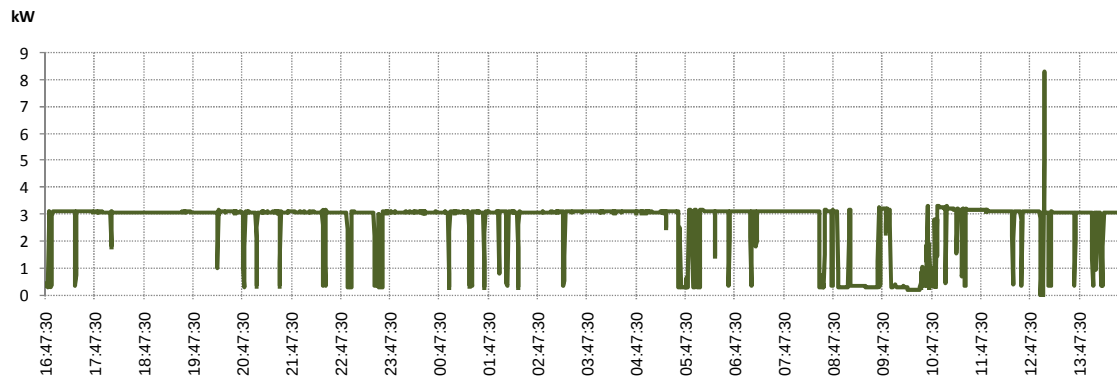


Tabela 8 – Dados Médios das Grandezas elétricas registradas

	Unidade	Fase A	Fase B	Fase C
Tensão de linha	V	255,06	256,20	254,36
Corrente	A	5,62	5,55	5,60
Potência	kW	0,90	0,89	0,89
FP	-	0,71	0,70	0,70

A tabela abaixo apresenta o resumo das medições realizadas, mostrando os valores mensurados para o período de pós retrofit do tear avaliado.

Tabela 9 – Determinação do Pós Retrofit

PÓS RETROFIT PARA O TEAR			
Potência	Mínima	kW	0,12
	Média	kW	2,69
	Máxima	kW	8,29
Tempo total analisado		h	21,875
Energia consumida no período analisado		kWh	58,86
Produção da máquina no período		m	756,48
Produção horária da máquina		m/h	34,56
Consumo Específico		m/kWh	12,8476
		kWh/m	0,0778

Os dados de produção, em metros, foram obtidos no setor do PCP, juntos com os dados de produção, conforme mostra a figura abaixo. Os dados obtidos foram coincidentes ao período de medição.

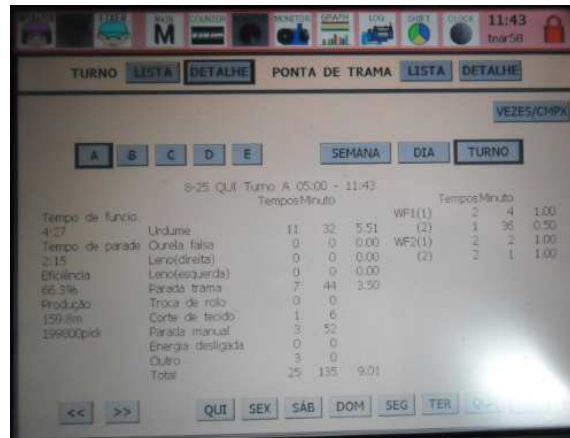


Figura 15 – Dados do sistema de supervisão do tear

10.9 RESULTADOS

Nas tabelas a seguir são apresentados os resultados obtidos para o lubrificante sintético Klüber utilizado no Retrofit em relação ao mineral da Linha de Base.

Como as características do sistema foram modificadas após a troca do óleo, e não apresentavam às mesmas condições de operação, os resultados mostram a mínima economia do projeto.

Para efeito de maior precisão no resultado, é sugerido realizar uma nova medição de forma que as condições de processo na medição pós retrofit sejam idênticas as da medição no período linha de Base.

Apenas como referência, na figura abaixo podemos verificar as curvas de potência comparativas para os dois períodos de medição.

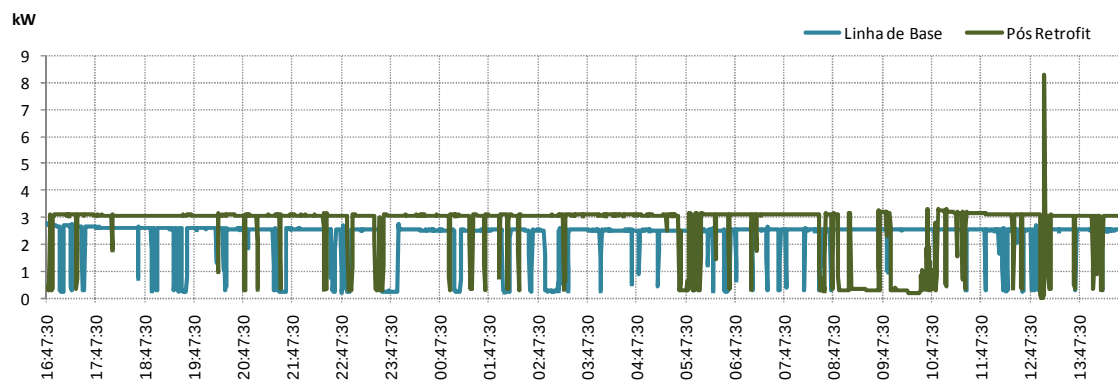


Figura 16 – Curva de Carga – Comparativo entre Linha de Base e Pós Retrofit

A comparação das curvas de potência é válida, porém o consumo de energia e conseqüentemente a economia de energia dever ser sempre relacionado ao processo, por esta razão o consumo energético deve ser comparado pela relação de eficiência ou consumo específico (expresso em m/kWh ou kWh/m) que é computado nos custos de produção do produto manufaturado pela empresa e não somente pela leitura da potência medida.

As tabelas que seguem apresentam os dados comparativos dos dois períodos bem como o resultado final encontrado.

Tabela 3 – Comparativo entre lubrificantes

COMPARATIVO				
Variáveis		Unidades	Lubrificante Mineral	Lubrificante Sintético Kluber
Potência	Mínima	kW	0,26	0,12
	Média	kW	2,29	2,69
	Máxima	kW	2,80	8,29
Tempo total analisado		h	21,900	21,875
Energia consumida no período analisado		kWh	50,20	58,86
Produção Diária da máquina		m	590,93	756,48
Consumo Específico		m/kWh	11,77	12,85
		kWh/m	0,085	0,078
Economia Verificada		%	8,97 %	

Conforme explicado no decorrer de todo o relatório, devido às diferenças de condições antes e depois da troca de óleo e como as condições de carga e de processo requerem maior carga e consumo de energia da máquina analisada, mesmo assim foi identificada economia de energia de 8,97 % ou 7 Wh/metro de tecido produzido por máquina .

10.10 ANÁLISE FINANCEIRA

Com a economia alcançada de 8,97% ou 7Wh/m de tecido, teremos a seguinte demonstração financeira. Considerando que o regime de produção é de 350 dias/ano, operando 24 horas por dia (8.400 h/ano), e assumindo uma produtividade atual média de cada tear com óleo mineral de 590 m/dia (medições realizadas).

Tabela 4 – Dados dos equipamentos da Ind Textil avaliada

EQUIPAMENTOS	NUMERO DE EQUIPAMENTOS	VOLUME DO CÁRTER (Todos os redutores)	POTENCIA NOMINAL (kW)	HORAS DE TRABALHO / DIA	DIAS/ANO
TEARES PLANOS (TOYOTA)	108	19	2,90	24	350

Tabela 5 – Dados de Produtividade

DIAS/ ANO	PRODUTIVIDADE MÉDIA POR MÁQUINA (METROS POR DIA)	PRODUÇÃO POR ANO (km)	ECONOMIA DE ENERGIA MWh/ ANO
350	750	262,5	1,84

Alguns valores de custo de energia são estratégicos para serem compartilhados pelo cliente com isto adotamos a média regional feita em boletim regional da ANEEL onde o preço total da energia é de R\$ 220,00/MWh. As componentes deste perfil custo de energia são:

Tabela 6 – Preço da Tarifa

Componentes de Preço da Energia Elétrica	
Energia MWh	R\$ 137,00
TUSD (fio) MWh	R\$ 56,00
Demanda MWh	R\$ 27,00
TOTAL	R\$ 220,00

Para 108 teares, teremos uma economia anual de energia aproximada de R\$ 43.659,00. Fazendo a comparação de preços dos óleos lubrificantes e a viabilidade do investimento da troca de óleo mineral atual pelo sintético Kluber , temos:

Tabela 7 – Comparativos de Preços - Lubrificantes

	Óleo Mineral	KLUBERSYNTH GH
Preço	R\$ 7,00 por litro	R\$ 36,00 / litro (sem impostos)
Período de Troca	1 ano	4 -5 anos

Nas tabelas que seguem, são aprestados os Fluxos de Caixa para 5 anos com óleo Klubersynth e com óleo mineral, respectivamente

Tabela 8 – Fluxo de Caixa - Óleo Klubersynth

Ano	0	1	2	3	4
Receita c/ Economia de Energia (R\$)	R\$ 43.659,00	R\$ 43.659,00	R\$ 43.659,00	R\$ 43.525,85	R\$ 43.525,85
Investimento para troca de óleo -RETROFIT	(R\$ 91.347,10)				
Investimento em Óleo para Flushing	(R\$ 31.971,48)				
Óleo de Reposição		(R\$ 9.134,71)	(R\$ 9.134,71)	(R\$ 9.134,71)	(R\$ 9.134,71)
Óleo para Troca		R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Investimento em eq. de M&V	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Report -M&V	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Mão-de obra com Troca Lubrificante	(R\$ 1.318,97)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Mão-de-obra reposição de lubrificante	R\$ 0,00	(R\$ 219,83)	(R\$ 219,83)	(R\$ 219,83)	(R\$ 219,83)
Total Anual	(R\$ 80.978,55)	R\$ 34.304,46	R\$ 34.304,46	R\$ 34.171,31	R\$ 34.171,31
VPL	R\$ 16.796,27				
TIR	24,94%				

Tabela 9 – Fluxo de Caixa - Óleo Mineral

Ano	0	1	2	3	4
Economia de Energia (R\$)	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Investimento para troca de óleo -RETROFIT	(R\$ 36,00)				
Óleo de Reposição	(R\$ 861,84)	(R\$ 861,84)	(R\$ 861,84)	(R\$ 861,84)	(R\$ 861,84)
Óleo para Troca	(R\$ 8.618,40)	(R\$ 8.618,40)	(R\$ 8.618,40)	(R\$ 8.618,40)	(R\$ 8.618,40)
Mão de obra com Troca Lubrificante	(R\$ 1.318,97)	(R\$ 1.318,97)	(R\$ 1.318,97)	(R\$ 1.318,97)	(R\$ 1.318,97)
Mão-de-obra reposição de lubrificante	(R\$ 131,90)	(R\$ 131,90)	(R\$ 131,90)	(R\$ 131,90)	(R\$ 131,90)
Total Anual	(R\$ 10.967,10)	(R\$ 10.931,10)	(R\$ 10.931,10)	(R\$ 10.931,10)	(R\$ 10.931,10)
VPL	(R\$ 54.691,51)				

Tabela 10 – Comparativo – Fluxos de Caixa

	KLUBERSYNTH GH 6 (A)	MINERAL (B)	VALOR LÍQUIDO = (A – B)
Pay Back (anos)	2,36	-	1,55
VPL	28.721,94	(65.827,77)	94.549,71
VFL	116.196,27	(266.310,05)	382.506,32

Pode-se observar que o pay back é de 1,55 anos ou 19 meses, para as condições apresentadas anteriormente.

10.11 CONCLUSÃO – Teares Planos

Baseado nas medições e estudos realizados não foi possível avaliar a economia de energia e redução de demanda utilizando os lubrificantes Sintéticos Klüber, em comparação aos óleos minerais de forma precisa devido ao fato de que os equipamentos não estavam em condições idênticas de trabalho antes e depois do retrofit.

Como a condição pós retrofit foi uma condição mais exigente para o equipamento em termos de consumo de energia, podemos concluir que os resultados alcançados podem ser aproveitados, de forma a afirmar que o valor de eficiência energética, pela relação de produção é:

- 8,97% em consumo de energia específico (kWh/m), ou
- 7 Wh/m de tecido produzido .

Para efeito de maior precisão no resultado, recomenda-se uma nova medição de forma que as condições de processo na medição pós retrofit sejam idênticas as da medição no período linha de Base.

Considerando-se que para a troca de óleo em 108 teares o cliente deverá fazer um investimento de aproximadamente R\$120.000,00, no estudo de análise de viabilidade econômica do projeto, considerando apenas os resultados de economia de energia, podemos resumir:

Tabela 11 – Análise do Investimento

Descrição da Despesa	Mineral	Sintético Klüber
Troca de óleo	R\$ 8.000,00	R\$ 120.000,00
Período de Troca	1 ano	5 anos
Economia de Energia (anual)	R\$ 0,00	R\$ 43.700,00
Acumulado 5 anos	- R\$ 40.000,00	R\$ 98.500,00
Economia Líquida (5 anos)	R\$ 138.500,00	
Pay back	19 meses	

(Para valores mais precisos e não arredondados , consulte o estudo no tópico 7 – Análise Financeira)

O estudo levou em consideração o período de 5 anos que é o ciclo de vida do óleo sintético. Podemos afirmar que o projeto é viável economicamente para a Ind Textil avaliada, levando-se em conta apenas o ganho com economia de energia gerada e cabe ainda ressaltar os resultados financeiros podem ser ainda melhores se forem levados em conta os benefícios operacionais.

11 ESTUDO DE CASO – REDUTORES PLANETÁRIOS

Objetivo deste ensaio são os de comparar no cliente Usina São José as diferenças de performance entre o emprego do lubrificante óleo mineral viscosidade ISOVG 460 atualmente em uso com o lubrificante sintético KLUBERSYNTH GEM 4-460 N e comprovar que em adição aos benefícios do óleo sintético obtém significativa economia no consumo de energia elétrica , justificando financeiramente o uso do lubrificante Kluber nesta aplicação.

Os parâmetros a serem levados em conta são :

11.1 Performance de Lubrificação com Sintético

Dentre os benefícios que sabidamente se pode obter com o emprego de óleo sintético Kluber em relação ao mineral são :

Maior período de troca (pelo menos 4 vezes maior)
Maior vida útil do equipamento devido ao menor desgaste dos pares de engrenagem (melhor coeficiente de atrito)
Melhorar dissipação de calor → refrigerar a caixa de engrenagem
Menor descarte de óleo

Os parâmetros acima foram exaustivamente analisados e confirmados pelo fabricante do equipamento (SEW-Eurodrive), por esta razão o produto KLUBERSYNTH GEM 4-460 N é homologado e recomendado pelo OEM nestes equipamentos.

Por esta razão o objetivo principal neste relatório não é de aprofundar neste assunto mas apenas confirmar o que já é amplamente conhecido e comprovado pela Kluber e SEW , cabendo ao cliente confirmar estes resultados na prática com o acompanhamento dos profissionais Kluber.

11.2 Equipamento e Lubrificante

O equipamento escolhido pelo cliente foi o redutor superior (Tipo Planetário, fabricado por SEW-EURODRIVE , modelo XP 19) do terno 1 da moenda 37" x 78" .

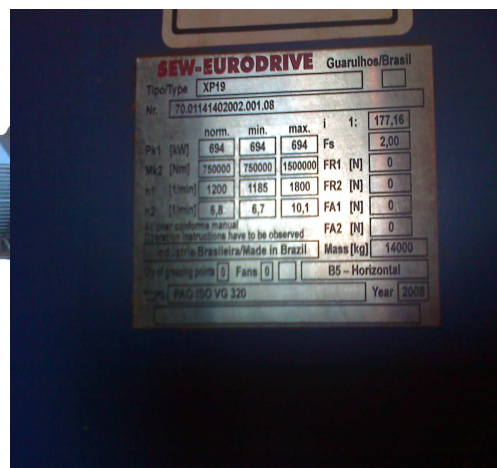
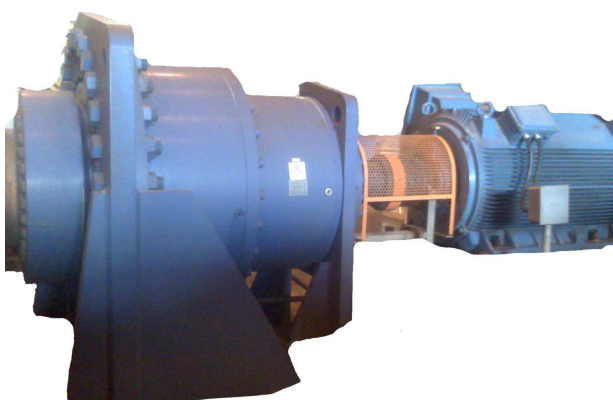


Ilustração 1 : Redutor SEW XP 19 – Terno 1 – Moenda 37" x 78"

Dentre as principais razões de a escolha ter sido o Terno 1 são :

- Maior carga aplicada : primeiro estágio da moagem de cana-de-açúcar
- Equipamento mais crítico no processo , pior condição de trabalho e maior histórico no numero de intervenções .

Este tipo de equipamento e modelo encontra-se em outros ternos e como característica adicional temos :

TERNOS	EIXO	TIPO RED.	VOLUME
1º ao 4º T	SUPERIOR	XP-19	170 L

A troca de óleo mineral pelo lubrificante sintético KLUBERSYNTH GEM 4 - 460 N ocorreu em 03/12/2009 .



Ilustração 2: Troca (retrofit) realizada em 03/12/2009

11.3 Medição e Verificação (M&V)

Foram realizadas medições de potencia por equipamento próprio do cliente devido ao fato de o mesmo já ter um nível de automação que permite fazer monitoramento de seu consumo energético de forma contínua em todos os seus equipamentos de produção , principalmente nos componentes da Moenda .

Apesar da disponibilidade do equipamento nas instalações da usina São José , o cliente tem um nível de dificuldade para fazer estas medições de potencia devido a capacidade do software do equipamento em fazer monitoramento simultâneo com outras variáveis de produção que são prioritários e por esta razão há intervalos de medições diferentes e alguns relativamente curtos, o cliente entende que os dados coletados e enviados por ele são válidos e confiáveis como amostra de dados.

As características e procedimentos das medições são :

- Equipamento de Medição :
 - o Marca e modelo : não fornecido pelo cliente
 - o Precisão de Leitura : 1,1 %
 - o Intervalo de Medição : 10 segundos
- Medições pré –retrofit (óleo mineral)
 - o 22/06/2009 - 24 horas

- o 28/10/2009 - 8,54 horas
- o 24/11/2009 – 1 hora
- Medições pós – retrofit (óleo sintético)
 - o 15/12/2009 – 1 hora
 - o 05/05/2010 - 23,6 horas
 - o 22/06/2010 - 24 horas

As metodologias de M&V seguiram as normas do Protocolo Internacional de Medição e Verificação (IPMVP) que é reconhecido na ONU e adotado internacionalmente como metodologia de auditoria .

Deve-se sempre associar relacionar a variável de Energia Consumida em um determinado intervalo de tempo com uma variável de produção que o equipamento em questão está processando ,que no caso deste tipo de redutor seriam “ Toneladas de Cana Moída por hora “. Há duas formas de mostrar estes resultados :

- Estatístico – KWH / ton
- Regressão de baseline– Consumo(kWh) = f (Moagem)

Regressão de baseline

Baseline é o modelo matemático do conjunto de dados que representam a correlação entre os parâmetros de influencia e o consumo de energia durante o ano-base (no estudo em questão é HORA) , antes do retrofit .

As variáveis que influenciam diretamente no consumo são chamadas de variáveis independentes e as variáveis influenciadas são chamadas de variáveis dependentes .

O modelo matemático *baseline* é gerado através da correlação da variável independente (produção) com a variável dependente (consumo – KWh) .

No estudo em questão as variáveis foram correlacionadas como no exemplo abaixo :

22/6/2009

Hora	Moagem	Consumo	KWh/ton	28/10/2009			
0	618,1	507,68029	0,821356				
1	618,1	498,16612	0,805964				
2	618,1	484,7489	0,784256				
3	618,1	502,75807	0,813393	Hora	Moagem	Consumo	KWh/ton
4	618,1	508,20751	0,822209	16	716	590,0328	0,824068
5	618,1	494,9514	0,800763	17	692	605,4846	0,874978
6	618,1	505,45195	0,817751	18	684	609,7422	0,891436
7	618,1	505,06279	0,817121	19	656	572,872	0,87328
8	618,1	517,06862	0,836545	20	631	603,4778	0,956383
9	618,1	475,04112	0,768551	21	609	549,1396	0,901707
10	618,1	573,29974	0,927519	22	671	578,6935	0,862434
11	618,1	598,08946	0,967626	23	526	501,3515	0,95314

Com isto obtém a seguinte modelo matemático para a baseline :

$$C_i = \alpha \times M_i + \beta$$

Onde :

C_i → Consumo de Energia na hora " i " - (KWh)

M_i → Moagem de cana na hora " i " - (Ton / hora)

α → Coeficiente angular da reta

β → Ponto de intersecção da reta no eixo " y "

Onde a variável Independente é produção é denominada " MOAGEM " expressa em Ton / Hora de cana e a variável dependente é o Consumo de Energia (kWh)

Conforme o protocolo IPMVP, a comprovação do consumo evitado após a troca de óleo (retrofit) dá-se da seguinte forma :

- Medição dos consumos de energia e os dados de produção para determinados períodos;
- Calcula-se o consumo (kWh) na *baseline* com a produção atual (moagem) , caso não houvesse o retrofit , utilizando o modelo matemático obtido (equação da reta) :
- Determina-se o consumo evitado através da diferença entre o consumo da baseline e o consumo real ;

Esta ferramenta é extremamente útil e válida internacionalmente para comparação entre consumo atual e o estimado para valores atuais .

