

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

NELSON MARQUESIN JUNIOR

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA PLANTA
INDUSTRIAL**

Porto Alegre

(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA PLANTA INDUSTRIAL

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro

Porto Alegre

(2011)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

NELSON MARQUESIN JUNIOR

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM UMA PLANTA INDUSTRIAL

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS
Formação (UFRGS – Porto Alegre, Brasil)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luiz Tiarajú dos Reis Loureiro, UFRGS
Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Eng^o Daniel Conzzatti, FitesaFiberweb
Engenheiro Eletricista pela PUC-RS, Porto Alegre, Brasil

Prof^a. Dr^a. Gladis Bordin, UFRGS
Doutora pela UFSC – Florianópolis, Brasil

Porto Alegre, julho de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, Nelson, e minhas mães, Zélia, minha madrinha Nair e minha avó Angelina pela dedicação e apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente obrigado à minha família. Ao meu pai e minhas três mães. Ao meu pai, meu exemplo de perseverança e dedicação que nunca deixou de me apoiar ao longo de todo o caminho. À minha mãe, Zélia, que embora não estivesse fisicamente ao meu lado esse tempo, tenho certeza que vibra comigo cada conquista e vitória. Às minhas duas mães do lado de cá, minha avó e minha “Dida” por toda paciência e empenho que tiveram em me criar e educar. Obrigado por tudo.

Agradeço ao departamento de engenharia elétrica e aos professores que se empenham em ensinar engenharia. Em especial ao Dr. Luiz Tiarajú pela ética, caráter e orientação neste trabalho.

À Vivo S.A. e à FitesaFiberweb por terem acreditado em mim como profissional e pelas oportunidades de aprendizado e prática profissional. Um obrigado especial ao Dr. Paulo da Vivo e ao Engº Daniel Conzatti e Clayton Dias, além de toda equipe de manutenção da Fitesafiberweb, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Por fim, dizem que atrás de todo grande homem existe uma grande mulher, entretanto às vezes encontra-se uma grande mesmo sem ser um grande homem ainda. Obrigado, morena, por ter estado ao meu lado sempre que precisei. Tenho certeza absoluta de que sem você nada disso teria sido possível. Te amo horrores!

RESUMO

O tema da eficiência energética popularizou-se no Brasil nos últimos anos, entretanto suas iniciativas, como o selo do PROCEL e a etiqueta nacional de conservação de energia, ainda são majoritariamente voltadas para as áreas residencial e comercial. A área industrial, enquanto maior consumidor de energia elétrica, ainda não conta com programas fortes de estímulo a redução de consumo, sendo, ainda assim, um dos setores da economia com maior potencial de otimização na utilização de tal recurso. A proposta do presente estudo é avaliar pontos de desperdício de energia em processos térmicos, processos relacionados à ar comprimido e processos de movimentação acionados por motores elétricos. Iniciando por um levantamento histórico da evolução da energia elétrica no Brasil e seguido de uma seção teórica de modelagem e avaliação dos pontos críticos de perdas para então avaliar as oportunidades *in loco*, esse estudo demonstra, analisando do ponto de vista teórico, técnico e econômico, algumas oportunidades de redução de desperdício de energia encontradas em uma indústria secundária de transformação de plásticos que podem ser estendidas e/ou adaptadas à indústrias com processos similares.

Palavras-chave: Engenharia Elétrica; Eficiência Energética na Indústria; Processos Térmicos; Ar Comprimido; Motores Elétricos.

ABSTRACT

The theme of energy efficiency has become popular in Brazil in recent years, however the efforts, as the PROCEL seal and the national energy conservation label, are still largely focused on residential and commercial areas. The industrial area, as the largest consumer of electricity, does not yet have strong incentive programs to reduce consumption, and still one of the economic sectors with greater potential for optimization in the use of that resource. This study proposal is to evaluate points of energy loss in thermal processes, processes related to compressed air and movement processes driven by electric motors. Starting with a historical survey of the evolution of electricity in Brazil and followed by a section of theoretical modeling and evaluation of critical points loss to then assess the opportunities on the spot, this study demonstrates, examining the theoretical, technical and economic point of view some opportunities to reduce energy loss found in a secondary industry of plastics processing that can be extended and / or adapted to industries with similar processes.

Keywords: Electrical Engineering; Industrial Power Savings; Thermal Processes; Compressed Air; Electrical Motors.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO	13
1.2	RESULTADOS ESPERADOS	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	ENERGIA	15
2.1	A EVOLUÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL	17
2.2	O QUADRO ATUAL DA ENERGIA NO BRASIL.....	23
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	25
3.1	PROCESSOS TÉRMICOS.....	25
3.2	MOTORES ELÉTRICOS.....	29
3.3	AR COMPRIMIDO.....	32
4	ANÁLISE DE PERDAS.....	35
4.1	O NÃO TECIDO E SEU PROCESSO PRODUTIVO	35
4.2	PERDAS TÉRMICAS EM TUBULAÇÃO DE AR	37
4.3	PERDAS TÉRMICAS EM TROCA TELAS	39
4.4	PERDAS TÉRMICAS EM REFRIGERAÇÃO DE AR.....	43
4.5	CONVERSÃO DE AQUECEDORES ELÉTRICOS PARA GÁS NATURAL	45
4.6	MODIFICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO.....	45
4.7	REDUÇÃO DE CUSTOS COM AR COMPRIMIDO COM BOAS PRÁTICAS	48
4.8	MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO: VENTILADOR DOS TAMBORES SECADORES	50
4.9	MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO: COMPRESSORES CENTRÍFUGOS.....	52
4.10	MOTORES SUPERDIMENSIONADOS.....	53
4.11	EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA NA FITESAAFIBERWEB UNIDADE DE GRAVATAÍ	55
5	CONCLUSÕES.....	56
6	REFERÊNCIAS	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 105 e 1930, exclusive lenha.	19
Figura 2: Estimativa do consumo de energia 1941-72.	21
Figura 3: Evolutivo da capacidade instalada 1974-2009.....	22
Figura 4: Estrutura da oferta interna de energia elétrica.	23
Figura 5: Consumo por setor no ano de 2010.....	24
Figura 6: Exemplos de condução de calor: a) Condução de calor em sólidos. b) Imagem térmica da convecção de um gás. c) Imagem térmica da radiação térmica de uma residência.	27
Figura 7: Sistema de geração de ar comprimido.	33
Figura 8: Consumo de energia em sistemas de ar comprimido.	34
Figura 9: Esquerda: não tecido. Direita: tecido.	35
Figura 10: Processo produtivo do spunbonded.	37
Figura 11: a) Compressor Aerzen; b) Tubulação sem isolamento; c) Instalação dos isolamentos; d) Tubulação isolada.	39
Figura 12: Troca telas hidráulico.	40
Figura 13: Toca telas a esquerda e sua imagem térmica a direita.	41
Figura 14: Esquerda: <i>Fan coil</i> com sua admissão de ar externa. Direita: Admissão de ar interna.	44
Figura 15: Instrução de trabalho que inclui verificação de perfil de operação do sistema de ar comprimido da NT.....	50
Figura 16: Princípio de funcionamento do sistema de secagem por tambor perfurado a esquerda e estrutura interna do equipamento à direita,	51
Figura 17: Compressor Centac da Ingersoll Rand à esquerda e painel seu de controle à direita.	53
Figura 18: Evolutivo mensal de energia utilizada por kg produzido.....	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Evolutivo do crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil por setor.....	16
Quadro 2: Potência elétrica instalada no Brasil (kW).	18
Quadro 3: Comparativo de perdas em tubulação antes e depois de instalação de isolamento térmico.	38
Quadro 4: Perdas no cilindro do troca telas.....	41
Quadro 5: Perdas no bloco do troca telas.	42
Quadro 6: Comparativo dos dois cenários em relação a gastos com energia elétrica.	47
Quadro 7: Comparativo de custos entre os dois cenários.....	48
Quadro 8: Características elétricas dos compressores atuais da NT.	49

LISTA DE ABREVIATURAS

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PIB: Produto Interno Bruto

tEP: Tonelada Equivalente de Petróleo

CNP: Conselho Nacional do Petróleo

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

BEN: Balanço Energético Nacional

CC: Corrente Contínua

PP: Polipropileno

NT: Não Tecido

VSD: *Variable Speed Drive* (acionamento de velocidade variável)

IT: Instrução de Trabalho

1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual está cada vez mais dependente de energia. O crescimento populacional aliado à mudança no estilo de vida da população ocorridos nas últimas décadas vem aumentando o consumo e com isso trazendo problemas aos setores responsáveis pelo abastecimento. Não obstante o crescimento da demanda, a utilização inadequada dos energéticos agrava o problema dado que parte da energia gerada é desperdiçada nos processos finais.

Quando se fala em energia no Brasil, fala-se basicamente em energia elétrica dado que outros energéticos como gás natural e carvão são de utilizações bastante específicas sendo quase que ignorados pela sociedade em geral e os derivados do petróleo tem sua principal aplicação no setor de transportes. Dessa forma, na busca pela redução e racionalização do consumo da energia elétrica, o governo vem promovendo iniciativas de combate ao desperdício e utilização racional da energia elétrica. Programas como o PROCEL (programa nacional de conservação de energia elétrica) visam a conscientização da população quanto à melhor utilização da energia elétrica. Entretanto os programas mais divulgados são aqueles voltados a consumidores residenciais enquanto o setor industrial, cuja demanda energética é superior ao anterior, não recebe muita atenção.

Ainda, com os avanços tecnológicos e o contínuo aumento da complexidade dos equipamentos e processos industriais, a conservação de energia perde o foco a partir do momento em que o processo esteja otimizado à operação e as margens de lucro garantam a manutenção da produção.

Baseado nisso, fica claro que a área industrial é um “terreno ainda bastante fértil” para o desenvolvimento de técnicas e melhorias que visem o melhor aproveitamento das energias. Uma melhor utilização da energia na indústria influencia diretamente na competitividade da

empresa a partir do momento em que reduz os custos de produção e pode melhorar o ambiente de trabalho influenciando na produtividade. Além disso, podem ser citados os benefícios ao meio ambiente como redução da emissão de gases e redução de impactos ambientais provenientes de instalações de novas plantas geradoras.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um estudo de eficiência energética em uma planta industrial de forma a identificar sistemas e processos que não estejam otimizados em relação ao consumo de energia elétrica ou gás natural.

A planta em questão é uma indústria secundária de transformação de plástico composta por 3 pavilhões industriais onde a grande maioria dos processos são térmicos, de movimentação ou relacionados à ar comprimido, sendo esses os principais aspectos de abordagem nas análises.

O estudo será desenvolvido analisando-se inicialmente os aspectos teóricos relacionados aos sistemas de forma a esclarecer os conceitos físicos vinculados aos processos, sendo em seguida identificados pontos onde ocorrem perdas críticas e então propostas soluções técnicas, que não influenciem no processo produtivo, para tais deficiências. Serão analisados também aspectos econômicos das soluções propostas como averiguações de benefício/custo e tempo de retorno de investimento sempre que existir possibilidade para tal.

1.2 RESULTADOS ESPERADOS

Com esse trabalho espera-se contribuir com uma análise de perdas voltada para a área industrial tanto na empresa onde o estudo será desenvolvido quanto para empresas que possuam processos produtivos ou sistemas semelhantes de forma racionalizar a utilização de energia.

São esperadas contribuições de minimização de perdas térmicas para o ambiente com a análise de viabilidade de implantação de sistemas de isolamento térmico, adequação e otimização da utilização de motores elétricos, por vezes em operação sem necessidade, análise de propostas de identificação de perdas e modificações nos sistemas de ar comprimido.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos.

O Capítulo 2 apresenta alguns conceitos básicos sobre o que é energia, como é obtida e utilizada, abordando mais especificamente conceitos sobre energia elétrica e gás natural dado que esses são os principais energéticos utilizados na planta em análise. O capítulo apresenta, ainda, uma breve descrição histórica da evolução dos energéticos no Brasil com foco na energia elétrica. Apresentando por fim, dados atuais de consumo de energia elétrica e seu perfil de utilização por setor.

O terceiro capítulo expõe as definições sobre eficiência energética. São demonstrados os conceitos teóricos sobre sistemas térmicos, motores elétricos e sistemas de ar comprimido sendo revistos aspectos como quantização de perdas e medidas de contenção.

O quarto capítulo apresenta uma breve descrição da planta industrial e dos processos produtivos onde o estudo é desenvolvido. São apresentados os casos críticos, com identificação *in loco*, em relação à perdas, quantização aproximada das perdas em cada caso sendo então propostas melhorias, sendo feita sempre que possível uma análise econômica das mesmas.

O quinto capítulo trata das conclusões obtidas com o desenvolvimento do estudo, chamando atenção para os tipos de perdas mais comuns, medidas de contenção mais simples e melhores investimentos de curto prazo.

