



FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE
SERGIPE FANESE
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANDREA CUNHA SANTOS

UTILIZAÇÃO DE PNEUS COMO COMBUSTÍVEL
ALTERNATIVO EM INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Aracaju – Sergipe
2006.2

ANDRÉA CUNHA SANTOS

UTILIZAÇÃO DE PNEUS COMO COMBUSTÍVEL
ALTERNATIVO EM INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Engenharia de Produção da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe, em cumprimento às exigências e requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof: Dr. João Vicente Santiago do Nascimento

Coordenador: Profa. MSc. Helenice Leite Garcia

Aracaju – Sergipe
2006.2

ANDRÉA CUNHA SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE PNEUS COMO COMBUSTÍVEL
ALTERNATIVO EM INDÚSTRIA CIMENTEIRA**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para cumprimento do Estágio Curricular e elemento obrigatório para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Produção, no período de 2006.2.

Prof. Dr. João Vicente Santiago do Nascimento

Prof. Esp. Gracylenne Prata santos

Prof. MSc. Jefferson Arlen Freitas

Aprovado (a) com média: _____

Aracaju (SE), ____ de _____ de 2006.

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial à minha mãe, a minha avó Regina e minha tia Tania, por me estimularem e sempre me ajudarem em tudo para a realização de mais esta nova etapa da minha vida. Meus agradecimentos por terem aceitado se privar de minha companhia pelos estudos, concedendo a mim a oportunidade de me realizar ainda mais.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por guiar todos os meus passos e estar presente em todos os momentos, estendendo sua mão e confortando o coração.

A todos os professores que se empenharam ao máximo para transmitir seu conhecimento em todo esse tempo para minha formação, pelos ensinamentos e pela amizade. Ao professor João Vicente pelas orientações para elaboração deste trabalho.

A minha família, pelo apoio em toda minha vida acadêmica, em especial a minha mãe, minha avó Regina e minha tia Tânia por serem diretamente responsáveis por essa minha vitória na conquista da minha graduação. Ao meu amado André pela paciência e apoio dado a mim por todo esse tempo. Aos meus queridos amigos que conquistei nestes cinco anos de muito estudo, principalmente Jane, Glayde, Robson, Fábio, João, Chico, Mauro, Lucas, que alegraram e preencheram meus dias e noites de estudo.

*"Não há espelho que melhor reflita a imagem do homem do que suas palavras."
(LUÍS VIVES).*

RESUMO

A cada dia cresce a preocupação com o inadequado destino dos resíduos sólidos, devido às graves conseqüências que sua má destinação gera para a sociedade e o meio ambiente. O presente trabalho trata de uma alternativa para o destino final dos pneus, que traz benefícios à sociedade e ao meio ambiente, que é a utilização destes em fornos de fábricas de cimento.

Atualmente a questão ambiental é primordial para as empresas se manterem neste cenário competitivo, fortalecendo sua imagem para a sociedade. Diante deste cenário atual de grande necessidade de desenvolvimento sustentável e dos transtornos que o descarte inadequado de pneus gera ao meio ambiente, a utilização de pneus como combustível tornou-se uma ótima alternativa para diminuir o passivo ambiental gerado por este resíduo sólido, além de contribuir para a redução da utilização de recursos naturais não renováveis.

Através do acompanhamento de perto da implantação do coprocessamento de pneus e análise dos dados colhidos durante este acompanhamento verificou-se que a utilização de pneus como combustível alternativo em indústria cimenteira, reduz os malefícios causados pelo descarte inadequado dos pneus, além de ser uma alternativa para as indústrias cimenteiras para redução de custo, reduzindo a utilização dos combustíveis convencionais.

Palavras-chaves: coprocessamento, passivo ambiental, pneumáticos, clínquer, cimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Corte de um pneu radial de automóvel.	17
Figura 2: Plataforma de lançamento de pneus.	27
Figura 3: Fluxograma processo de alimentação de pneus.	28
Figura 4: Torre de ciclones	29
Figura 5: Tela de acompanhamento do forno	29
Figura 6: Opacímetro instalado na chaminé do forno.....	30
Figura 7: Analisador de gás instalado na chaminé do forno	30
Figura 8: Gráfico de produção anual de pneus no Brasil.....	31
Figura 9: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da América do Norte	34
Figura 10: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da Europa	34
Figura 11: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da América do Sul	35
Figura 12: Gráfico comparativo MS do clínquer com uso de pneus e com uso de coque.....	36
Figura 13: Gráfico comparativo SO ₃ do clínquer com uso de pneus e processo normal.....	37
Figura 14: Gráfico comparativo FSC do clínquer com uso de pneus e processo normal.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do carvão mineral	23
Tabela 2 – Principais características do coque	24
Tabela 3 – Geração anual de pneus inservíveis	32
Tabela 4 – Poder calorífico dos combustíveis de cimenteiras	33
Tabela 5 – Dados dos gráficos 12, 13 e 14, comparativos principais parâmetros de controle de qualidade e clínquer	38
Tabela 6 – Resultados de amostragens durante teste de queima – parâmetros ambientais.....	39
Tabela 7 – Comparativo parâmetros ambientais com e sem utilização de pneus	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação Resíduos Sólidos	15
--	-----------

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE QUADROS	X
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Caracterização da Empresa	13
1.2 Objetivo Geral.....	14
1.3 Objetivos Específicos.....	14
1.4 Justificativa.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Resíduos Sólidos	15
2.2. Pneus.....	16
2.2.1 Reforma (Recauchutagem)	18
2.2.2 Recuperação	18
2.2.3 Regeneração.....	18
2.2.4 Pirólise	19
2.3. Coprocessamento.....	19
2.4. Indústria Cimenteira.....	21
2.4.1 Processo Fabricação	21
2.4.2 Combustíveis	23
3. METODOLOGIA	26
3.1. Introdução	26
3.2. Descrição do coprocessamento.....	26
4. RESULTADOS	31
5. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

Os pneus são resíduos sólidos essenciais para a locomoção de veículos. Os veículos tornaram-se indispensáveis no dia a dia das pessoas e conseqüentemente os pneus também. Com o aumento gradativo do número de veículos automotores, cresce o consumo de pneus e, após o seu consumo, ele torna-se inservível vindo a transformar-se a partir daí em um problema ambiental. Estes resíduos sólidos quando não têm mais utilidade para os automóveis são descartados e, na maioria das vezes, inadequadamente gerando grandes problemas ambientais, tais como: colaboração na proliferação de mosquitos; ocupação de espaço em aterros sanitários; além da poluição visual que causa às cidades, pois são praticamente indestrutíveis quando largados no ambiente (SILVA, 2004).

Para minimizar estes problemas decorrentes da disposição incorreta dos pneus, existem muitas alternativas de reciclagem e reutilização, como por exemplo: a recauchutagem; a utilização para pavimentação asfáltica; a contenção de erosão para o solo; a produção de pisos para quadras de esporte; sinalização rodoviária, além de combustíveis para fornos de cimento, cal, papel e celulose.

O pneu possui em sua composição compostos de borracha natural e sintética, hidrocarbonetos e negro de fumo. É uma ótima fonte de energia possuindo um alto poder calorífico devido a sua composição. Esta característica energética do pneu é o principal fator que o torna um excelente combustível alternativo, podendo ser utilizado em indústrias cimenteiras. Após o descarte final, a opção em utilizá-lo como combustível é a mais eficaz, pois tem a capacidade de destruí-lo completamente não gerando cinzas e com o menor índice de geração de gases tóxicos (com os devidos controles estabelecidos, de acordo com a CONAMA 264 de 26/08/99), além de economizar recursos naturais não renováveis (FURTADO, 2005).

De acordo com dados do CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), no período de 1999 a 2004, no Brasil, das 386 mil toneladas de pneus inservíveis 39% foram destinadas a fornos de cimento. No ano de 2004, das 146 mil toneladas de pneus inservíveis, 6% foram destinados para a produção de combustível alternativo, 17,6% para laminação, 19,6% para artefatos / matéria – prima e 6,6% para exportação. Segundo o CEMPRE, não há dados no Brasil sobre as outras formas de reciclagem de pneus.

Os fornos de clínquer utilizados na indústria cimenteira operam a temperaturas de até 2000° C na zona de queima. Essas temperaturas facilitam a destruição dos resíduos orgânicos. Devido à longa extensão dos fornos, o tempo de residência para os gases chega a até 10 segundos assegurando a completa destruição dos resíduos (Apostila Treinamento Programa Trainee Votorantim Cimentos, 2004).

Associando as características dos fornos de clínquer ao alto poder calorífico dos pneus tem-se que a sua utilização como combustível é talvez a solução mais adequada tanto técnica como econômica para destinar adequadamente estes resíduos sólidos (MAGANHA; KOMATSU, 1999).

Em suma, pretende-se neste trabalho, avaliar o benefício da utilização do pneu inservível como combustível na indústria cimenteira, destacando as conseqüências no que diz respeito à questão ambiental.