A equação obtida para baseline com os dados de todas as medições pré retrofit foi :

$$C_i = 0,4740 \times M_i + 277,082$$

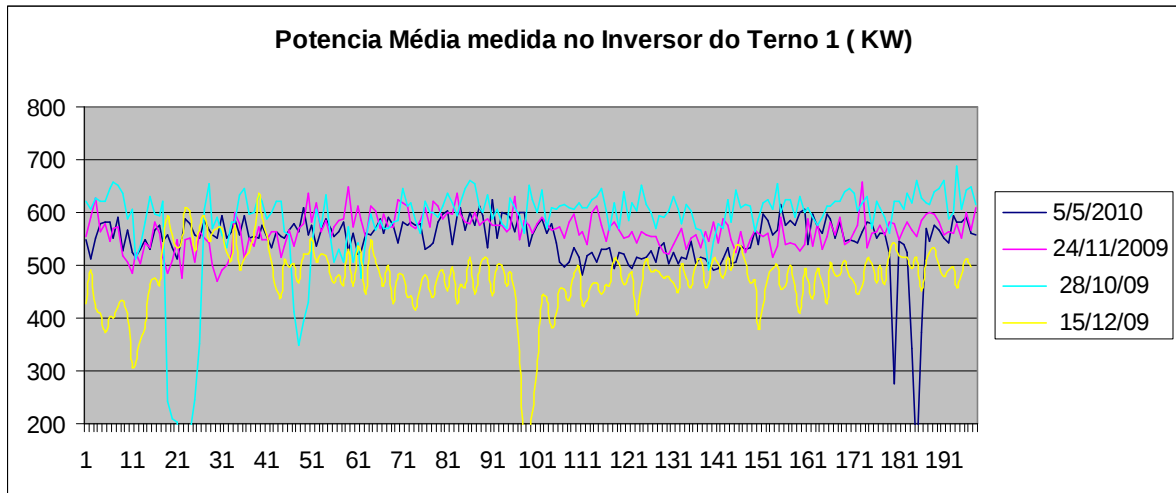
11.4 Resultados

Para efeito de análise mais profunda e demonstrável , apresentaremos os resultados em duas formas :

- Empírica → comparação com os dados tabulados , pré e pós retrofit expresso em %
- Baseline → medição do consumo evitado com a produção pós retrofit .

Estatístico

A variável medida foi a Potencia de Entrada no Inversor, expressas em KW , que foram medidas em intervalos de 30 segundos . O comportamento da leitura realizada para as 4 medições podem ser mostradas como no gráfico abaixo :



Após medições pelo cliente foi feita migração de dados para planilha no formato Excel onde os mesmos foram analisados e submetidos a cálculos para obtenção das seguintes variáveis :

- Potencia Instantânea Média (KW)
- Consumo no período de medição (kWh)
- Energia média consumida por hora (KWh)

Os dados de produção (Moagem) foram fornecidos pelo cliente conforme seu controle diário de metas e resultados.

Após a realização dos cálculos, os resultados obtidos para cada medição são :

Medições pré retrofit :

Data 22/6/2009		22/6/2009 00:00 Horário de Início da Medição
		23/6/2009 00:00 Horário do Fim da Medição
Moagem (Ton/ hora)	618,1715476	
Número de Medições/leitura	6.942	Fibra
Média da Potencia Medida (KW)	555,764	11,77%
Consumo no Período (KWh)	13.348,50	Torque Médio
Tempo de medição (Horas)	24,00	51,30
Potencia Média por consumo (KW)	556,25	Rendimento

Data 28/10/2009		28/10/2009 15:23 Horário de Início da Medição 28/10/2009 23:55 Horário do Fim da Medição
Moagem (Ton/ hora) 646,5778067		
Número de Medições/leitura	2.462	Fibra 13,20% Torque Médio
Média da Potencia Medida (KW)	583,203	
Consumo no Período (KWh)	4.970,76	
Tempo de medição (Horas)	8,54	
Potencia Média por consumo (KW)	582,32	
		Rendimento
Data 24/11/2009		24/11/2009 23:00 Horário de Início da Medição 25/11/2009 00:00 Horário do Fim da Medição
Moagem (Ton/ hora) 601,50		
Número de Medições/leitura	287	Fibra 13,32% Torque Médio 49,02
Média da Potencia Medida (KW)	568,24	
Consumo no Período (KWh)	567,50	
Tempo de medição (Horas)	0,99444	
Potencia Média por consumo (KW)	570,67	
		Rendimento

Os dados pós retrofit que ocorreu em 03/12/2009 :

Data 15/12/2009		15/12/2009 19:00 Horário de Início da Medição 15/12/2009 20:00 Horário do Fim da Medição
Moagem (Ton/ hora) 601,03		
Número de Medições/leitura	269	Fibra 13,74% Torque Médio 41,00
Média da Potencia Medida (KW)	496,988	
Consumo no Período (KWh)	495,746	
Tempo de medição (Horas)	0,997222	
Potencia Média por consumo (KW)	497,13	
		Rendimento

Data 5/5/2010		5/5/2010 07:38 Horário de Início da Medição 6/5/2010 07:14 Horário do Fim da Medição	
Moagem (Ton/ hora)		656,3	
Número de Medições/leitura	6.838	Fibra	
Média da Potencia Medida (KW)	526,78		
Consumo no Período (KWh)	12.406,90		
Tempo de medição (Horas)	23,5944		
Potencia Média por consumo (KW)	525,84	Torque Médio 43,34	
		Rendimento	

Fazendo –se primeiramente a comparação com os resultados obtidos pela média de leitura das potencias , temos :

Data	Moagem (Ton /hora)	Numero de medições	Tempo de medição (Horas)	Potencia Média (KW)	KWh / Ton (Potencia Instantanea)
22-jun-09	618,17	6.942	24,00	555,76	0,90
28-out-09	646,58	2462	8,54	583,20	0,90
24-nov-09	601,50	287	0,99	568,24	0,94
15-dez-09	601,03	269	1,00	496,99	0,83
5-mai-10	656,30	6838	23,59	526,78	0,80
22-jun-10	647,58	6.962	24,00	512,36	0,79

Fazendo-se a comparação pela energia consumida (KWh) no período teremos resultados bastante similares , o que valida a metodologia aplicada conforme a equação 1 :

Data	Moagem (Ton /hora)	Numero de medições	Consumo no período (KWh)	Potencia Média por consumo (KW)	KWh / ton cana moída
22-jun-09	618,17	6.942	12.296,59	556,25	0,8998
28-out-09	646,58	2462	4.970,76	582,32	0,8922
24-nov-09	601,50	287	567,50	570,67	0,9488
15-dez-09	601,03	269	495,75	497,13	0,8271
5-mai-10	656,30	6838	12.406,90	525,84	0,8012
22-jun-10	647,58	6.962	12.296,59	512,36	0,7912

Em termos percentuais temos os seguintes resultados obtidos :

Data	Consumo (KWh)	Consumo Médio	Moagem	Moagem Média	Trabalho (KWh / ton)	Economia
22-jun-09	555,20	570,09	614,89	618,10	0,922	11,581%
28-out-09	584,40		637,91			
24-nov-09	570,67		601,50			
15-dez-09	497,13	500,10	601,03	613,23	0,816	
5-mai-10	488,06		591,08			
22-jun-10	515,10		647,58			

Fazendo-se os ajustes conforme a equação 1 :

$$ES (%) = \left(1 - \frac{\sum E^2}{\sum E^1} \right) \pm Ajustes$$

Onde as variáveis de ajustes a serem subtraídas no resultado acima são :

- Desvio Padrão da amostra : 2,201 %
- Precisão do equipamento de medição : 1,10 %

Temos :

$$ES(%) = 11,581 \% - 2,201 \% - 1,10\%$$

Logo ,o resultado final obtido de Energia Economizada em percentuais é :

$$ES(%) = 8,28 \%$$

Outro fator interessante foi a redução do torque (variável independente) que pode ser exposta da seguinte forma :

Data	Potencia de Entrada (KW)	Torque	Torque Médio (Nm)	Relação P / T	Moagem	Moagem Média	Trabalho (Ton / Nm)	Aumento de Rendimento
28-out-09	583,20	0,00	50,16		646,58	622,08	12,4026	17,23%
22-jun-09	555,76	51,30		10,83	618,17			
24-nov-09	568,24	49,02		11,59	601,50			
15-dez-09	496,99	41,00	43,67	12,12	601,03	634,97	14,5400	
22-jun-10	526,78	46,67		11,29	647,58			
5-mai-10	512,36	43,34		11,82	656,30			

O aumento de rendimento do redutor se deve ao fato de fazer uma moagem cerca de 2% maior com uma Potencia de Entrada e Torque cerca de 10% menor ! O menor atrito oferecido pelo lubrificante permite o aumento de rotação e conseqüentemente do seu rendimento., fazendo as mesmas correções temos que o aumento de rendimento / produtividade é de 14,11%.

Verificação que não podemos deixar de comentar é a questão da temperatura de operação do equipamento , enquanto estava operando com óleo mineral a temperatura média no

cárter era de 60 °C ,depois do retrofit a temperatura de operação abaixou para 45 °C em média ,comprovando o aumento de eficiência !

Regressão de baseline

Com os dados de moagem (produção) e de energia elétrica consumida pós retrofit temos como calcular a o consumo de energia evitado para cada hora produção :

28/10/2009				22/6/2009			
Hora	Moagem	Consumo	KWh/ton	Hora	Moagem	Consumo	KWh/ton
0	670	590,0328	0,880646	0	704,82	507,68029	0,720298
1	684	605,4846	0,885211	1	420,67	498,16612	1,184221
2	731	609,7422	0,834121	2	647	484,7489	0,749225
3	653	572,872	0,877292	3	614,04	502,75807	0,818771
4	596	603,4778	1,012547	4	513,71	508,20751	0,989289
5	632	549,1396	0,868892	5	648,3	494,9514	0,76346
6	375	578,6935	1,543183	6	648,18	505,45195	0,779802
7	566	501,3515	0,88578	7	755,69	505,06279	0,668347
8	678	571,8274	0,843403	8	618,1	517,06862	0,836545
9	643	575,8733	0,895604	9	724,21	475,04112	0,655944
10	666	587,296	0,881826	10	572,62	573,29974	1,001187
11	670	551,445	0,823052	11	624,95	598,08946	0,95702
12	696	600,5386	0,862843	12	636,98	601,28549	0,943963
13	545	571,4817	1,04859	13	447,72	601,2514	1,342918
14	733	543,6165	0,741632	14	673,86	598,56835	0,888268
15	619	579,2103	0,935719	15	580,99	597,21482	1,027926
16	716	575,0399	0,803128	16	573,12	576,10252	1,005204
17	692	572,736	0,827653	17	584,77	575,18446	0,983608
18	684	563,0833	0,823221	18	695,62	497,94168	0,715824
19	656	563,9613	0,859697	19	648,77	580,76112	0,895173
20	631	573,34	0,908621	20	593,87	550,37668	0,926763
21	609	573,34	0,941445	21	532,38	559,98557	1,051853
22	671	573,34	0,854456	22	677,26	604,7574	0,892947
23	526	573,34	1,09	23	618,1	591,40307	0,956808

Como explicado anteriormente , então a equação do baseline obtida é :

$$C_i = 0,4740 \times M_i + 277,086$$

Fazendo as devidas comparações em tabela, temos a seguinte conclusão ;

Data	Consumo Medido (KWh)	Consumo Baseline (KWh)	Consumo Evitado (KWh)	Economia (%)	
15-dez-09	497,13	552,61	55,48	10,04%	11,58%
5-mai-10	11.713,48	13.374,80	1.661,32	12,42%	
22-jun-10	12.296,59	14.017,59	1.721,00	12,28%	

Aplicando as mesmas correções / ajustes :

- Intervalo de Confiança da amostra (índice de correlação) : 95 %
- Precisão do equipamento de medição : 1,10 %

$$ES (%) = 11,58 * 0,95\% - 1,10\%$$

Logo ,o resultado final obtido de Energia Economizada em percentuais é :

$$ES (%) = 9,901 \%$$

A metodologia de regressão é extremamente útil e válida em auditorias por se mostrar bastante fiel aos números medidos e por apresentar em seus resultados números mais conservadores.

11.5 Conclusão

Podemos analisar os resultados por dois ângulos diferentes ;

- O método **estatístico** onde os números obtidos representam o universo da amostra medida , estes números representam exatamente os resultados da medição não havendo distorções e para efeito de avaliação meticulosa é o mais válido para o equipamento nas condições que foi apresentado para os ensaios , a economia de energia obtida neste ensaio foi de **8,28%**.
- A metodologia **por regressão** apresentou resultados bastante interessantes ,realistas e confiáveis onde para efeito de futuros projetos e análises de investimentos é a mais adequada para que possamos calcular com segurança o resultado a ser obtido em condições de produção atualizadas comparando com situações passadas.

Devido ao resultado ser mais conservador , é mais seguro e adotar como parâmetro o resultado obtido pelo método estatístico , principalmente porque há a expectativa (e eventual necessidade) de se realizar investimentos para retrofit em outros equipamentos similares para reduzir o consumo de energia e com isto tem-se avaliação mais realista de pay-back .

Desta forma concluímos que para projetos futuros e melhor aceitação dos resultados, a economia de energia obtida em Redutores Planetários SEW com a troca de óleo mineral por lubrificante sintético KLUBERSYNTH GEM 4-460N é :

$$ES (%) = 8,164 \%$$

Cabe ao cliente levar em conta os seguintes critérios de escolha :

- Barreira cultural para usos de lubrificantes sintéticos em equipamentos de grandes volumes (devido a diferença de preço a opção pelo mineral é mais freqüente)
- Capacidade de investimento na compra de lubrificante (5.200 litros) , o retorno (pay back) é atraente :

Valor do Negócio (Óleo)	R\$ 327.307,37
Receita de Energia (anual)	R\$ 619.340,51
	SPOT
Preço Óleo	46,25
VPL Kluber	365.150,99
VPL Cliente	2.457.863,19
Pay Back Cliente (líquido)	0,36
Pay Back Kluber	#NÚM!

A tabela acima mostra que o pay - back (taxa de retorno de 18%) é menor que 5 meses , para um óleo dimensionado para durar 5 safras !

- Maior disponibilidade de energia gerada pela própria empresa para venda a Concessionárias de Energia (custo de oportunidade !)

Após os testes foi adquirido a quantidade de produto para troca de óleo em todos os equipamentos , para isto foi realizado uma nova análise para confirmação dos resultados obtidos em teste :

11.6 Dados

A variável medida foi a Potencia de Entrada no Inversor, expressas em KW , que foram medidas em intervalos de 10 segundos . O comportamento da leitura realizada para as medições podem ser mostrados no arquivo anexo e as principais variáveis analisadas e levadas em conta em nossa análise foram :

- Potencia Instantânea (KW)
- Consumo no período de medição (kWh) - (levado em conta o intervalo de 10s)
- Energia média consumida por hora (KWh)
- Moagem (ton / hora)

Os dados de produção (Moagem) foram fornecidos pelo cliente conforme seu controle diário de metas e resultados.

Devido ao grande número de dados e datas ,em questão foram avaliados os dias correspondentes as medições feitas em Junho e Agosto , o mês de Julho

apresentou grande instabilidade como período para comparações , por exemplo diferenças de moagem e grande numero de paradas em dias correspondentes .

Estatisticamente poderíamos conhecer o comportamento de 4 dias de cada ano como amostra 95% confiável (t-student) porém com a amostragem escolhida de 17 dias para 2010 e 9 dias para 2011 consegue-se ter uma precisão de 97% nos resultados para efeito de comparação !

As datas escolhidas para as duas moendas foram exatamente as mesmas , com isto conseguimos avaliar melhor o comportamento de consumo de energia e também a sua alteração para a usina como um todo .

Dados de Moagem :

Média de moagem horária (Ton / hora)				
Data	Moenda 78		Moenda 54	
1-jun-10	590,4083333		281,31944	
2-jun-10	580,9433333		299,07042	
3-jun-10	651,0695833		306,46208	
4-jun-10	615,19625		298,35333	
7-jun-10	572,7954167		295,07708	
8-jun-10	545,8229167		292,02292	
9-jun-10	588,1383333		300,14083	
1-ago-10	559,8671429		258,36889	
2-ago-10	635,4025	600,5673	283,00583	284,9689
3-ago-10	611,5433333		293,10792	
4-ago-10	621,0266667		264,52625	
5-ago-10	602,4679167		284,27708	
6-ago-10	575,1808333		262,52375	
7-ago-10	601,5829167		290,11375	
8-ago-10	624,17125		263,665	
9-ago-10	623,0808333		286,35125	
10-ago-10	610,9466667		286,08583	
2-jun-11	628,5929167		304,46667	
4-jun-11	567,8775		299,42	
4-ago-11	568,21		287,13667	
5-ago-11	591,9275		277,01917	
6-ago-11	613,7391667	601,1059	282,84208	287,4004
7-ago-11	627,5608333		279,3325	
8-ago-11	571,6125		275,47292	
9-ago-11	639,3266667		293,51292	
10-ago-11	650,5425		294,40042	

Resultados :

Moenda 54:

Dados de consumo por terno (KWh)

Consumo KWh	Terno 1		Terno 2		Terno 3		Terno 4		Terno 5		Terno 6		Total Moenda
Datas Analisadas	21,05%	21,26%	17,05%	17,23%	18,26%	17,30%	15,84%	17,23%	14,14%	10,06%	13,67%	16,92%	16,67%
1-jun-10	609,7582		507,7345		547,4292		471,6068		415,9573		377,5349		2930,0208
2-jun-10	629,6193		509,0852		552,2131		482,5953		433,6527		374,6872		2981,8528
3-jun-10	633,9991		532,0743		579,1848		502,5455		436,063		382,9247		3066,7914
4-jun-10	583,5671		481,0248		565,7317		474,1481		416,6825		384,813		2905,9671
7-jun-10	569,617		492,8253		514,2525		441,6986		419,742		357,8534		2795,9889
8-jun-10	570,9795		496,7158		524,1549		443,1159		420,9116		362,0761		2817,9539
9-jun-10	563,0793		515,1926		540,1857		465,7449		433,9252		380,1377		2898,2655
1-ago-10	582,9989		445,7766		490,6736		416,9794		382,5128		381,3646		2700,3058
2-ago-10	560,0358	573,502	438,3472	464,66	471,8886	497,4434	434,6844	431,49	379,2334	385,1771	387,2401	372,601	2671,4295
3-ago-10	581,9481		455,7932		475,5912		418,4663		373,8166		362,1144		2667,7298
4-ago-10	512,3679		408,6294		429,8795		378,2035		351,937		349,2284		2430,2457
5-ago-10	565,8932		438,5161		465,5408		400,0782		364,115		360,3394		2594,4827
6-ago-10	537,658		406,2773		437,4147		377,6273		327,0636		360,5727		2446,6136
7-ago-10	583,0772		444,7702		480,7706		414,3396		365,7335		383,24		2671,9311
8-ago-10	524,4009		422,7338		435,4067		429,2056		268,6739		370,0634		2450,4842
9-ago-10	565,7497		456,0613		504,5064		416,2811		381,7346		401,7299		2726,0629
10-ago-10	590,0135		458,8852		441,7136		420,2043		376,2567		358,2969		2645,3702
2-jun-11	646,2226		513,7193		432,1786		439,1744		274,8568		439,1744		2745,326
4-jun-11	608,803		487,7532		407,8103		439,4835		272,5927		433,2863		2649,729
4-ago-11	463,558		372,3208		403,8036		397,9799		216,3318		397,9799		2251,9741
5-ago-11	468,3515		364,4167		388,6975		380,1321		219,5861		380,1321		2201,316
6-ago-11	495,9817	525,7446	402,8947	426,0741	426,6588	427,8523	398,5291	426,0267	233,8105	248,7787	365,6862	418,5501	2323,561
7-ago-11	493,6207		422,5283		436,0478		437,0607		251,0947		437,0607		2477,4129
8-ago-11	507,3278		425,5016		444,9779		455,5739		265,3373		452,8363		2551,5548
9-ago-11	519,4009		419,0827		446,7013		441,9738		255,9566		426,8706		2509,9859
10-ago-11	528,4351		426,4493		463,7948		444,3332		249,4422		433,924		2546,3787
economia (%)		9,08%		9,06%		16,27%		1,28%		54,83%		-10,98%	10,18%

Observações:

- Terno 5 trabalhou com baixa carga por algum ajuste de produção feito antes da safra;
- Ajuste do terno 5 pode ter implicado em maior carga no terno 6 resultando maior consumo energético, não há neste caso como analisar individualmente os ternos 5 e 6 como antes desta suposta alteração
- Avaliação do conjunto (todos os ternos) é a melhor forma comparativa

Dados de Consumo Específico (KWh / ton):

KWh / Ton	Terno 1	Terno 2	Terno 3	Terno 4	Terno 5	Terno 6	Total Moenda
Datas Analisadas							
1-jun-10	2,246907	1,869383	2,010277	1,759325	1,529118	1,404995	10,820005
2-jun-10	2,144561	1,727349	1,876911	1,638382	1,473017	1,273467	10,133687
3-jun-10	2,090582	1,755183	1,908422	1,655582	1,43827	1,263185	10,111223
4-jun-10	1,764693	1,44481	1,700508	1,423457	1,2516	1,103897	8,6889644
7-jun-10	1,960879	1,695684	1,768003	1,517354	1,441395	1,229207	9,612522
8-jun-10	2,012196	1,748682	1,844045	1,557592	1,476929	1,271	9,9104442
9-jun-10	1,89952	1,739934	1,826112	1,574684	1,463435	1,283692	9,7873769
1-ago-10	2,385844	1,809705	2,023793	1,733904	1,593182	1,568082	11,114509
2-ago-10	2,156547	1,678851	1,798229	1,647597	1,443338	1,475547	10,200108
3-ago-10	2,036111	1,598202	1,6677	1,4674	1,310669	1,268329	9,3484103
4-ago-10	1,98077	1,579714	1,656334	1,459044	1,357939	1,36272	9,3965203
5-ago-10	2,068455	1,613008	1,711343	1,471719	1,339914	1,321978	9,5264169
6-ago-10	2,248106	1,703472	1,830862	1,582688	1,370977	1,454911	10,191016
7-ago-10	2,040236	1,558192	1,685505	1,451184	1,281169	1,343141	9,3594272
8-ago-10	2,062905	1,657081	1,714466	1,71601	1,051403	1,451415	9,6532807
9-ago-10	2,015141	1,627405	1,799636	1,484494	1,362128	1,43232	9,7211245
10-ago-10	2,071869	1,612904	1,542653	1,478024	1,326442	1,337354	9,3692462
2-jun-11	2,16425	1,71518	1,441548	1,468927	0,916207	1,468927	9,1750392
4-jun-11	2,107223	1,69747	1,41968	1,530599	0,948174	1,494556	9,1977034
4-ago-11	1,666133	1,345017	1,457801	1,435234	0,778451	1,435234	8,1178692
5-ago-11	1,607406	1,449308	1,421653	1,506812	0,871385	1,506812	8,3633755
6-ago-11	1,812914	1,553191	1,076081	0,990824	0,587534	0,904515	6,9250593
7-ago-11	1,745564	1,353397	1,396937	1,399084	0,805357	1,399084	8,0994238
8-ago-11	1,921311	1,631145	1,706216	1,747906	1,019442	1,738462	9,7644822
9-ago-11	1,987368	1,453364	1,549711	1,536416	0,888833	1,47824	8,8939318
10-ago-11	1,809996	1,488303	1,616794	1,547803	0,868187	1,523707	8,8547894
	10,30%	9,64%	24,58%	7,84%	62,34%	-5,91%	14,63%