2 ENERGIA

Segundo Hewitt (2002), a energia é a capacidade de realizar trabalho. Entretanto, o conceito de energia não de fácil entendimento dado que se trata de uma grandeza abstrata sendo mais fácil observá-la quando está sendo transferida ou transformada. Encontrada sob várias formas como térmica, química, elétrica, mecânica, luminosa, dentre outras, a energia consumida diariamente pela humanidade é em sua grande maioria elétrica ou química.

A energia elétrica é a mais popular graças a sua versatilidade, é facilmente convertida em outras energias como mecânica, luminosa ou térmica, além de ser de fácil transporte e possuir baixas perdas em conversões. Sua obtenção provém principalmente das conversões de energia potencial obtida em quedas d'água como em usinas hidrelétricas ou então por processos térmicos que na verdade utilizam-se de energia química como no caso de termelétricas a carvão ou biomassa. Todos os processo de geração de energia elétrica consistem em alternadores acoplados à turbinas acionadas por energia mecânica. Em resumo, a seguir, mostra-se as situações mais comuns na geração de energia elétrica:

Energia Termelétrica:

Energia Química ou Nuclear → Energia Térmica → Energia Mecânica → Energia Elétrica

Energia Hidrelétrica:

Energia Potencial → Energia Mecânica → Energia Elétrica

Existem outras formas de obtenção de energia elétrica como energia fotovoltaica baseada na luz do sol ou energia eólica proveniente da força dos ventos, entretanto essas formas de obtenção de energia elétrica são incipientes na constituição da matriz energética atual.

Outra forma bastante popular de energia de utilização direta são as energias químicas. A energia potencial química está contida em substâncias que através de uma reação resultam

em outras substâncias mais liberação de energia. Dois exemplos são o carvão que foi o combustível da revolução industrial e o petróleo e seus derivados que hoje em dia são a base energética dos transportes.

Embora a lenha, ainda hoje, apresente consumo considerável em várias aplicações, na indústria nacional a energia elétrica e o gás natural são os principais energéticos utilizados. A primeira em decorrência do grande potencial hídrico do país o que torna esse tipo de energia abundante além de que quase todos os processos industriais podem ser acionados por energia elétrica. O segundo é utilizado quando processos térmicos de alta potência são requeridos visto que a energia elétrica acaba por torna-se economicamente desvantajosa para tal.

A economia atual depende dos recursos energéticos para manter a produção. Em países de industrialização tardia pode-se observar uma relação direta entre o aumento do produto interno bruto e o consumo de energia. No caso de países desenvolvidos, onde as necessidades básicas da população já estão atendidas, o consumo de energéticos tende a se estabilizar, crescendo menos que o PIB daquela nação (Leite, 1997). O Brasil, se tratando de um país em desenvolvimento, vem apresentando crescimento médio da demanda de energia elétrica de 4,6% a.a. sendo que no ano de 2010 o aumento chegou a 7,8% a.a. conforme dados do EPE, dessa forma torna-se interessante uma análise da evolução e composição da matriz energética ao longo do último século. O Quadro 1 apresenta o evolutivo dos últimos anos.

CRESCIMENTO (%)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média
BRASIL	4,7	7,7	4,5	3,5	5,8	3,8	-1,0	7,8	4,6
RESIDENCIAL	4,7	3,0	5,3	3,8	4,8	5,4	6,4	6,3	5,0
INDUSTRIAL	4,0	13,8	3,1	3,0	6,8	2,5	-7,7	10,6	4,5
COMERCIAL	5,1	4,5	6,7	4,4	5,9	5,4	5,6	5,9	5,4
OUTROS	6,1	0,7	5,5	3,6	4,5	3,6	0,7	4,5	3,7

Quadro 1: Evolutivo do crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil por setor.
Fonte: EPE, Consumo nacional de energia elétrica por classe 1995-2010.

2.1 A EVOLUÇÃO DA ENERGIA NO BRASIL

Esta seção apresenta a evolução da exploração e consumo de energéticos no Brasil conforme a obra de Antonio Dias Leite, A energia do Brasil. Escrita em 1997, a obra faz um levantamento histórico do perfil nacional de geração e consumo de energia aliado a considerações políticas e econômicas dos períodos em questão.

Até 1915 o Brasil vivia na “era da lenha” segundo Leite. Nesse período, até a chegada de Dom João VI em 1808, a atividade manufatureira era proibida no Brasil e segundo levantamentos históricos, em 1816 o Brasil contava com cerca de 3,3 milhões de habitantes dos quais 68,5% eram escravos. A demanda por energia nesse período era irrisória e o consumo de energia, o qual se restringia ao aquecimento de residências e outras poucas finalidades, era plenamente suprido pela lenha, abundante nas terras recém povoadas. Por volta de 1850, o barão de Mauá decide iniciar a industrialização no país produzindo navios à vapor, substituindo a iluminação, que até então era baseada em óleo de peixe, por iluminação à gás e construindo a primeira linha férrea, sendo a “Baronesa” a primeira locomotiva a vapor a operar no Brasil. Nesse período já se iniciava a utilização de carvão mineral como combustível.

No final do século XIX, iniciam-se instalações de geração e consumo de energia elétrica. Em 1883 foi inaugurada a primeira iluminação elétrica da América do Sul. Uma usina a vapor composta por uma caldeira, uma máquina a vapor de 50 cavalos e três dínamos alimentavam 39 lâmpadas. Em 1889, em Juiz de Fora, foi instalada a usina Marmelos – 0, a primeira usina hidrelétrica da América Latina. O empreendimento foi idealizado por um industrial local para abastecer sua fábrica de tecidos e contava com potência instalada de 200kW.

No início do século XX as importações com carvão e querosene eram responsáveis por 8% e 2% do total de importações do período. Em paralelo à isso, em 1901 foi instalada a

hidrelétrica de Parnaíba no rio Tietê com 2.000kW e em 1908 é concluída a hidrelétrica de Fontes é concluída com potência instalada de 12.000kW, logo ampliada para 24.000kW sendo uma das maiores usinas do mundo na época.

No início do século passado, a geração hidrelétrica se consolidava no Brasil diferenciando-o dos países onde o processo de industrialização se iniciou. Nesses, a base energética era a termoeletricidade baseada em carvão mineral. Entre 1885 e 1905 a potência elétrica instalada no país foi multiplicada pro sete a cada decênio. O Quadro 2 mostra a evolução da energia elétrica em kW de origem térmica e hidráulica no início do século passado:

Ano	Térmica	Hidro	Total	% Hidro
1883	52	-	52	-
85	80	-	80	-
90	1.017	250	1.267	20
95	3.843	1.991	5.834	34
1900	5.093	5.283	10.376	51
05	6.676	38.208	44.884	85
10	32.729	124.672	157.401	79
15	51.106	258.692	309.798	84
20	66.072	300.946	367.018	82
25	90.608	416.875	507.483	82
30	148.752	630.050	778.802	81

Quadro 2: Potência elétrica instalada no Brasil (kW).

Fonte: Conselho mundial de energia, Comitê Nacional Brasileiro, *Estatística brasileira de energia*, nº1, 1965.

Com a primeira grande guerra em 1914, as importações de equipamentos industriais ficaram prejudicadas, entretanto isso não impediu o crescimento da indústria nacional que foi de 44% no quinquênio de 1915/20 e 35% no posterior. No mesmo período dava-se a substituição do carvão pelo petróleo no velho mundo enquanto no Brasil ainda não existia exploração desse energético: muito se falava, mas pouco se fazia. Enquanto isso a Light manteve-se responsável pela geração de 40% da energia elétrica do país até 1930 e as

importações de gasolina e óleo combustível passavam de 28.000 m³ para 345.000 m³ e 80.000 m³ para 355.000 m³ respectivamente no período de 1915 a 1930, entretanto não houveram esforços em relação à exploração de petróleo e gás no país. O gráfico a seguir mostra a evolução no consumo dos energéticos no início do século XX em milhares de toneladas equivalentes de petróleo (tEP).

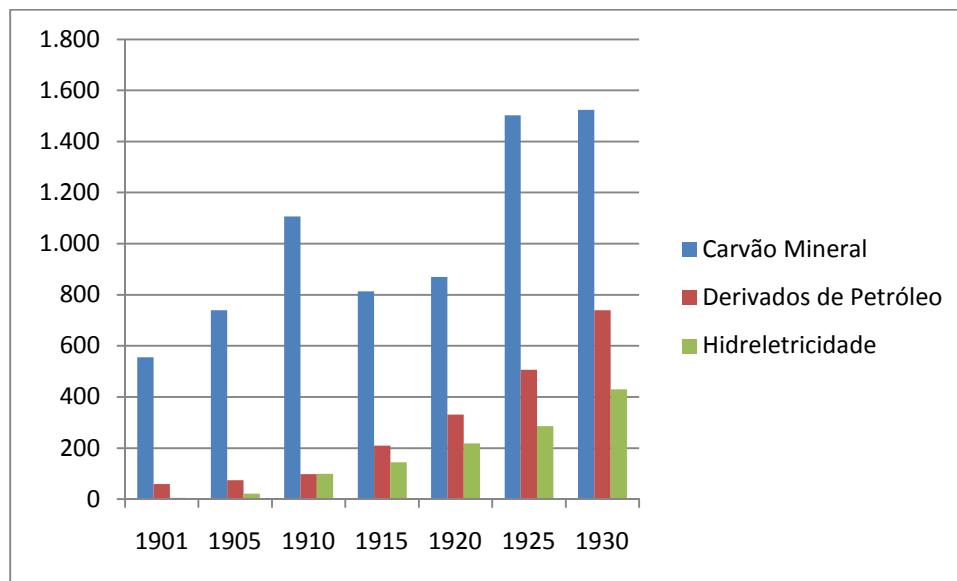


Figura 1: Estimativa do consumo de energia no Brasil entre 1901 e 1930, exclusive lenha.
Wilberg, J., 1974, *Consumo Brasileiro de Energia*.

No período entre 1930 e 1940 foi aprovado o Código de Águas a criou o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica. Entretanto, embora a demanda continuasse a crescer, o crescimento médio anual da capacidade instalada diminuía, chegando à 1,1% em 1940/45. Essa redução deveu-se principalmente a 3 fatores:

- a) Mudanças na legislação que a partir de então baseava as tarifas no custo do investimento;
- b) Longo período de dificuldade de importação, principalmente devido à guerra, dificultando a manutenção e expansão do parque gerador;

- c) Inflação crônica durante o período de guerra gerando impasses sobre os reajustes tarifários que permaneceriam congelados até 1945.

As exceções à essa situação foram a Light e a Companhia Paulista de Força e Luz que, por atuarem na região mais desenvolvida do país e por sua competência, conseguiam continuar a expandir seus sistemas. Ainda nesse período, em 1942, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), sendo então iniciadas as primeiras perfurações em busca do óleo.

Existem poucos dados no período de guerra e pós-guerra, entretanto os levantamentos de 1941, 1946 e 1954, mostram que o consumo de energéticos permaneceu estável durante a guerra e no período pós-guerra o consumo de hidroeletricidade aumentou enquanto a utilização do petróleo disparou.

O governo Kubitschek estava focado na eliminação dos “pontos de estrangulamento” na busca pelo desenvolvimento, em partícula nos existentes no sistema elétrico nacional. Em meados da década de 50 o sistema elétrico estava em crise sendo mais preocupante a situação na região centro-sul. Em 1957 o presidente aprovou a fundação Central Elétrica de Furnas sem solicitar a autorização do congresso e em 1958 iniciou-se a construção da Hidroelétrica de Furnas que, à época, adicionava um milhão de kW a um sistema de 3 milhões. Em 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia e em 1962, concluídos os estudos para exploração das Sete Quedas no Paraná com resultados de potencial de geração surpreendentes: 10 milhões de kW (Caubet, 1991). A capacidade instalada crescia 8,8% entre 1955/60 e 8,3% entre 1960/65. Ainda, iniciava-se a interligação do sistema sendo a priori padronizada a frequência de 60Hz e conversão dos sistemas de geração que operavam em 50Hz e devido ao novo período de industrialização, em 1964, o consumo de petróleo igualou-se ao da lenha, tornando-se em 1969 o principal insumo energético.

A Figura 2 apresenta a variação do consumo de alguns energéticos no período de 1941 à 1972.