1.1 Caracterização da Empresa

Cimento Sergipe S/A – CIMESA é uma das unidades da Votorantim Cimentos e está situada na cidade de Laranjeiras/SE, a 30 Km de Aracaju. Sua principal área de atuação é a produção de cimento e clínquer. Desde 2003, nesta unidade foi iniciada a produção de cimento e clínquer também voltada para o mercado externo, principalmente Estados Unidos e Canadá. Sua capacidade de produção instalada é de 1,3 milhões toneladas/ano de cimento e que está em fase de ampliação, a qual aumentará esta capacidade para 2,5 milhões de toneladas de cimento/ano.

Os principais tipos de cimento produzidos na CIMESA são: CPIIF – 32, CPIV – 32, CPP (Cimento Portland destinado a poços de Petróleo), CPI (destinado somente ao mercado externo) e CPIIZ – 32 RS.

1.2 Objetivo Geral

Apresentar as vantagens do coprocessamento de pneus na indústria cimenteira.

1.3 Objetivos Específicos

- Apresentar a importância do coprocessamento de pneus utilizado como combustível alternativo nos fornos de cimento para redução do passivo ambiental por ele causado.
- Demonstrar a viabilidade de sua utilização, através de coleta de dados de durante a implantação do coprocessamento de pneus na fábrica CIMESA;

1.4 Justificativa

O coprocessamento de pneus é hoje uma alternativa para dar destino a estes resíduos sólidos devido ao seu mal descarte diminuindo o passivo ambiental, além de minimizar transtornos sociais de saúde pública. Dentre as alternativas existentes para dar um fim correto aos pneus, a sua utilização como energia é bastante promissora, pois elimina totalmente o resíduo, acabando por completo com os transtornos causados pela sua má disposição, além de ser substituto de recursos naturais não renováveis.

Atualmente, em face da dificuldade que existe no descarte destes resíduos, objetivando a diminuição dos problemas que são consequência desta má disposição, será enfatizado neste trabalho o estudo da utilização de pneus como combustíveis alternativos em indústria cimenteira.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o estudo da utilização de pneus como combustível alternativo em indústrias de cimento torna-se necessário entender o conceito de resíduos sólidos e a problemática do seu destino inadequado, o conceito de coprocessamento de resíduos, dos pneus, além de, abordar, basicamente o processo produtivo de uma fábrica de cimento.

2.1. Resíduos Sólidos

Resíduos Sólidos são o produto gerado de todo o consumo da sociedade, das atividades industriais e urbanas. Seu conceito é muito parecido com o do lixo, porém quando incluída a palavra sólido evidencia a sua definição. Segundo a NBR 10004/2004, define-se resíduo sólido como todos os resíduos no estado sólido e semi-sólido que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, domestica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição.

Segundo Philippi Junior et al. (2004), os resíduos sólidos estão classificados em industriais, urbanos, serviços de saúde e portos, de aeroportos, de terminais rodoviários e ferroviários, agrícolas, radioativos e entulho.

Os resíduos industriais são classificados, conforme quadro seguinte:

Quadro 1 – Classificação Resíduos Sólidos

	Classe I	Classe II	Classe III
Características	Inflamáveis, tóxicos, corrosivos, reativos e patogênicos.	Biodegradáveis ou combustíveis	Não inertes e combustíveis

Fonte: NBR 10004/2004

De acordo com Philippi Junior et al. (2004), a disposição dos resíduos sólidos é uma preocupação no mundo inteiro. No Brasil a situação dos resíduos sólidos apresenta deficiências notórias do ponto de vista de saneamento básico.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes a este assunto no ano de 2000 apontam que de 230 mil toneladas de resíduos

geradas por ano no nosso país, cerca de 22%, são destinadas a vazadouros a céu aberto ou lixões. A maioria dos resíduos, por volta de 75% vão para aterros sanitários. Logo, nota-se que a quantidade de resíduos sólidos dispostos em lixões é ainda muito expressiva (IBGE, 2000).

O lixão é um lugar onde o lixo é simplesmente jogado sem nenhum tratamento, oferecendo desta forma grande risco à saúde pública, trazendo à população vários problemas, dentre eles:

- Riscos de poluição do ar e de contaminação do solo, das águas superficiais e lençóis freáticos;
- Riscos à saúde devido a proliferação de vários tipos de doenças;
- Poluição visual da região onde estão inadequadamente dispostos os resíduos;
- Problemas sócio-econômicos devido à presença de catadores de lixo;
- Desvalorização imobiliária da região.

2.2. Pneus

O pneu ou pneumático é imprescindível hoje em dia devido à enorme quantidade de veículos automotores existentes no mundo. O acentuado aumento da utilização de veículos acarreta a conseqüente produção cada vez maior desse resíduo sólido. O pneu é composto de uma mistura de borracha natural e de elastômeros, conhecidos como borrachas sintéticas. O negro de fumo que é adicionado a ele lhe dá a propriedade de resistência mecânica, durabilidade e desempenho. A mistura é achatada num molde contendo enxofre, compostos de zinco e outros compostos ativadores e anti-oxidantes para a vulcanização (processo de aquecimento da borracha na presença de enxofre que ocorre a 120-160°C) (ANDRIETTA, 2003).

Observando a Figura 1, fica mais clara a compreensão dessa composição.

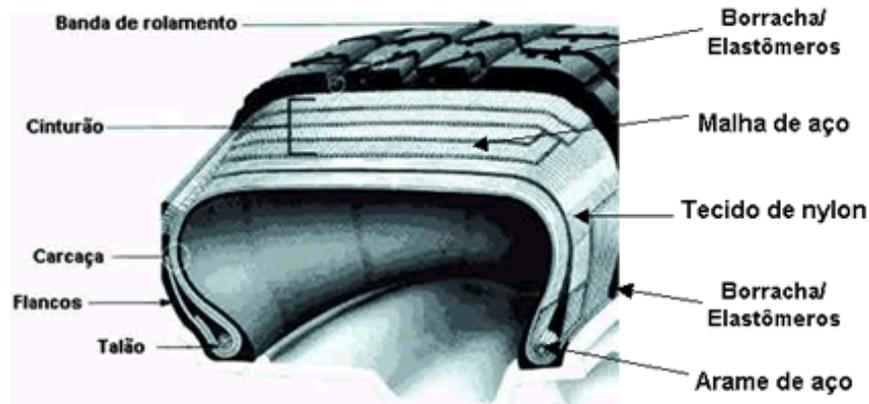


Figura 1: Corte de um pneu radial de automóvel (Fonte: ANDRIETTA, 2003).

Segundo Maganha e Komatsu (1999), os pneus são definidos como resíduos sólidos intratáveis devido aos seguintes motivos:

- Não se decompõem;
- Podem provocar efeitos nocivos se utilizados em incineradores de resíduos domésticos;
- Quando descartados em aterros sanitários provocam rompimento da compactação dos aterros;
- Além de servir de ambiente favorável à proliferação de mosquitos e ratos.

Ultimamente, a crescente preocupação com a qualidade do meio ambiente voltou-se para pneus descartados inadequadamente na natureza constituindo um grande passivo ambiental. No Brasil a Resolução CONAMA nº 258, de 26/8/1999, determinou que as empresas fabricantes e importadoras de pneus fossem as responsáveis pelo seu destino final, iniciando com um pneu inservível para cada quatro novos a partir de 01/01/2002 e crescendo proporcionalmente ano a ano até chegar a cinco inservíveis descartados para cada quatro produzidos a partir de 01/01/2005.

A grande dificuldade na disposição destes resíduos é saber qual o destino correto do pneu. Existem várias alternativas de destinação para os pneus inservíveis, como: reforma (recauchutagem), recuperação, regeneração e outros processos como pirólise (processo de decomposição térmica na ausência de oxigênio) (SANDRONI, 2003).

2.2.1 Reforma (Recauchutagem)

No processo de recauchutagem, o pneu é reconstruído através da substituição da banda de rolamento (rodagem). Para a reforma do pneu é importante que não apresente na sua estrutura geral cortes e deformações e que sua banda de rodagem apresente ainda sulcos e saliência (SANDRONI, 2003).

As precárias condições de conservação dos pavimentos das estradas e ruas tornam essa alternativa limitada uma vez que para a recauchutagem os pneus devem estar em condições mínimas para a reforma (ANDRIETTA, 2003).

De acordo com Andrietta (2003), no Brasil a reforma de um pneu de caminhão chega a custar em torno de um terço do preço do novo. Já um pneu reformado de um automóvel popular chega a 60% do preço do novo, e não é recomendado que seja reformado mais de uma vez. Esses fatos têm contribuindo para a redução cada vez maior da utilização da recauchutagem.