Fazendo-se os ajustes conforme a equação 1:

$$ES \ (%) = \left(1 - \frac{\sum E^2}{\sum E} \right) \pm \text{Ajustes}$$

Onde as variáveis de ajustes a serem subtraídas no resultado acima são:

- Desvio Padrão da amostra: 1,2 %
- Precisão do equipamento de medição: 1,10 %

Temos:

$$ES(%) = 14,63\% * 0,988 * 0,989$$

Logo, o resultado final obtido de Energia Economizada em percentuais para a moenda 54 é:

$$ES(%) = 13,01\%$$

Ou

$$ES = 1,22 \text{ KWh / ton}$$

Analogamente fez- se os cálculos para a moenda 78:

Moenda 78:

Dados de consumo por terno (KWh)

Consumo KWh	Terno 1		Terno 2		Terno 3		Terno 4		Terno 5		Terno 6		Tc
Datas Analisadas	18,61%	18,75%	16,21%	17,38%	17,09%	14,70%	16,95%	15,73%	17,20%	17,95%	13,94%	15,49%	
1-jun-10	1014,176		901,0989		896,8246		902,784		924,857		745,5388		5385,2789
2-jun-10	979,6073		926,1785		945,468		887,4321		891,2794		751,318		5381,2834
3-jun-10	1076,879		954,2662		963,6679		990,6233		939,8065		774,7063		5699,9498
4-jun-10	1017,885		980,5563		887,4147		919,6364		931,7019		767,307		5504,5009
7-jun-10	908,6405		941,682		853,9974		884,4344		834,0338		678,217		5101,0051
8-jun-10	940,6498		910,2782		871,0449		895,8146		851,5244		807,237		5276,5489
9-jun-10	979,9054		962,9091		881,604		919,679		919,4796		751,0556		5414,6326
1-ago-10	1073,34		873,4838		962,0454		980,9348		1013,632		834,9475		5738,3838
2-ago-10	1090,099	1029,897	893,1109	897,1348	974,4408	945,8982	993,4088	938,1926	1010,253	951,9821	824,5423	771,8099	5785,8552
3-ago-10	1032,537		872,1605		914,7578		936,3092		1016,051		779,0027		5550,8175
4-ago-10	1087,445		863,2665		999,2193		988,4364		1000,059		800,8824		5739,3092
5-ago-10	1081,83		853,2757		973,6081		927,228		984,4123		790,3891		5610,743
6-ago-10	1042,266		843,0811		974,4319		902,2967		945,996		795,0931		5503,1653
7-ago-10	1050,584		865,5645		998,4596		936,3351		961,2899		785,5792		5597,8127
8-ago-10	1038,749		853,9939		1000,76		969,3682		979,5255		758,8341		5601,2298
9-ago-10	1064,255		859,2501		1005,817		976,3604		988,8329		767,5883		5662,1045
10-ago-10	1029,408		873,049		976,7075		888,0983		990,9607		708,5295		5466,7536
2-jun-11	1041,606		900,496		786,858		859,4703		891,2818		695,5413		5175,2531
4-jun-11	935,3755		820,3808		697,8828		778,6422		904,4439		778,018		4914,7432
4-ago-11	938,6327		808,4413		713,3916		760,5309		845,5149		762,4649		4828,9763
5-ago-11	1028,796		962,0129		817,7946		868,8157		975,6538		863,1399		5516,2133
6-ago-11	1026,482	985,3643	989,8251	913,2319	824,1932	772,3129	858,698	826,5149	1002,99	943,0087	845,2772	814,088	5547,4652
7-ago-11	1006,667		960,2786		762,4385		826,0073		989,0249		840,7237		5385,1399
8-ago-11	931,6673		877,2212		737,7039		811,3077		914,9867		808,9958		5081,8825
9-ago-11	1007,875		975,9328		814,6978		879,4589		1016,349		886,0636		5580,3764
10-ago-11	951,1779		924,4989		795,8555		795,7029		946,8338		846,5679		5260,637
		4,52%		-1,76%		22,48%		13,51%		0,95%		-5,19%	

Dados de Consumo Específico (KWh / ton):

KWh / Ton Datas Analisadas	Terno 1	Terno 2	Terno 3	Terno 4	Terno 5	Terno 6	Total Moenda
1-jun-10	1,792229	1,587146	1,586765	1,59759	1,635093	1,314011	9,5128346
2-jun-10	2,044614	1,962653	2,001271	1,819917	1,883996	1,60124	11,31369
3-jun-10	1,674153	1,482959	1,498625	1,540151	1,461236	1,203371	8,8604957
4-jun-10	1,659905	1,643662	1,448566	1,500657	1,561917	1,250753	9,0654591
7-jun-10	1,720947	1,92039	1,612565	1,667067	1,575682	1,268655	9,765306
8-jun-10	2,093595	2,04955	1,949486	1,989619	1,897714	1,985935	11,9659
9-jun-10	1,852914	1,81717	1,675794	1,747842	1,719675	1,427254	10,240649
1-ago-10	1,822669	1,446584	1,615356	1,65928	1,701311	1,424614	9,669814
2-ago-10	1,735594	1,42101	1,553104	1,577832	1,605011	1,311004	9,203555
3-ago-10	1,680942	1,488804	1,498121	1,531627	1,72345	1,273692	9,196637
4-ago-10	1,765141	1,398792	1,621861	1,605887	1,624011	1,29997	9,315663
5-ago-10	1,856268	1,461427	1,67248	1,591649	1,692004	1,346204	9,6200317
6-ago-10	2,030312	1,644859	1,886408	1,750834	1,822148	1,572612	10,707174
7-ago-10	1,773493	1,463243	1,68656	1,581291	1,622255	1,330598	9,4574398
8-ago-10	1,686439	1,383482	1,623734	1,572398	1,589451	1,230495	9,0860002
9-ago-10	1,71562	1,384762	1,622812	1,575142	1,595125	1,23702	9,1304809
10-ago-10	1,710735	1,442701	1,623983	1,476716	1,637851	1,17782	9,0698069
2-jun-11	1,660773	1,435936	1,255127	1,372074	1,426785	1,113274	8,2639686
4-jun-11	1,714138	1,561488	1,270987	1,41891	1,720024	1,505762	9,1913094
4-ago-11	1,663797	1,357145	1,234822	1,312189	1,467045	1,320284	8,3552821
5-ago-11	1,81429	1,628555	1,443798	1,523675	1,720664	1,524699	9,65568
6-ago-11	1,774003	1,711445	1,425032	1,491866	1,731311	1,456088	9,589744
7-ago-11	1,659078	1,583404	1,255599	1,362019	1,629934	1,385396	8,8754307
8-ago-11	1,515996	1,430044	1,202023	1,324677	1,48859	1,320016	8,2813447
9-ago-11	1,708875	1,649559	1,376562	1,486874	1,716129	1,49743	9,4354289
10-ago-11	1,494989	1,452654	1,250791	1,250522	1,487539	1,330187	8,2666824
	6,63%	2,82%	26,72%	15,79%	3,41%	-1,61%	8,49%

Fazendo-se os ajustes conforme a equação 1:

$$ES \text{ (%) } = \left(1 - \frac{\sum E^2}{\sum E} \right) \pm \text{Ajustes}$$

Onde as variáveis de ajustes a serem subtraídas no resultado acima são:

- Desvio Padrão da amostra: 2,32 %
- Precisão do equipamento de medição: 1,10 %

Temos:

$$ES(\%) = 8,49\% * 0,977 * 0,989$$

Logo, o resultado final obtido de Energia Economizada em porcentuais para a moenda 78 é:

$$ES(\%) = 8,203\%$$

Ou

$$ES = 0,734 \text{ KWh / ton}$$

- Deve-se ressaltar que no terno 1 já havia óleo Klüber instalado desde 2010, fossemos comparar com óleo mineral a economia do terno 1 seria cerca de 9,16 %, isto é mesmo com os redutores adicionais resultou em economia significativa.

Avaliação Financeira (2011)

- Duração de safra 2011: 4.500 horas (estimado)
- Valor Energia: R\$120,00 / MWh

Moenda 54

- Média de Moagem: 249,66 Ton / hora
- Quantidade cana moída em 2011: 1.123.500 toneladas
- Economia de Energia (MWh)

$$ES = 1.123.500 * 1,22$$
$$ES = 1.371MWh$$

- **Economia em Reais para 2011:**

$$ES = R\$ 164.476,00$$

Moenda 78

- Média de Moagem: 598,06 Ton / hora
- Quantidade cana moída em 2011: 2.691.270 toneladas
- Economia de Energia (MWh)

$$ES = 2.691.270 * 0,734$$
$$ES = 1.975,4MWh$$

- **Economia em Reais para 2011:**

$$ES = R\$ 237.047,00$$

11.7 Economia total: moenda 54 + moenda 78

$$ES = R\$ 401.523,00$$

11.8 Conclusão

Podemos analisar os resultados por dois ângulos diferentes;

Devido ao resultado ser mais realista, é mais seguro adotar como parâmetro o resultado obtido pelo consumo específico em KWh / ton, principalmente porque houve a expectativa (e eventual necessidade) de se realizar investimentos para retrofit em outros equipamentos similares para reduzir o consumo de energia e com isto tem-se melhor avaliação de pay-back.

A maior representatividade quanto à expectativa gerada é que o cálculo feito em nossa proposta inicial levou em conta que o período de duração de uma safra é de 6.300 horas e o ano de 2011 foi um ano atípico com duração de safra bem menor (cerca de 4.500 horas).

A proposta e avaliação de pay back foi como segue abaixo:

Valor do Negócio (Óleo)	R\$ 209.686,40
Receita de Energia (anual)	R\$ 665.237,26
	SPOT
Preço Óleo	40,00
VPL Cliente	3.124.692,07
Pay Back Cliente (Líquido)	0,32

Se levarmos em conta que a safra tivesse o mesmo período teria economia de energia de R\$ 562.250,00 em 2011, isto já considerado que o terno 1 da moenda 78 já está com o óleo Kluber.

Com a nova situação vivenciada na safra 2011 (4.500 horas) e a economia de energia obtida de R\$ 401.523,00 podemos afirmar que o **pay back real foi de 7 meses!**

Na situação hipotética de safra com 6.000 horas de duração, o pay back seria de 5 meses, ou seja, totalmente dentro do esperado e proposto.

Outra forma de análise seria avaliar em termos percentuais (menos conservadora e realista), ponderando os percentuais obtidos teríamos para as duas moendas que o resultado da economia obtida seria de:

$$ES (\%) = 8,769\%$$

Levando-se em conta a capacidade instalada esta economia de energia representou cerca de 3.933 MWh no ano de 2011.

O que em termos financeiros leva:

Valor do Negócio (Óleo)	R\$ 209.686,40
Receita de Energia (anual)	R\$ 471.941,90
	SPOT
Preço Óleo	40,00
VPL Cliente	2.069.472,39
Pay Back Cliente (líquido)	0,44

Neste caso o pay back foi de 6 meses, mas este método não leva em conta todo o volume de produção perdendo-se aí um pouco de precisão!

Cabe ao cliente levar em conta os seguintes critérios de escolha de qual o resultado mais conveniente, porém nossa sugestão nesta avaliação é:

- O resultado mais realista e conservador seriam pelo consumo específico (KWh / ton)
- O método em percentuais é extremamente útil quando se quer fazer avaliação financeira mais apurada.
- Percebe-se pouca diferença nos resultados obtidos.

12 REDUTORES DE GRANDE PORTE – ACIONAMENTO DE EXTRUSORAS

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas em campo, para cada lubrificante, diretamente no local da instalação, nos sistemas de medição da Cliente, SDCCD e PI. As medições foram efetuadas com o intervalo de 10s (dez segundos) entre amostras e as análises foram realizadas com o mesmo período. O projeto consistiu em:

- a) **Especificação Técnica do Projeto:** Definição do projeto, com detalhamento das ações a serem implantadas, objetivos, premissas e apresentação das informações levantadas na instalação.
- b) **Elaboração do Plano de Medição e Verificação dos Resultados:** O Plano para Medição e verificação dos Resultados é embasado no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance. Foi utilizado o Sistema Digital de Controle Distribuído – SDCCD existente, com as adequações implementadas para o estudo de Eficiência Energética.
- c) **Implementação do Projeto e Execução das ações propostas.** O detalhamento da implementação do projeto encontra-se descrito nos itens a seguir;

- **Instalação de torquímetros**

A extrusora possui dois eixos cujos torques eram estimados por cálculo, a partir de medidas elétricas, e apresentados no SDCCD. A fim de realizar medição real de torque, foi instalado um torquímetro em cada eixo da extrusora.

Os torquímetros instalados são do modelo Torque-Trak Revolution, da marca Binsfeld, e são constituídos de dois componentes primários: o colar de rotação do eixo, com módulo transmissor integrado e a unidade de controle mestre, com bobina de potência estacionária.

- **Substituição dos transdutores de potência**

Foram substituídos os transdutores de potência de entrada do motor principal, pois os apresentavam erros na leitura, e estavam com o prazo de calibração vencido. Seguem abaixo os dados do transdutor do motor primário:

Transdutor de Potência Ativa, Circuito Trifásico Desequilibrado.

Fabricante: WARD ELETRO ELETRÔNICA LTDA

Tipo: TRX-P/I-D

Fabricação: 05/2008

Entrada: 115V/ 5A (60 Hz)

Faixa de medição: 0 – 996W (FA: 1,0)

Saída: 4 – 20mA (exatidão: 0,5%)

Alimentação auxiliar: 125 Vcc

- **Adequação do SDCCD**

A unidade de polipropileno da Cliente conta atualmente com um Sistema Digital de Controle Distribuído - SDCCD, que realiza supervisão integral de toda a planta. Este sistema possui comunicação com o sistema de automação da extrusora, que é constituído por um CLP e por um software supervisor, instalados no local, a partir do qual são realizados a supervisão e o controle do equipamento.

Através da comunicação entre os dois sistemas (local e SDCCD) são enviados dados coletados na extrusora para monitoração e armazenamento no SDCCD. Todas as medidas lidas das variáveis necessárias para a análise foram incluídas na base de dados de comunicação entre os sistemas.

O monitoramento das variáveis do equipamento permite o acompanhamento da sua performance, antes e após a troca do óleo, fornecendo informações suficientes para a realização das análises comparativas entre as duas situações, a fim de gerar o estudo de comprovação das energias projetadas.

d) Definição da Baseline (medição inicial): Planejamento e execução da etapa inicial do plano de medição e verificação dos resultados; Execução das medições necessárias para definição da situação original do sistema (baseline).

e) Substituição do lubrificante: esta fase é composta por duas etapas, sendo a primeira o “flushing” e a segunda a troca / retrofit para o lubrificante sintético:

- **Flushing do redutor** – Esta fase constitui-se na aplicação de um lubrificante novo de sacrifício, o qual tem por finalidade realizar uma limpeza interna do redutor, preparando a superfície para receber o lubrificante sintético, o objetivo principal desta operação é de eliminar o máximo possível à quantidade residual do óleo mineral que estava sendo usado a fim de aumentar a performance de lubrificação e eficiência energética.

- **Substituição dos filtros** – Para evitar a ocorrência de contaminação do novo lubrificante pelo óleo residual que fica retido nos elementos filtrantes, foi realizada a troca de todos os elementos filtrantes do óleo no sistema de circulação.

- **Retrofit do óleo lubrificante** – Consistiu na alimentação do redutor com o óleo Klübersynth GEM 4-320 até o correto nível do marcador, o volume total alimentado foi de 4.600 litros. A troca ocorreu nos dias 27 e 28/12/2011.



Figura 17 – Retrofit



Figura 18 – Inspeção da Extrusora



Figura 19 - Retirada do Óleo antigo



Figura 20 – Inserção do novo óleo no equipamento

f) Medição dos Resultados Finais e Relatório Final: após as atividades inerentes a substituição do lubrificante, iniciou-se a coleta das mesmas variáveis que influenciam na demanda de energia do conjunto motoredutor e extrusora, as quais serão detalhadas na sequência.

12.1 OPÇÃO DE MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

12.2 Metodologia

Para a quantificação dos resultados foi empregada a opção “B” do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (IPMVP)..

- **Avaliação Individual da ação:** Faz-se necessária a avaliação individual da medida de conservação de energia, visto que na instalação existem diversos centros de consumo de energia;
- **Extrusora:** O consumo de energia de uma extrusora é influenciado por diversos fatores, tais como, tipo de produto, produção, etc.,

Os resultados das medidas de conservação de energia nos sistemas de força motriz são quantificados através:

- Energia Economizada (kWh)
- Redução de Consumo Específico (kWh/ton)

12.3 Medições Realizadas

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas diretamente nos equipamentos envolvidos, e foram realizadas com os mesmos equipamentos. As medições para a linha de Base tiveram duração 72 dias e o ocorrem entre os dias 14/10/2011 a 26/12/2011. Já as medições do Pós Retrofit tiveram duração de 70 dias e ocorreram no período de 2/1/2012 a 12/3/2012.

Os dados monitorados no equipamento, com intervalo de integração de 10 segundos foram:

- Medição da potência de entrada da extrusora;
- Medição da potência útil (saída) da extrusora;
- Produção Média
- Medição do índice de Fluidez do produto;
- Medição da Trottle Valv
- Medição Diferença de Pressão nos Filtros
- Medição da Temperatura do Polímero

Os dados coletados instantaneamente no equipamento foram:

- Temperatura do Lubrificante
- Temperatura da Carcaça
- Dados nominais de Vazão do Sistema de Bombeamento

Alem destes itens, foi disponibilizado pela Cliente o Controle de produção, na qual informava o período em que cada produto foi processado.

12.4 Fronteira de Medição

A fronteira de medição é a barreira que delimita os pontos onde serão medidas/monitoradas as variáveis que serão utilizadas para a comparação dos resultados. Neste caso, a fronteira de medição está limitada ao equipamento afetado pelas ações de troca de lubrificante.

A fronteira de medição definida para este equipamento, envolve a potência de entrada do conjunto, expressa em kW e como saída, a produção em toneladas por hora, índice de fluidez e percentual de abertura da Throttle Valve, como ilustrado na figura abaixo:

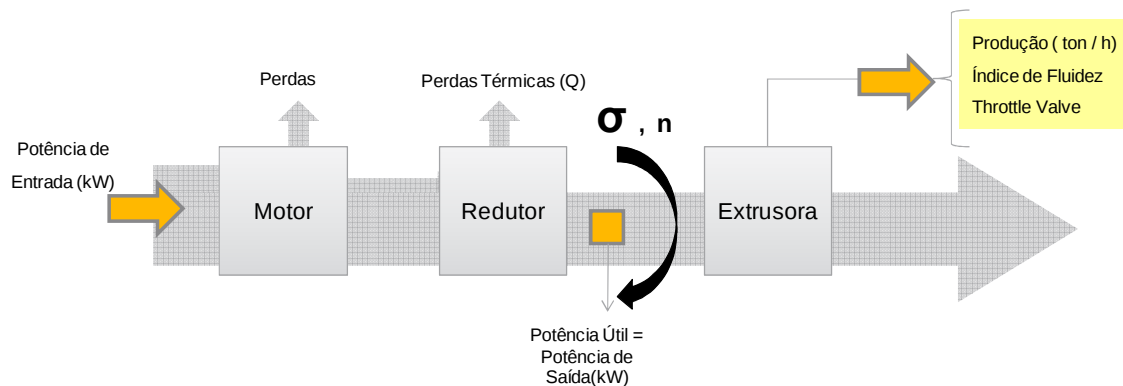


Figura 21 – Fronteira de Medição

12.5 Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira de Medição

Os efeitos interativos compreendem nos efeitos na energia criados por uma ação de eficiência energética mas não medidos dentro da fronteira de medição. Neste caso, não foram considerados os possíveis efeitos interativos nos cálculos para determinação do consumo de energia.

12.6 METODOLOGIAS DE ANALISE

Para o projeto em questão foram avaliadas diversas metodologias para contabilização dos resultados. AS metodologias são:

- Metodologia SME (Specific Mechanical Energy)
- Análise de Regressão
- Análise Termodinâmica
- Análise de Potência Útil
- Análise Couette

12.7 Metodologia SME (Specific Mechanical Energy)

A metodologia SME (*Specific Mechanical Energy*) é utilizada em diversos trabalhos científicos para redutores de diversos processos de extrusão. No Anexo B, segue estudo apresentado por Singh N., Smith A., 1997, no Journal of Food Science.

A fórmula utilizada para o cálculo do SME é:

$$SME = \frac{RPM \times Pot \times Torque\%}{RPM_{max} \times Prod \times 100} [kWh / kg]$$

Onde:

<i>SME</i>	Consumo Específico Mecânico
<i>RPM</i>	Rotação Média Calculada nos Dois Eixos (rpm)
<i>Pot</i>	Potência de Entrada Medida (kW)
<i>Torque%</i>	Torque Máximo Medido Divido Pelo Torque Nominal da Máquina
<i>RPM_{max}</i>	Rotação Nominal Máxima da Máquina
<i>Prod</i>	Produção Medida (kg/h)

12.7.1 Determinação da Linha de Base

Essa metodologia é separada por produto, ou seja, só comparam-se os dados de linha de base e pós-retrofit, de mesmo produto. Para cada uma das linhas de 10 (dez) segundos, tanto no período de linha de base como para o período pós-retrofit, é calculo o SME específico.

Inicialmente é calculada a média das rotações medida pelos torquímetro nos dois eixos. Posterior a rotação calculada, a mesma é corrigida em 3%, que representa o erro máximo do torquímetro. Calcula-se o Torque% utilizando o maior torque registrado nas duas roscas, ou seja, a maior exigência mecânica da extrusora, dividido pelo torque máximo especificado pela extrusora. Nesse caso, somente considerando o motor primário em funcionamento, o valor do torque máximo utilizado é 284.814,15 Nm.

Utilizando todos os dados, medidos e calculados, RPM, Pot, Torque%, RPMmax e Prod, os valores são inseridos na fórmula do SME e assim calcula-se o consumo específico mecânico para cada instante de 10 (dez) segundos.