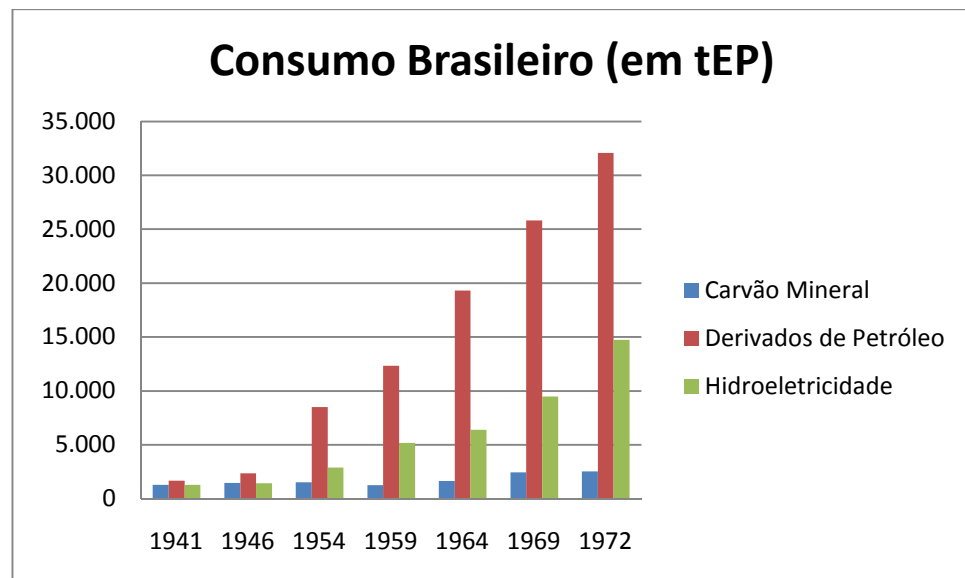


Figura 2: Estimativa do consumo de energia 1941-72.
Fonte: Wilberg, J., 1974, *Consumo Brasileiro de Energia*.

Em 1971 a primeira usina nuclear brasileira, com potência de 657 MW, Angra I, teve suas obras iniciadas, tendo recebido licença para operação em dezembro de 1984.

Foi fundada a Itaipu Binacional em 1973, sendo em 1975 iniciada a construção da usina de Itaipu, concluída em 1982 com potência instalada de 14 GW. A usina conta com 20 unidades geradoras sendo metade, a parte brasileira, em 60Hz e a outra metade, paraguaia, em 50Hz. Dez anos após sua entrada em operação o Paraguai só absorvia 4,2% da energia total gerada por Itaipu.

O período entre 1973 e 1985 foi marcado por uma queda dramática das tarifas de energia elétrica desestimulando os esforços para sua conservação. Em 1973 a tarifa residencial era a terceira mais alta em comparação a outros 22 países e a industrial era a décima quinta, tornando se, em 1985, as mais baratas dentre os 23 amostrados.

Com as duas crises do petróleo a grande maioria dos países desenvolveu políticas de redução do desperdício, o Brasil, entretanto, essas medidas já haviam sido tomadas dado que as concessionárias dos sistemas interligados estavam encontrando dificuldades em gerenciar a

energia agindo independentemente umas das outras. Em 1983 são introduzidos mecanismos tarifários e incentivos para o uso da energia elétrica aos derivados do petróleo.

O plano cruzado de 1986 foi um golpe duro ao já debilitado sistema elétrico nacional com seu congelamento de tarifas. As concessionárias perdiam ainda mais remuneração e tornava-se cada vez mais difícil a expansão do sistema. No fim da década de 80, um período de privatizações do sistema até então controlado por empresas estatais foi iniciado. Conforme dados da Eletrobras, de 1991, no ano anterior o sistema elétrico atendia 87% das residências sendo 97% o índice de atendimento da região sudeste e 58% da região norte. Em meados da década de 90 vários programas de conservação de energia são lançados enquanto isso a Petrobrás tem sucesso em perfurações no mar.

Nos anos 2000 o Brasil passou a sofrer com o racionamento de energia devido à falta de água nos reservatórios proveniente de uma seca anormal no país. Ainda nesse período o sistema elétrico sofreu profundas modificações no seu quadro gerencial.

A Figura 3 apresenta o evolutivo da matriz energética no período de 1974 à 2009.

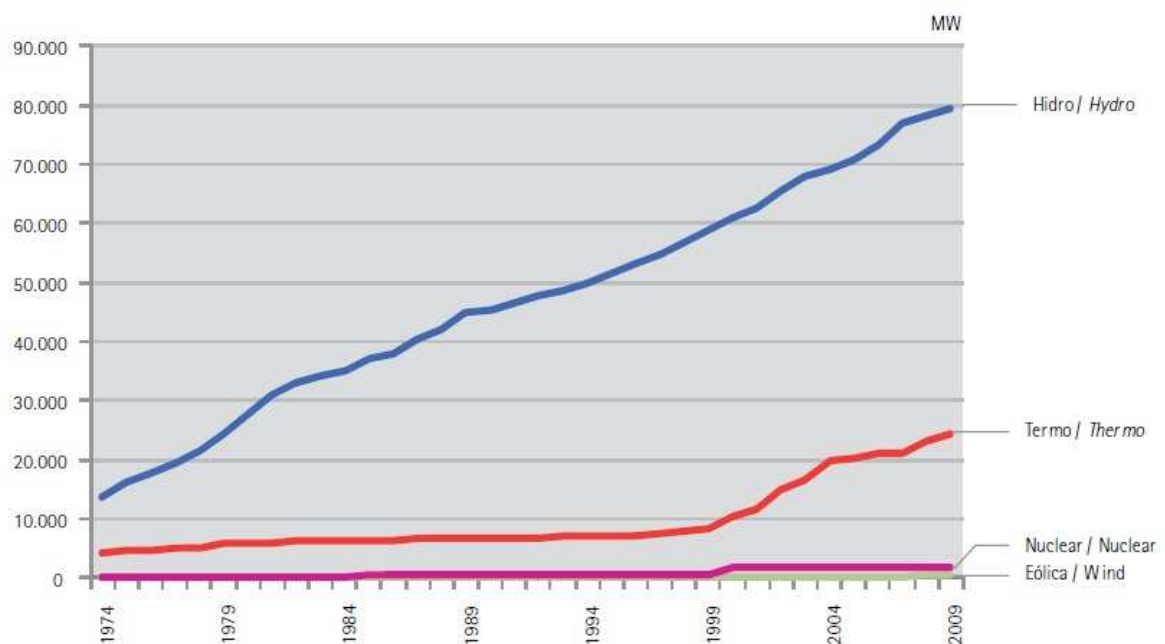


Figura 3: Evolutivo da capacidade instalada 1974-2009.
Fonte: EPE, BEN 2010.

2.2 O QUADRO ATUAL DA ENERGIA NO BRASIL

Em 2009, conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2010, documento publicado pelo EPE, o Brasil produziu 466,2 TWh sendo 87,8% desse total, gerados por centrais de serviço público. O gráfico a seguir apresenta a contribuição de cada estrutura de oferta interna de eletricidade em 2009:

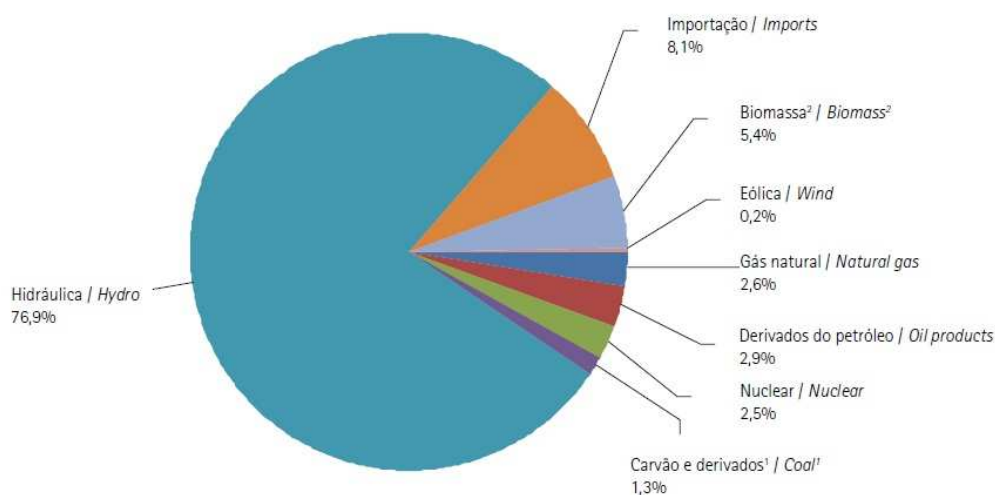


Figura 4: Estrutura da oferta interna de energia elétrica.
Fonte: EPE, BEN 2010.

Considerando a energia hidráulica mais as importações que também são essencialmente renováveis, a matriz energética brasileira conta com aproximadamente 85% do total proveniente de origem renovável. Em relação ao gás natural, ainda em 2009, o Brasil produziu 57,9 milhões de m³/dia tendo a menor importação, 23,4 milhões de m³/dia desde 2004. O consumo de gás natural teve redução de 15,4% principalmente devido à crise econômica que reduziu a produção do setor indústria.

Em matéria de consumo, no ano de 2010, o setor industrial liderou o *ranking* respondendo por um consumo que beira os 184 TWh. A Figura 5 apresenta o consumo por setor.

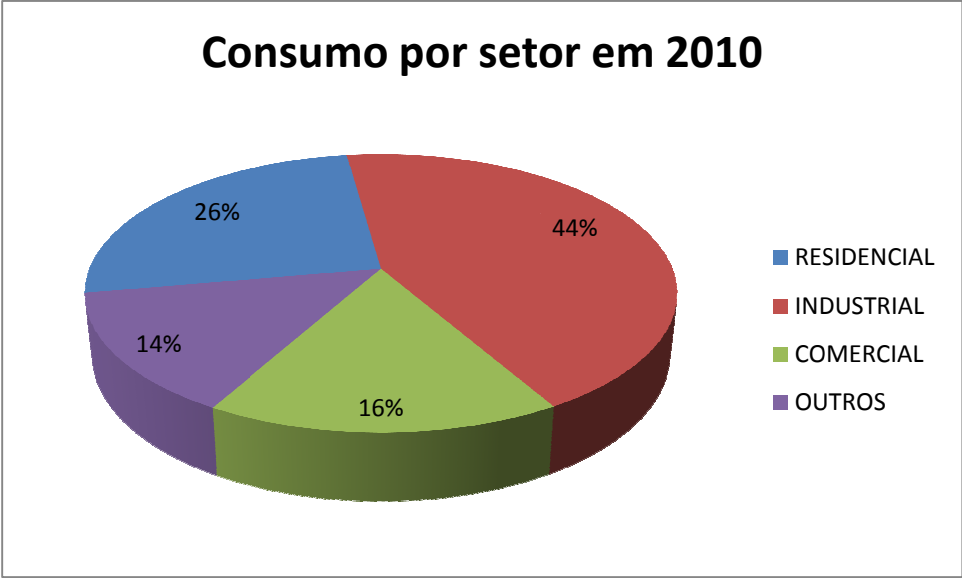


Figura 5: Consumo por setor no ano de 2010.
Fonte: EPE, Consumo nacional de energia elétrica por classe 1995-2010.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito de eficiência energética ou utilização racional de energia de conhecimento público e diz respeito à utilização de menos energia nos processos obtendo-se o mesmo resultado final, em outras palavras consome-se menos energia para se fornecer o mesmo valor energético.

O uso otimizado da energia disponível faz-se necessário nos tempos atuais devido a crescente demanda energética além de contribuir para a redução de emissão de gases nocivos ao meio ambiente e impactos ambientais e promover redução de custos, devido ao menor consumo nos processos, à empresa que opta por um perfil de consumo racional.

No caso de um planta de transformação de plásticos, a grande maioria dos processos são térmicos, de movimentação ou relacionados à ar comprimido (ar de instrumentação). Esses processos serão analisados do ponto de vista teórico neste capítulo de forma a se obter uma quantização aproximada das perdas.

3.1 PROCESSOS TÉRMICOS

Processos térmicos são aqueles relacionados a variações e temperatura de componentes de algum processo. Tais processos são reconhecidamente de baixa eficiência devido à dificuldade de restringir a transmissão de energia ao ponto de interesse pelas características intrínsecas dos materiais e também graças ao comportamento da energia térmica.

A temperatura é a medida de energia térmica (ou energia interna) de um corpo. A energia térmica está relacionada com a agitação das moléculas. Em fluidos, como um gás, por exemplo, onde as moléculas estão livres, a temperatura em sua grande maioria é proveniente da energia cinética (velocidade) média das moléculas do gás, enquanto em sólidos, onde as moléculas presas umas às outras em forma de uma rede cristalina em metais ou

aleatoriamente em materiais amorfos como o vidro, a medida majoritária da temperatura provém da vibração das moléculas (Speyer, 2002).

O calor é a medida da energia transferida entre dois corpos com temperaturas diferentes. A transferência dessa energia é espontânea, respeitando o princípio da entropia que diz que os sistemas tendem a um estado de mais baixa energia, essa forma o corpo com maior energia interna cede energia por meio da transferência de calor para o outro corpo, admitindo-se que existe um meio condutor de calor entre os dois corpos (Halliday, 2002).