2.2.2 Recuperação

Segundo Andrietta (2003) a recuperação dos pneus é a simples trituração e moagem dos resíduos que são reduzidos a pó fino. A recuperação de pneus apresenta duas finalidades:

- Mistura com asfalto para pavimentação de vias e pátios de estacionamento;
- E nas fábricas de cimento como alternativa de combustível.

O pneu recuperado possui propriedades semelhantes à da borracha vulcanizada, mas como não foi submetida novamente ao processo de vulcanização não pode ser utilizado como substituto da borracha crua na produção de artefatos.

2.2.3 Regeneração

Na regeneração os resíduos passam por modificações químicas que os tornam prontos para receber nova vulcanização, mas o material originado deste processo não tem a mesma propriedade da borracha crua original. Neste processo,

também chamado de desvulcanização, a borracha é separada dos outros componentes e degradada. O arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro; o tecido e nylon também recuperados são utilizados como reforço em embalagens de papelão. O produto da regeneração dos pneus, a borracha, pode ser empregado na fabricação de artefatos como tapetes, pisos para indústrias, pisos para quadras esportivas e também pode ser usada no revestimento de tanques de combustível (ANDRIETTA, 2003).

2.2.4 Pirólise

A pirólise é um processo de decomposição química por calor, na ausência de oxigênio. No caso do pneu ele pode ser utilizado neste processo como fonte de energia através de sua queima. Porém, na pirólise, encontra-se um grande problema ambiental que é a exalação de gases como dióxido de enxofre (SO_2) e amônia (NH_3), que podem levar as chamadas chuvas ácidas. Devido a este problema de exalação de gases torna-se necessário um tratamento muito rigoroso dos gases, encarecendo o processo (LIMA, 2004).

2.3. Coprocessamento

O coprocessamento é uma técnica de destruição térmica de resíduos sólidos, a alta temperatura, em fornos de fabricação de clínquer, devidamente licenciados para este fim, com aproveitamento de conteúdo energético, sem a geração de novos resíduos que contribui para a economia de combustíveis e matérias primas minerais não renováveis (www.resotec.com.br).

Esta técnica proporciona o aproveitamento de resíduos sólidos (com exceção de resíduos patogênicos, materiais radioativos, lixo doméstico, pesticidas, material explosivo, pilhas e baterias usadas) como combustível, evitando a queima desnecessária de combustíveis fósseis não renováveis para geração de energia térmica, além de dar uma destinação adequada aos resíduos industriais.

Segundo Carrara (2005), a utilização de resíduos sólidos como combustíveis na produção de cimento não é novidade. Nos EUA, desde 1969, diversas indústrias cimenteiras utilizam resíduos como insumos alternativos. Essa atividade no Brasil teve início no final dos anos 80 intensificando-se a partir dos anos 90.

Atualmente quase todas as fábricas de cimento no Brasil utilizam algum tipo de resíduo sólido em seu processo produtivo como combustível alternativo.

Alguns combustíveis ou matérias primas que eram a algum tempo considerados resíduos industriais, deixaram de ser, sendo hoje subprodutos, comercializados regularmente no mercado.

A resolução CONAMA nº 264 de 26 de Agosto de 1999, trata sobre todo o processo para o licenciamento de fornos de clínquerização para atividades de coprocessamento de resíduos, bem como a manutenção da qualidade ambiental do meio. Nela constam todos os procedimentos e exigências para que um processo de fabricação de cimento seja adequado à atividade de coprocessamento. O processo de licenciamento de fornos de clínquer para o coprocessamento, segundo a CONAMA 264, segue as etapas abaixo:

- Estudo de Viabilidade de Queima – Relatório que deve conter dados da fábrica que deseja iniciar o processo de coprocessamento, dados técnicos da fábrica, dados do resíduo que será coprocessado;
- Plano de Teste em Branco – Relatório onde deve ser descrito o período do Teste em Branco, a descrição dos equipamentos e poluição atmosférica, a capacidade de operação da unidade durante o teste, os parâmetros operacionais, avaliação das emissões atmosféricas e análise dos elementos e substâncias inorgânicas do pó retido no equipamento de poluição;
- Relatório de Teste em Branco – Deve conter os resultados do teste em branco, que são os resultados do acompanhamento da fábrica operando no período descrito no plano de teste em branco sem a utilização do resíduo que será coprocessado para posteriormente ser comparado com o teste de queima;
- Plano de Teste de Queima – Deve constar neste relatório o objetivo do teste, fluxogramas do processo produtivo, descrição dos equipamentos do forno, condições operacionais propostas para o teste, descrição do sistema de controle de emissões, descrição do destino final dos resíduos gerados, descrição do sistema de análise e controle de qualidade do clínquer, descrição e desenhos esquemáticos de todos os

pontos de medição e coletas, cronograma do teste de queima e identificação dos técnicos envolvidos no teste.

- Relatório de Teste de Queima – Relatório dos resultados do acompanhamento da operação da fábrica utilizando o resíduo a ser coprocessado nas mesmas condições descritas no teste em branco.

Após o teste de queima, a empresa envia o relatório para o órgão ambiental para então ser obtida a licença para o coprocessamento.

Muitos estudos são feitos para aprovação de resíduos que possam ser utilizados com segurança e que estejam compatíveis com o processo de fabricação. Vários são os resíduos que podem ser co-processados em fornos industriais, são exemplos restos de solventes, resíduos oleosos, tinta endurecida que por serem derivados de petróleo servem como combustíveis devido ao seu alto poder calorífico. Além disso, devemos destacar os pneus inservíveis que devido ao seu alto poder calorífico são uma ótima alternativa de combustível para os fornos de clínquer.

2.4. Indústria Cimenteira

2.4.1 Processo Fabricação

O processo de fabricação do cimento é um processo físico-químico de transformação de minerais naturais como o calcário, argila, minério de ferro e areia em uma mistura de minerais sintéticos que possuem capacidade de reagir com a água e desenvolver propriedades de resistência à compressão. As principais etapas do processo de produção do cimento são:

- Mineração;
- Pré-Homogeneização;
- Moagem de Cru;
- Clinquerização;
- Moagem de Cimento;
- Ensacamento e expedição.

O processo se inicia em uma mina onde são extraídas as matérias primas – calcário e argila. Em seguida, o calcário e a argila são britados e formados em pilhas que serão alimentadas no moinho de cru para a homogeneização junto com o minério de ferro. Após a homogeneização, então, as matérias primas vão para os silos de estocagem de farinha. Em seguida, são aquecidas em um forno, onde sofre uma série de reações químicas complexas originando o clínquer.

Estas reações complexas ocorrem na fase chamada de clínquerização. O processo de clínquerização consiste fundamentalmente de duas fases principais: a desintegração dos componentes da mistura crua original e a formação de novos componentes. Na desintegração, que é fase inicial, ocorre a britagem e a moagem mecânicas das matérias primas, a decomposição térmica das mesmas e finalmente uma transposição estrutural por aquecimento. Durante o aquecimento da farinha crua, ocorrem importantes processos físico-químicos como a desidratação dos minerais argilosos e a decomposição dos carbonatos.

A sinterização ou clínquerização começa a 1250°C, isto é, a fusão de CaO (óxido de cálcio) com os componentes SiO₂ (óxido de silício), Al₂O₃ (óxido de alumínio) e óxido férrico (F₂O₃) para formar novos compostos. A reação total nesta faixa de temperatura é exotérmica, ou seja, libera calor de modo que a temperatura de queima sobe rapidamente para 1450°C - 1500°C, produzindo como resultado maior formação de líquidos e a sinterização acelerada. Para que este processo ocorra de maneira adequada, a monitoração das principais variáveis críticas do processo se faz necessária, desde a alimentação da farinha no forno até sua transformação no produto final, ou seja, o clínquer.

As variáveis que influenciam diretamente na qualidade do produto gerado são para o clínquer o Fator de Saturação em CaO (FSC), o Módulo de Sílica (MS) e o Módulo de Alumínio (MA), além destas variáveis, se faz necessário o monitoramento do Peso Litro e da Cal Livre.

Após a fase de clínquerização passa-se à fase da moagem de cimento, onde finalmente o clínquer é reduzido a pó em um moinho (moinho de cimento), onde é adicionado o gesso, que tem a função de retardar o endurecimento do clínquer, pois este processo seria instantâneo se a água fosse adicionada ao clínquer puro. Além

do gesso, também são adicionadas outras matéria primas dependendo do tipo de cimento que será produzido

Essas matérias primas misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento portland hoje disponíveis no mercado. Essas outras matérias-primas são: as escórias de alto-forno; os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos (Apostila Treinamento Programa Trainee Votorantim Cimentos, 2004).

2.4.2 Combustíveis

No processo de fabricação de cimento é indispensável a utilização de combustível nos fornos. Esses combustíveis são geralmente fontes renováveis ou não renováveis de energia, principalmente derivados de petróleo. Os combustíveis mais comumente utilizados na indústria cimenteira são o Carvão Mineral, coque de petróleo e óleos combustíveis.

