

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Definição de Pneumáticos	4
2	COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO PNEU.....	6
2.1	Quanto a Composição	6
2.1.1	Negro de Fumo	7
2.1.2	Óleos, Enxofre e Acelerador	8
2.1.3	Polímeros Existentes nos Pneus	9
2.2	Quanto a Geometria.....	12
2.3	Destinações de pneus agressivas ao meio ambiente	14
2.4	Legislações Ambientais	16
2.5	Destinações Funcionais dos Pneus	19
2.5.1	Recauchutagem	21
2.5.2	Recuperação	25
2.5.3	Outros Processos	26
3	MÉTODOS DE PIRÓLISE EXISTENTES E DE REUTILIZAÇÃO DE PNEUS.....	28
3.1	Pirólise de uma maneira genérica.....	28

3.2 Pirólise de Pneus SVADALA/METSO	33
3.3 Pirólise Por Microondas	36
3.3.1 O equipamento.....	38
3.4 Reciclagem de Pneus em Forno Elétrico Siderúrgico	39
3.5 Pirólise de pneus com xisto – PETROBRÁS	42
3.5.1 Qualidade dos Produtos Gerados na Pirólise de Xisto e Pneus ...	47
3.6 Utilização de Pneus Inservíveis na fabricação de cimento	52
4 ASPECTOS TÉCNICOS DA PLANTA DA USINA DE PIRÓLISE	55
4.1 Seção A – Preparação do Pneu para o Processo Pirolítico	55
4.2 Seção “B” – Unidade Pirolítica	56
4.3 Seção “C” – Beneficiamento do Gás Pirolítico	61
4.4 Seção “D” – Tratamento dos gases de exaustão.....	62
4.5 Pelotização do Negro de Fumo.....	63
4.6 Beneficiamento do Negro de Fumo.....	64
5 ANÁLISE ECONÔMICA DA USINA DE PIRÓLISE.....	66
5.1 Avaliação da quantidade de pneus descartados na região metropolitana do Espírito Santo	66
5.2 Análise logística	77

5.3 Aspectos sócios ambientais: custos governamentais com a dengue causada pelo Aedes Aegypti	82
5.4 Preço do certificado do descarte legal de pneus	83
5.4.1 Estudo de Campo	83
6 VIABILIDADE ECONÔMICA DA USINA DE PIRÓLISE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO ES.....	88
6.1 Avaliação econômica da usina de Pirólise	93
6.2 Retorno do Investimento	94
7 CONCLUSÕES	96
8 BIBLIOGRAFIA:.....	98

1 INTRODUÇÃO

Sucintamente, Pneus inservíveis constituem um resíduo sólido de difícil descarte. Os pneus são uma mistura de borracha natural e elastômeros com negro de fumo, que fornece a resistência mecânica, durabilidade e resistência à radiação ultravioleta. A mistura é vulcanizada a temperaturas de 120 a 160°C, usando aceleradores (compostos de enxofre e zinco), assim como antioxidantes. Um fio de aço é embutido no talão, que se ajusta ao aro da roda. No pneu radial, uma manta de tecido de nylon reforça a carcaça e a mistura é espalmada em uma malha de arames de aço entrelaçada nas camadas superiores (Andrietta, 2002).

A utilização de pneus inservíveis como borracha reciclada, combustível ou matéria-prima está sujeita às condições do mercado e à eficiência do processo. O uso de borracha reciclada envolve um oneroso e complexo processo químico, resultando na redução da qualidade da borracha e na poluição ambiental.

Soluções utilizadas, de modo genérico, para dar um descarte adequado aos pneus inservíveis são: o co-processamento em fornos (indústrias de cimento) com controle rigoroso dos gases de combustão, o processo da pirólise ou a moagem dos pneus, reciclando a borracha como matéria prima.

A solução analisada aqui é o uso do pneu inservível para a produção de óleo e gás combustíveis através da pirólise dos mesmos.