A transferência de calor entre corpos ocorre de três formas distintas:

- a) Condução: é a transferência de energia pelo contato dos corpos. Em sólidos ocorre pela passagem da vibração das moléculas devido ao contato mecânico entre os corpos e também devido à energia transferida por elétrons livres. Em líquidos e gases a energia é transmitida pelas colisões entre as moléculas e difusão do fluido de mais alta temperatura para o de menor temperatura.

- b) Convecção: é aplicável a fluidos e consiste na transferência de calor através de sua movimentação. A temperatura de um gás está intrinsecamente ligada à sua densidade. Um gás aquecido é menos denso e, portanto, tende a subir, enquanto um gás com menor temperatura possui densidade maior, fazendo com que este tenda a descer.

- c) Radiação: é uma forma de transferência de calor que ocorre pela emissão de radiação eletromagnética. Todo corpo que possua temperatura, ou seja, alguma energia interna emite radiação térmica. A temperatura do corpo influencia na quantidade de radiação bem como no espectro da radiação emitida.

A Figura 6 apresenta os três tipos de condução de calor: condução, irradiação e convecção natural¹.

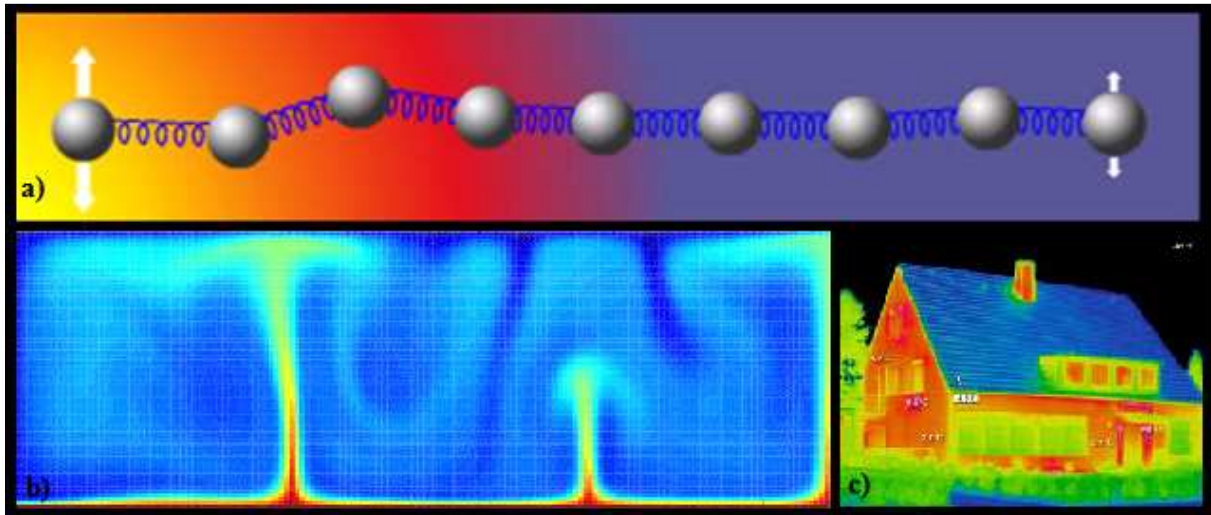


Figura 6: Exemplos de condução de calor: a) Condução de calor em sólidos. b) Imagem térmica da convecção de um gás. c) Imagem térmica da radiação térmica de uma residência.

Tendo em vista que a teoria de transferência de calor é bastante complexa, tendo obras específicas dedicadas a cada modo de transferência, a quantização de perdas ou possíveis ganhos caloríficos nos processos será calculada de forma simplificada.

A potência perdida por condução e convecção pode ser calculadas por:

$$W = \alpha \cdot S \cdot \Delta T = [W]$$

Onde α é o coeficiente de condução ou convecção.

Abaixo os coeficientes de condução térmica para o ar e aço.

$$\alpha_{cond}^{ar} = 0,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \qquad \alpha_{cond}^{aço} = 52,9 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

¹ A convecção natural consiste na movimentação de um gás aquecido devido puramente à variação de densidade promovida pelo acréscimo de sua temperatura. A convecção forçada que, além da movimentação natural do gás, contempla uma força externa movimentando o gás não será contemplada nessa análise.

O coeficiente de convecção é um valor calculado considerando a forma do objeto, sua orientação, fluido envolvente dentre outros dados. Como nesse trabalho serão analisadas tubulações e blocos, os coeficientes de convecção são admitidos como:

- 1) Para tubulações horizontais ou verticais de diâmetro “d”:

$$\alpha_{conv} = 1,31 \left(\frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- 2) Placa horizontal com troca de calor para baixo:

$$\alpha_{conv} = 1,31(\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- 3) Placa horizontal com troca de calor para cima:

$$\alpha_{conv} = 2,49(\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- 4) Placa vertical:

$$\alpha_{conv} = 1,77(\Delta T)^{1/4} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

A potência perdida por radiação, por sua vez é calculada como:

$$W = \sigma \cdot S \cdot F_s \cdot F_e \left[\left(\frac{T_{superfície}}{100} \right)^{1/4} - \left(\frac{T_{ambiente}}{100} \right)^{1/4} \right] = [W]$$

Onde, σ é a constante de Stefan-Boltzmann multiplicada por 10^8 , S é a superfície aquecida, F_s é o fator de superfície e F_e é o fator de emissividade. Para fins práticos, no caso de um corpo irradiando para o ambiente, F_s é a unidade e o fator de emissividade depende do material radiante.

Em processos que utilizam gases, o calor perdido ou oportunidade de ganho energético a energia é calculada por:

$$P = \rho \cdot v \cdot c \cdot \Delta T = [W]$$

Onde P é a potência do processo, ρ , v e c são a densidade, vazão e calor específico do gás respectivamente e ΔT é a diferença de temperatura.

3.2 MOTORES ELÉTRICOS

Processos de movimentação compreendem todos os tipos de acionamento mecânico utilizados na indústria. Para essa finalidade, a utilização de motores elétricos em processos industriais é quase que unânime sendo descartada apenas em sistemas de segurança, onde existe a necessidade de independência da rede elétrica (suscetível a falhas) como no caso de bombas de incêndio.

Os três tipos de motores elétricos mais populares são os motores de indução, de corrente contínua e síncronos. Abaixo, segue uma análise das características, aplicações e outros componentes necessários à utilização de cada um dos tipos de motores elétricos.

- Motores de Indução

O motor de indução de gaiola de esquilo é o tipo de acionamento elétrico mais utilizado na indústria, aplicado em potências de frações de CV até altas potências.

É um tipo de motor simples, barato e bastante robusto, entretanto dependendo da potência requer a utilização de componentes adicionais. Motores de indução pequenos podem ser acionados diretamente (partida direta), com o aumento da potência requerem partida estrela-triângulo ou mesmo inversores de frequência.

A grande desvantagem dos motores de indução é a variação da rotação frente à exigência de conjugado do eixo tornando-o aparentemente desvantajoso onde esse controle é requerido. Porém, a utilização de um inversor de frequência resolve o problema da variação de rotação e também da partida tornando o economicamente atrativo mesmo implicando no custo adicional de um inversor.

- Motores de corrente contínua

Motores CC tornam-se uma boa opção onde alta potência e um controle rigoroso de velocidade são requeridos.

Apesar de mais caros devido à maior complexidade mecânica, tornam-se economicamente vantajosos com elevada potência, uma vez que o *hardware* adicional requerido é bastante mais simples e barato que um inversor de frequência. O controle de velocidade é feito controlando-se a corrente do enrolamento de campo, que se encontra em um estator de pólos salientes.

A utilização de um motor de indução, nesses casos, implicaria na necessidade de um inversor de alta potência, o que compromete a economia da aplicação.

- Motores Síncronos

Esse é um tipo de motor dificilmente encontrado em aplicações industriais. São extensivamente utilizados como geradores, entretanto como motores são melhor adaptados em menores rotações e maiores potências. Motores síncronos passam a se tornar interessantes se a relação HP/RPM for maior que 1 (Beaty, 1998).

Sendo constituído geralmente de um enrolamento de campo CC no rotor e enrolamentos de corrente alternada no estator. Consistem em um motor sincronizado com a rede elétrica. Desse sincronismo implica o fato de que, sendo a frequência da rede elétrica constante, não existe variação da rotação independente do conjugado requerido. Outra desvantagem desse tipo de motor em aplicações industriais é a partida. Partindo como motor de indução, requer baixa carga em seu eixo, o que pode ser inviável em várias aplicações.

Dada a imensa quantidade de motores encontrados em plantas industriais, duas abordagens simples podem gerar resultados bastante relevantes sem a necessidade da análise de cada caso em particular. São elas:

- 1) **Análise utilização inadequada:** Dada a complexidade dos processos, quando existem alterações em variáveis do processo, rotinas de produção ou operação das máquinas devido a necessidades de produção, algumas rotinas secundárias que não interferem no processo acabam esquecidas. Em outras palavras, por exemplo, se a utilização de um motor é necessária na fabricação do produto A, porém sua não influencia na fabricação do produto B, existe a possibilidade de que esse motor não seja desligado na transição da produção de A para B. Além disso, existem casos de não conformidades nos processos que exigem o dipêndio de energia para obtenção do resultado esperado.

- 2) **Análise de substituição de motores:** Motores antigos, com menor rendimento, ou motores superdimensionados são os principais fatores de comprometimento da eficiência na utilização de energia elétrica.

O menor rendimento de motores antigos pode ser explicado por limitações tecnológicas da época de fabricação enquanto o superdimensionamento de motores é, em geral, proveniente de inconsistências de projeto, fazendo com que seja escolhido um motor de potência superior à necessária de forma a se garantir o desempenho do sistema. O departamento de energia dos Estados Unidos avalia que 44% dos motores industriais operam com 40% ou menos de fator de carga (Hurst, 2007).

Embora o superdimensionamento de componentes seja comum em outras áreas da engenharia, utilizado para aumentar a segurança do sistema, por exemplo, para o caso particular de motores elétricos essa medida afeta o rendimento do processo uma vez que tais máquinas são projetadas para operação próxima de seu valor

nominal de potência. Para motores de indução – a grande maioria na indústria – o motor pode ser considerado superdimensionado se seu fator de carga for menor que 75% de seu valor nominal. Isso ocorre porque esse tipo de motor tem seu maior rendimento com um fator de carga de 80-90% (Bortoni, 2007).

Dessa forma, torna-se interessante a análise da possibilidade da substituição desses motores por motores de maior rendimento ou corretamente dimensionados à carga.

A troca é considerada viável se:

$$C_{motor\ novo} < V_{residual\ motor\ antigo} + C_{kWh} \cdot P_{economizada} \cdot t$$

Ou seja, a troca será vantajosa se o custo do motor novo for menor que o valor de mercado residual o motor antigo mais o ganho de potência devido ao aumento de eficiência multiplicado pelo tempo. No caso da empresa analisada nesse trabalho, o tempo de retorno de investimento limite é de dois anos, dessa forma, se a equação acima for satisfeita utilizando o tempo limite a substituição é viável.

Comprovada a viabilidade do investimento o tempo de retorno real é calculado com a mesma equação, porém já conhecido o custo do motor novo, conforme:

$$t_{retorno} = \frac{C_{motor\ novo} - V_{residual\ motor\ antigo}}{C_{kWh} \cdot P_{economizada}}$$

Desnecessário é mencionar que tão mais vantajosa será a substituição quanto menor o tempo de retorno de investimento.

3.3 AR COMPRIMIDO

Ar comprimido, ou ar de instrumentação é utilizado na indústria para acionamento mecânico de algumas aplicações particulares.

Em geral não é utilizado em aplicações de utilização permanente, mas sim para pequenos acionamentos mecânicos onde esforço moderado é requerido. Tem a vantagem de

tornar acionamentos lineares, que seriam mais complexos e dispendiosos se elétricos, mais simples e também mais rápidos que se hidráulicos² ou elétricos.

O ar comprimido é obtido a partir de compressores mecânicos acionados eletricamente. A utilização de ar comprimido requer a instalação de uma rede complexa de distribuição tal qual a elétrica e equipamentos que garantam a qualidade do ar de instrumentação.

A figura a seguir apresenta um sistema de geração de ar comprimido genérico.