Tabela 12 - Exemplo de Planilha para Cálculo do SME (Linha de Base)

DATA E HORA	Pot. Util. (kW)	Potência de Entrada (kW)	Produção Média (kg/h)	Período	RPM Torque 1 (screw speed1)	RPM Torque 2 (screw speed2)	Screw Speed For Calculation (RPM)	Screw Speed For Calculation (RPM) 3% Correction	Max Screw Speed (RPM)	Torque for equation (Nm)	Torque Max (Nm)	% Torque (%)	specific mechanical energy consumption (SME) in (kWh/kg)
28/10/2011 06:30:00	5.897,76	6.097,10	42.868,83	LB	188,52	188,18	188,52	182,87	186,90	150.293,39	284.814,15	52,77%	0,0007343
28/10/2011 06:31:00	5.933,95	6.083,02	43.084,18	LB	190,40	187,78	190,40	184,68	186,90	150.670,59	284.814,15	52,90%	0,0007381
28/10/2011 06:32:00	5.994,35	6.134,06	43.046,62	LB	191,25	189,02	191,25	185,52	186,90	151.304,56	284.814,15	53,12%	0,0007514
28/10/2011 06:33:00	5.975,58	6.112,96	42.923,86	LB	187,95	189,66	189,66	183,97	186,90	152.537,55	284.814,15	53,56%	0,0007508
28/10/2011 06:34:00	6.000,91	6.235,03	42.861,66	LB	188,09	189,06	189,06	183,39	186,90	152.657,56	284.814,15	53,60%	0,0007551
28/10/2011 06:35:00	5.963,91	6.187,31	42.995,91	LB	188,87	188,27	188,87	183,20	186,90	152.314,98	284.814,15	53,48%	0,0007543
28/10/2011 06:36:00	5.889,23	6.146,06	42.910,86	LB	189,49	188,51	189,49	183,80	186,90	150.084,56	284.814,15	52,70%	0,0007422
28/10/2011 06:37:00	5.892,76	6.121,96	42.837,71	LB	189,95	190,00	190,00	184,30	186,90	149.800,13	284.814,15	52,60%	0,0007412
28/10/2011 06:38:00	6.006,19	6.205,58	42.962,74	LB	190,27	189,23	190,27	184,56	186,90	152.606,13	284.814,15	53,58%	0,0007643
28/10/2011 06:39:00	5.967,47	6.152,99	42.984,27	LB	186,96	189,81	189,81	184,11	186,90	151.392,75	284.814,15	53,15%	0,0007495
28/10/2011 06:40:00	5.949,50	6.173,46	42.858,52	LB	187,73	189,28	189,28	183,60	186,90	152.982,80	284.814,15	53,71%	0,0007601
28/10/2011 06:41:00	5.982,92	6.213,77	42.914,41	LB	189,02	188,33	189,02	183,34	186,90	152.508,77	284.814,15	53,55%	0,0007606
28/10/2011 06:42:00	5.993,59	6.174,63	42.970,30	LB	190,36	189,23	190,36	184,65	186,90	152.764,58	284.814,15	53,64%	0,0007615
28/10/2011 06:43:00	6.020,12	6.208,43	43.087,27	LB	189,28	190,01	190,01	184,31	186,90	152.345,91	284.814,15	53,49%	0,0007601
28/10/2011 06:44:00	5.939,89	6.196,96	42.982,74	LB	187,99	188,46	188,46	182,81	186,90	152.411,94	284.814,15	53,51%	0,0007546
28/10/2011 06:45:00	6.013,39	6.232,53	42.998,34	LB	187,80	187,86	187,86	182,23	186,90	154.520,67	284.814,15	54,25%	0,0007667
28/10/2011 06:46:00	6.006,89	6.263,93	43.061,83	LB	188,77	188,67	188,77	183,11	186,90	153.705,56	284.814,15	53,97%	0,0007691

12.7.2 Determinação do Pós-Retrofit

Assim como realizado para a linha da base é calculado o SME específico para cada uma das linhas de 10 (dez) segundos. Separa-se também por produto.

Primeiro é calculada a média das rotações medida pelos torquímetros nas duas roscas. Posterior a rotação calculada, a mesma é corrigida em 3%, que é o erro máximo do torquímetro.

Calcula-se o Torque% utilizando o maior torque registrado nas duas roscas, ou seja, a maior exigência mecânica da extrusora, dividido pelo torque máximo especificado pela extrusora. Nesse caso, somente considerando o motor primário em funcionamento, o valor do torque máximo utilizado é 284.814,15 Nm.

Utilizando todos os dados, medidos e calculados, RPM, Pot, Torque%, RPMmax e Prod, os valores são inseridos na fórmula do SME e assim calcula-se o consumo específico mecânico para cada instante de 10 (dez) segundos.

Tabela 13 - Exemplo de Planilha para Cálculo do SME (Pós-Retrofit)

DATA E HORA	Pot. Util. (kW)	Potência de Entrada (kW)	Produção Média (kg/h)	Período	RPM Torque 1 (screw speed1)	RPM Torque 2 (screw speed2)	Screw Speed For Calculation (RPM)	Screw Speed For Calculation (RPM) 3% Correction	Max Screw Speed (RPM)	Torque for equation (Nm)	Torque Max (Nm)	% Torque (%)	specific mechanical energy consumption (SME) in (kWh/kg)
21/12/2012 00:00:00	5.035,45	5.395,67	35.000,21	PR	187,66	189,60	189,60	183,91	186,90	129.599,16	284.814,15	45,50%	0,0006903
21/12/2012 00:00:10	5.042,37	5.395,66	35.094,82	PR	185,91	188,99	188,99	183,32	186,90	129.979,81	284.814,15	45,64%	0,0006882
21/12/2012 00:00:20	5.067,74	5.422,59	35.189,43	PR	188,14	189,08	189,08	183,40	186,90	130.363,85	284.814,15	45,77%	0,0006921
21/12/2012 00:00:30	5.089,56	5.380,25	34.948,89	PR	185,89	190,06	190,06	184,36	186,90	130.941,30	284.814,15	45,97%	0,0006981
21/12/2012 00:00:40	5.084,08	5.416,98	35.230,09	PR	187,35	189,65	189,65	183,96	186,90	131.196,28	284.814,15	46,06%	0,0006971
21/12/2012 00:00:50	5.063,21	5.420,48	34.964,84	PR	186,50	189,07	189,07	183,40	186,90	131.025,23	284.814,15	46,00%	0,0006996
21/12/2012 00:01:00	5.090,48	5.402,41	34.980,58	PR	188,69	188,86	188,86	183,20	186,90	131.052,22	284.814,15	46,01%	0,0006966
21/12/2012 00:01:10	5.089,99	5.425,35	34.998,08	PR	187,96	189,49	189,49	183,81	186,90	130.874,22	284.814,15	45,95%	0,0007005
21/12/2012 00:01:20	5.108,89	5.385,15	35.021,58	PR	189,66	188,57	189,66	183,97	186,90	131.379,64	284.814,15	46,13%	0,0006981
21/12/2012 00:01:30	5.100,04	5.422,75	35.045,12	PR	188,36	189,04	189,04	183,37	186,90	131.348,64	284.814,15	46,12%	0,0007001

12.7.3 Resultados Metodologia SME (Specific Mechanical Energy)

Após todas as linhas monitoradas terem seu respectivo SME, é realizada a média simples da linha de base e do pós-retrofit. E por fim calcula-se a diferença percentual do SME_{linha de base} e SME_{pós-retrofit}, utilizando a fórmula abaixo:

$$Ganho \% = 1 - \frac{SME (linha de base)}{SME (Pós Retrofit)}$$

Utilizando a metodologia SME definida e descrita no item 6.1, realizou-se a comparação entre os dados medidos na Linha de Base e Pós-Retrofit, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 14 - Resumo dos Resultados por Produto (Metodologia SME)

Produtos	Ton	%	Ganhos SME %
H-503HS	13.677,48	24,4%	5,06%
HP-550R	6.256,38	11,2%	6,39%
HP-648S	4.380,98	7,8%	4,14%
H-203	584,78	1,0%	-3,61%
HP-525M	3.238,53	5,8%	9,64%
KM-6150	1.267,44	2,3%	-8,77%
HP-550P	792,70	1,4%	0,78%
H-503	6.581,08	11,7%	8,76%
H-103	887,30	1,6%	7,37%
DP-120A	496,95	0,9%	15,77%
HP-522J	8.375,48	14,9%	0,34%
HP-500N	1.964,18	3,5%	1,92%
HP-550K	3.293,58	5,9%	10,06%
H-201	3.596,98	6,4%	5,62%
HP-516M		0,0%	
	56.096,79	Média:	5,02%

12.8 Análise de Regressão

Após a coleta das variáveis, foram criadas correlações entre as grandezas monitoradas e a potência de entrada do motor, criando equações que representam o comportamento de variação da potência do redutor de acordo com o regime de produção para cada produto. Nos itens abaixo são explicados passo a passo, a metodologia para obtenção das equações que representam o período Linha de Base.

12.8.1 Determinação da Linha de Base

A determinação da economia requer uma comparação tipo “maçãs com maçãs”, ou seja, precisamos ajustar o período da baseline e o pós retrofit para um mesmo conjunto de condições para se efetuar comparações válidas.

12.8.1.1 DEFINIÇÃO DE VARIÁVEL TV/IF

Foi realizada análise de influencia das variáveis independentes e observou-se que em produtos de baixo Índice de Fluidez, não se consegue perceber a influencia dele e da Trote Valve na Potência, conforme se verifica na figura abaixo.

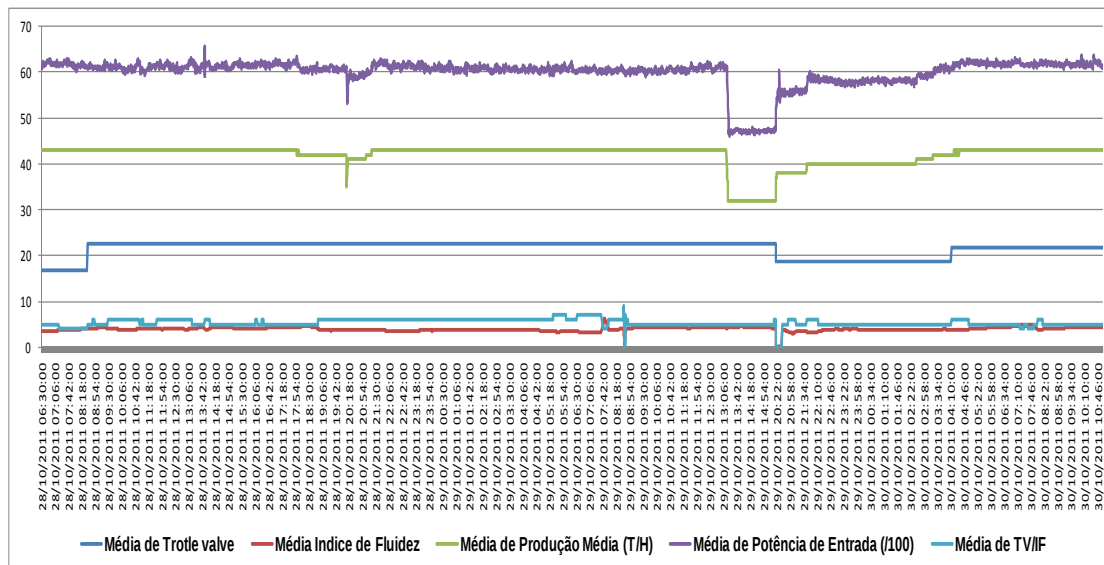


Figura 22 – Gráfico do Produto H-503HS

Já na figura abaixo, consegue-se observar que há uma relação inversa entre a Produção e o Consumo específico (kWh/ton).

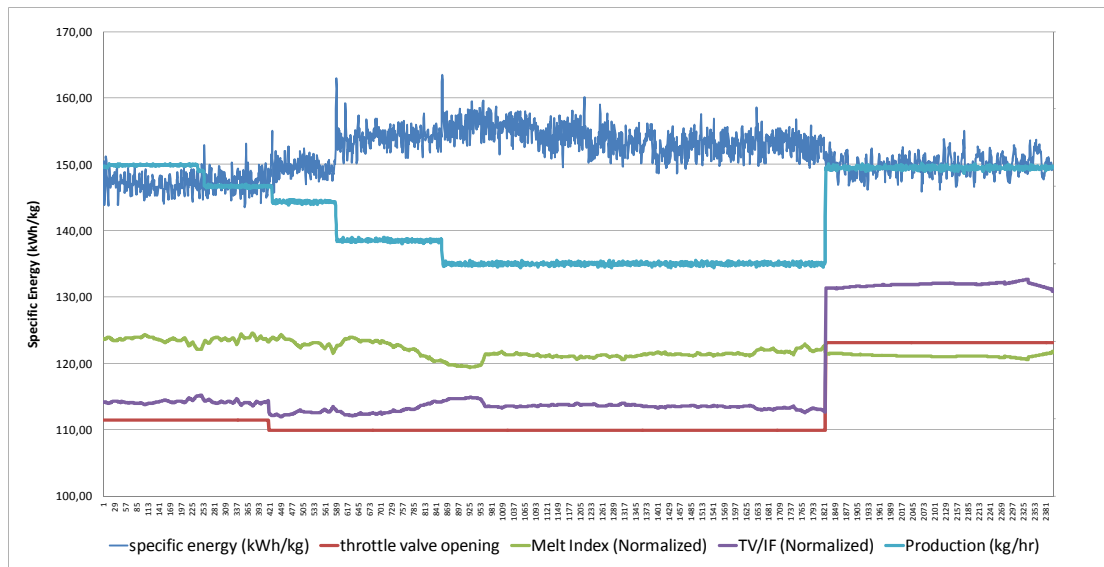


Figura 23 – Relação entre a produção e o Consumo específico.

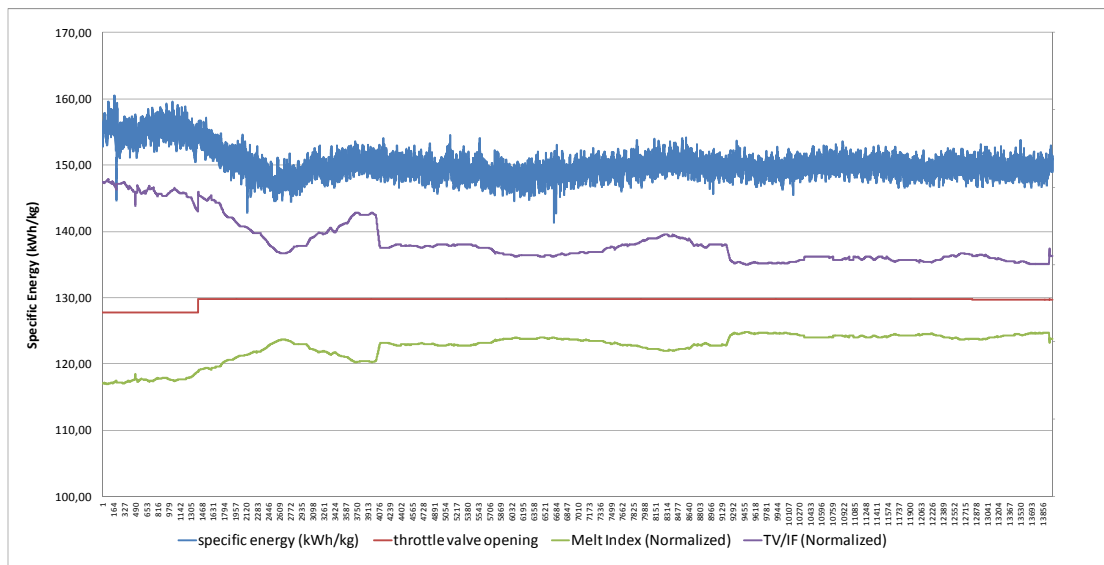


Figura 24 – Relação direta entre TV/IF e Consumo específico.

No caso acima, observa-se uma relação direta entre TV/IF e o consumo (kWh). Com todos os dados, por produto, é calculado a variável TV/IF que compreende a simples divisão entre o valor da abertura da TV pelo valor de IF.

Portanto para podermos realizar a comparação correta entre os dados da linha base, com os dados do pós-retrofit, foi criada a relação entre o a Trottle. Valv e o Índice de Fluidez (TV/IF), onde poderemos comparar a mesma situação de trabalho e exigência da máquina.

12.8.1.2 DEFINIÇÃO DE CONDIÇÕES TV/IF

A partir da criação da variável, passa-se para a determinação de Condições TV/IF, que compreende na escolha de faixas de ocorrência no Baseline para posterior comparação confiável. São definidas tantas faixas (TV/IF) quantas forem necessárias para permitir comparação de condição idêntica.

Cabe ressaltar, que para índices de fluidez fora da especificação do produto, foi definido que o índice TV/IF é igual à zero.

12.8.1.3 DEFINIÇÃO DAS ABERTURAS DE TV PARA CADA TV/IF

Para cada TV/IF (ou faixa) será definido os valores das aberturas de TV, em grupos, e por consequência consegue-se “fixar” o mesmo índice de fluidez (IF).

MÊS	(Tudo)
TV/IF	5,00
Potência de Entrada (/100)	(Tudo)

Contar de Indice de Fluidez Trotle Valv.	Pre / Pos Referencia LB	
14,10		4
16,00		664
16,13		321
16,63		48
16,70		9
16,80		66
18,00		2441
18,40		
18,49		
18,50		403
18,71		191
19,70		91
19,70		2858
19,76		1846
19,80		946
20,35		
20,47		1
20,80		874
21,60		319
22,00		
22,00		
22,10		
22,20		
22,40		545
22,50		260
23,08		463
23,82		8
Total geral		12358

Grupo 1

Grupo 2

Figura 25 – Exemplo de definição das aberturas de TV para cada TV/IF

12.8.1.4 FUNÇÃO POR REGRESSÃO E CORRELAÇÃO

A análise de regressão e correlação compreende na análise de dados amostrais para saber se e como as duas ou mais variáveis estão relacionadas uma com a outra numa população. A análise de regressão estuda o relacionamento entre uma variável, chamada a variável dependente, e outras variáveis chamadas variáveis independentes. Este relacionamento é representado por um modelo matemático, por uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes.

A análise de correlação dedica-se a inferências estatísticas das medidas de associação linear que mede a “força” ou “grau” de relacionamento entre uma variável dependente e um conjunto de outras variáveis.

Com base em cada grupo definido em função do TV/IF e da Trotle Valv, chega-se a função por regressão e correlação da potência de entrada em função da produção, e a equação respectiva.

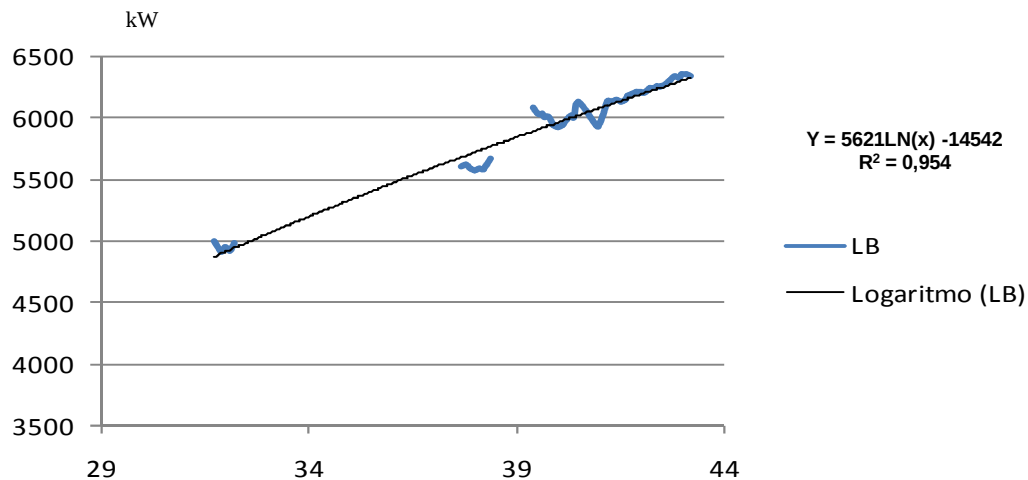


Figura 26 – Gráfico Exemplo da equação.

Analogamente para as outras faixas de Trotle Valve e TV / IF , consegue determinar o conjunto de equações que cobrem todos os comportamentos possíveis de alteração de potencia de entrada (KW elétrico) para cada variação das variáveis independentes .

Como visualização parcial, para o produto H 503 – HS foram encontradas e definidas as seguintes equações abaixo:

Tabela 15 – Equações para o produto H503-HS

TV / IF	Range TV	Equação	R ²	
0	7,0 a 18,5	$Y = -0,778x^3 + 92,12x^2 - 3443x + 45933$	0,981	1
	18,5 a 22,0	$Y = 4269 \cdot \ln(x) - 9468$	0,997	2
	22,0 a 28,5	$Y = 22,24x^2 - 1861x + 44930$	1,000	3
2, 3 e 4	7,0 a 13,0	$Y = 0,570x^3 - 64,12x^2 + 2494x - 27757$	0,957	4
	13,0 a 18,0	$Y = 5,760x^2 - 336,8x + 10164$	0,973	5
	18,0 a 30,0	$Y = 3343x^{0,170}$	0,856	6
5	14,0 a 19,0	$Y = 5621 \ln(x) - 14542$	0,954	7
	19,0 a 22,0	$Y = 678,4x^{0,610}$	0,853	8
	22,0 a 30,0	$Y = -1,805x^3 + 201,1x^2 - 7331x + 93058$	0,980	9
6	14,0 a 22,0	$Y = 3425,4e^{0,0141x}$	0,906	10
	22,0 a 24,0	$Y = -5,41x^3 + 642,93x^2 - 25357x + 338190$	0,982	11
	24,0 a 28,5	$Y = -13,93x^3 + 1617,2x^2 - 62464x + 808370$	1,000	12
7	14,0 a 22,0	$Y = 11,31x^3 - 1333,1x^2 + 52333x - 678470$	1,000	13
	22,0 a 28,5	$Y = -1,82x^3 + 198,69x^2 - 7084,8x + 87874$	0,986	14
8	7,9 a 24,0	$Y = 71,30x + 3325$	0,993	15
	24,0 a 30,0	$Y = 4715 \ln(x) - 11083$	0,846	16
9 ou +	-	$Y = 6,751x^2 - 458,5x + 13634$	0,926	17

As equações para os produtos restantes encontram-se disponíveis no Anexo 6.