O carvão mineral é um combustível fóssil que foi formado há milhões de anos resultante da decomposição orgânica de matéria orgânica de vegetais de bacias sedimentares (REIS; FADIGAS; CARVALHO, 2005).

Sua utilização na indústria cimenteira cresceu desde 1979 devido à crise do petróleo e do conseqüente aumento do preço do óleo combustível, onde os industriais tiveram que recorrer a esta fonte de energia (SANTIL; SEVÁ FILHO, 1999).

A Tabela 1, apresenta as principais características dos principais tipos de carvões que são utilizados como combustíveis na indústria cimenteira.

Tabela 1 – Classificação do carvão mineral

Tipo de Carvão	Carbono (%)	Material Volátil (%)	Conteúdo Calorífico (kcal/kg)
Antracito	Acima de 86	14	7300 - 9100
Betuminoso	Abaixo de 86	14	6400 - 7800
Sub-Betuminoso	Abaixo de 86	14	4650 - 6400
Lignito	Abaixo de 86	14	3650 - 4650

Fonte: Reis et al. (2005)

Outro combustível bastante utilizado na indústria cimenteira é o coque de petróleo. O coque é um produto sólido resultante do craqueamento e carbonização de óleos residuais. Sua utilização é vantajosa como combustível devido ao seu baixo custo, quando comparado com óleos combustíveis, ao seu alto poder calorífico e ao pequeno teor de cinzas (THORLAY, 2004).

Durante muitos anos, somente alguns setores da indústria mundial utilizaram o coque. Seus principais consumidores eram as próprias refinarias. Devido ao aumento da produção mundial de petróleo refinado, houve maior disponibilidade de coque, passando a despertar interesses em outros setores da produção. O setor cimenteiro é hoje o segundo maior consumidor mundial de coque de petróleo como combustível (ABCP, 2002).

As variações na composição química do coque de petróleo estão relacionadas à composição do petróleo utilizado na sua produção.

A Tabela 2 apresenta as principais características do coque de petróleo.

Tabela 2 – Principais características do coque

Característica	Quantidade
Umidade (%)	5,5
Carbono Fixo (%)	80 – 100
Cinzas (%)	1 – 4
Enxofre Total (%)	0,5 - 7,0
Matéria Volátil (%)	9 – 15
Hidrogênio (%)	3,5
PCI (kcal/kg)	7750 – 8700

Fonte: ABCP (2002)

Os óleos combustíveis, bastante utilizados na indústria cimenteira, são frações pesadas residuais do petróleo obtidas em vários processos de refinação, constituído por hidrocarbonetos de elevado peso molecular. Consistem geralmente de 85 a 90% de C (carbono), 5 a 10% de H (hidrogênio) e cerca de 3 a 4% de O (oxigênio), N (nitrogênio) e S (enxofre). Durante décadas foi o principal combustível utilizado na indústria cimenteira. Dos combustíveis citados anteriormente, os óleos são os que possuem maior poder calorífico, porém seu alto custo de aquisição o

levou a ser substituído por outros tipos de combustíveis (Apostila Treinamento Programa Trainee Votorantim Cimentos, 2004).

3. METODOLOGIA

3.1. Introdução

A metodologia utilizada foi baseada em uma pesquisa de campo exploratório-descritiva na fábrica CIMESA.

3.2. Descrição do coprocessamento

O processo foi acompanhado durante a fase do teste de queima do coprocessamento de pneus.

Inicialmente, os pneus chegam em caminhões basculantes ou carga seca. Ao chegar à fábrica os caminhões são inspecionados, onde são verificadas as condições de acondicionamento do resíduo, observando-se a existência de possíveis contaminações. Caso se verifique alguma irregularidade importante, a carga será devolvida.

Os caminhões são descarregados em local coberto (galpão), protegidos de chuvas para evitar acúmulo de água, evitando-se a proliferação de insetos. Com o auxílio de uma pá carregadeira outro caminhão basculante é carregado para levar os pneus até a área coberta embaixo da torre de ciclones, próximo do elevador.

O elevador é abastecido manualmente com os pneus, respeitando-se sua carga máxima de 1000 kg. O funcionário fica do lado de fora do elevador e avisa ao outro funcionário que está no terceiro piso da torre de ciclones para que este acione a subida do elevador. O funcionário que se encontra no terceiro piso da torre abre as portas do elevador e inicia a retirada dos pneus, empilhando-os, e sempre observando para que a altura das pilhas não ultrapasse a do guarda corpo da plataforma.

Daí, o pneu é transportado para a válvula de alimentação, depositando-os no *shut* (ver Figura 2), seguindo para o forno.



Figura 2: Plataforma de lançamento de pneus (Fonte: CIMESA, 2006).

Os pneus são inseridos individualmente no forno, de acordo com um disparo de um alarme sonoro. Esse alarme é acionado pelo operador do painel central que acompanha *on line* a dosagem dos pneus. Conforme a Figura 2, observamos um pneu na iminência de entrar no forno.

As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, o fluxograma do processo de alimentação de pneus e o esquema da torre de ciclones com destaque para o local da alimentação dos pneus.

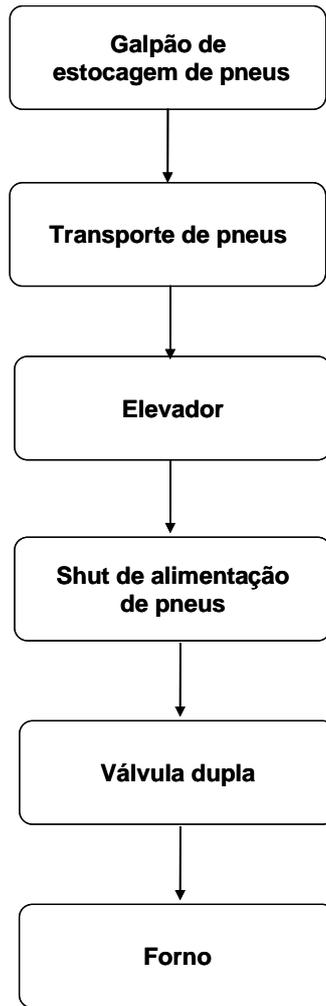
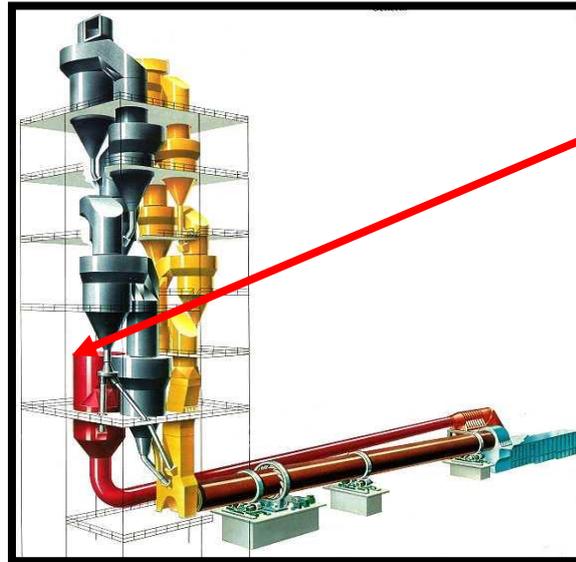


Figura 3: Fluxograma processo de alimentação de pneus (Fonte: CIMESA, 2006).



Local onde são injetados os pneus.

Figura 4: Torre de ciclones (Fonte: CIMESA, 2006).

Todo o processo durante o teste de queima foi acompanhado pelos operadores de fábrica via CLP (Controlador Lógico Programável). A Figura 5 mostra a tela de acompanhamento do forno durante a queima de pneus.