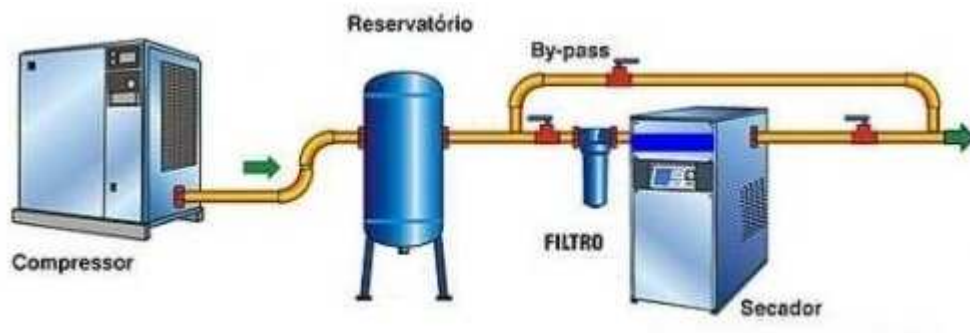


Figura 7: Sistema de geração de ar comprimido.

Secadores de ar têm a função de remover a umidade do ar ambiente para que esta não chegue aos equipamentos de acionamento pneumático comprometendo a lubrificação ou sendo condensada nos reguladores de pressão próximos aos equipamentos. A filtragem, em geral, é feita antes e depois da secagem. Os reservatórios, ou pulmões de ar, têm a finalidade de reduzir oscilações de pressão durante o consumo como um *buffer* além de remover a umidade residual do ar comprimido. Um reservatório corretamente dimensionado possui de 6 a 10 vezes a capacidade do compressor por segundo.

Próximo aos pontos de consumo, são instalados reguladores de pressão para que a pressão seja adequada aos equipamentos e junto a estes, quando necessário, uma unidade de

² Acionamentos hidráulicos são preferenciais onde é exigido grande esforço, entretanto não é um acionamento rápido.

condicionamento (lubrificar) com função de lubrificação para as partes mecânicas dos componentes.

No caso da indústria analisada neste trabalho, são utilizados compressores de parafuso para o fornecimento de ar comprimido, com pressão em torno de 7 bar, para acionamentos e instrumentação e compressores de lóbulos (compressores ROOTS) e compressores centrífugos utilizados para movimentação de grandes volumes de gás em baixa pressão utilizados nos processos.

A Figura 8 apresenta o perfil de consumo de energia elétrica de um sistema de ar comprimido segundo o manual de eficiência energética de 2006 da SMC.

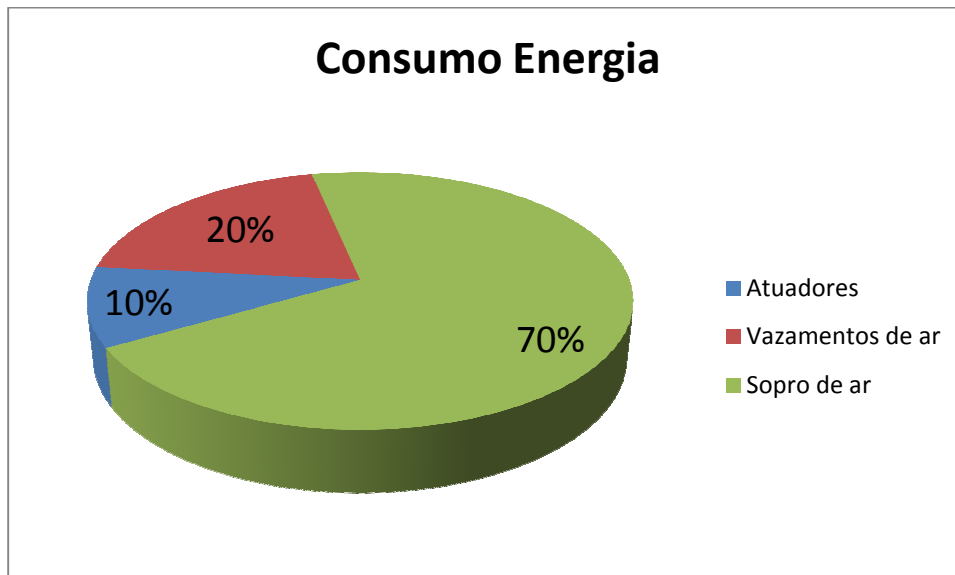


Figura 8: Consumo de energia em sistemas de ar comprimido.

A partir desse perfil pode-se perceber que o maior consumo, e conseqüentemente a maior oportunidade de economia, está na geração do ar comprimido, entretanto essa também é a parte cujas alterações são mais dispendiosas. Os atuadores oferecem pouca oportunidade devido ao seu alto custo e baixo potencial de economia. Na questão de vazamentos, segundo fabricantes de equipamentos pneumáticos, 5% de perdas por vazamentos é considerado um número bom para uma rede bem dimensionada, dessa forma restam 15% nos quais pode-se atuar com medidas simples e baratas como rotinas de remoção de vazamentos.

4 ANÁLISE DE PERDAS

Neste capítulo serão analisadas as oportunidades de economia de energia na unidade de Gravataí da FitesaFiberweb. Para tal, um conhecimento básico do produto e do processo produtivo se faz necessário sendo apresentado a seguir para que então sejam analisados os casos específicos relativos à eficiência energética.

4.1 O NÃO TECIDO E SEU PROCESSO PRODUTIVO

O não tecido é um produto da combinação de processos produtivos de papel, tecido e plástico, com custo de produção inferior. Enquanto o tecido é tramado em uma estrutura produzida pelo entrelaçamento de fibras de forma que os fios formam 90° entre si, o não tecido consiste basicamente em um conjunto grande de filamentos plásticos dispostos aleatoriamente sobre um coletor (esteira) e soldados uns sobre os outros por processos que podem ser mecânicos, térmicos ou químicos.

A figura nove apresenta a estrutura microscópica dos materiais:

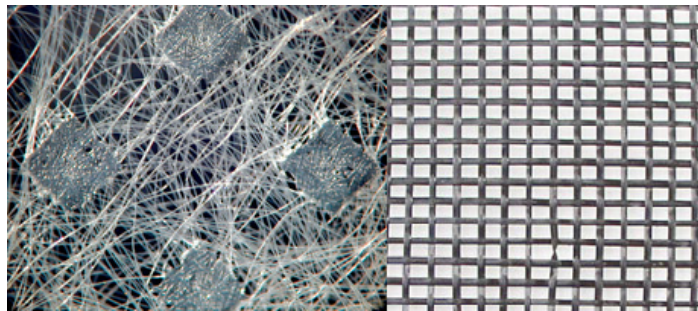


Figura 9: Esquerda: não tecido. Direita: tecido.

A unidade de Gravataí produz até então dois tipos de não tecido: o spunbonded e o meltblow. Embora os processos produtivos difiram entre si em alguns pontos, a explicação da fabricação do spunbonded, que é uma variedade de não tecido produzido com gramaturas de 10-200 g/m² com filamentos plásticos de 15 a 35 µm tipicamente, deixa claro os equipamentos e processos envolvidos (a principal diferença no processo produtivo do

meltblow é que, além do ar frio, é utilizado ar quente na fiação e que tal material pode ou não ser calandrado).

O processo começa com o transporte do polímero (polipropileno no caso da Fitesa) do silo de armazenamento até a unidade dosadora, seguindo para ser extrusado junto com tonalizantes. Depois de derretido e extrusado, o material é filtrado e passa por uma bomba de engrenagem para ser pressurizado seguindo para as matrizes que são responsáveis pela transformação do fluido em filamentos. Na saída da matriz as impurezas e monômeros ainda presentes na composição do plástico são removidos na forma de gás e os filamentos são solidificados por ar refrigerado sendo então alongados nas cabines de fiação, que definem o diâmetro do filamento em função da velocidade do ar de processo. A seguir os filamentos são lançados aleatoriamente sobre um coletor (esteira). A aleatoriedade da disposição dos filamentos obtida a partir da turbulência formada pelo ar responsável pelo estiramento dos filamentos na porção inferior da cabine.

A esteira conta com vácuo abaixo da cabine garantido que os filamentos fiquem juntos a ela até passarem por rolos pressores (preenchidos por fluido aquecido), sendo estes responsáveis pela solda dos filamentos. A manta então segue para a calandra onde é aplicada a textura ao material por aquecimento e pressão sendo depois arrefecida. Na seqüência são aplicadas soluções que garantem algumas características à manta e posterior secagem feita pelo sistema de tambor perfurado. De forma a garantir a qualidade do produto, após seca a manta passa por um sistema inspeção de falhas sendo então enrolada em rolos genéricos.

Os rolos são então desenrolados e cortados conforme o pedido do cliente.

A Figura 10 mostra um esquema genérico do processo produtivo do spunbonded.

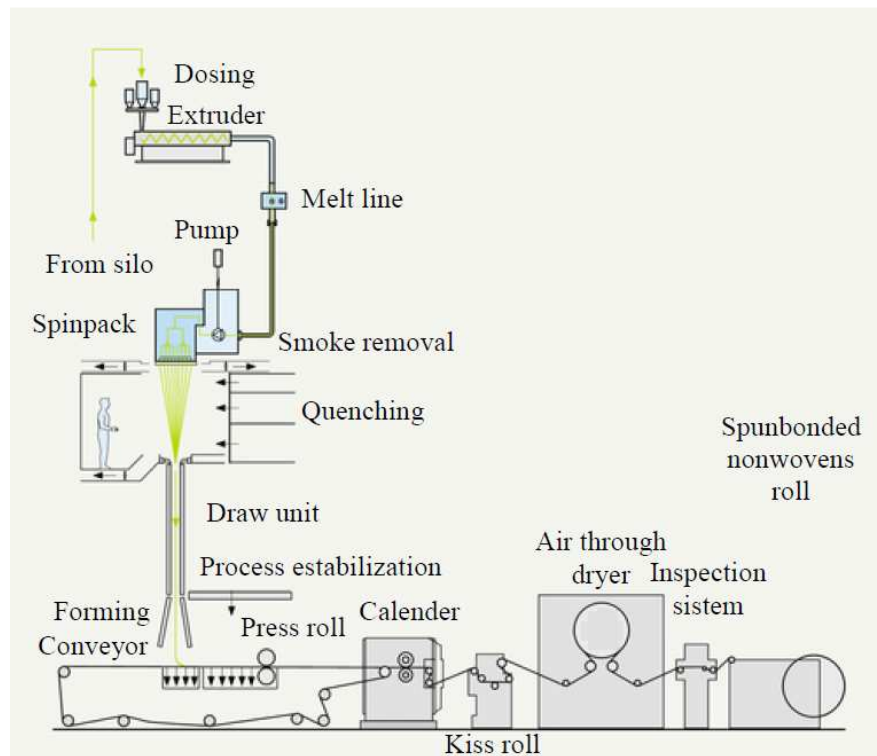


Figura 10: Processo produtivo do spunbonded.

4.2 PERDAS TÉRMICAS EM TUBULAÇÃO DE AR

Conforme apresentado anteriormente, a fabricação de *meltblow* utiliza ar quente em seu processo. O ar é fornecido por um compressor de lóbulos acionado por um motor de 200HP localizado em uma sala adjacente. O ar sai do compressor à uma temperatura média de 75°C e chega ao processo por uma tubulação de cerca de 32m de comprimento e 280mm de diâmetro para então ser aquecido até a temperatura necessária no processo por um aquecedor elétrico de duto.

Uma vez que o processo de compressão de ar intrinsecamente já fornece um aumento de temperatura para o ar, é de interesse que essa energia não seja perdida até o sistema aquecimento próximo à utilização pois a energia térmica obrigatoriamente ganha na compressão do ar reverte-se em economia para o aquecedor de duto. Para tal é necessário que o ar chegue do compressor ao aquecedor – através dos 32 metros – com a menor perda térmica possível.

Para esse aproveitamento de energia toda a tubulação foi isolada termicamente com lã de rocha e revestimento de alumínio liso no início do presente ano. O Quadro 3 apresenta as perdas térmicas antes e depois da instalação do isolamento.

Variável	Unidade	Sem isolamento térmico	Com isolamento térmico	Diferença	Redução
T ambiente	°C	23,00	23,00	-	-
T tubulação	°C	70,00	29,00	41,00	59%
Delta T	°C	47,00	6,00	41,00	87%
Metros	m	32,00	32,00	-	-
Diâmetro	m	0,28	0,28	-	-
Contato metálico X	m	0,00	0,00	-	-
Contato metálico Y	m	0,00	0,00	-	-
Multiplicador	#	0,00	0,00	-	-
Contato metálico total	m ²	0,00	0,00	-	-
Condutividade do material	W/(m ² .°C)	0,00	0,00	-	-
Superfície de contato	m ²	56,30	56,30	-	-
Perdas Condução Ar	W	79,38	10,13	69,25	87%
Perdas Condução Aço	W	0,00	0,00	-	-
Alpha Convecção	W/(m ² .°C)	4,72	2,82	1,90	40%
Perdas Convecção	W	12476,48	952,05	11524,43	92%
Stefan-Boltzman	#	5,67	5,67	-	-
Fs	#	1,00	1,00	-	-
Fe	#	0,23	0,05	0,18	78%
Perdas Radiação	W	16,31	0,66	15,65	96%
Potência Total Perdida	KW	12,57	0,96	11,61	92%
Tempo de utilização	h	586,00	586,00	-	-
Energia perdida por mês	KWh	7367,29	564,22	6803,07	92%
Custo do KWh	R\$	0,24	0,24	-	-
Custo	R\$	R\$ 1.768,15	R\$ 135,41	R\$ 1.632,74	92%

Quadro 3: Comparativo de perdas em tubulação antes e depois de instalação de isolamento térmico.