12.8.2 Dados Pós Retrofit

No pós retrofit são utilizados os dados reais medidos após a troca do óleo sem emprego de nenhum cálculo, nesta etapa não se executa a obtenção de equações de regressão e correlação, trabalha-se com os dados reais medidos e faz-se a comparação para cada variável independente correspondente.

Com isto para cada situação de trabalho correspondente (TV/IF e TV) calcula-se a diferença de potencia com a produção obtida na equação de linha de base.

Tabela 16 – Cálculo da diferença de potencia com a produção.

Equation Used (H 503 HS)	PRODUCTION Ton / hour	INPUT POWER (ACTUAL) KW	SPECIFIC CONSUMPTIONS DELTA (KWh / ton)	CORRECTED GAIN% - R2 Corrected	Data Points	Data PR
7	40,80	5.931,72	8,65	5,98%	22.113	41,4%
10	38,95	5.645,88	6,81	4,70%	19.102	35,7%
11	36,85	5.434,72	21,04	14,25%	6.213	11,6%
4	35,41	5.145,21	0,86	0,69%	2.582	4,8%
5	42,00	6.093,21	1,98	1,40%	1.793	3,4%
9	34,55	5.332,04	2,57	1,67%	1.088	2,0%
6	39,50	5.946,20	6,48	4,31%	153	0,3%
8	34,40	5.270,60	14,92	9,74%	127	0,2%
1	7,82	1.275,00			118	0,2%
2	36,27	5.565,36	7,81	5,24%	83	0,2%
3	24,17	3.719,74	26,62	17,29%	61	0,1%
13	35,97	5.557,85	(8,27)	-5,35%	17	0,0%
14	33,19	5.411,24	(2,91)	-1,89%	7	0,0%
15	37,91	5.737,86	7,76	5,11%	5	0,0%
17	40,09	6.148,50	(1,04)	-0,68%	1	0,0%
Total Average	39,15	5.702,85		6,00%	53.463	

Ao final realiza-se a média ponderada para cada faixa de regime de produção e sua frequência. O comparativo dos dados dos outros produtos se encontram no item 7 deste relatório.

12.8.3 Resultados

Os resultados obtidos pela análise por equações de regressão e correlação para todos os produtos são como segue abaixo:

Tabela 17 – Resultados – Análise de Regressão

Economia de Energia	
Produto	Até 12/03/2012
H-503HS	4,71%
HP-550R	6,70%
HP-648S	3,28%
H-203	12,09%
HP-525M	3,21%
KM-6150	1,19%
HP-550P	2,95%
H-503	3,87%
H-103	21,39%
DP-120A	6,15%
HP-522J	1,47%
HP-500N	2,78%
HP-516M	
HP-550K	9,07%
H-201	3,88%
	4,499%

12.9 Análise Termodinâmica

O conceito da conservação de energia (1º lei da termodinâmica) diz que a energia de entrada é igual ao somatório da energia de saída. No caso em análise, a energia da entrada do sistema, será convertida em trabalho útil, calor, ruído e vibração, isto é, toda energia que entra é rigorosamente igual à soma de toda energia que sai do sistema. Como a quantidade de energia perdida pelo ruído e vibração são muito menores que as demais, pode-se despreza-las.

Portanto, pode-se adotar que a energia perdida no redutor, será convertida em calor, sendo este dissipado pelo sistema de refrigeração e pela carcaça do equipamento.

O redutor em questão contém um sistema de resfriamento contínuo do lubrificante e com isto é possível avaliar qual a energia térmica transferida para o lubrificante devido ao atrito que ocorre nos pontos de contato no interior do redutor e dissipado no sistema de refrigeração, conforme ilustrado na Figura 27.

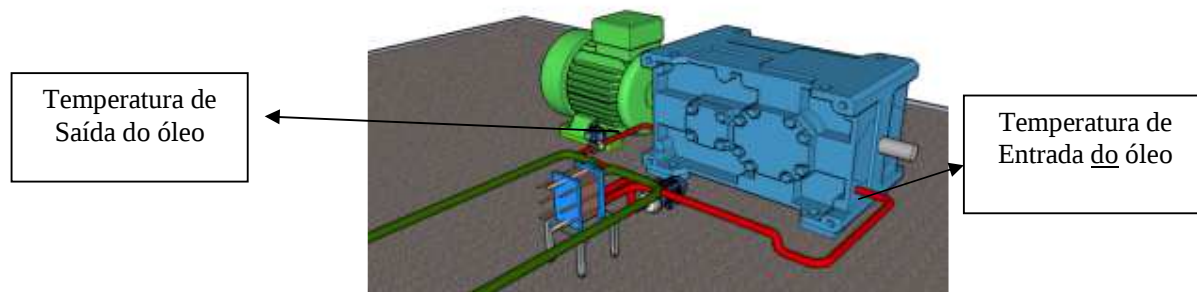


Figura 27 – Sistema de Resfriamento do Redutor Analisado

A energia térmica em kWh pode ser calculada através de equações termodinâmicas considerando a transferência de calor por condução, convecção e radiação, importante lembrar que o fenômeno convectivo é o que predomina neste sistema sendo pouco sensível a perda por radiação e menos ainda por condução.

De forma genérica, pode-se representar a quantidade de energia térmica dissipada pela seguinte equação:

$$Q_T = Q_{Cond} + Q_R + Q_{Conv}$$

Onde:

$Q_T \rightarrow$ Quantidade total de energia (convecção + radiação + condução)

$Q_{Cond} \rightarrow$ Quantidade de energia transferida por condução;

$Q_R \rightarrow$ Quantidade de energia transferida por radiação;

$Q_{Conv} \rightarrow$ Quantidade de energia transferida por convecção;

Cada forma de troca de calor (radiação, convecção e condução), possuem formas particulares de calculo, as quais não serão comentadas em detalhes, pois são de conhecimento geral da área de engenharia.

12.9.1 Determinação da Linha de Base

Com base nos conceitos apresentados na seção anterior, coletaram-se instantaneamente os dados de temperatura do lubrificante e da carcaça do redutor e os dados nominais de vazão do sistema de bombeamento, o que possibilitou calcular o rejeito de energia no equipamento.

A troca de calor por condução pode ser desprezada, devido ao baixo valor, quando comparada às demais, levando em consideração a troca de calor pelo sistema de refrigeração do lubrificante (trocador de calor na torre de arrefecimento) e a troca de calor por convecção e radiação da carcaça do redutor, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 18 – Determinação da Linha de Base –Análise Termodinâmica

Análise do Rendimento do Redutor - Método pelo Rejeito de Energia	
Rejeito do Sistema de Refrigeração	
Temp. Média de Entrada do óleo no Sistema de Refrigeração [°C]	57
Temp. Média de Saída do óleo no Sistema de Refrigeração [°C]	41
Vazão da Bomba do sistema de lubrificação [m³/h]	104,47
Cp do Lubrificante [kJ/kg°C]	2,865
Densidade do Lubrificante [kg/m³]	860
Rejeito de Energia no Sistema de Lubrificação [kW]	1144,02
Rejeito pela Carcaça (Radiação + Convecção)	
Temperatura média da Carcaça [°C]	45
Temperatura média do Ar [°C]	20,64
Área de troca térmica [m²]	47,5449
Velocidade do Ar no Local do Redutor [m/s]	
Coeficiente Convectivo - h	25
Epsilon	0,85
Sigma	5,67E-08
Radiação [kW]	8,98
Convecção [kW]	28,95
REJEITO TOTAL DE ENERGIA (kW)	1181,95
Potência Nominal do Redutor [kW]	8.214,00
Potência Lida na Entrada do Motor do Redutor [kW]	5.300,00
Perda Total de Energia [%]	14,39%

Com os dados coletados em campo, aplicados nas equações de transferência de calor, chega-se a um rejeito de aproximadamente 14,39% da potência nominal do redutor, o que representa aproximadamente 1.181 kW.

12.9.2 Determinação do Pós Retrofit

O argumento teórico é de que um lubrificante especial de alto rendimento como o da Klüber Lubrication aumenta a eficiência de um equipamento devido ao menor coeficiente de atrito, reduzindo a perda de energia na transmissão de uma engrenagem para outra no interior no redutor.

Justamente devido ao menor coeficiente de atrito, o lubrificante KLÜBERSYNTH GEM 4 tem a capacidade de aumentar a eficiência mecânica, o que possibilita também um menor consumo de energia na entrada do redutor para desenvolver o mesmo trabalho na saída. Através da informação advinda da própria equipe técnica da Cliente, a qual constatou uma redução de aproximadamente 4,8°C na temperatura do lubrificante pode-se recalculer o rejeito de energia e comparar os resultados.

Tabela 19 - Determinação do Pós Retrofit-Análise Termodinâmica

Análise do Rendimento do Redutor - Método pelo Rejeito de Energia	
Rejeito do Sistema de Refrigeração	
Temp. Média de Entrada do óleo no Sistema de Refrigeração [°C]	52,2
Temp. Média de Saída do óleo no Sistema de Refrigeração [°C]	41
Vazão da Bomba do sistema de lubrificação [m³/h]	104,47
Cp do Lubrificante [kJ/kg°C]	2,865
Densidade do Lubrificante [kg/m³]	860
Rejeito de Energia no Sistema de Lubrificação [kW]	800,81
Rejeito pela Carcaça (Radiação + Convecção)	
Temperatura média da Carcaça [°C]	45
Temperatura média do Ar [°C]	20,64
Área de troca térmica [m²]	47,5449
Velocidade do Ar no Local do Redutor [m/s]	
Coeficiente Convectivo - h	25
Epsilon	0,85
Sigma	5,67E-08
Radiação [kW]	8,98
Convecção [kW]	28,95
REJEITO TOTAL DE ENERGIA (kW)	838,75
Potência Nominal do Redutor [kW]	8.214,00
Potência Lida na Entrada do Motor do Redutor [kW]	5.300,00
Perda Total de Energia [%]	10,21%

Com os dados de temperatura do lubrificante após o retrofit, observa-se que a as perdas de energia através do rejeito de calor ficou em 10,21% o que equivale a 838,75 kW.

A Klüber Lubrication, através de seus dados históricos de melhoria de performance obtidos com o emprego de seus lubrificantes, observou que em média a diferença de temperatura com o lubrificante proposto reduz em torno de 5°C devido principalmente ao menor coeficiente de atrito, fato este que se confirmou pontualmente

logo após a troca do lubrificante, com redução de $4,8^{\circ}\text{C}$ na diferença de temperatura entre a entrada e saída do lubrificante, quando comparada entre antes e após o retrofit do óleo.

12.9.3 Resultados

Comparando os resultados obtidos em cada análise, pode-se observar que ocorreu uma redução no rejeito de energia de 14,39% para 10,21% no redutor, o que significa um acréscimo na eficiência do redutor de 4,18%.

A redução das perdas corresponde que 343,2 kW deixaram de ser dissipados pelo sistema de refrigeração e pela carcaça do redutor.

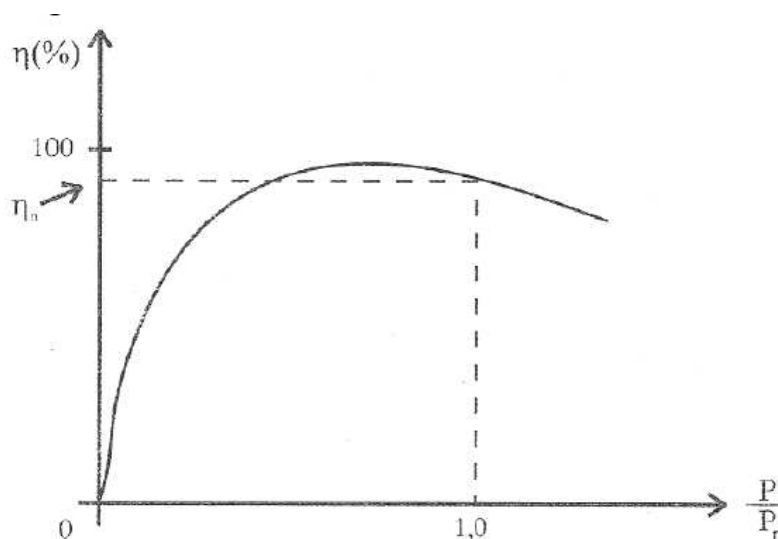
12.9.4 Análise de Potência Útil

12.9.5 Análise de Metodologia Pot Util x Pot Entrada

O presente tópico objetiva mostrar outra análise de metodologia de cálculo que seria interessante verificar se seria conceitualmente a mais aceitável na determinação do consumo de energia elétrica de redutores planetários de acionamento de uma extrusora.

Rendimento de redutores

Teoricamente, como no gráfico abaixo, através de dados empíricos dos fabricantes as condições de rendimento de um redutor estão associadas também ao rendimento dos motores.:



O rendimento é afetado pelas seguintes condições :

- Variável em função da carga ou carregamento;
- Geralmente o rendimento é máximo em torno de 75% do carregamento do motor;
- Em condições de funcionamento o motor deve operar entre 75% a 100% do carga nominal.

No caso do redutor Renk a potencia nominal do motor é de 8,2 MW e neste caso em condições de carregamento para máxima eficiência tem que a informação do fabricante do equipamento o rendimento do equipamento é de 95% nestas condições .

Na tabela abaixo mostra o comportamento de macro da potencia durante todo o período LB e PR e respectivo carregamento em termos de valores máximos e mínimos .

Periodo = LB

Descriptive Statistics ^a					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Potência de Entrada (kW)	336.279	2.110,7110	7.318,0250	5.652,213279	667,9931125
Pot. Util (kW)	336.279	50,0033	6.918,4302	5.322,338470	646,7503242
Valid N (listwise)	336.279				
Charger factor		25,73%	91,48%	68,93%	

a. Period = LB

Periodo = PR

Descriptive Statistics ^a					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Potência de Entrada (kW)	502.983	36,9831	6.965,9670	5.337,106338	748,3875108
Pot. Util (kW)	502.983	65,6052	6.587,5386	5.001,010819	720,9940779
Valid N (listwise)	502.983				
Charger factor		0,5%	84,95%	65,09%	

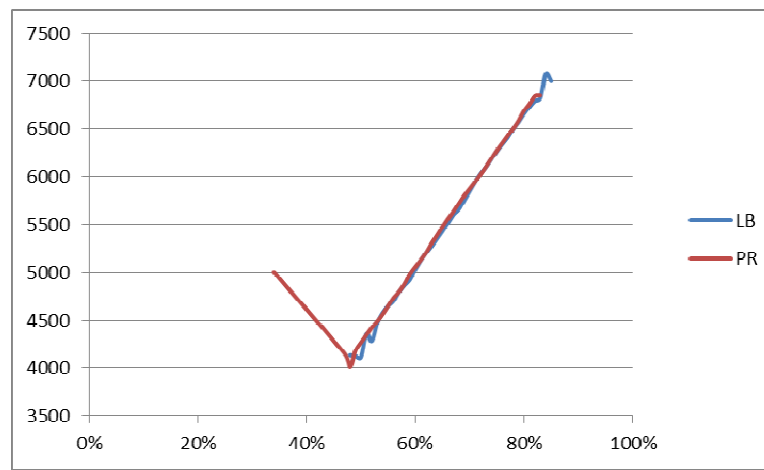
a. Period = PR

Pode se concluir pelos dados acima que na média geral o equipamento operou abaixo das característica de operações ótimas (carregamento acima de 75% ou 6,12 MW) portanto em eficiência abaixo de 95% .

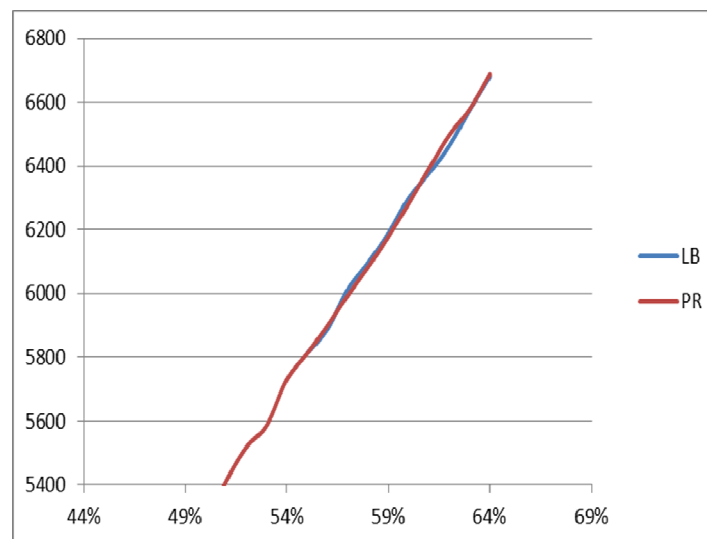
Deve-se levar em conta que cada equipamento, por questões de projeto e características de funcionamento ,tem sempre o mesmo comportamento na relação

Potencia Útil x Potencia Elétrica de Entrada e portanto não é esperado que a curva de rendimento mude quando é realizado o retrofit / troca de lubrificante , o esperado com esta ação de eficiência energética é que a diminuição de atrito no sistema de engrenagens reduza o esforço do equipamento para a realização de um mesmo trabalho .

Isto pode ser verificado na figura abaixo para o todos os produtos onde se percebe claramente que as duas curvas praticamente se sobrepõem e com todos os níveis de produção (entre 30 e 43 toneladas por hora).

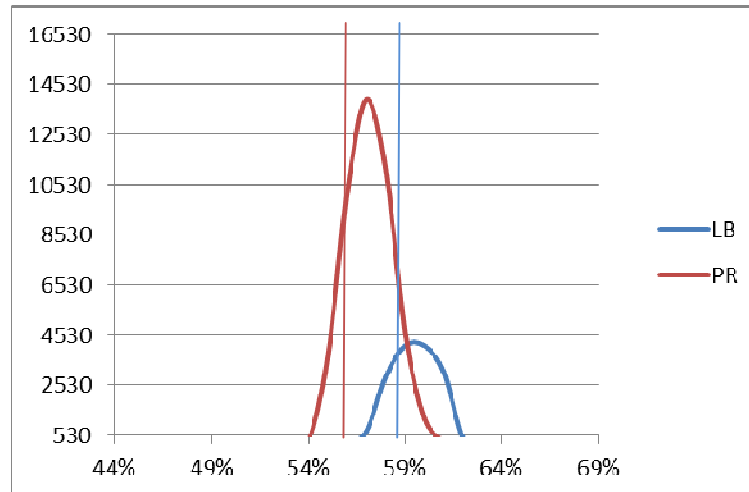


A verificação de diferença de consumo energético somente é possível de se enxergar quando se faz a comparação em condições de produção idênticas ou muito semelhantes antes e depois do retrofit , tomando como exemplo o produto H 503 HS avaliando na condição de produção entre 39 e 40 ton / hora , o gráfico fica :



Percebe-se que em produtos diferentes a curva de rendimento altera muito pouco em termos de inclinação pois estruturalmente o equipamento não foi modificado , apesar desta pouca alteração ,é prudente avaliar isoladamente as curvas para cada produto para melhor precisão de comparação .

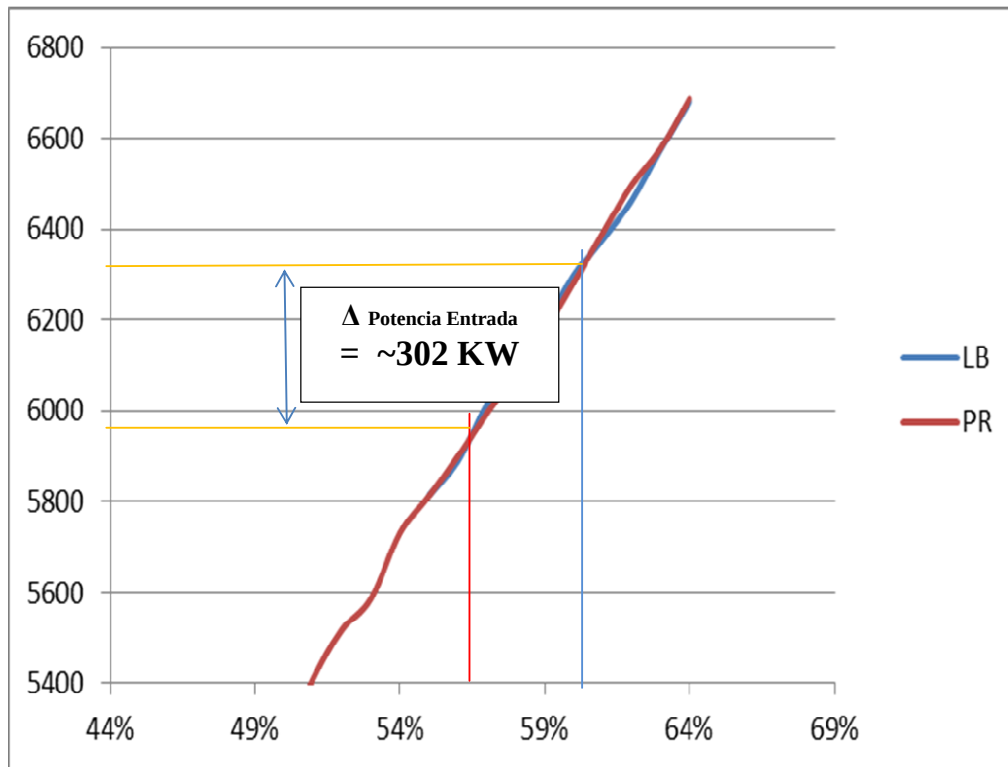
Indo mais a frente em nossa análise, em condições de operação semelhante na mesma produção consegue-se visualizar que a resposta do equipamento para efetuar o mesmo trabalho foram diferentes antes e depois da troca de óleo, isto se pode verificar pela figura abaixo .



Olhando na figura acima a mediana da potencia útil para o mesmo trabalho são diferentes , isto é , para o período LB a potencia útil trabalhou no fator de carga de 59,5 % no período PR (com óleo sintético) o fator de carga foi na ordem de 56,5% .

Fazendo agora a comparação na curva de rendimento o equipamento , temos :

Período	Potencia útil	Potencia de entrada (KW)	Diferença (KW)
LB	59,5 %	6294	302
PR	56,5%	5992	



Nesta análise do produto H 503 HS , para esta condição de trabalho (40 ton / h) percebe-se uma economia de energia de 302 KW ou 4,8% .

Nesta análise , podemos concluir :

- que a curva de rendimento para cada produto se aproxima uma mesma reta tanto para o período LB como PR
- A potencia útil e potencia de entrada para cada condição de serviço / trabalho são diferentes nos períodos Pré e Pós Retrofit .
- Consegue-se mostrar a economia de energia com o emprego de lubrificante.