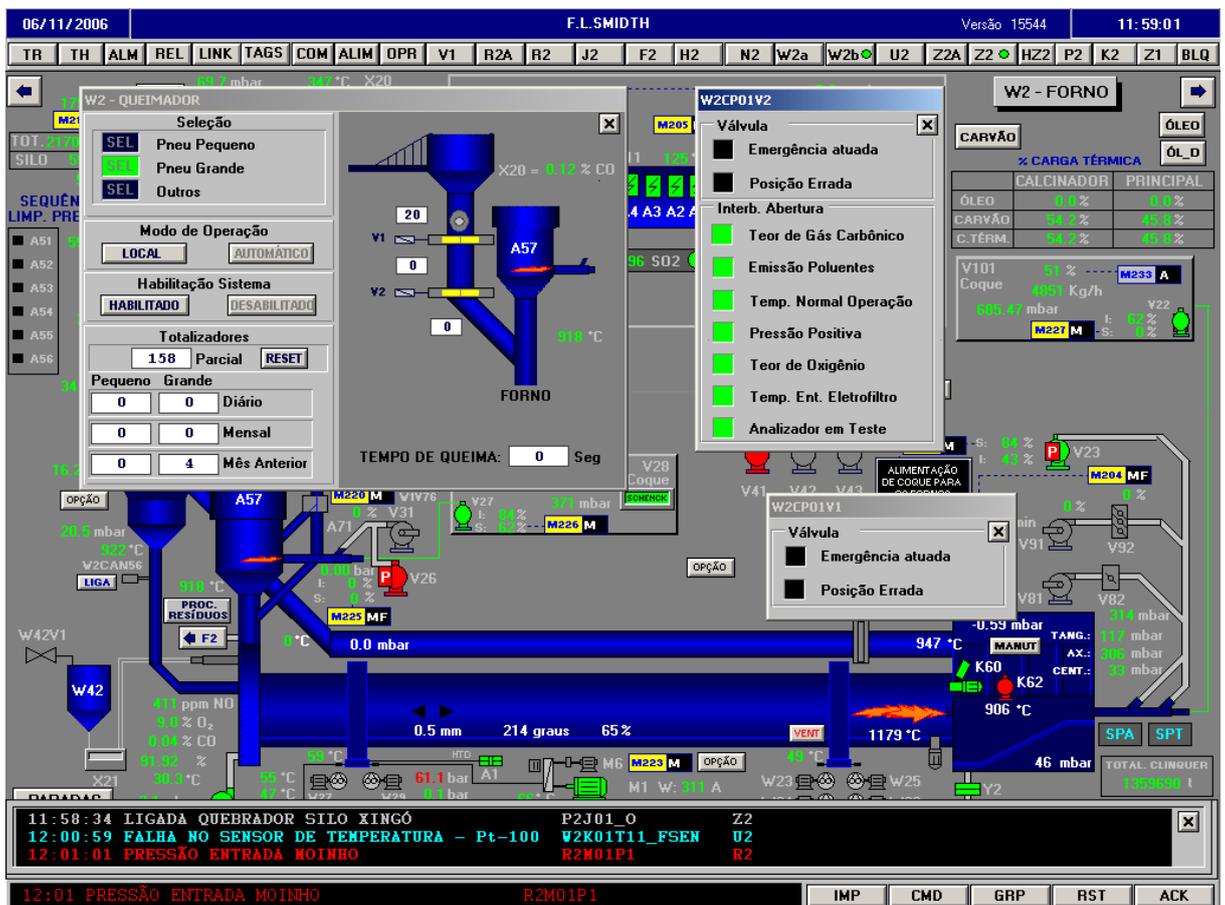


Figura 5: Tela de acompanhamento do forno (Fonte: CIMESA, 2006).

A tela apresentada na Figura 5, permite ao operador acompanhar e controlar todo o processo do forno durante a queima de pneus, como também o monitoramento *on line* da temperatura e das emissões de CO (monóxido de carbono) e O₂ (oxigênio).

Uma empresa especializada em análises de gases foi contratada para fazer as coletas na chaminé durante o teste de queima. Essas coletas foram feitas para as análises dos parâmetros exigidos na CONAMA 264/99: material particulado, metais pesados, HF, HCl (ácido clorídrico), CO (monóxido de carbono), THC (Total de Hidrocarbonetos), Hg (mercúrio), cianeto, dioxinas e furanos.

Nas Figuras 6 e 7 observamos os equipamentos utilizados para as coletas na chaminé, respectivamente, o opacímetro (para monitoramento dos particulados) e o analisador de gás (para monitoramento de SO_x e NO_x).



Figura 6: Opacímetro instalado na chaminé do forno (Fonte: CIMESA, 2006).



Figura 7: Analisador de gás instalado na chaminé do forno (Fonte: CIMESA, 2006).

4. RESULTADOS

A seguir será exposto os resultados partir da fundamentação teórica apresentada Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos e suas respectivas análises, destacando-se os benefícios gerados com coprocessamento de pneus para o meio ambiente e a comprovação de sua viabilidade de utilização como combustível alternativo na indústria cimenteira.

Esta utilização traz vantagens ao meio ambiente e à indústria cimenteira, pois causa redução do passivo ambiental gerado pelos pneus, que ainda hoje são descartados inadequadamente no ambiente.

O gráfico representado pela Figura 8 mostra que a cada ano a produção de pneu aumenta no Brasil.

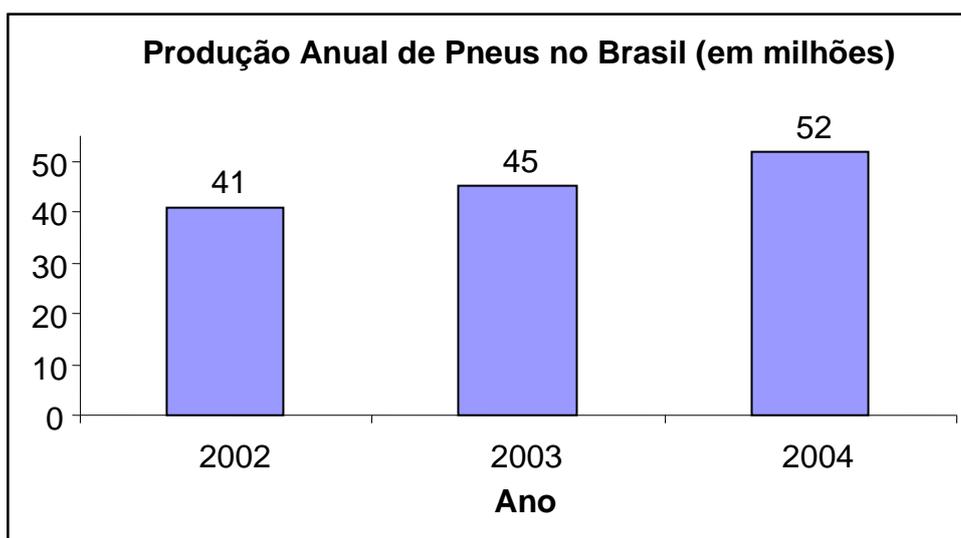


Figura 8: Gráfico de produção anual de pneus no Brasil (Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2004).

A conseqüência dessa crescente produção é o aumento do número da geração de pneus inservíveis que traz ao ambiente os sérios problemas citados na fundamentação teórica, Capítulo 2 deste trabalho.

A seguir, observaremos a média de geração de pneus inservíveis em alguns países (Tabela 3).

Tabela 3 – Geração anual de pneus inservíveis

Média de Geração Anual de Pneus Inservíveis		
Países	Toneladas	Unidades (milhões)
Alemanha	550 000	–
França	350.000	–
Reino Unido	290.000	–
Itália	150.000	–
Espanha	140.000	–
EUA	–	240
Brasil	–	22,2

Fonte: MAGANHA e KOMATSU (1999)

Observando a Tabela 3, conclui-se que anualmente milhões de pneus inservíveis são gerados no mundo, inclusive no Brasil. A redução do número de pneus inservíveis largados em terrenos baldios, em aterros sanitários e jogados ao léu, é uma questão que recentemente vêm sendo tratada. Uma das possíveis alternativas a fim de solucionar esse problema é a queima destes resíduos em fornos de indústrias de cimento, como combustível.

Informações do CEMPRE afirmam que, no período de 1999 a 2004, foi destinada a fornos de cimenteiras no Brasil, uma média de 150 mil toneladas de pneus inservíveis (www.cempre.org.br).

Para as cimenteiras, este processo é possível pelo alto poder energético do pneu. De acordo com a Tabela 4, observa-se o comparativo energético do pneu com outros combustíveis comumente utilizados em indústria de cimento.

Tabela 4 – Poder calorífico dos combustíveis de cimenteiras

Combustível	Composição (percentual)							Poder Calorífico
	C	H	O	N	S	Cinzas	Umidade	kcal/kg
Pneus	83,87	7,09	2,17	0,24	1,23	4,78	0,62	7500
Carvão Mineral	73,92	4,85	6,41	1,76	1,59	6,23	5,24	7400
Coque de Petróleo	84,30	3,23	1,34	1,72	5,93	2,64	0,85	8000

Fonte: ABCP (2004)

Analisando a Tabela 4, conclui-se que os pneus além do poder calorífico ideal para ser utilizado como combustível, destaca-se outro parâmetro que contribui para a comprovação dessa viabilidade. O enxofre (S) do pneu é bem inferior ao enxofre dos outros dois combustíveis comparados, sendo assim a emissão de gases de enxofre com a utilização de pneus será menor que a emissão dos outros combustíveis, uma vez que os gases de enxofre são nocivos ao ambiente e à população.

Então, com a utilização dos pneus inservíveis como combustível alternativo, as indústrias cimenteiras reduzem o consumo dos combustíveis habituais (coque de petróleo, carvão mineral, óleo combustível e gás natural) contribuindo assim com a diminuição da utilização de recursos naturais não renováveis e, ao mesmo tempo, também minimizando custos operacionais.

As Figuras 9, 10 e 11 mostram os principais combustíveis consumidos na América do Norte, Europa e América do Sul, respectivamente.