Conforme o Quadro 3, a economia é de R\$ 1.632,41 por mês e, considerando-se que o investimento foi de R\$ 5.800,00, tem-se um tempo de retorno de pouco mais de 3 meses e meio.

A Figura 11 apresenta o compressor, a tubulação em questão com e sem isolamentos além da instalação em andamento.



Figura 11: a) Compressor Aerzen; b) Tubulação sem isolamento; c) Instalação dos isolamentos; d) Tubulação isolada.

4.3 PERDAS TÉRMICAS EM TROCA TELAS

O processo de filtragem do polímero que ocorre após a extrusão é feito por equipamentos chamados troca telas. São equipamentos semi-automáticos que consistem em um bloco de aço aquecido com dois cilindros de acionamento hidráulico. Cada cilindro possui uma abertura transversal onde é instalada a tela filtro, assim, quando um dos filtros satura, o cilindro com um filtro novo é inserido e o cilindro com o filtro saturado é retirado do sistema para que a tela filtro seja substituída. A Figura 12 apresenta um equipamento bastante próximo dos encontrados nas fábricas.

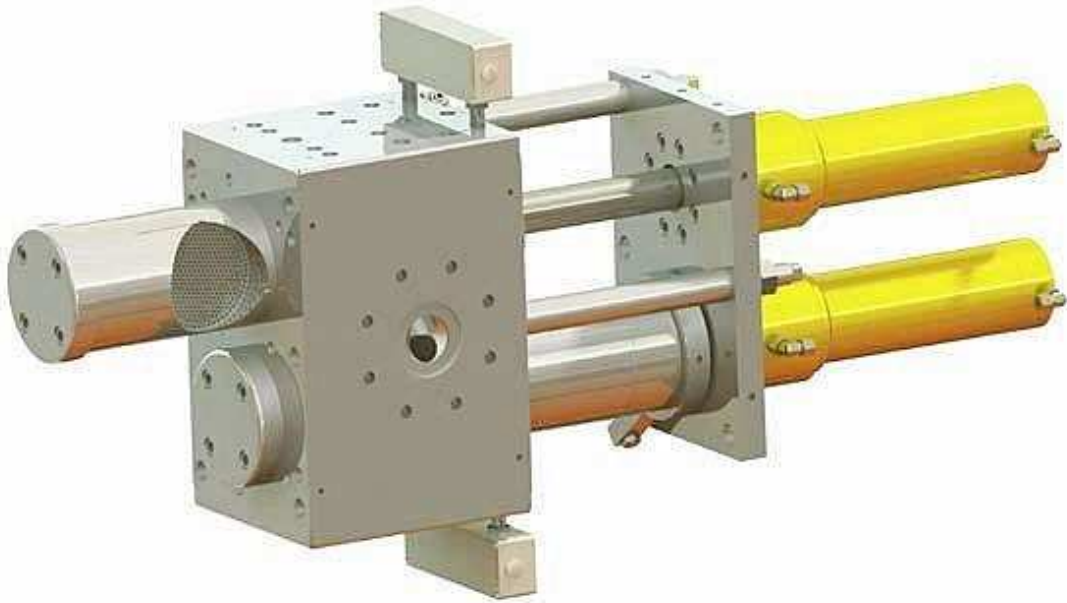


Figura 12: Troca telas hidráulico.

Os troca telas estão presentes sempre após as extrusora e, dessa forma, encontra-se um deles em cada cabeça de extrusão de todas as linhas de produção. Para o fim de análise das perdas serão analisados os troca telas das linhas RS6 e RS7 por serem idênticos e em grande número – cinco na RS6 e três na RS7.

Por trabalhar após a extrusão, onde a matéria prima já esta aquecida, os troca telas são aquecidos por conjuntos resistivos, trabalhando a temperaturas bastante elevadas. Apesar de operarem próximos às extrusoras em uma das regiões mais quentes da fábrica³, o que diminui o gradiente térmico, tais equipamentos não possuem qualquer tipo de isolamento térmico além de fixados diretamente sobre placas de aço na estrutura da máquina.

Na imagem térmica do bloco principal da Figura 13, obtida a partir de um termógrafo Flir ThermaCAM B2, pode-se ver que a temperatura máxima chega à 274°C em alguns pontos do bloco.

³ As extrusoras não possuem isolamento térmico por questões de projeto uma vez que tais isolamentos dificultariam o processo de controle da temperatura.



Figura 13: Toca telas a esquerda e sua imagem térmica a direita.

O bloco apresenta 450mm x 400mm de base por 550mm de altura e dois cilindros de 200mm de diâmetro e 400mm de comprimento. Os quadros a seguir apresentam os cálculos aproximados das perdas térmicas devido à falta de isolamento para o cilindro que fica externo ao bloco e o bloco respectivamente.

Variável	Unidade	Cilindro
T ambiente	°C	40,00
T tubulação	°C	270,00
Delta T	°C	230,00
Metros	M	0,40
Diâmetro	M	0,20
Condutividade do material	W/(m ² .°C)	52,90
Superfície	m ²	0,50
Perdas Condução Ar	W	3,47
Alpha Convecção	W/(m ² .°C)	7,63
Perdas Convecção	W	881,95
Stefan-Boltzman	#	5,67
Fs	#	1,00
Fe	#	0,74
Perdas Radiação	W	1,03
Potência Total Perdida	KW	0,89
Tempo total (5% DT)	H	684,00
Energia total perdida por cilindro	KWh	606,33
Custo do KWh	R\$	R\$ 0,24
Número de cilindros	#	2,00
Custo	R\$	R\$ 291,04

Quadro 4: Perdas no cilindro do troca telas.

Variável	Unidade	Superfície inferior	Superfície superior	Superfície lateral menor	Superfície lateral maior
T ambiente	°C	40,00	40,00	40,00	40,00
T Placa	°C	270,00	270,00	270,00	270,00
Delta T	°C	230,00	230,00	230,00	230,00
Dimensão X	M	0,45	0,45	0,40	0,45
Dimensão Y	M	0,40	0,40	0,55	0,55
Multiplicador	#	1,00	1,00	2,00	2,00
Superfície	m ²	0,18	0,18	0,44	0,50
Condutividade do material	W/(m ² .°C)	52,90	0,03	0,03	0,03
Perdas Condução	W	2190,06	1,24	3,04	3,42
Alpha Convecção	W/(m ² .°C)	0,00	9,70	6,89	6,89
Perdas Convecção	W	0,00	401,45	697,57	784,76
Stefan-Boltzman	#	5,67	5,67	5,67	5,67
Fs	#	0,00	1,00	1,00	1,00
Fe	#	0,74	0,74	0,74	0,74
Perdas Radiação	W	0,00	0,37	0,90	1,01
Potência Total Perdida	KW	2,19	0,40	0,70	0,79
Tempo total (5% DT)	H	684,00	684,00	684,00	684,00
Energia total perdida	KWh	1498,00	275,69	479,83	539,81
Custo do KWh	R\$	R\$ 0,24	R\$ 0,24	R\$ 0,24	R\$ 0,24
Gasto mensal com perdas por superfície	R\$	R\$ 359,52	R\$ 66,17	R\$ 115,16	R\$ 129,55
Gasto total mensal com perdas	R\$	R\$ 670,40			

Quadro 5: Perdas no bloco do troca telas.

Dessa forma gasta-se por mês aproximadamente R\$ 961,00 com perdas térmicas em cada um dos 8 troca telas das RS6 e RS7. Utilizando-se a proposta de um isolamento térmico no topo, laterais maiores (as menores possuem partes móveis) e entre o bloco e a estrutura da máquina com uma eficiência global considerada de 40% e com valor estimado de R\$ 2020,00, as perdas se reduzem à aproximadamente R\$ 740,00 mensais. Dessa forma são economizados R\$ 221,00 por mês tendo o investimento, portanto, um tempo de retorno de pouco mais de 10 meses.

Considerando os 6 equipamentos que são de uso contínuo, a redução é de R\$ 1326,00 mensais. A economia é ainda maior quando considerados os outros dois equipamentos que não são de uso contínuo.

4.4 PERDAS TÉRMICAS EM REFRIGERAÇÃO DE AR

Conforme discutido na seção 4.1 a resfriamento (*quenching*) e consequente solidificação dos filamentos, além do estiramento dos filamentos ocorrem por meio ar refrigerado. A vazão necessária do ar é obtida por meio de ventiladores e a temperatura do ar para o processo é atingida por meio da troca térmica água/ar por trocadores de calor tipo *fan coil* alimentados com água gelada fornecida por *chillers*.

Da mesma forma que na seção 4.2, a energia despendida pelo processo será tão menor quanto menor for a temperatura inicial do ar. Todas as linhas possuem duas admissões de ar e um sistema automatizado que monitora qual das duas admissões é energeticamente mais econômica para o processo, entretanto na linha RS4 tal sistema está inoperante há algum tempo.

O sistema de admissão de ar da RS4 possui um ponto interno ao prédio e outro externo, conforme Figura 14, sendo sensível que o ar externo é bastante mais frio que o interno dados os processos térmicos dentro da edificação. Dessa forma fica evidente que a admissão externa é a escolha mais adequada. Porém quando foram desenvolvidos estudos relacionados à alterações do sistema de refrigeração das linhas da Não Tecidos (NT⁴) foi constatado que a admissão de ar corrente do *fan coil* era aquela interna ao prédio.

⁴ Não Tecidos é, além do produto, a designação do pavilhão fabril que abriga as linhas RS1, RS2, RS3 e RS4.



Figura 14: Esquerda: *Fan coil* com sua admissão de ar externa. Direita: Admissão de ar interna.

Para fim de cálculos, medições diurnas apresentaram diferença entre a temperatura interna e externa ao pavilhão igual 6 °C. A vazão nominal do equipamento é de 28450 CFM (pés cúbicos por minuto) ou 13,43 m³/s, entretanto o equipamento é utilizado com cerca de metade da capacidade nominal durante o processo, apresentando uma vazão média de 6,71 m³/s. Além disso, as variáveis físicas envolvidas são a densidade do ar que pode ser considerada 1,225 kg/m³ além de seu calor específico de 0,24 cal/g.°C (1004,64 J/kg.°C)

$$P = 1,225 \cdot 6,71 \cdot 1004,64 \cdot 6 = 49,55 \text{ kW}$$

O que, multiplicado pelo número médio de horas operacionais e o valor do kWh, resulta em:

$$U = 33.890,38 \text{ kWh}$$

Ou seja, tem-se uma redução de custo mensal devido à perdas de aproximadamente R\$ 8.134,00 (considerando-se 0,24 R\$/kWh) unicamente alterando-se o ponto de admissão de ar. Ainda, as medições de temperatura ocorreram durante o dia, enquanto a temperatura externa é maior, no caso de operação noturna a economia é ainda maior dada a maior diferença de temperaturas.

Por fim é necessário chamar a atenção para o investimento de tal modificação, algumas horas de estudo analisando o equipamento e requisitos do processo.

4.5 CONVERSÃO DE AQUECEDORES ELÉTRICOS PARA GÁS NATURAL

A última oportunidade de melhoria vinculada à processos térmicos consiste na comparação dos atuais aquecedores de duto para ar da RS4 (aquele em série com a tubulação da Seção 4.2) e da RS3 que são elétricos para gás natural como os da RS6. Uma vez que este projeto está sendo iniciado e não existem fornecedores nem cotações para implementação da alteração essa análise é restrita à comparação dos energéticos envolvidos.

As cabeças de *melt* das linhas RS3 e RS4 utilizam ar ambiente que deve ser aquecido a cerca de 270 °C para o processo. Para isso, cada uma das linhas conta com um aquecedor elétrico de duto de 350 kW.

Para análise dos energéticos puramente pode-se analisar o processo por uma hora (até mesmo porque os aquecedores não funcionam tempo integral vista a diversidade de produtos). Considerando uma hora de operação com aquecimento elétrico são consumidos os 350 kW a um custo de R\$ 0,24 por kW resultando em R\$ 84,00. O gás natural por sua vez, custa aproximadamente R\$ 92 por MWh, portanto, R\$ 0,092 por kWh. Dessa forma os 350kW obtidos a partir de gás custam R\$ 32,20, ou seja, uma redução de 61,6%⁵.