12.9.6 Metodologia aplicada aos outros produtos

Para efeito de mensuração preliminar do potencial resultado com a ação de eficiência energética com a troca de lubrificante foi adotada o seguinte procedimento para cada produto descrito passo a passo abaixo :

- Determinação de curvas (linear) de potencia útil x potencia de entrada para cada produto (foi feita regressão linear no software IBM SPSS Statistic)
- Mediana da produção no período PR , esta produção seria a base de referencia para comparação entre os dois períodos

- Para cada mediana da produção encontrada verifica-se qual a potencia útil encontrada para cada uma delas nos dois períodos (como no exemplo acima do H 503 HS)
- Comparação das Potencias de entrada que são função da potencia útil medida .
- Determinação da diferença média de potencia por período para cada produto (pode haver economia ou não)

Os dados obtidos para realização dos cálculos estão no anexo que acompanha este relatório devido a extensão e quantidade de dados o resumo de dados e produção por período , coeficientes da reta de rendimento , potencia útil e potencia de entrada correspondente encontram-se resumidos em tabela .

12.9.7 Resultados

Produto	R ²	CONST_	Coef a multiplicar Pot.Util	Mediana produção (PR) Kg / hora	Mediana Pot util PR na produção do produto (KW)	Mediana Pot Util LB na produção PR (KW)	Pot Elétrica Calculada PR	Pot Elétrica Calculada LB	Economia (KW)	Ganho %
DP-120A	0,979	215,324279	1,022711	38.998,00	5.114,98	5.511,11	5.446,47	5.851,60	405,13	6,92%
H-103	0,973	294,579499	1,003479	39.247,00	3.960,91	4.360,88	4.269,27	4.670,63	401,36	8,59%
H-201	0,985	226,914787	1,019406	37.256,00	3.991,49	4.329,11	4.295,86	4.640,04	344,17	7,42%
H-203	0,867	815,941981	0,898629	38.123,00	4.780,43	4.719,90	5.111,78	5.057,38	-54,39	-1,08%
H-503	0,994	159,647931	1,034409	39.768,00	5.392,24	5.827,38	5.737,43	6.187,54	450,11	7,27%
H-503HS	0,983	236,561057	1,020548	40.909,00	5.586,54	5.835,91	5.937,89	6.192,39	254,49	4,11%
HP-500N	0,99	294,438384	1,004695	39.042,00	4.590,59	4.564,44	4.906,58	4.880,31	-26,27	-0,54%
HP-522J	0,985	213,544721	1,024688	40.160,00	5.789,13	5.803,66	6.145,60	6.160,49	14,89	0,24%
HP-525M	0,988	295,170757	1,007189	36.137,00	4.519,15	4.777,57	4.846,81	5.107,09	260,28	5,10%
HP-550K	0,993	186,446178	1,027414	32.013,00	4.568,62	4.689,90	4.880,31	5.004,92	124,60	2,49%
HP-550P	0,974	226,688737	1,017684	38.847,00	4.410,44	4.472,15	4.715,12	4.777,92	62,80	1,31%
HP-550R	0,973	186,047655	1,02693	37.958,00	4.010,26	4.259,55	4.304,30	4.560,31	256,00	5,61%
HP-648S	0,954	449,33489	0,966798	40.077,00	4.359,47	4.874,51	4.664,06	5.162,00	497,94	9,65%
KM-6150	0,979	150,402129	1,038017	40.021,00	5.470,84	5.621,55	5.829,23	5.985,67	156,44	2,61%

Fazendo a média ponderada pela frequência de produção de cada produto / grade , temos :

	Conservative Saving	Comparabilidade	Production - Until 12/03/2012
Product	Until 12/03/2012	Until 12/03/2012	%
H-503HS	4,11%	Sim	21,20%
HP-522J	0,24%	Sim	16,92%
HP-550R	5,61%	Sim	13,32%
H-503	7,27%	Sim	11,94%
HP-648S	9,65%	Sim	8,35%
HP-550K	2,49%	Sim	7,37%
H-201	7,42%	Sim	6,82%
HP-500N	-0,54%	Sim	3,27%
HP-525M	5,10%	Sim	3,21%
HP-550P	1,31%	Sim	1,62%
H-103	8,59%	Sim	1,62%
KM-6150	2,61%	Sim	2,59%
DP-120A	6,92%	Sim	0,99%
H-203	-1,08%	Sim	0,79%
HP-516M			
	4,457%		

12.9.8 Conclusões

O resultado obtido determina que há economia média de energia de 4,457 % , apesar de não terem sido levadas em conta as outras variáveis como Trotle Valve e diferença de pressão , é sabido que há influencia destas variáveis no processo , porém a ordem de grandeza do resultado médio encontrado não é muito diferente dos encontrados pelas outras metodologias onde estas variáveis foram levadas em conta .

Para melhor precisão menos incertezas pode-se fazer a comparação individualmente para cada produção e na sequencia fazer a média ponderada pela frequência .

Pode se- dizer que o emprego desta metodologia levando-se em conta a comparação pela produção média e comportamento da potencia útil no gráfico de rendimento da máquina é confiável com bom índice de acerto .

12.10 Análise Couette

Baseado no trabalho de Secor de 1989 (Anexo B) no qual é discutido o consumo de energia em extrusora de duas roscas que estão parcialmente cheias, pode-se assumir que a maioria do consumo de energia é gerada por causa do cisalhamento que ocorre no polímero entre as roscas e o tudo de extrusão. Pode ser assumido que a maioria do fluxo de polímero dentro da extrusora comporta-se como um fluido newtoniano, assim o fluxo segue um modelo de fluxo de Couette.

Uma simples representação do fluxo de Couette é apresentada na Figura 28 onde o fluido flui entre planos paralelos, sendo que um dos planos está em movimento e o outro está fixo.

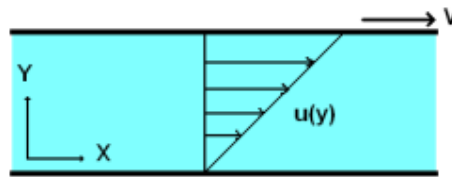


Figura 28 – Representação do Fluxo de Couette

No estudo de Secor, o modelo de Couette para uma extrusora com duas roscas prevê que a potência de entrada para o fluido é proporcional ao quadrado da velocidade rotatória para um fluido newtoniano. O modelo é representado pela seguinte equação:

$$P = k \cdot N^{\alpha}$$

Onde,

- P Potência de entrada lida
- N Velocidade das roscas em RPM,
- k Constantes.
- α Constantes.

Todos os pontos do baseline e do pós-retrofit foram inseridas na equação. A constante α foi calculada tirando o logaritmo natural dos dois lados da equação e fazendo a divisão. Para a extrusora PP5 foi encontrado um α em média de 1,65. Inserindo o α calculado na equação, a seguinte equação é derivada:

$$P = k \cdot N^{1,65}$$

12.10.1 Determinação da Linha de Base

Com base nos conceitos apresentados na seção anterior, coletaram-se instantaneamente os dados de potencia de entrada e rotação média calculada, o que possibilitou calcular a constante k para todos os pontos e todos os produtos. Os valores calculados são apresentados no item 6.5.3

12.10.2 Determinação do Pós Retrofit

Como no baseline, com base nos conceitos apresentados na seção anterior, coletaram-se instantaneamente os dados de potencia de entrada e velocidade rotatória, o que possibilitou calcular a constante k para todos os pontos e todos os produtos no pós-retrofit.

12.10.3 Resultados

Comparando os resultados obtidos do k para cada produto, pode-se observar que ocorreu uma mudança nos valores dos k entre o baseline e pós-retrofit. Esta mudança da constante mostra que houve uma redução na perda de energia no redutor, o que significa um acréscimo na eficiência do redutor em media de 4,016%.

Tabela 20 – Resultados – Análise Couette

Produtos	Período de Linha de Base	Período de Pós Retrofit	Diferença
DP-120A	1,106	1,004	0,102
H-130	0,945	0,867	0,078
H-201	0,865	0,816	0,049
H-203	0,944	0,967	-0,023
H-503	1,143	1,064	0,079
H-503HS	1,106	1,077	0,029
HP-500N	0,900	0,900	0
HP-522J	1,136	1,124	0,012
HP-525M	1,024	0,940	0,084
HP-550K	1,040	0,942	0,098
HP-550P	0,888	0,869	0,019
HP-550R	0,840	0,789	0,051
HP-648S	0,905	0,866	0,039
KM-6150	0,978	1,084	-0,106
Total	1,0423	0,984	0,0583

12.11 RESULTADOS COMPARATIVOS E AVALIAÇÃO FINANCEIRA

Com base nas metodologias descritas no item 6 deste relatório, obtemos os seguintes resultados, ponderado pelo tempo de operação de cada produto:

Tabela 21 - Resumo dos Resultados

Produto	Tabela de Resumo de Resultados (%)				
	SME	Regressão	Couette	Útil	Termodinâmica
H-503HS	5,06	4,71	2,60	2,62	4,18
HP-552J	0,34	1,47	0,99	1,00	
HP-550R	6,39	6,70	6,07	6,13	
H-503	8,76	3,87	6,90	6,93	
HP-648S	4,14	3,28	4,30	4,38	
HP-550K	10,06	9,07	9,38	9,36	
H-201	5,62	3,88	5,68	5,50	
HP-500N	1,92	2,78	-0,05	0,00	
HP-525M	9,64	3,21	8,22	8,20	
HP-550P	0,78	2,95	2,20	1,83	
H-103	7,37	21,39	8,26	8,18	
KM-6150	-8,77	1,19	-10,88	-10,78	
DP-120A	15,77	6,15	9,24	9,16	
H-203	-3,61	12,09	-2,25	-2,71	
HP-516M	-	-	-	-	
Total	5,020	4,533	4,016	4,017	4,180

Tabela 22 - Período de Operação Por Produto

Produto	Dados de Produção 01/01/12 a 12/03/2012	
	Toneladas Produzidas	% da Produção
H-503HS	13.677,48	24,4%
HP-552J	8.375,48	14,9%
HP-550R	6.256,38	11,2%
H-503	6.581,08	11,7%
HP-648S	4.380,98	7,8%
HP-550K	3.293,58	5,9%
H-201	3.596,98	6,4%
HP-500N	1.964,18	3,5%
HP-525M	3.238,53	5,8%
HP-550P	792,70	1,4%
H-103	887,30	1,6%
KM-6150	1.267,44	2,3%
DP-120A	496,95	0,9%
H-203	584,78	1,0%
HP-516M	-	-
Off-Spec.	428,60	0,8%
Sucata	274,40	0,5%
Total	1.308,42	100%

Após realizar e atestar as 5 (cinco) metodologias descritas acima, recomenda-se a SME (*Specific Mechanical Energy*), pois a mesma é a que melhor representa e explica o fenômeno físico, envolve todas as variáveis do processo de extrusão, direta ou indiretamente, e é a metodologia utilizada mundialmente para avaliar os resultados obtidos num processo de extrusão.

Portanto os ganhos energéticos obtidos estão descritos conforme tabela abaixo:

Tabela 23 – Ganhos Energéticos Obtidos

Produtos	Produção (ton)	Consumo Específico PR (kWh/ton)	Ganho SME%	Consumo Específico LB Ajustado (kWh/ton)	Redução de Consumo Específico (kWh/ton)	Economia de Energia (MWh)
H-503HS	13.677,48	146,622	5,06%	154,436	7,81	106,882
HP-550R	6.256,38	115,145	6,39%	123,005	7,86	49,175
HP-648S	4.380,98	117,504	4,14%	122,579	5,07	22,232
H-203	584,78	133,922	-3,61%	129,256	-4,67	-2,729
HP-525M	3.238,53	137,805	9,64%	152,507	14,70	47,612
KM-6150	1.267,44	148,133	-8,77%	136,189	-11,94	-15,138
HP-550P	792,70	123,525	0,78%	124,496	0,97	0,770
H-503	6.581,08	150,495	8,76%	164,944	14,45	95,091
H-103	887,30	120,341	7,37%	129,916	9,57	8,496
DP-120A	496,95	139,655	15,77%	165,802	26,15	12,994
HP-522J	8.375,48	153,588	0,34%	154,112	0,52	4,389
HP-500N	1.964,18	124,851	1,92%	127,295	2,44	4,801
HP-550K	3.293,58	153,957	10,06%	171,177	17,22	56,717
H-201	3.596,98	116,226	5,62%	123,147	6,92	24,894
HP-516M	-	-	-	-	-	-
Total	56.096,79	138,539	5,02%	146,052	7,42	416,186

Tabela 24 – Benefícios Financeiros

Produtos	Receita Total Economia de Energia (R\$)	60% Cliente	40% Projeto Klüber
H-503HS	R\$ 23.834,78	R\$ 14.300,87	R\$ 9.533,91
HP-550R	R\$ 10.966,08	R\$ 6.579,65	R\$ 4.386,43
HP-648S	R\$ 4.957,83	R\$ 2.974,70	R\$ 1.983,13
H-203	-R\$ 608,49	-R\$ 365,09	-R\$ 243,39
HP-525M	R\$ 10.617,39	R\$ 6.370,44	R\$ 4.246,96
KM-6150	-R\$ 3.375,77	-R\$ 2.025,46	-R\$ 1.350,31
HP-550P	R\$ 171,66	R\$ 102,99	R\$ 68,66
H-503	R\$ 21.205,21	R\$ 12.723,13	R\$ 8.482,08
H-103	R\$ 1.894,54	R\$ 1.136,73	R\$ 757,82
DP-120A	R\$ 2.897,60	R\$ 1.738,56	R\$ 1.159,04
HP-522J	R\$ 978,66	R\$ 587,19	R\$ 391,46
HP-500N	R\$ 1.070,53	R\$ 642,32	R\$ 428,21
HP-550K	R\$ 12.647,86	R\$ 7.588,71	R\$ 5.059,14
H-201	R\$ 5.551,39	R\$ 3.330,84	R\$ 2.220,56
HP-516M	-	-	-
TOTAL	R\$ 92.809,27	R\$ 55.685,56	R\$ 37.123,71

Tabela 25 – Cálculo Remuneração – 1º Trim/2012

Parcela EE	R\$ 37.123,71
Parcela Serviço Lubrificação	R\$ 8.129,00
Total	R\$ 45.252,71

12.12 AVALIAÇÕES E BENEFÍCIOS MECÂNICOS

As condições operacionais associadas a lubrificação foram informadas pelo corpo técnico de manutenção da planta e são as como seguem abaixo.

Tabela 26 – Condições Operacionais – Redutor Planetário de Acionamento da Extrusora

Condições Operacionais do redutor	
Temperatura dos Dentes	45 °C
Dados de Operação	24h - 340DIAS
Total de Horas de Operação por ano	8.160
Horas trabalhadas por mês	680
Numero de Equipamentos	1
Potencia Média Medida (kW)	6.000
Custo de Energia R\$ / MWh	223,00
Matriz Energética (Ton CO ₂ / MWh)	0,32
Custo de Mão de Obra (R\$/hora)	R\$ 1.500,00
Investimento para troca de óleo Mineral	R\$ 30.000,00
Custo de Filtros	R\$ 27.000,00
Custo de Parada de Produção (R\$/hora)	R\$ 40.000,00
Tempo Necessário para Troca de Óleo (Horas)	10
Custo de Mão de Obra para Troca de Óleo (R\$)	15.000,00
Índice de Falha Associado a Lubrificação	3%

Cabe salientar que os benefícios que foram alcançados com as ações de melhoria efetuadas no sistema de lubrificação foram além da redução do consumo de energia elétrica. Desta forma, podem ser destacados os seguintes benefícios:

- **Aumento do Fator de Confiabilidade da Extrusora**

Redução do teor de espuma no lubrificante sintético Klüber melhora o desempenho da bomba de circulação do lubrificante evitando problemas de cavitação.

Redução do ruído devido a menor vibração associada ao menor coeficiente de atrito proporcionado pelo novo lubrificante aumenta a vida útil dos componentes mecânicos (engrenagens e rolamentos)

- ***Aumento do Fator de Disponibilidade da Extrusora***

Ficou comprovado que no período após a troca de lubrificante foram realizadas menos intervenções preventivas e corretivas na bomba de circulação do lubrificante bem como redução do índice de reposição de lubrificante o que gera menor alocação de mão de obra e programação de paradas para realização deste serviço.

- ***Diminuição de Desgaste de Rotores das Bombas Devido a Redução Cavitação***
- ***Diminuição da Temperatura de Trabalho do Óleo***
- ***Diminuição da Quantidade de Reposição de Óleo***

A quantificação financeira dos benefícios mecânicos obtidos até o momento é apresentada na Tabela 27 e na Tabela 28.

Tabela 27 – Quantificação Financeira – Benefícios Mecânicos

LUBRICANTE	Situação Baseline	Situação POS RETROFIT
	Óleo Mineral	KLÜBERSYNTH GEM 4-320
Fabricante	MOBIL	KLÜBER
Quantidade de Óleo no Reservatório	4.200	4.200
Intervalo de Reposição (Meses)	2	6
Quantidade de Óleo para Reposição (Litros)	200,00	50,00
Consumo de Óleo por Ano (reposição)	1.200	100
Preço do Óleo (R\$/Litro)	R\$ 7,10	R\$ 50,00
Despesa Anual com Lubrificante (Reposição)	R\$ 8.520,00	R\$ 5.000,00
Período para Troca de Óleo (Anos)	1,5	6
Numero de Troca de óleo Anual	0,67	0,17
Despesa anual com Troca de Óleo	R\$ 10.000,00	R\$ 2.500,00
Custo Anual com Troca de Filtro de Óleo	R\$ 18.000,00	R\$ 4.500,00
Total para Troca de Óleo	R\$ 19.880,00	R\$ 35.000,00
Total de Despesas com Lubrificação (Reposição + Troca)	R\$ 47.880,00	R\$ 42.000,00

Tabela 28 - Quantificação Financeira – Benefícios Mecânicos

BENEFÍCIO OPERACIONAL	Situação Baseline	Situação POS RETROFIT KLÜBERSYNTH GEM 4-320
	Óleo Mineral	
Custo Anual de manutenção das Bombas (Causada por Espuma)	R\$ 16.000,00	R\$ 2.000,00
Fator de Confiabilidade	98,80%	99,30%
Fator de Disponibilidade	97,00%	98,00%
Custo Operacional devido a Parada	R\$ 306.234,88	R\$ 196.469,12
Despesa com Descarte de Óleo Usado	R\$ 1.680,00	R\$ 420,00

Com isto podemos totalizar os ganhos obtidos com Lubrificação que inclui o lubrificante propriamente dito e a melhoria operacional obtida.

Tabela 29 – Total de Despesas Operacionais

Total das Despesas Operacionais		
Lubrificante	R\$ 47.880,00	R\$ 42.000,00
Operação	R\$ 307.914,88	R\$ 196.889,12
Total	R\$ 355.794,88	R\$ 238.889,12

Em resumo, o ganho financeiro obtido sem levar em conta o benefício energético é de R\$ 116.900, por ano, como abaixo:

Tabela 30 – Economia Anual – Benefícios Mecânicos

Economia Anual (Sem Eficiência Energética)	
KLÜBERSYNTH GEM 4 - 320	
R\$ 116.905,76	33%

12.13 BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS

Entre os benefícios sustentáveis devido a troca de óleo lubrificante objeto deste projeto, pode-se destacar:

- Menor volume de Descarte (Quatro vezes menor);
- Menor Consumo de água para limpeza;
- Redução de emissão de CO2 equivalente associado à energia elétrica economizada;

- Redução de geração de resíduos sólidos;
- Menor pegada de carbono associada à manufatura do polímero;

A quantificação financeira para os benefícios sustentáveis obtidos são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Quantificação Financeira – Benefícios Sustentáveis

Benefícios Sustentáveis		
Redução de Consumo de Energia (%)	-	4,00%
Consumo de Energia por Ano (MWh)	48.960	47.002
Redução do Consumo de Energia (MWh)	-	1.958
Redução de Custo com Energia	-	R\$ 436.723,20
Redução de Emissão de CO2 (Ton / ano)	-	626,69
Consumo Anual de Água (litros)	1.080	215
Consumo de Resíduos Sólidos (kg)	3.360	840
Custo com Descarte de óleo	R\$ 1.680,00	R\$ 420,00
Redução De pegada de Carbono		
Fretes e Transporte	456	94
Movimentos e Locomoção para Manutenção	7,50	3,00
Frete para descarte	336	84
Redução de CO2		-627
Pegada de carbono Associada (Ton/Ano)	799,50	-445,69
Redução de pegada de Carbono (Ton/Ano)	1.245	

12.14 CONCLUSÃO – REDUTORES DE EXTRUSORAS

Baseado nas medições e estudos realizados identificou-se a economia de energia e ganhos operacionais utilizando o lubrificante Sintético Klüber em comparação ao óleo mineral antes empregado de forma precisa.

Os cálculos para obtenção dos resultados foram de alta complexidade devido à quantidade de variáveis que influenciam no consumo energético do equipamento tais como:

- Produção (ton/hora)
- Grade (produto)
- Abertura de trottle valve
- Temperatura do polímero
- Diferencial de pressão na saída da extrusora
- Torque no eixo de saída do redutor
- Rotação no eixo de saída do redutor
- Potencia elétrica de alimentação do motor de acionamento do redutor

Devido à alta complexidade e buscando maior exatidão dos resultados para confirmação da existência de economia de energia, os cálculos foram realizados através de cinco metodologias diferentes e os resultados obtidos para cada metodologia são como segue:

Tabela 32 – Resultados do estudo por análise - Troca de Lubrificante

Metodologia	Consumo Específico PR	Ganho	Consumo Específico LB Ajustado	Energia Economizada no Período
	kWh/ton	%	kWh/ton	MWh
SME	138,539	5,020	146,052	416,186
Regressão	138,539	4,533	145,117	369,005
Couette	138,539	4,016	144,336	325,193
Potência Útil	138,539	4,017	144,337	325,249
Termodinâmica	138,539	4,180	144,583	339,049

A metodologia SME foi considerada a mais adequada em termos de precisão e explicação dos fenômenos físicos observados e por esta razão foi adotado o seu resultado para a conclusão dos trabalhos.

Como resultado do estudo no primeiro trimestre 2012, a economia média obtida alcançada de 5,020 % ou 416,186 MWh.