Podemos observar que o Brasil é um dos poucos países a utilizar o coque de petróleo como combustível, seguido do óleo combustível e do carvão mineral. Este combustível pode ser perfeitamente substituído pelo pneu mantendo a mesma eficiência em produzir calor, devido ao fato do poder calorífico do pneu (cerca de 7.000 kcal/kg) ser muito próximo do poder calorífico do coque de petróleo (por volta de 8.000 kcal/kg), conforme a Tabela 4.

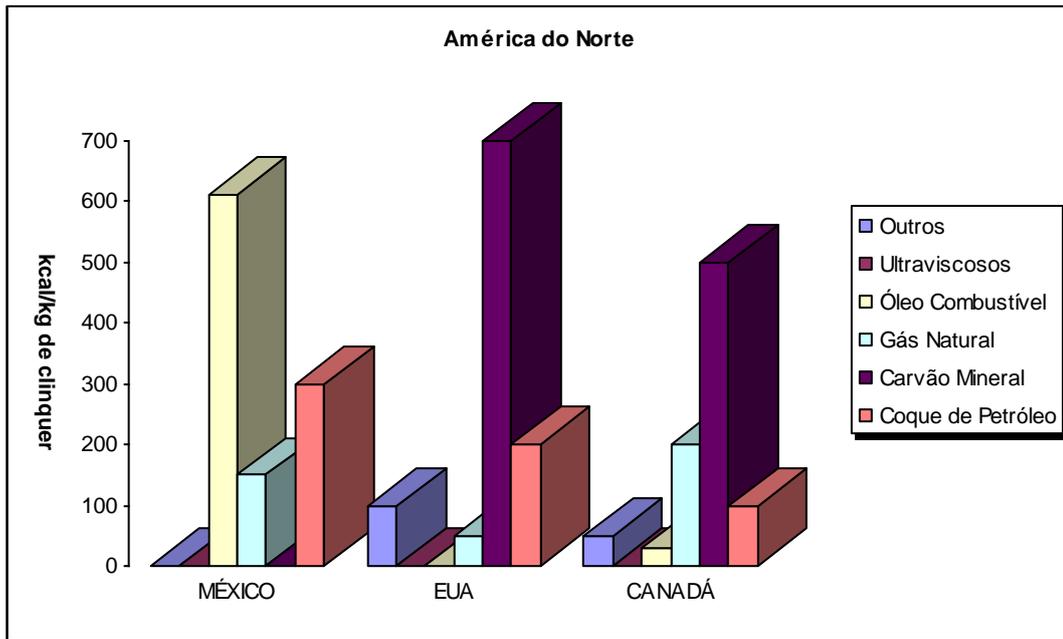


Figura 9: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da América do Norte (Fonte: Adaptado de ABCP, 2002).

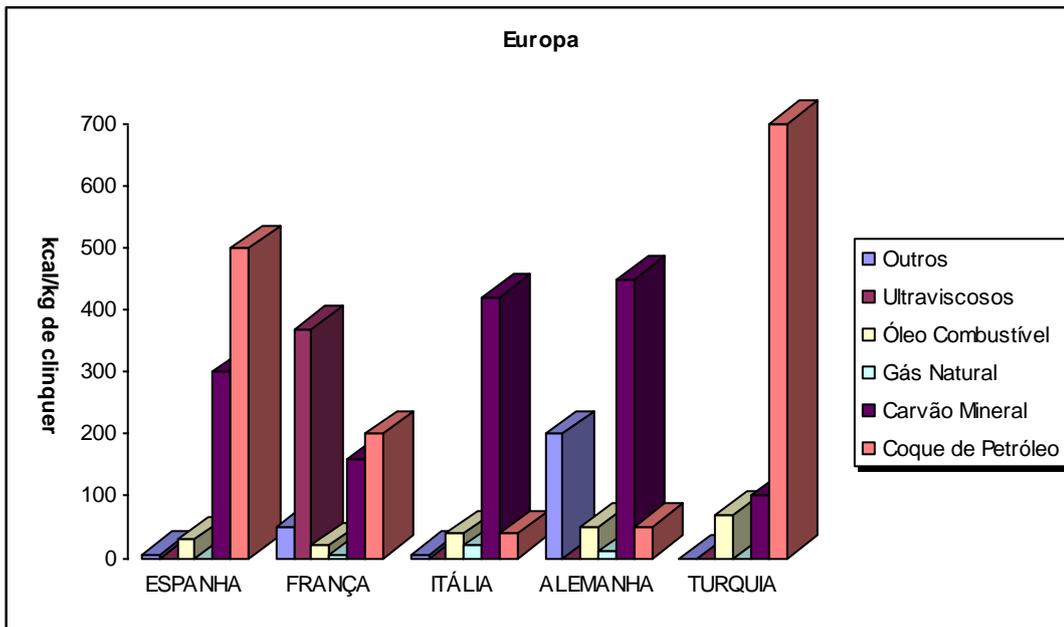


Figura 10: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da Europa (Fonte: Adaptado de ABCP, 2002).

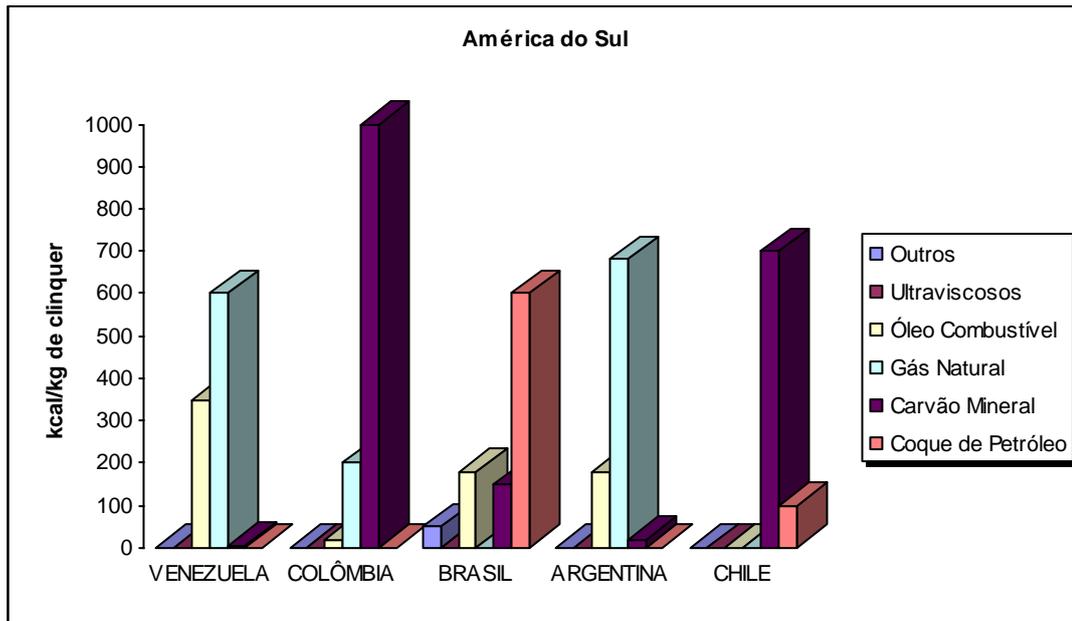


Figura 11: Gráfico de consumo de energia térmica por tipo de combustível na indústria cimenteira da América do Sul (Fonte: Adaptado de ABCP, 2002).

Segundo Schreve e Brink (1997), o coque é um combustível caro para ser utilizado em indústrias. Sendo assim, a utilização dos pneus como combustível alternativo, apresenta mais uma vantagem, que é a viabilidade econômica. Para a indústria de cimento, essa alternativa de coprocessar pneus traz uma redução de custos, uma vez que os pneus são doados através de cooperativas de reciclagem.

A utilização dos pneus inservíveis nos fornos das cimenteiras acarreta a redução do consumo de combustíveis convencionais, citados anteriormente, trazendo benefícios ao meio ambiente, além de não ocorrer qualquer alteração na qualidade do cimento, sendo essa afirmação facilmente observada pela análise das figuras 09, 10 e 11..