Considerando que as linhas produzem *meltblow* por cerca de 40% do tempo, a economia é de R\$ 181.507,20 anualmente em cada uma das linhas produtivas, aproximadamente R\$ 363.000,00 no total.

4.6 MODIFICAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO

De acordo com o perfil de consumo de energia por parte dos sistemas de ar comprimido exposto na seção 3.3, a maior oportunidade de redução da utilização de energia vinculada à sistemas de ar está na geração.

⁵ Não são levadas em conta eficiências porque nas duas formas de conversão a energia é plenamente utilizada no processo e as perdas também são iguais para ambas.

Iniciativas voltadas à economia na geração de ar comprimido estão estritamente ligadas à alterações dos equipamentos geradores, assim acabam por tornar-se menos viáveis tais substituições uma vez que os valores envolvidos são maiores.

Entretanto, no caso da presente análise, um fator é determinante na viabilidade da proposta de modernização do sistema de geração de ar comprimido da NT: a expansão da fábrica devido à adição de uma nova linha fabril.

Inicialmente, com a instalação de uma nova linha (RS8) junto ao prédio da NT, a idéia consistia na instalação de um sistema de ar comprimido independente para nova linha. Porém a proposta de criação de um sistema central de geração de ar comprimido para a NT é bastante promissora devido à instalação de novos equipamentos (mais eficientes) e redução de custos de manutenção devido à desativação de dois compressores antigos e do período de garantia dos compressores novos.

Atualmente a NT abriga quatro linhas com consumo médio de 312 CFM, sendo 342 CFM o consumo de pico, alimentados por 4 compressores, três GA510 e um GA22. A RS8 adiciona uma demanda média de 39,1 CFM e 220,8 CFM de pico ao sistema atual. Dessa forma dois cenários se estabelecem para o comparativo.

- 1) Sistema descentralizado: manutenção dos compressores da NT e aquisição de dois compressores novos para a RS8, um GA37 VSD e um GA37+.
- 2) Sistema centralizado: desativação de dois compressores GA510 e aquisição de dois compressores, um GA55 VSD e um GA55+, consolidando a central.

Para verificação da melhor opção são analisados primeiramente os gastos anuais com energia levando-se em conta o perfil de operação dos compressores envolvidos em cada um dos casos. O Quadro 6 apresenta os gastos em cada um dos cenários.

Cenário 1 - Sistema independente		Cenário 2 - Sistema centralizado	
Premissas Energia		Premissas Energia	
C1 = GA 37+		C1 = GA 55+	
% Carga	50%	% Carga	100%
% Alívio	50%	% Alívio	0%
kW carga (com secador)	41,5	kW carga (com secador)	61,9
kW alívio	14,9	kW alívio	21,7
fator de utilização	1%	fator de utilização	100%
kW médio	0,3	kW médio	61,9
C2 = GA 37 VSD		C2 = GA 55 VSD	
% Carga	20%	% Carga	10%
% Alívio	80%	% Alívio	90%
kW carga (com secador)	44,9	kW carga (com secador)	66,4
kW alívio	6,7	kW alívio	6,6
fator de utilização	100%	fator de utilização	100%
kW médio	14,4	kW médio	12,6
C3 = GA 22		C3 = GA 22	
% Carga	0%	% Carga	0%
% Alívio	100%	% Alívio	100%
kW carga (com secador)	25,2	kW carga (com secador)	25,2
kW alívio	10,1	kW alívio	10,1
fator de utilização	0%	fator de utilização	0%
kW médio	0,0	kW médio	0,0
C4 = GA 510		C4 = GA 510	
% Carga	0%	% Carga	0%
% Alívio	100%	% Alívio	100%
kW carga (com secador)	57,7	kW carga (com secador)	57,7
kW alívio	26,0	kW alívio	26,0
fator de utilização	0%	fator de utilização	0%
kW médio	0,0	kW médio	0,0
C5 = GA 510			
% Carga	100%		
% Alívio	0%		
kW carga (com secador)	57,7		
kW alívio	26,0		
fator de utilização	100%		
kW médio	57,7		
C6 = GA 510			
% Carga	85%		
% Alívio	15%		
kW carga (com secador)	57,7		
kW alívio	26,0		
fator de utilização	98%		
kW médio	51,9		
kW médio consolidado	127,3	kW médio consolidado	76,4
Custo monômio marginal médio	240	Custo monômio marginal médio	240
Total anual [R\$]	267.661	Total anual [R\$]	160.548

Quadro 6: Comparativo dos dois cenários em relação a gastos com energia elétrica.

Avaliando-se ainda gastos com manutenção e investimentos para implantação e alterações do sistema atual, o comparativo final entre os dois cenários é mostrado no Quadro 7.

DESPESAS ANUAIS	Cen. 1	Cen. 2	Diferença
Energia [kW méd.]	127,3	76,4	-50,9
Energia [R\$]	267.661	160.548	-107.112
Manut. - p+c [R\$]	18.250	12.000	-6.250
Manut. - mo [R\$]	36.200	22.450	-13.750
Total [R\$]	322.111	194.998	-127.112

INVESTIMENTOS ADIC.	Cen. 1	Cen. 2	Diferença
Compra equip. [R\$]	136.000	181.000	45.000
Venda equip. [R\$]		-9.700	-9.700
Tubulação até AQL [R\$]		23.900	23.900
Diferença montagem [R\$]		25.000	25.000
Total [R\$]	136.000	220.200	84.200

Quadro 7: Comparativo de custos entre os dois cenários.

Assim, o tempo de retorno dos R\$ 84.200,00 investidos a mais para o estabelecimento da central de geração de ar comprimido em relação ao sistema descentralizado é de aproximadamente 7,9 meses graças aos R\$ 127.112,00 anuais gastos a mais com manutenção e energia na central descentralizada.

4.7 REDUÇÃO DE CUSTOS COM AR COMPRIMIDO COM BOAS PRÁTICAS

Aqui são apresentadas duas situações que contribuem na redução de perdas em sistemas de ar comprimido que não demandam investimentos. Consistem em verificações da situação operacional do sistema de geração e integridade dos painéis pneumáticos próximos aos pontos de consumo.

Os estudos para determinação do comparativo entre os dois cenários da seção 4,6 incluíram medições de consumo de ar por parte das linhas da NT e energia consumida pelos compressores por uma semana.

Conforme já citado, o sistema de geração de ar comprimido da NT com três compressores GA510 e um compressor GA22. Como nenhum desses compressores é VSD⁶, o sistema que gerencia a atividade dos compressores possui um algoritmo responsável pela seleção do compressor em atividade levando em conta a demanda e tempo de operação dos compressores⁷. Entretanto cada um dos compressores possui chaves seletoras manuais que são prioritárias em relação ao algoritmo.

Durante os 10 dias de medição, além dos dados, foi constatado que um dos compressores GA510 esteve ligado em alívio durante toda a medição devido ao controle manual do compressor estar na posição alívio. O Quadro 8 apresenta algumas características dos compressores da NT.

Modelo	Motor [kW]	Capacidade (CFM)	kW/CFM	kW em carga	kW em alívio
GA 510	50	178,0	0,281	57,7	26,0
GA22-125AP	22	106,5	0,207	25,0	10,0

Quadro 8: Características elétricas dos compressores atuais da NT.

Dessa forma, durante os 10 dias de medição houve um gasto desnecessário de R\$ 1.497,60, porém não sabe-se quanto tempo o compressor ficou em alívio sendo então ainda maior o gasto. Tal fato ocorreu devido à falta de verificação rotineira do sistema. Um sistema de verificação diária foi implantado por meio da técnica de manutenção autônoma, ficando o técnico de utilidades responsável verificação diária do sistema.

A Figura 15 apresenta a instrução de trabalho (IT) com a inclusão da rotina de verificação.

⁶ VSD é a sigla que designa Variable Speed Drive, ou, em tradução literal, acionamento de velocidade variável. Tais compressores têm o motor que aciona o impelidor comandado por inversor de frequência permitindo um controle na geração de ar comprimido e também no consumo energético.

⁷ Alguns dos compressores são preferencialmente utilizados para forçar o desgaste de seus componentes favorecendo assim a possibilidade de falha em equipamentos específicos enquanto os outros sofrem menos desgaste de forma que a probabilidade de falha simultânea e consequente parada das linhas é minimizada.

		Instrução de trabalho IT-UTI-MA-UE0067			
Instruções de Trabalho		Manutenção Enxuta		Página 1	Total 1
Unidade:	Utilidades DE	Máquina:	R54	Utilidades	
Conjunto:	Compressores de Ar – R54	Especificação:		Número:	NA
Segurança	Utilizar protetor auricular e óculos de proteção.			APP:	NA
Ferramentas necessárias:	NA				

Ponto	Componente	Método	Critério	Ação	Frequência	Ferramenta	Tempo (min)
1	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1
2	Compressores	Autônoma	Visual	Verificar	Diária	NA	1

Peças para troca e/ou comentários:	
Ponto:	Especificação da peça
1	Verificar se os compressores estão ligados (led vermelho e verde ligados). Apenas 2 compressores devem estar ligados, caso 3 estejam ligados a manutenção deverá ser notificada.
2	Verificar se a posição da chave encontra-se em CARGA. Caso a chave encontre-se em outra posição, notificar imediatamente à manutenção.
Obs.	Caso haja a verificação de problemas que não possam ser solucionados durante a Manutenção Autônoma deverá ser aberto imediatamente um Cartão de Anomalia.

Atividade:	Elaboração	Aprovador:	Revisor:	Revisão:
Nome:	Nelson Marquesin Junior	Clayton Dias		
Data:	12/04/2011	14/04/2011		

Figura 15: Instrução de trabalho que inclui verificação de perfil de operação do sistema de ar comprimido da NT.

Além disso, de forma a reduzir perdas próximas ao consumo, foram implementadas rotinas trimestrais de verificação de painéis pneumáticos nas paradas de manutenção preventiva. Tais rotinas consistem em uma busca simples baseada em sinais sonoros (ruído) ou visuais (acúmulo de sujeira) dos vazamentos.

4.8 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO: VENTILADOR DOS TAMBORES SECADORES

É comum na indústria que motores fiquem ligados sem necessidade. Isso também corre na unidade de Gravataí da FitesaFiberweb. O primeiro caso apresentado é dos ventiladores dos tambores secadores.

Determinados produtos requerem características especiais como hidrofília ou resistência à raios UV e para tal é necessária a aplicação de substâncias que garantam à manta

tais características. As aplicações são feitas após a manta ser calandrada por equipamentos que embebem a manta com o produto desejado, entretanto pela aplicação ser líquida é necessário a secagem do material após a aplicação de modo a se evitar o ataque de fungos devido à umidade do produto.

A secagem é feita pelo sistema de tambor perfurado (tambor secador), um processo que consiste em uma câmara fechada com um queimador a gás e um tambor perfurado com um ventilador em uma das extremidades responsável pela sucção do ar aquecido através da manta efetuando a secagem.

A Figura 16 apresenta o princípio de funcionamento e a estrutura de um tambor secador Trützschler-Fleissner.

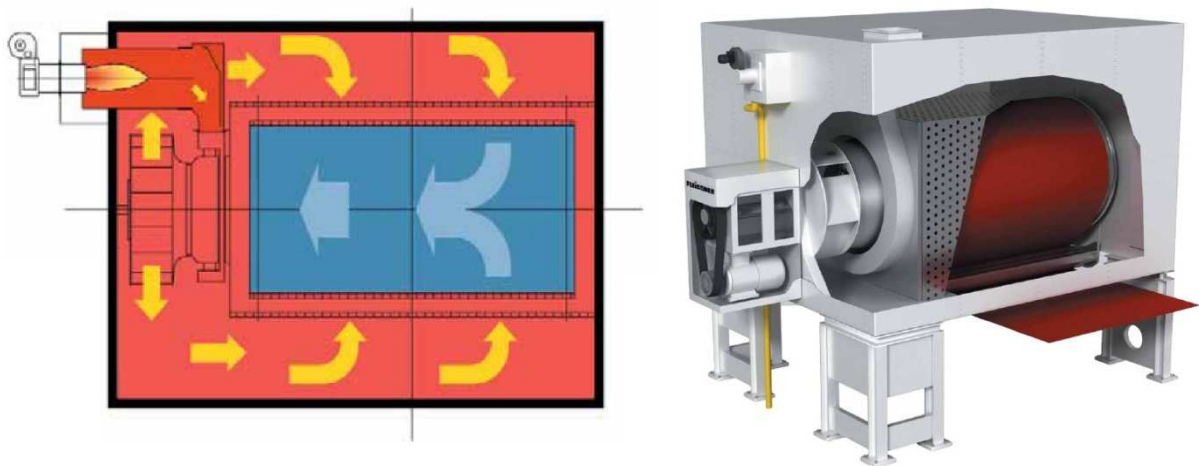


Figura 16: Princípio de funcionamento do sistema de secagem por tambor perfurado a esquerda e estrutura interna do equipamento à direita, Trützschler - Fleissner

No caso das RS1 e RS2 a produção de material com aplicação restringe-se a cerca de 25% do tempo, E esta é a oportunidade de economia de energia uma vez que o maior consumo de energia elétrica no processo de secagem é proveniente do acionamento do ventilador do tambor, um motor de 30 kW, que fica ligado independente de estar havendo ou não aplicação. Tal fato ocorre porque a aplicação acumula-se dentro do equipamento sujando o produto final quando não existe aplicação e o ventilador está desligado.