Cabe ainda salientar que os benefícios alcançados com as ações implementadas no sistema de lubrificação foram além da redução do consumo de energia elétrica e, dentre os benefícios associados à troca de lubrificante, podem ser adicionados:

- Redução do número de horas de manutenção;
- Aumento de disponibilidade do equipamento
- Redução do custo de manutenção com a diminuição das trocas de óleo;
- Segurança operacional no que diz respeito à diminuição de falhas e da própria manutenção;
- Aumento de produção industrial;
- Redução da carga térmica dissipada pelos equipamentos;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa;
- Aumento da vida útil das engrenagens;
- Aumento da capacidade de carga;
- Lubrificação eficiente a temperaturas de operação maiores que a normal.

Os ganhos totais observados e projetados foram:

Tabela 33 – Benefícios do Projeto Anual

Benefício Obtido	Valor
Economia de Energia Estimada	R\$ 470.491,44
Ganhos Mecânicos	R\$ 116.905,76
Redução de CO ₂	1.245 ton CO₂/ano

13 COMPRESSORES de AR

Os testes foram baseados em ações de retrofit do lubrificante existente, avaliando-se o desempenho em termos de consumo de energia elétrica de um lubrificante mineral, frente ao lubrificante sintético proposto pela Klüber para essa aplicação específica. Os testes foram realizados no parque fabril da CLIENTE .

13.1 Medição e Verificação

Para a quantificação dos resultados foi empregada a metodologia “B” do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance. Esta metodologia prevê que todos os parâmetros envolvidos devem ser mensurados. As características da instalação, bem como do compressor de ar, foram determinantes na escolha da metodologia.

13.1.1 Metodologia

A metodologia utilizada para verificação dos resultados obtidos com a substituição do lubrificante foi baseada nas equações que regem o trabalho necessário para compressão do ar em um compressor de parafuso lubrificado, com um estágio de compressão, conforme equações abaixo:

$$pwr_k = \frac{m \times w_k}{\eta_k \times \eta_{mec}}$$

Onde:

pwr_k	(kW)	Potência de compressão, ciclo adiabático ideal;
m	(kg/h)	Fluxo de massa;
w_k	(kWh/kg)	Trabalho por unidade de massa, ciclo adiabático ideal;
η_k		Rendimento adiabático;
η_{mec}		Rendimento mecânico;

$$w_k = \frac{k}{k-1} \times R \times T_0 \times \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

Onde:

w_k	(kWh/kg)	Trabalho de compressão, ciclo adiabático ideal;
k		Coefficiente adiabático (isentrópico),
R	(kWh/kgK)	Constante do gás;
T_0	(K)	Temperatura inicial do gás na sucção;
p_0	(bar)	Pressão inicial do gás na sucção;
p_1	(bar)	Pressão final;

As grandezas mensuráveis medidas foram:

- Tensão [V];
- Corrente [A];
- Temperatura [°C];
- Pressão [PSI];
- Vazão [Nm³/h];

Tendo como incógnitas o rendimento adiabático e o rendimento mecânico do equipamento avaliado. Com as informações coletadas é possível determinar o consumo de energia para cada lubrificante em um período estabelecido.

Os resultados das medidas de conservação de energia no sistema de geração de ar comprimido foram quantificados em:

- Energia economizada (MWh);
- Custo de operação (R\$);

13.1.2 Medições

As medições para determinação das variáveis envolvidas na quantificação dos resultados foram realizadas em campo, para cada lubrificante, diretamente no local da instalação, no circuito elétrico específico de alimentação do compressor de ar.

As medições foram efetuadas com integração de 15s (quinze segundos entre amostras), de tal forma que algumas leituras resultaram em mais de 30.000 blocos válidos de medição para o período, assim, algumas visualizações gráficas tiveram que ser tratadas com períodos de integração maior, para facilitar a visualização do comportamento das variáveis.

Para efetuar as medições das grandezas que serviram como base de dados para os cálculos de consumo de energia elétrica do compressor, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- **Medidor / Registrador de Grandezas Elétricas MARH 21** – equipamento de fabricação da RMS Indústria de Equipamentos Eletrônicos.

Características:

- o Exatidão: Classe 0,5 para tensões e correntes e Classe 1 para potências;
- o Alimentação externa: 65 a 600Vca a partir da rede ou 11 a 60Vcc por bateria;
- o Alimentação interna: bateria 9V;
- o Medição: Tensões: 0 a 600 Vrms direto, 0 a 999,9 kVrms via TP's e 0 a 999,9 kVrms via Shunt's; Correntes: 0 a 11 Arms direto, 0 a 999,9 Arms via TC's e 0 a 999,9 Arms via Alicates;
- o Integração a partir de 100ms até 1h;

- o Memória de 2 Mb;
- o Tempo de memória de 298 dias para integração de 15 minutos;
- o Operação em 50/60 Hz;
- o Analisador de Harmônicas e Flicker;
- o Comunicação serial RS-232;
- o Equipamento portátil e de fácil instalação em ambiente industrial, não necessitando fazer desligamento da rede para a sua instalação;
- o É utilizado em sistemas elétricos monofásicos, bifásicos, trifásicos em baixa, média e alta tensão.

- **Computador de Vazão MEV-3000** – equipamento de fabricação da Incontrol S/A.

Características:

- o Eletrônica Micro processada;
- o Indicador de vazão instantânea, totalizador, indicação de pressão e temperatura, transmissor e controle de batelada, indicação de vazão em massa através da opção de entrada do valor de densidade do fluido;
- o Compensação de pressão e temperatura;
- o Entrada Vazão entrada 4-20 mA/Pulso;
- o Resolução: 12 bits;
- o Pick-up magnético / Sensor RF;
- o Entrada Temperatura PT-100, range: -50 °C a 250 °C;
- o Entrada 4-20 mA;
- o Entrada Pressão 4-20 mA;
- o Saída Analógica 4-20 mA, máx. 500 Ohm, passiva;
- o Resolução: +/- 0.5 FS;
- o Atualização: 1 Hz;

O computador de vazão MEV 3000 possui display com 16 caracteres, 4 linhas, realiza cálculos de compensação de pressão e temperatura, com leitura em vazão normalizada e real, como também em massa nas unidades de engenharia.

- **Medidor de vazão tipo turbina para gases** – equipamento de fabricação da Incontrol S/A.

Características:

- o Linearidade Melhor do que $\pm 1,0\%$ FE;
- o Repetitividade $\pm 0,1\%$;
- o Diâmetro nominal de $\frac{1}{4}$ " a 12";
- o Sinal de saída Pulsos ou 4-20 mA;
- o Conexão ao processo flangeada, rosqueada e sanitária;
- o Temperatura de operação -30° a 200° C;
- o Pressão de operação até 300 bar;
- o Materiais:
- o Mancais Buchas de carbeto de tungstênio;
- o Rolamento tipo esfera blindado em AISI440C;

- o Corpo AISI304, AISI316, PVC, aço carbono;
- o Flange AISI304, AISI316, PVC, aço carbono;
- o Rotor 17.4PH, AISI430, níquel;
- o Internos AISI304, AISI316;
- o Alimentação 24VCC ou 110/220 VCA;
- o Invólucro Alumínio fundido IP65;

Por apresentar alta repetibilidade e precisão, é indicado para uso com vários fluidos gasosos em diferentes ramos industriais (medição de ar comprimido, GLP, gás natural), soldas (medição de misturas gasosas, argônio), serviços hospitalares (medição de oxigênio) e processos alimentícios (medição de CO₂) e outros.

- **Periféricos**

- o Sensor de temperatura NOVUS PT100, -50~200°C;
- o Sensor de pressão FULLGAUGE 0~500PSI;
- o Transdutor de temperatura NOVUS PT100 – 4~20mA;

- **Notebook Acer Aspire 5100**

- o 2GHz Turion 64 X2 MK-36, 512MB DDR2, 80GB, DVD±RW DL, Windows XP, 15.4";

- **Palmtop Palm TX OS® Garnet 5.4**

- o 312 MHz, 128MB, Wi-Fi 802.11b, MultiMediaCard SD e SDIO de 2GB, Bluetooth® 1.1;

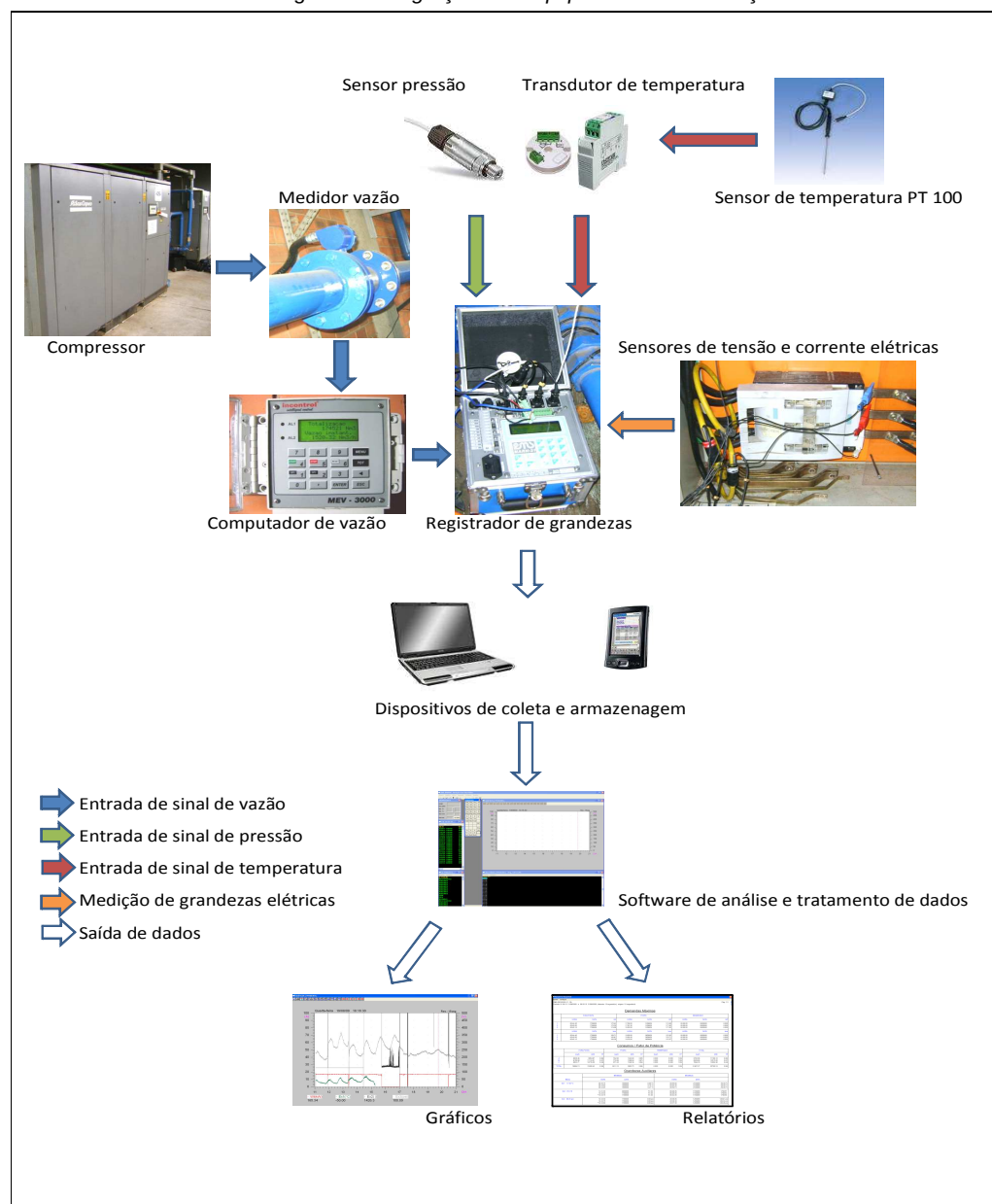
- **Software ANAWIN RMS**

- o Análise dos dados obtidos com registradores MARH;
- o Gera diversos tipos de gráficos e relatórios;
- o Comunicação local ou via "modem" com os registradores;
- o Instalação em ambiente Windows;

13.1.3 Integração dos equipamentos utilizados

Abaixo segue esquema simplificado da integração entre os equipamentos utilizados na medição:

Figura 1 - Integração dos equipamentos de medição



13.1.4 Fluxo de medições

A medição para cada lubrificante seguiu criteriosamente o fluxo mostrado na figura 3. Efetivamos a primeira medição para o lubrificante Total, que já estava em operação na máquina, imediatamente ao início dos trabalhos, após, efetuamos a limpeza do sistema e foi feito o primeiro retrofit do lubrificante, sendo colocado o produto Mobil. Consideramos valores validos de medições, aqueles obtidos após o terceiro dia de funcionamento intermitente da máquina, período este considerado de maturação para o lubrificante e sete dias de monitoração após a maturação, assim foi efetuada a segunda medição.

Para a terceira medição, lubrificante Klüber, tivemos que fazer uma carga forçada de vinte e quatro horas intermitentes com o produto Klüber Varnasolv, visando remover borras e vernizes residuais do lubrificante mineral utilizado anteriormente, após, foi efetuada a segunda substituição do lubrificante. Novamente seguimos os critérios de maturação do lubrificante e uma semana de medição, para que no final desta, obtivéssemos a última leitura.



Figura 29- Fluxo das trocas de óleo

13.1.5 Fronteira das medições

O limite para determinação dos resultados será restrito ao equipamento envolvido na LINHA DE BASE e PÓS RETROFIT. As curvas das variáveis medidas foram reduzidas as mesmas condições de temperatura e pressão para que as análises dos lubrificantes em questão fiquem em níveis de igualdade.

A utilização do compressor com um lubrificante eficiente irá gerar uma menor carga térmica no ambiente. Em função dos custos envolvidos para determinação destes benefícios, os efeitos interativos das ações propostas com outros equipamentos serão desconsiderados.

13.2 DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE

A LINHA DE BASE representa as características de uso do equipamento de força motriz para um ano típico de operação, na indústria envolvida no projeto.

A linha de base será apresentada através das variáveis definidas neste plano de medição e verificação:

- Consumo de energia elétrica do compressor [MWh];
- Temperatura [°C];
- Pressão [PSI];
- Vazão [Nm³/h];

O tempo da medição para a linha de base foi tal que compreendesse um ciclo semanal de operação normal da unidade.

O parque fabril da CLIENTE é suprido por três linhas de ar comprimido, sendo que, uma rede é para distribuição de ar comprimido a pressão de 12 kgf/cm² e as duas restantes são para distribuição de Ar a pressão de 7 kgf/cm², nas fábricas 864 e 915. No total, o sistema consiste em 06 compressores distribuídos nas duas fábricas.

O compressor escolhido para ser utilizado nos testes foi um modelo Estacionário Elétrico GA 160-125 AP / Atlas Copco com as seguintes características:

- Pressão final máxima: 9,1 bar
- Descarga livre efetiva: 1511Nm³/h
- Potência do motor: 200 cv
- Rotação: 1780 rpm
- Fabricação: 11/2004
- N° Série: 316100

13.3 Lubrificantes avaliados

As medições para determinação do consumo de energia elétrica relacionado ao tipo de lubrificante utilizado foram efetuadas individualmente. Os lubrificantes avaliados, respectivamente foram:

- Lubrificante Sintético Total Dacnis SH 46;
- Lubrificante Mineral Mobil DTE 25 ISO VG 46;
- Lubrificante Sintético Klüber Summit SH 46;

13.4 Atividades realizadas

As imagens abaixo mostram o local dos testes, as ações de troca dos lubrificantes, além dos equipamentos utilizados nas medições e pessoas envolvidas.



Figura 30 - *Lubrificantes recebidos*



Figura 31 - *Compressor*



Figura 32 - *Equipamentos de medição e coleta*

13.5 Determinação Das Variáveis Envolvidas

13.5.1 Potência do conjunto lubrificante-compressor existente (P1)

A potência do compressor com o lubrificante existente foi expressa em quilo watts (kW), e determinada através das metodologias e medições descritas na LINHA DE BASE.

13.5.2 Potência do conjunto lubrificante-compressor proposto (P2)

A potência do compressor com o lubrificante proposto foi expressa em quilo watts (kW), e determinada através das metodologias e medições descritas no PÓS RETROFIT.

13.5.3 Tempo

O tempo de operação do compressor foi expresso em horas (h), e determinado através de medição integrada às grandezas elétricas, mecânicas e atmosféricas.

13.5.4 Vazão

A vazão do ar comprimido, expressa em normal metro cúbico por hora (Nm³/h), foi determinada através de medição integrada ao tempo.

13.5.5 Pressão

A pressão do ar comprimido, expressa em (PSI), foi determinada através de medição integrada ao tempo.

13.5.6 Temperatura

A temperatura ambiente, expressa em graus celsius (°C), foi determinada através de medição integrada ao tempo.

13.5.7 Ajustes

Termo que se refere a possíveis ajustes ou adaptações necessárias na linha de base, mediante a alteração dos fatores estáticos ou variáveis independentes. Neste plano de M&V não foram utilizados ajustes.

13.6 Lubrificante Mineral Mobil (LINHA DE BASE)

O gráfico da figura 12 apresenta a massa comprimida por hora, versus o rendimento obtido no equipamento, sendo este, o produto entre os rendimentos adiabático e mecânico, estes resultados são médios para um período de 10 minutos de coleta das variáveis.

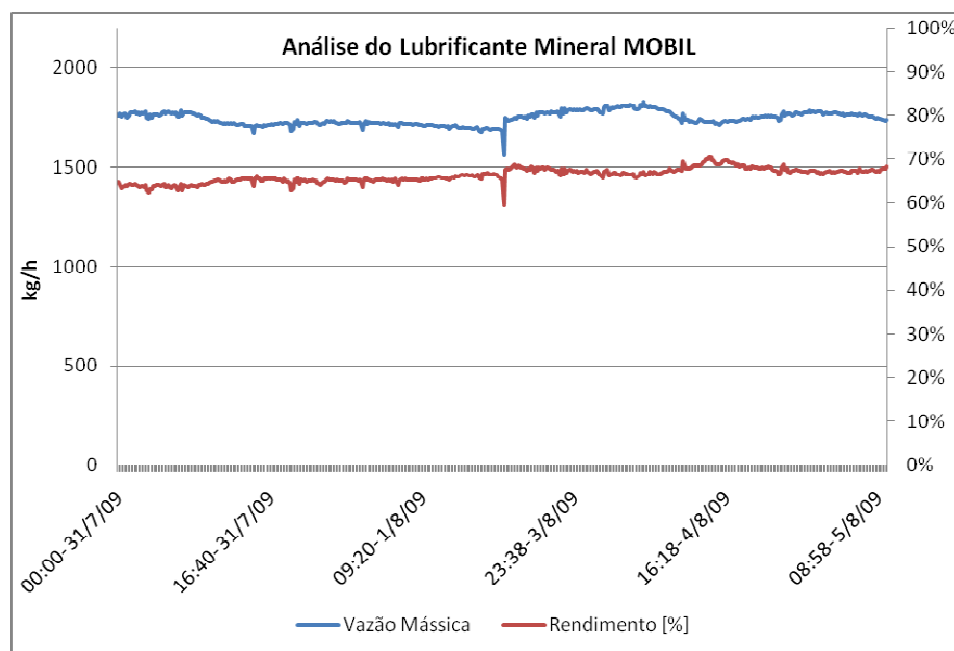


Figura 33 - Análise do lubrificante MOBIL (LINHA DE BASE)

13.6.1 Resultados Obtidos para o Lubrificante Mineral da Mobil

A tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos para o lubrificante MOBIL.

Tabela 3 - ANÁLISE LUBRIFICANTE MINERAL MOBIL

Rendimento Médio [%]	66,26%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1745,03
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	170,93
Temperatura Média [°C]	11,95
Pressão Média [PSI]	101,52

13.7 LUBRIFICANTE SINTÉTICO KLÜBER (PÓS RETROFIT)

As ações pós retrofit foram executadas utilizando a mesma metodologia do período de estabelecimento da linha de base. Nas imagens abaixo é possível verificar a substituição do lubrificante MOBIL pelo KLÜBER.

O período pós retrofit representa as características de uso do equipamento compressor para um ano típico de operação, na indústria envolvida no projeto, após o processo de “eficientização” dos equipamentos quando da troca do óleo lubrificante.

As medições do período pós retrofit foram realizadas nos mesmos pontos monitorados durante a determinação da LINHA DE BASE, imediatamente após a implementação da troca do lubrificante, respeitando o período de maturação do mesmo.

13.8 Lubrificante Sintético Klüber

O gráfico da figura 17 apresenta a massa comprimida por hora, versus rendimento obtido no equipamento, sendo este, o produto entre os rendimentos adiabático e mecânico, estes resultados são médios para um período de 10 minutos de coleta das variáveis.

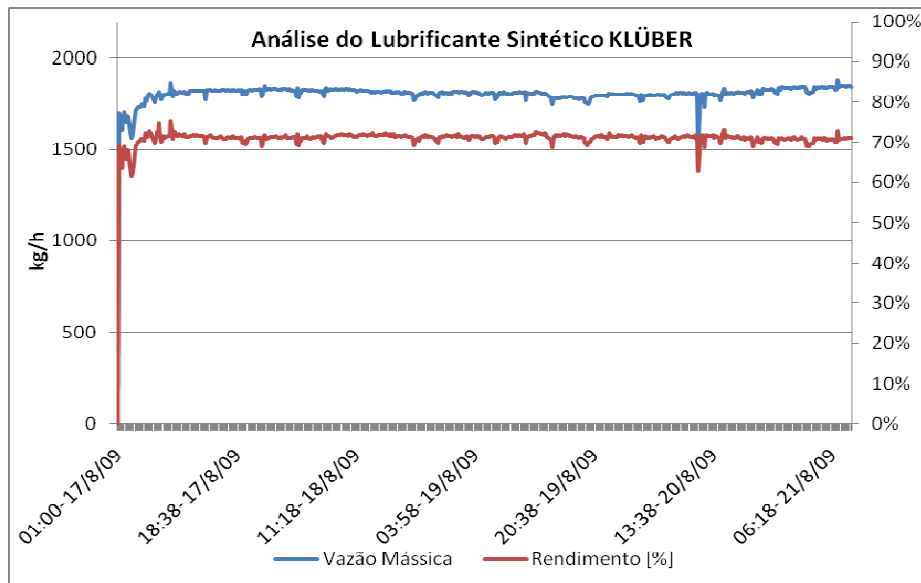


Figura 34 - Análise do lubrificante Klüber

13.8.1 Resultados Obtidos para o Lubrificante Sintético Klüber

A tabela 4 apresenta os resultados médios obtidos para o lubrificante sintético Klüber.