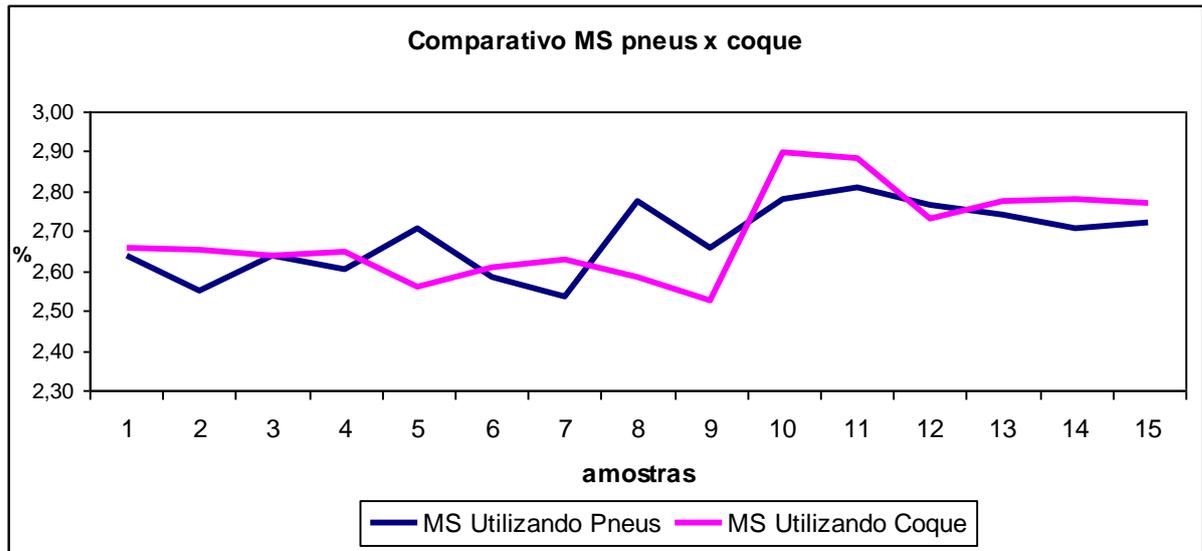


Figura 12: Gráfico comparativo MS do clínquer com uso de pneus e com uso de coque (Fonte: CIMESA, 2006).

O MS (Módulo de Sílica) é um dos principais parâmetros de controle de qualidade do clínquer, ele é uma relação entre SiO_2 e os óxidos de ferro e alumínio (Fe_2O_3 e Al_2O_3). O teor de módulo de sílica ideal no clínquer varia de 2,0 a 3,0. Um alto percentual de MS no clínquer dificulta a queimabilidade do forno, forçando a utilização de mais combustível. Este parâmetro não é muito influenciado quimicamente pelo combustível, mas, como discutido antes, é fundamental o controle deste indicador para a qualidade do clínquer. De acordo com a Figura 12, observamos que a variação deste parâmetro durante a utilização de pneu e coque é ínfima, considerada normal para o controle habitual do processo.

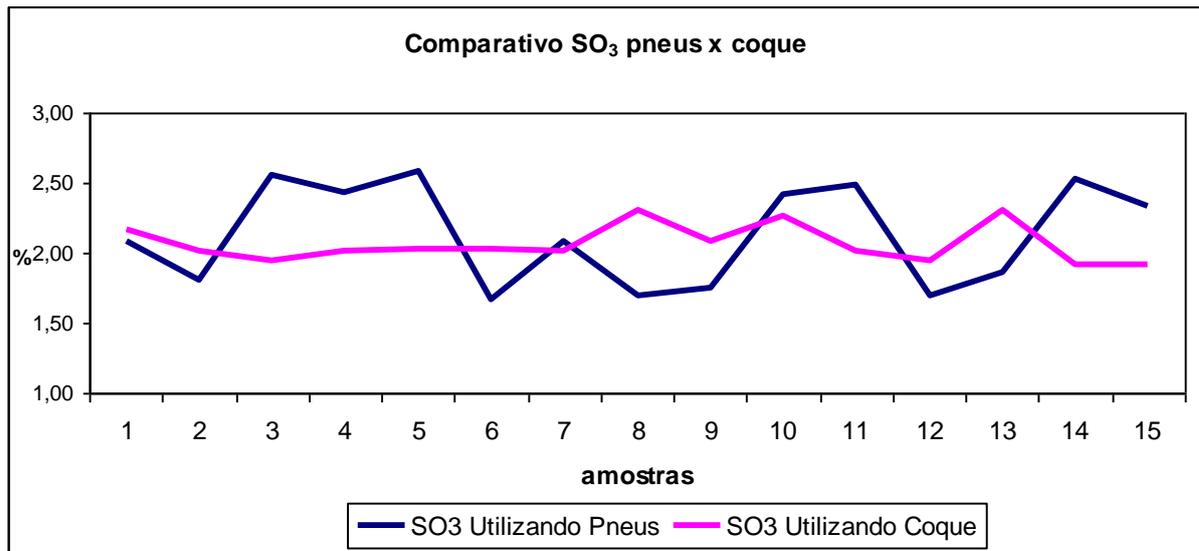


Figura 13: Gráfico comparativo SO₃ do clínquer com uso de pneus e processo normal (Fonte: CIMESA, 2006).

Com relação ao parâmetro SO₃ (trióxido de enxofre), é consideravelmente influenciado pelo combustível. De acordo com a Tabela 5, observamos que o teor S (enxofre) do pneu é inferior ao teor de enxofre do carvão e do coque. Porém, essa diferença é pequena não podendo ser visualizada no clínquer. Na Figura 13, observamos que o desvio padrão entre a concentração de SO₃ com a utilização de pneus e sem a sua utilização foi de 0,36 %, sendo que a variação utilizada para o controle de qualidade na CIMESA é de 0,40 (limite de controle SO₃ do clínquer = 2,50 ± 0,40), caracterizando a viabilidade do processo utilizando o pneu como combustível alternativo.

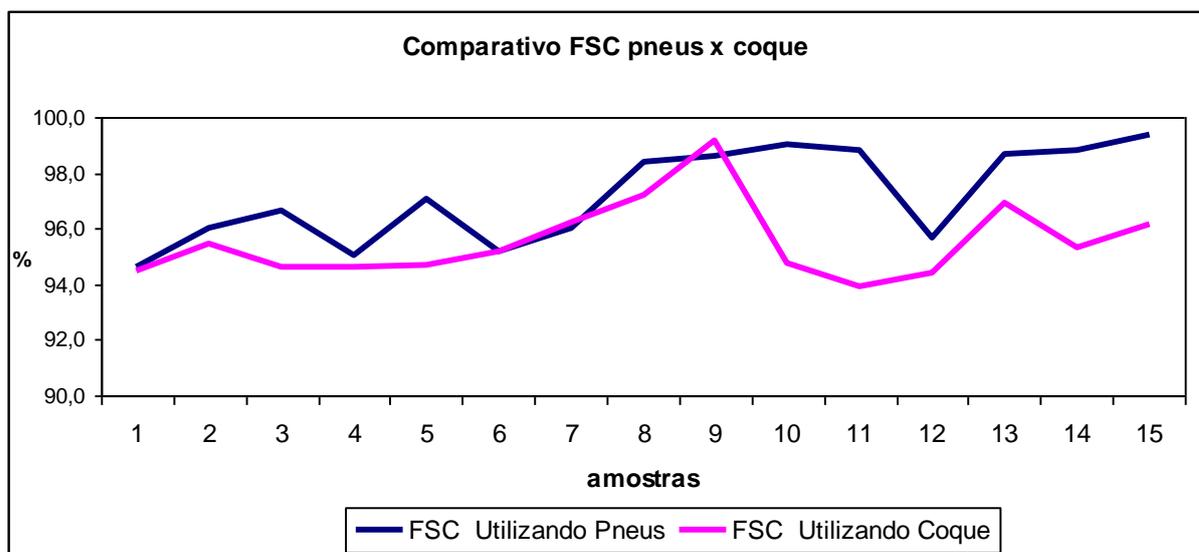


Figura 14: Gráfico comparativo FSC do clínquer com uso de pneus e processo normal (Fonte: CIMESA, 2006).

O FSC, fator de saturação, consiste na relação entre o óxido de cálcio (CaO) e os demais óxidos com os quais o mesmo reage, conforme a Equação 1:

$$\text{FSC} = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot 100 \quad (1)$$

O fator de saturação ideal na farinha produzida normalmente está entre 94–100%. Observando o Gráfico 14 podemos ver que há uma flutuação do FSC entre 94 e 99, dentro da faixa ideal, essa flutuação é tanto com a utilização de coque, quanto com a utilização de pneu. A média dos resultados de FSC com utilização de pneu ficou um pouco mais elevada do que com utilização de coque, porém ainda dentro do limite ideal para este parâmetro. O FSC, como o MS, não sofre muita influência do combustível. Sendo assim, não é o fato de se ter utilizado o pneu como combustível que elevou o FSC de alguma amostras, existem outros fatores que precisam ser analisados para avaliar essa elevação, como composição da pilha de calcário, composição da pilha de argila, entre outros.

A Tabela 5 apresenta os dados apresentados nos gráficos 12, 13 e 14, com seus desvios para melhor análise dos resultados discutidos nos gráficos.