Considerando que o ventilador poderia ficar desligado por 75% do tempo, a economia mensal chega à R\$ 3.888,00. Entretanto para tal é necessário efetuar limpezas periódicas no equipamento. Atualmente a limpeza é feita a cada 6 meses de operação sendo o custo, devido à necessidade de contratação de uma equipe de limpeza com certificação em trabalhos em ambiente confinado, é de R\$ 2.200,00.

A possibilidade de operação com o ventilador desligado está sendo avaliada, entretanto mesmo efetuando-se a limpeza do equipamento a cada três meses, o que aumentaria a possibilidade de operação sem ventilador, ter-se-ia uma economia de R\$ 11.664,00 e um custo de R\$ 2.200,00 trimestralmente, sendo, portanto, a economia anual considerando as duas linhas produtivas é de R\$ 75.712,00.

4.9 MOTORES ELÉTRICOS COM POSSIBILIDADE DE DESLIGAMENTO: COMPRESSORES CENTRÍFUGOS

Nas linhas de produção RS1 e RS2 o ar de processo é gerado a partir de compressores centrífugos Centac da Ingersoll Rand. No caso da RS1, apenas o compressor, acionado por um motor de 450 HP, responde por 40% do consumo de energia elétrica da linha.

Aqui a oportunidade encontra-se no fato de que em paradas longas de máquina com o as de manutenção preventiva, que costumam durar entre 8 e 10 horas, os compressores não são desligados. A Figura 17 apresenta o compressor Centac da RS1 e seu painel de controle durante uma parada de máquina.



Figura 17: Compressor Centac da Ingersoll Rand à esquerda e painel seu de controle à direita.

Com o dado de corrente do painel pode-se calcular a potência que o compressor permanece consumindo mesmo com a linha parada, cerca de 192 kVA.

Considerando as paradas de manutenção preventiva mensais na RS1 de, em média, 9 horas, tem-se um gasto desnecessário de R\$ 414,72 mensais.

4.10 MOTORES SUPERDIMENSIONADOS

Embora o superdimensionamento de motores seja comum na indústria, essa condição não possui fácil diagnóstico no caso da FitesaFiberwer. Isso ocorre porque embora sejam produzidos apenas dois tipos de produtos as características e, conseqüentemente, as variáveis de processo tem grande variação. Dessa forma são necessárias medições durante um intervalo que abranja todos os tipos de produção de modo que um motor específico não seja considerado mal dimensionado por ter sido amostrado em um momento em que ele não é muito exigido. Além disso, a grande maioria dos motores de maior potência e funcionamento contínuo são acionados por inversores de frequência que já promovem a operação em um ponto mais adequado ao motor por meio do controle da tensão e frequência.

Baseado nisso é notado que um estudo de dimensionamento de motores seria bastante complexo e dispendioso do ponto de vista de equipamentos, dados e mão de obra, além de demorado devido ao número de máquinas a se analisar.

Para fim de exemplificar alguns dimensionamentos inadequados da planta de Gravataí, pode-se citar os casos do compressor centrífugo da RS3 e dos insufladores da RS7.

- 1) Compressor da RS3: Para geração de ar de processo, a linha de produção conta com um compressor Ingersoll Rand Centac acionado por um motor Siemens de 350 HP (261,1 kW) que responde por 30-45% do consumo de energia da linha⁸. Tal compressor está superdimensionado de modo que durante a operação o equipamento é obrigado a liberar parte do ar para atmosfera pela válvula de alívio para não entrar em *surge*⁹ desperdiçando grande parte da energia. Algumas alternativas seriam o redimensionamento do equipamento como um todo (motor + compressor) ou então a substituição do compressor centrífugo por um compressor de lóbulos que é mais eficiente e necessita menor manutenção utilizando acionamento de velocidade variável (inversor de frequência). Essa melhoria não é de implementação tão simples dados os valores a serem investimentos.
- 2) Balanço de massa: A RS7 possui 15 ventiladores de insuflamento instalados no topo do pavilhão responsáveis pelo balanço de massa da edificação. Cada ventilador é acionado por um motor de 7,5CV e medições efetuadas no *star-up* da linha demonstraram um consumo de 44 + j95 kVA por parte desse sistema. Dessa forma esse é um ponto interessante para revisão do dimensionamento dos motores,

⁸ A RS3 é uma linha bastante menor que a RS1 e RS2, porém o sistema de aquecimento do ar de processo conta com um aquecedor de duto de 350 kW e mais dois aquecedores de óleo térmico de uso intermitente de 45 kW cada, esse é a única razão pela qual o consumo do compressor não é proporcionalmente maior.

⁹ Surge é uma condição que ocorre mais comumente em compressores centrífugos consistindo em turbilhamento do ar gerando vibrações e danificando o impelidor do equipamento causada pela variação brusca da pressão.

entretanto devido a características operacionais apenas um dos insufladores fica ligado o tempo todo, reduzindo a atratividade desse caso.

EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA NA FITESAAFIBERWEB UNIDADE DE GRAVATAÍ

A FitesaFiberweb, bem como o grupo Petropar, tem ciência da importância de ações voltadas a eficiência energética, tendo, portanto, inúmeras iniciativas voltadas à essa área. No caso da unidade de Gravataí as ações relacionadas à eficiência energética são desenvolvidas pela equipe de manutenção tendo pessoal capacitado e dedicado exclusivamente a projetos de redução do consumo uma vez que a empresa percebe que esse é um fator determinante na competitividade da empresa.

Vistos os esforços relacionados à racionalização do consumo energético, a unidade de Gravataí vem apresentando uma redução gradativa no uso de energia por kg produzido. A Figura 18 apresenta um gráfico relativizado – por questões estratégicas – da evolução da energia consumida por kg de produto de primeira produzido desde 2008.

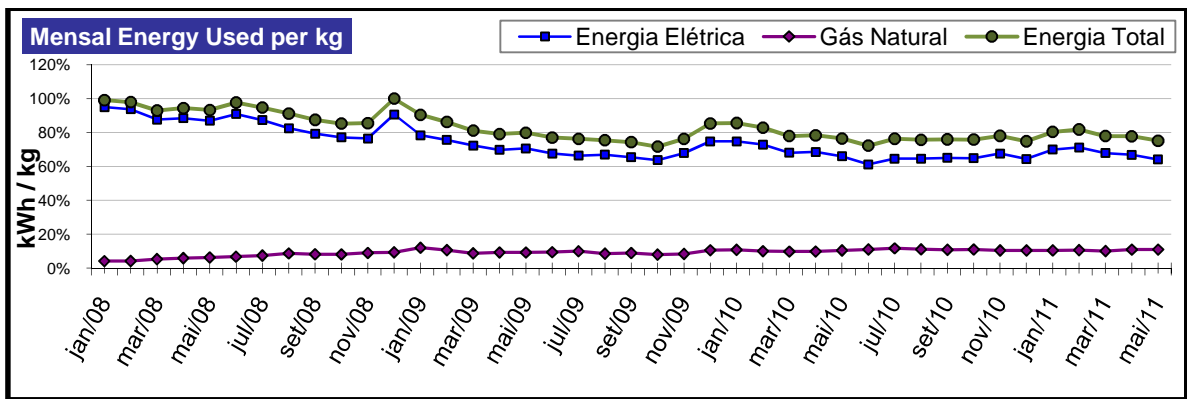


Figura 18: Evolutivo mensal de energia utilizada por kg produzido.

São perceptíveis os resultados das ações de efficientização do consumo que se refletem na tendência decrescente do gráfico, bem como a profunda influência da sazonalidade no consumo devido aos processos térmicos envolvidos.

5 CONCLUSÕES

A indústria é o maior consumidor de energia comprando direto dos geradores a preços mais acessíveis, o que acaba gerando menos interesse na racionalização do consumo. Entretanto essa é a área que apresenta não só o maior número de oportunidades como também as oportunidades que geram os maiores resultados devido aos elevados consumos envolvidos.

Da fundamentação teórica nota-se que, para os fins de uma quantização aproximada de perdas, como as efetuadas nesse trabalho, uma abordagem preciosista e aprofundada é desnecessária tendo em vista cálculos simples são suficientes para identificação de pontos onde as perdas são mais críticas. Isso se justifica pelo fato de que as oportunidades na área industrial são muitas sendo então a parte mais importante do estudo a identificação dessas oportunidades. Além disso, não foi objetivo do presente estudo uma modelagem complexa dos processos até mesmo porque esse tipo de abordagem iria contra o tema desse trabalho sendo um desperdício de energia analisar processos tão a fundo quando são tantas as oportunidades resultado sem necessidade de tal aprofundamento.

Das perdas analisadas nesse trabalho, as perdas em processos térmicos são as mais abundantes como já esperado desde o começo por se tratar de uma indústria de transformação de plásticos.

As perdas térmicas constituem o ponto mais crítico de perda de energia por suas próprias características físicas além de características de projeto (como em diversos pontos onde blocos aquecidos no processo de extrusão utilizam água gelada para solidificar o polímero promovendo vedações, como, por exemplo, em mancais, com a própria matéria prima) que não podem ser alteradas. Entretanto, ainda assim os processos térmicos são aqueles onde existem mais oportunidades de melhoria, seja pela simples instalação de isolamentos, restringindo o potencial térmico ao seu ponto de interesse, ou em processos não otimizados como no caso do seção 4.4. Além disso a energia elétrica é extremamente versátil

podendo ser convertida em quase qualquer tipo de energia, então porque utilizá-la para geração de calor? Para isso o gás é outro energético empregado na planta cuja única forma de energia para a qual ode ser convertido é para térmica, além de ser mais competitivo na geração de potencial térmico.

Ar comprimido resume-se à acionamento elétrico, portanto motores, entretanto trata-se de equipamentos que vem “fechados” do fabricante sendo a alteração do equipamento a única forma de otimização da geração. Em relação ao consumo existem oportunidades de economia atreladas principalmente à manutenção do sistema onde podem ser obtidos resultados relevantes com aplicação rotinas simples.

Em relação à motores elétricos a oportunidade mais favorável é a análise dos processos identificando motores ligados sem necessidade. Em relação ao mal dimensionamento de tais equipamentos, estudos mais completos devem ser desenvolvidos levando-se em conta as características produtivas, senão aqueles que são visivelmente, e portanto, mal dimensionados.

Por fim, a eficiência energética não é um tema para se analisar em um único estudo, deve ser um conjunto de análises a ser revistos constantemente. O dinamismo e as alterações em equipamentos, *layouts*, expansões, etc., requer que o processo de efficientização do consumo seja iterativo. Deve-se, inicialmente, identificar os pontos onde ocorrem perdas críticas, seguido de uma análise de viabilidade técnica das alterações para então quantizar as perdas de modo a se obter um resultado economicamente atrativo para o melhoramento e finalmente implementando as soluções propostas verificando, então, os resultados das alterações.

6 REFERÊNCIAS

- HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. São Paulo: Bookman, 2002. 686p.
- LEITE, Antonio Dias. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 528p.
- CAUBET, Christian G. **As Grandes Manobras de Itaipu**, São Paulo: Editora Acadêmica, 1991. 385p.
- WILBERG, Julius A. **Consumo Brasileiro de Energia**. Revista brasileira e energia elétrica, jan – mar. 1974.
- EPE, Consumo nacional de energia elétrica por classe 1995-2010. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 14 mai. 2011, 23:10:17.
- CONSELHO MUNDIAL DE ENERGIA – Comitê Nacional Brasileiro. **Estatística Brasileira de Energia**. N. 1, 1965.
- EPE, **Balanco Energético Nacional 2010 – BEM 2010**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2011, 17:21:32.
- SPEYER, Robert F. **Thermal Analysis of Materials**, Atlanta: CRC Press, 1994. 298p.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física Volume 2**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 228p.
- RIES, Walter. **Transformadores – fundamentos para o projeto e cálculos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 420p.
- Beaty, Robert F; Kirtley, James L. Jr.. **Electric Motor Handbook**, New York: Bookman, 1998. 400p.
- BORTONI, Edson da Costa, **Motor oversizing outlook**. In: PROCEEDING OF INTERNACIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES AND SYSTEMS, 2007, Seul. p. 1386-1388.
- Jurst, J. **Raising the standard for electric motor efficiency**, InTech, abril 2007, p 30-34.v