Tabela 4 - LUBRIFICANTE KLÜBER

Rendimento Médio [%]	71,18%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1806,47
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	166,16
Temperatura Média [°C]	14,42
Pressão Média [PSI]	101,57

13.9 AVALIAÇÃO LUBRIFICANTE SINTÉTICO TOTAL

Em caráter ilustrativo, incluímos nas medições a análise do Lubrificante Sintético Total, operante no compressor no início dos trabalhos, porém, essa análise não é coerente, uma vez que este lubrificante já apresentava aproximadamente 3000h de operação no momento da medição.

13.10 Lubrificante Sintético Total

A figura 35 apresenta a massa comprimida por hora, versus o rendimento obtido no equipamento, sendo este, o produto entre os rendimentos adiabático e mecânico. Estes resultados são médios para um período de 10 minutos de coleta das variáveis.

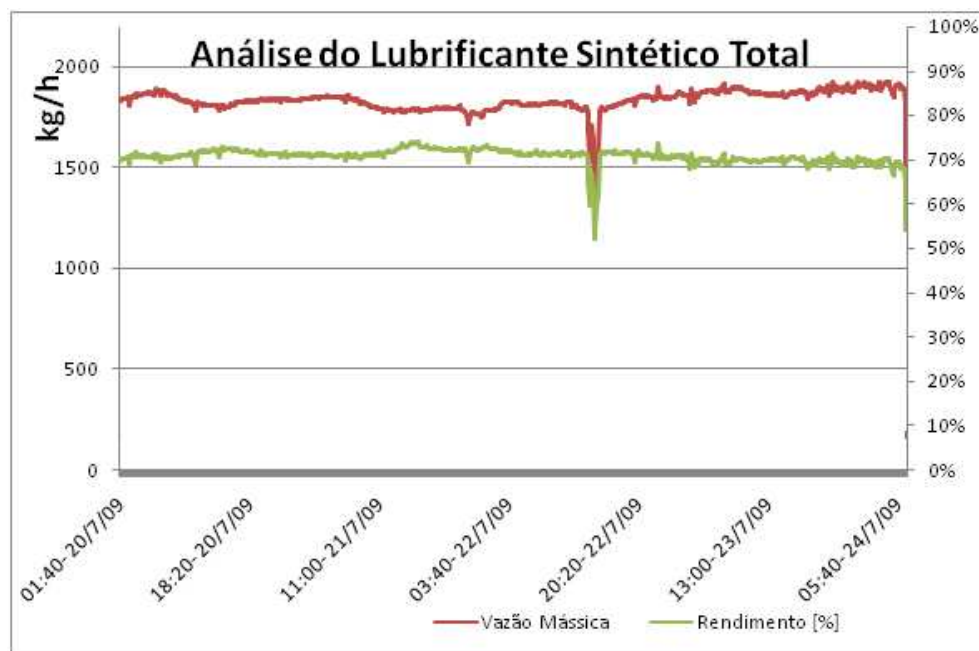


Figura 35 - Análise do lubrificante Total

13.10.1 Resultados Obtidos para o Lubrificante Sintético Total

A tabela 5 apresenta os resultados médios obtidos para o lubrificante Sintético Total.

Tabela 5 - LUBRIFICANTE TOTAL

Rendimento Médio [%]	70,73%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1833,44
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	169,28
Temperatura Média [°C]	13,83
Pressão Média [PSI]	101,56

13.11 RESULTADOS FINAIS

A tabela 6 apresenta os resumos dos resultados obtidos em cada lubrificante avaliado.

Tabela 6 - COMPARATIVO ENTRE LUBRIFICANTES

Comparativo entre os Lubrificantes utilizados	
Lubrificante Mineral MOBIL (LINHA DE BASE)	
Rendimento Médio [%]	66,26%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1745,03
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	170,93
Temperatura Média [°C]	11,95
Pressão Média [PSI]	101,52
Lubrificante Sintético TOTAL (Existente)	
Rendimento Médio [%]	70,73%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1833,44
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	169,28
Temperatura Média [°C]	13,83
Pressão Média [PSI]	101,56
Lubrificante Sintético KLÜBER (PÓS RETROFIT)	
Rendimento Médio [%]	71,18%
Massa Média Comprimida [kg/h]	1806,47
Consumo Médio de Energia Elétrica [kWh]	166,16
Temperatura Média [°C]	14,42
Pressão Média [PSI]	101,57

13.12 Análise do Rendimento do Equipamento

Uma comparação entre os lubrificantes pode ser feita através dos rendimentos médios obtidos, pois o cálculo deste, leva em consideração as principais variáveis envolvidas no processo de compressão do ar. O gráfico da figura 19 apresenta os rendimentos médios para cada um durante o período de avaliação.

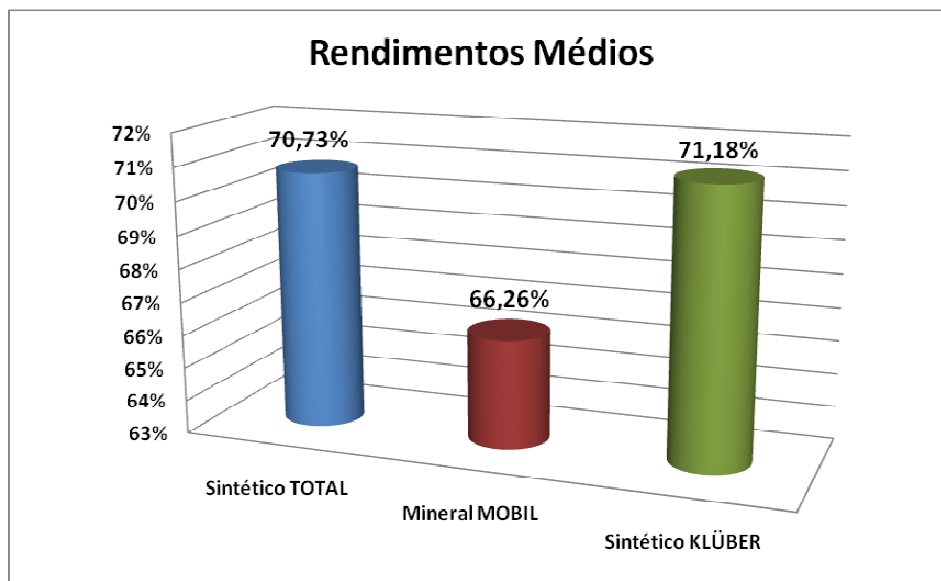


Figura 36 - Rendimentos médios dos lubrificantes avaliados

O gráfico da figura 20 apresenta os rendimentos de cada lubrificante, durante todo o período de análise. Como pode-se observar, sofrem oscilações ao longo do tempo devido as características de cada lubrificante e das condições de operação.

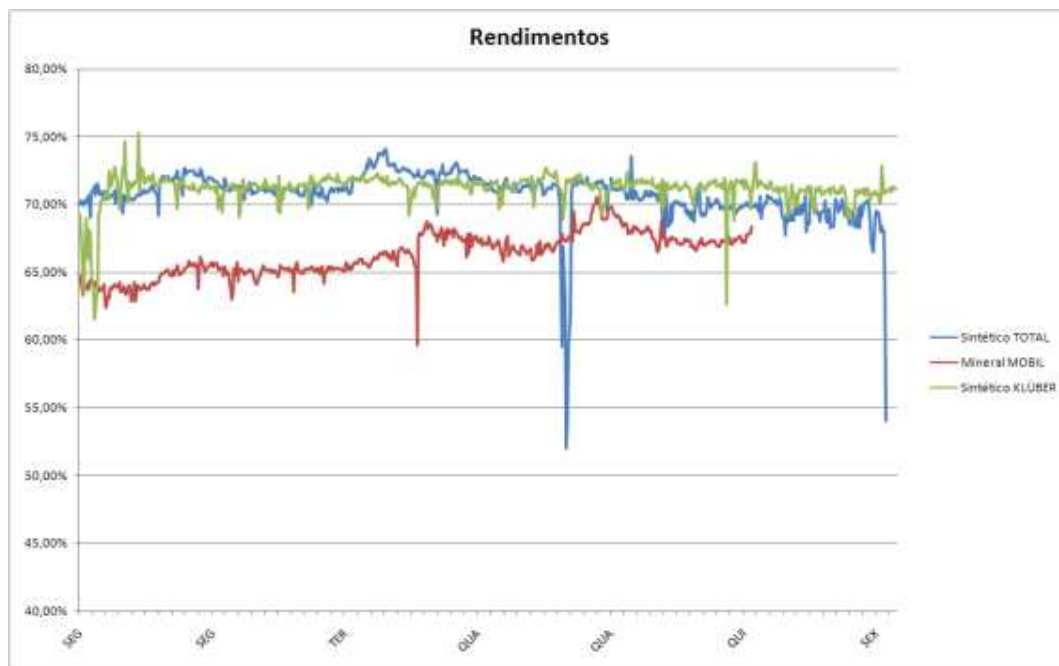


Figura 37 - Rendimentos ao longo do tempo

13.12.1 Análise da Energia Elétrica Consumida

Uma análise entre a energia elétrica consumida por cada lubrificante durante o período de medições pode ser feita, mas como se verifica no gráfico da figura 21, ocorrem muitas oscilações devido às mudanças das condições de operação ao longo do tempo, tais como: Densidade do ar, vazão comprimida, pressão de descarga, temperatura do ar, entre outras.

A conclusão de performance do lubrificante, não deve ser feita somente levando em consideração a energia consumida pelo equipamento, pois ficam fora das análises variáveis muito significantes no processo de compressão.

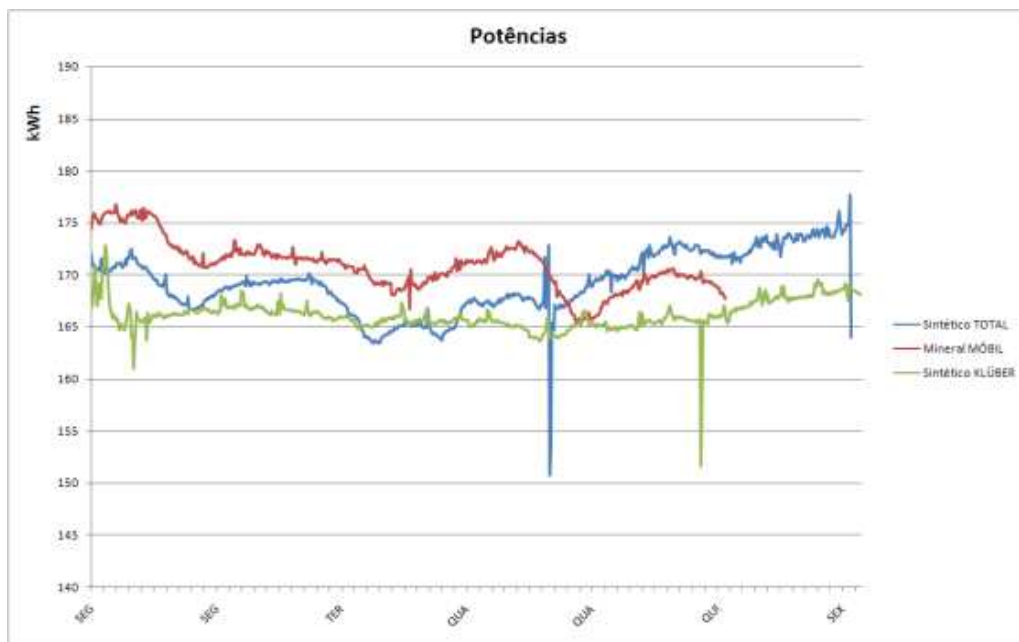


Figura 38 - Comparação de energia consumida

13.13 Comparação entre os Resultados Obtidos

A tabela 12 apresenta a comparação entre os resultados obtidos, porém, a comparação entre potências deve ter-se somente a título de informação.

Como ganhos na substituição do lubrificante utilizado, deve-se considerar os ganhos em desempenho através do acréscimo de rendimento do equipamento para os diferentes tipos de lubrificantes.

Tabela 7 - COMPARAÇÕES

Comparação Entre Potências	
Consumo com Lubrificante Sintético TOTAL	169,28 kWh
Consumo com Lubrificante Mineral MOBIL	170,93 kWh
Consumo com Lubrificante Sintético KLÜBER	166,16 kWh
MINERAL MOBIL X SINTÉTICO KLÜBER	2,79%
SINTÉTICO TOTAL X SINTÉTICO KLÜBER	1,84%
Comparação Entre Rendimentos	
Rendimento do Ciclo de Compressão com Lubrificante Sintético TOTAL	70,73%
Rendimento do Ciclo de Compressão com Lubrificante Mineral MOBIL	66,26%
Rendimento do Ciclo de Compressão com Lubrificante Sintético KLÜBER	71,18%
MINERAL MOBIL X SINTÉTICO KLÜBER	4,91%
MINERAL MOBIL X SINTÉTICO TOTAL	4,47%
SINTÉTICO TOTAL X SINTÉTICO KLÜBER	0,45%

13.14 Ganhos Energéticos

Com base nas análises realizadas, pode-se simular os ganhos mensais e anuais de cada lubrificante, tendo como referência a operação do compressor com óleo lubrificante mineral MOBIL.

Tabela 8 - PROJEÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Projeção de Consumo			
Premissas	Tarifa Utilizada	200	R\$/MWh
	Horas de Operação por Mês	620	h/mês
	Referência para Análise - Óleo Mineral MOBIL		
Compressor Avaliado - Atlas Copco GA 160 125 AP		200	CV
Consumo de referência com Óleo Mineral MOBIL		170,93	kWh
Projeção de Consumo com Óleo Sintético TOTAL		163,29	kWh
Projeção de Consumo com Óleo Sintético KLÜBER		162,53	kWh
Consumo de Energia Elétrica	Mineral MOBIL	105,97	MWh/mês
	Sintético TOTAL	101,24	MWh/mês
	Sintético KLÜBER	100,76	MWh/mês
Custos de Operação	Mineral MOBIL	R\$ 21.195,00	R\$/mês
	Sintético TOTAL	R\$ 20.248,45	R\$/mês
	Sintético KLÜBER	R\$ 20.153,87	R\$/mês
Economias Mensais	Mineral MOBIL * Referência	R\$ 0,00	R\$/mês
	Sintético TOTAL X Mineral MOBIL	R\$ 946,55	R\$/mês
	Sintético KLÜBER X Mineral MOBIL	R\$ 1.041,13	R\$/mês
	Sintético KLÜBER X Sintético TOTAL	R\$ 94,59	R\$/mês

13.15 Equações Utilizadas

A energia elétrica economizada, expressa em MWh/mês é calculada conforme a expressão abaixo, sendo que para essa simulação, uma vez que, possuímos através de medições o consumo de energia para o período de uma semana típica de trabalho da indústria, basta multiplicarmos por quatro para obtermos a estimativa de consumo mensal.

$$EE = (E_1 - E_2)$$

Onde,

EE	Energia economizada (MWh/mês);
E ₁	Estimativa de consumo de energia do compressor com lubrificante “X” (MWh/mês);
E ₂	Estimativa de consumo de energia do compressor com lubrificante “Y” (MWh/mês);

A tarifa utilizada para determinação da economia em R\$ foi extraída da análise tarifária da empresa CLIENTE, ao custo médio (CM) de 200 R\$/MWh da energia elétrica.

A determinação da economia em R\$ é expressa conforme equação abaixo:

$$R\$ = (EE \times CM)$$

Onde,

R\$	Economia monetária (R\$);
EE	Energia economizada (MWh/mês);
CM	Custo médio da energia contratada pela indústria (R\$/MWh)

13.16 CONCLUSÕES

Com base nas informações coletadas durante os 25 dias de análise em campo, onde foram comparados diferentes tipos de lubrificantes, utilizados para o mesmo equipamento em estudo, pode-se concluir que o acréscimo de rendimento no compressor de parafuso, com um estágio de compressão quando utilizando lubrificante sintético Klüber Summit SH 46 é de 4,91%, comparado com o lubrificante mineral Mobil DTE 25 ISO VG 46.

Quando analisado diferentes tipos de lubrificantes sintéticos, sendo eles lubrificante sintético Klüber Summit SH 46 e o lubrificante sintético Total Dacnis SH 46, o acréscimo de rendimento do compressor em questão foi de 0,45%, quando utilizado o sintético Klüber.

Baseados nas medições e estudos realizados constatamos um potencial de economia de energia elétrica da ordem de 62,4 MWh/ano, no comparativo entre os lubrificantes Mineral Mobil DTE 25 ISO VG 46 e Sintético Klüber Summit SH 46, quando da utilização destes lubrificantes em compressores tipo parafuso de mesmas características do avaliado neste estudo.

14 CONCLUSÕES FINAIS

O trabalho mostra que é possível adotar a prática de troca de lubrificantes convencionais por lubrificantes especiais com menor coeficiente de atrito como tema de eficiência energética trazendo redução de consumo de energia ao usuário além dos benefícios mecânicos e operacionais já largamente empregados na indústria .

Ponto conclusivo é que esta prática somente é crível se acompanhada por um correto emprego de metodologia de medição e verificação para comprovação dos resultados e mensuração dos ganhos energéticos ou redução de consumo. O ato de fazer medição é necessário para justificar financeiramente o investimento necessário para realização do retrofit .

Este trabalho é o resultado de cerca de 3 anos de estudo e análises realizadas em campo , trazendo uma rica contribuição para o setor em termos de procedimentos e práticas de medição e metodologias de cálculo de resultados !

15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KLÜBER LUBRICATION , Brochure , “*Lubrication of Gear Box* “

KLÜBER LUBRICATION , Presentation , “*Klüber High Performance Gear Oil* “

KLÜBER LUBRICATION , Brochure , “Air compressor oils from Klüber Lubrication”

KLÜBER LUBRICATION , Presentation , “*Klüber Energy Efficiency Products & Concepts* “

INTERNATIONAL PERFORMANCE MEASUREMENT AND VERIFICATION PROTOCOL, Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings ,Volume 1, Prepared by Efficiency Valuation Organization , www.evo-world.org, September 2010 EVO 10000 – 1:2010

SEW EURODRIVE , Brochure , “ *Industrial Gear Units* “

GEAR SOLUTIONS MAGAZINE , edition of August 2004 , article , “*The Sense of Synthetics* “, www.gearsolutionsonline.com

Cengel, Yunus A. and Boles , Michael A. (Cengel , Yunus A.) , *Rhermodynamics An Engeneering Approach* -5^a Edição – Electronic Version

Ryan ,Thomas P (Ryan, Thomas P.) , Modern Engineering Statistics , Elsevier , Boston 1945 , ISBN 978-85-352-3055-0

Doe Fundamentals Handbook ,thermodynamics, heat transfer,and fluid flow, U.S. Department of Energy fsc-6910 Washington, D.C. 20585

Carreteiro,Ronald P.(Ronald P.) , *Lubrificantes & Lubrificação Industrial*- Rio de Janeiro : Interciencia : IBP , 2006 ISBN 85-7193-158-5

Budynas, Richard G. (Richard Gordon),Shigley’s mechanical engineering design / Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. —9th ed.p. cm. — (McGraw-Hill series in mechanical engineering),ISBN 978-0-07-352928-8 (alk. Paper)

Procel / ELETROBRAS – Pesquisa de Classe e Hábitos de Consumo ,ano Base 2008 , Classe Industrial Alta tensão – Relatório Completo – 2011

Singh N., Smith A. 1997: A comparison of wheat starch, whole wheat meal and oat flour in the extrusion cooking process, Journal of Food Engineering, 38, 15-32.

Hsieh F, Mulvaney SJ, Huff HE, Lue S and Brent J. 1989. Effect of dietary fiber and screw speed on some extrusion processing and product variables. Lebensm Wiss Technol 22:204-207.

M. Liang, H.E. Huff, and F.-H. Hsieh Evaluating Energy Consumption and Efficiency of a Twin-Screw Extruder. Food Engineering.

R. M. Secor, Polymer Engineering Science, vol. 26, no. 14, p. 972-973 (1989)

Martelli FG. 1983. Twin-screw extruders: a basic understanding. New York: Van Nostrand Reinhold P 89-90.

IMBIL – Electronic Folder , www.hidrovector.com.br

RENK , GMB – Augsburg , Brochure,– *“Innovative Power Transmission ”*

LAMOTRIZ – ASTEF – Relatório Técnico de Emprego de Óleo Lubrificante para Fins de Eficiência Energética

KLÜBER LUBRICATION , Technical Report to Cliente Group, “Energy Efficiency Achieved in Turbogenerators Changing Mineral Oil ”

15.1 – índice de Figuras

Figura 1 – Coeficientes de atrito para diferentes tipos de óleo base	9 -
Figura 2 – Figura esquemática – Tear Plano	10 -
Figura 3- Esquema de um Turbogenerador	11 -
Figura 4 – variáveis de influencia em um redutor de acionamento de extrusora.....	11 -
Figura 5 Comparação de propriedades de lubrificantes	13 -
Figura 6-Medidas de coeficientes de atrito em ensaio FZG	14 -
Figura 7-Comparação de Desgaste e Eficiência mecânica	14 -
Figura 8 –Comparação de vida útil de acordo com a temperatura.....	15 -
Figura 9- Limites e fronteiras de medição isolada e completa	17 -
Figura 10 – Fronteiras de Medição	24 -
Figura 11 Fronteira de medição – Tear plano	44 -
Figura 12 – Gráfico das Medições – Linha de Base.....	46 -
Figura 13 – Dados do sistema de supervisão do tear	47 -
Figura 14 – Gráfico das Medições – Pós Retrofit	49 -
Figura 15 – Dados do sistema de supervisão do tear	50 -
Figura 16 – Curva de Carga – Comparativo entre Linha de Base e Pós Retrofit	50 -
Figura 17 – Retrofit	76 -
Figura 18 – Inspeção da Extrusora	76 -
Figura 19 - Retirada do Óleo antigo	76 -
Figura 20 – Inserção do novo óleo no equipamento	76 -
Figura 21 – Fronteira de Medição	78 -
Figura 22 – Gráfico do Produto H-503HS	82 -
Figura 23 – Relação entre a produção e o Consumo específico.	83 -
Figura 24 – Relação direta entre TV/IF e Consumo específico.	83 -
Figura 25 – Exemplo de definição das aberturas de TV para cada TV/IF	84 -
Figura 26 – Gráfico Exemplo da equação.	85 -
Figura 27 – Sistema de Resfriamento do Redutor Analisado.....	88 -
Figura 28 – Representação do Fluxo de Couette	98 -
Figura 29- Fluxo das trocas de óleo	114 -