Tabela 5 – Dados dos gráficos 12, 13 e 14, comparativos principais parâmetros de controle de qualidade e clínquer

	FSC Utilizando Pneu	FSC Utilizando Coque	MS Utilizando Pneu	MS Utilizando Coque	MA Utilizando Pneu	MA Utilizando Coque	SO₃ Utilizando Pneu	SO₃ Utilizando Coque
	94,6	94,4	2,64	2,66	1,58	1,54	2,08	2,16
	96,0	95,5	2,55	2,65	1,47	1,58	1,80	2,01
	96,6	94,6	2,64	2,64	1,68	1,58	2,56	1,95
	95,0	94,6	2,60	2,65	1,35	1,61	2,43	2,02
	97,0	94,7	2,71	2,56	1,58	1,61	2,58	2,03
	95,2	95,1	2,58	2,61	1,39	1,65	1,66	2,03
	96,0	96,2	2,53	2,63	1,31	1,67	2,08	2,01
	98,4	97,2	2,78	2,58	1,44	1,72	1,69	2,31
	98,6	99,2	2,66	2,52	1,39	1,80	1,75	2,09
	99,1	94,8	2,78	2,90	1,55	1,64	2,41	2,27
	98,8	93,9	2,81	2,88	1,64	1,63	2,49	2,02
	95,7	94,4	2,76	2,73	1,82	1,60	1,70	1,94
	98,7	96,9	2,74	2,77	1,42	1,65	1,86	2,31
	98,8	95,3	2,71	2,78	1,44	1,59	2,53	1,92
	99,3	96,2	2,72	2,77	1,45	1,58	2,34	1,92
Média	97,20	95,54	2,68	2,69	1,50	1,63	2,13	2,07
Desvio Padrão	1,69	1,39	0,09	0,11	0,14	0,06	0,36	0,14

Fonte: CIMESA, 2006

Tabela 6 – Resultados de amostragens durante teste de queima – parâmetros ambientais

Poluentes	Unidade	Coletas			Média	Limite CONAMA
		1	2	3		
HCl	kg/h	0,015	0,015	0,034	0,021	1,800
HF	mg/Nm ³	1,68	1,11	0,549	1,113	5,000
CO	ppmv	98,65	97,68	97,69	98,01	100,00
MP	mg/Nm ³	10,7	27,8	15,5	18,0	70
THC	ppmv	7,78	18,1	23,4	16,4	20
Hg	mg/Nm ³	0,0094	0,011	0,0089	0,0098	0,0500
Pb	mg/Nm ³	0,0032	0,0045	0,0037	0,004	0,3500
Cd	mg/Nm ³	0,0032	0,0045	0,0037	0,004	0,100
Tl	mg/Nm ³	0,0032	0,0045	0,0037	0,004	0,100
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	mg/Nm ³	0,086	0,068	0,089	0,081	1,400
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	mg/Nm ³	0,41	0,83	0,68	0,64	7,00
Óxidos de Enxofre (SO _x)	mg/Nm ³	569	574	679	607	***
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	mg/Nm ³	407	410	485	434	***

*** Não existem limites pela CONAMA

Fonte: CIMESA, 2006

De acordo com os resultados da Tabela 6, observa-se que todos os limites exigidos pela CONAMA 264/99 são plenamente atendidos.

Não há anormalidade também, quando compara-se os resultados do teste de queima (ou seja, com utilização de pneus), mostrados na Tabela 6, com os resultados destes mesmos parâmetros quando utilizamos coque, como se pode observar analisando os dados da Tabela 7.

Tabela 7 – Comparativo parâmetros ambientais com e sem utilização de pneus

Poluentes	Unidade	Coletas			Média Teste de Queima
		20/6/2006	21/6/2006	22/6/2006	
HCl	kg/h	0,017	0,016	0,014	0,021
HF	mg/Nm ³	1,57	1,14	0,455	1,113
CO	ppmv	95,68	97,04	96,58	98,01
MP	mg/Nm ³	11,4	17,6	21,8	18,0
THC	ppmv	10,6	12,7	12,4	16,4
Hg	mg/Nm ³	0,0058	0,0034	0,0072	0,0098
(As+Be+Co+Ni +Se+Te)	mg/Nm ³	0,075	0,083	0,088	0,081
(As+Be+Co+Cr +Cu+Mn+Ni+P b+Sb+Se+Sn+T e+Zn)	mg/Nm ³	0,59	0,44	0,71	0,64
Óxidos de Enxofre (SO _x)	mg/Nm ³	674	628	592	607
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	mg/Nm ³	512	493	568	434

Fonte: CIMESA (2006)

Durante os dias 20, 21 e 22 de junho do corrente ano foram realizadas coletas durante o processo normal, com utilização de coque de petróleo como combustível, conforme a Tabela 8. Os resultados destas coletas, comparados com a média dos resultados do teste de queima (utilizando pneus) afirmam que, praticamente não há variação dos parâmetros ambientais entre processo com os dois combustíveis (coque e pneus).

5. CONCLUSÃO

Atualmente, a indústria está se preocupando em produzir cada vez mais minimizando os impactos ambientais negativos gerados por suas atividades. De um modo geral, a indústria está reaproveitando tudo o que é possível e à sua disposição, a fim de diminuir a geração de resíduos, buscando maneiras adequadas para o seu destino. A partir desta idéia é que entra o papel do coprocessamento de resíduos na indústria de cimento. O processo aproveita os resíduos descartados pelas indústrias geradoras utilizando-os como combustíveis e/ou substitutos de matérias-primas em fornos de fabricação de clínquer, propiciando uma redução no consumo da fabricação.

Através do coprocessamento, reaproveitam-se resíduos e economizam-se recursos naturais não renováveis, contribuindo com a redução de passivo ambiental. A atividade de coprocessar pneus no Brasil e no mundo vem aumentando gradativamente e as indústrias em parceria com as empresas fabricantes de pneus vêem nessa atividade uma ótima alternativa para a correta destinação deste resíduo, que anos atrás era um grande transtorno para a sociedade.

Neste trabalho, verificaram-se as diversas formas de destino para os pneus, suas vantagens e desvantagens, o desenvolvimento da atividade de coprocessamento no Brasil e no mundo, além da contribuição deste processo para a preservação do meio ambiente.

Observou-se também que a utilização de pneus como combustível alternativo, não afetou na qualidade do produto final, de acordo com a composição de clínquer formado após a queima.

Portanto, a utilização de pneus como combustível alternativo na indústria cimenteira, por diminuir o passivo ambiental gerado pelo pneu, ser fonte alternativa de energia reduzindo a utilização de recursos não renováveis, é uma das melhores alternativas de destinação para os pneus. Para as empresas que utilizam este resíduo como combustível alternativo, o ganho além de ambiental, contribuindo para o desenvolvimento sustentável, é lucrativo no que diz respeito ao consumo de energia por substituir parcialmente os combustíveis tradicionais dos fornos nas indústrias, mais precisamente, a indústria cimenteira, alvo de estudo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANDRIETTA, 2003, **Pneus e meio ambiente: Um grande problema requer uma grande solução**, www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br, acesso em 05/03/2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **O coque de Petróleo na Indústria de Cimento**. São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos - Classificação – elaboração**. Rio de Janeiro, 2004.
- CARRARA, M. www.silcon.com.br acesso em 02/04/06
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 264, de 26 de Agosto de 1999**.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 258 de 26 de Agosto de 1999**.
- FURTADO, M, **Coprocessamento de Resíduos: Cimenteiras lucram com o lixo industrial**, Química e Derivados, São Paulo, ed. 436, p. 12-22, Abril,2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Perfil da destinação dos resíduos por quantidade no Brasil**, www.ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/esgotamento_sanitario/defaultesgotamento, acesso em 23/02/2006
- LIMA, L. M. Q, **Lixo – tratamento e biorremediação**, Hermus, São Paulo, 2004.
- MAGANHA, M. F. B. e KOMATSU, E. C, 1999, **Pneus como alternativa energética**, www.infohab.org.br, acesso em 26/02/2006.
- PHILIPPI JUNIOR, A; ROMERO, M. A; BRUNA, G. C, **Curso de Gestão Ambiental**, Manole, São Paulo, 2004.
- REIS, L. B; FADIGAS, E. A. A; CARVALHO, C. E, **Energia, Recursos Naturais e a Prática do desenvolvimento Sustentável**, Manole, São Paulo, 2005.
- SANDRONI, 2003, **Os destinos dos pneus inservíveis**, www.niead.ufrj.br, acesso em 05/03/2006.
- SANTIL, A. M. M; SEVÁ FILHO, A. O, **Resíduos Renováveis e perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil**, anos 1990, rio de Janeiro, VII CBE, 1999.
- SILVA, 2004, **O Caso dos Pneus Inservíveis no Brasil**, www.ebape.fgv.br, acesso em 07/05/06.

SHREVE, N.R. e BRINK JR, A.J, **Indústrias de processos químicos**, Guanabara, Rio de Janeiro, 1997.

THORLAY, 2004, **Coque de Petróleo. Alternativa como insumo energético**, <http://www.abmbrasil.com.br/cgi-local/news/mostrar.pl?802.dat>, acesso em 11/06/06.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Apostila treinamento Programa Trainee**, 2004.

www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_pneus.php acesso em 11/06/06.

www.resotec.com.br acesso em 01/04/06.