No entanto, a utilização do pneu inservível em larga escala depende da solução de alguns aspectos econômicos e logísticos tanto do empreendimento de beneficiamento do pneu inservível pela pirólise, da produção da borracha moída de pneus e da distribuição ideal dos pontos de coleta dos mesmos.

No Espírito Santo, esta alternativa ainda é incipiente, mas promissora.

É notório que o número de pneus a serem destruídos, em relação ao número produzido ou importado, aumenta com o tempo. Este fato gerou a obrigatoriedade de se destruir cinco pneus inservíveis para cada quatro novos ou importados a partir de 2005 e a proibição do descarte em rios, lagos, beira de estrada, terrenos ou similares (CONAMA-Resolução 258/99).

Desde então, o aproveitamento dos pneus tem ocorrido basicamente sob a forma de reciclagem da borracha desvulcanizada, queima em fornos de cimenteiras e mais recentemente, como matéria-prima para a produção de asfalto-borracha. Recentemente, os pneus começaram a ser utilizados no processo de pirólise de xisto , da Petrobras, localizada em São Mateus do Sul, a 140 quilômetros de Curitiba.

Um problema na utilização de pneus inservíveis é se o processo é economicamente viável em larga escala. Nos Estados Unidos, alguns estados cobram taxas dos produtores de pneus para assumirem este empreendimento. No Brasil, a obrigatoriedade dos produtores ou importadores de destruir os pneus tem levado a acordos entre empresas que se capacitam para este. No Espírito Santo, especificamente, a empresa responsável por esse serviço é a Reciclanip, que possui 9 (nove) pontos de coleta de pneus inservíveis, espalhados 9 (nove) municípios diferentes.

A reciclagem de pneus só é viável se uma logística de coleta adequada é implantada. A continuidade de um processo industrial é a consequência de fatores como a recepção e expedição de matérias-primas e produtos com quantidade, qualidade e em tempo.

Rogers e Tibben-Lembke (1998) definiram logística reversa como o processo de planificação posta em prática, com controle eficiente de matérias-prima, estoques e produtos finais, aliado ao sistema de informação existente, desde o local de origem até o de consumo, objetivando alcançar a satisfação das necessidades de consumo, gerenciar o resíduo obtido (de modo a se ter um valor residual) ou conseguir uma adequada eliminação do mesmo.

A logística reversa tem estado muito ligada ao meio ambiente, tema que tem unido a sociedade em vários países. Atualmente, a conscientização da importância da preservação do meio ambiente tem definido muitas políticas governamentais.

Lindhqvist (1992) introduziu o conceito de responsabilidade estendida do produtor (extended product responsibility - EPR) no qual define que a responsabilidade sobre os produtos, após seu ciclo de vida, deve recair sobre o fabricante sob vários tipos de responsabilidades como: passiva, econômica, física e de informação.

Canais de distribuição reversa têm sido estudados apenas recentemente pela academia e os dados da literatura sobre o assunto são escassos. Neste estudo, os produtos não retornam à fábrica (logística reversa), mas ao ciclo produtivo.

Os canais de distribuição são o modo pelo qual uma fração dos produtos retorna ao ciclo produtivo obtendo valor em mercados secundários por meio da reciclagem de seus componentes (Leite, 2003).

Uma usina de pirólise de pneus é um grande empreendimento com um alto investimento. Assim, o projeto de sua implantação deve ser avaliado em seus aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Posteriormente, os aspectos jurídicos e políticos devem ser também considerados.

Os objetivos deste trabalho são a avaliação econômica de um empreendimento de uma usina de beneficiamento de pneus inservíveis – descartados na região metropolitana do Espírito Santo (RMES), para produzir óleo e gás combustíveis – e também à análise dos aspectos técnicos, logísticos, sociais e ambientais do projeto.

Os passos seguintes são: definir o suporte financeiro, consolidar todas as informações, pesquisar os mercados de interesse e obter redução de impostos.

1.1 Definição de Pneumáticos

A primeira iniciativa de definição de pneus veio com a Resolução CONAMA nº 258/99[15]

- **Pneu ou pneumático:** todos os artefatos infláveis, constituídos basicamente por borracha e materiais de reforço, utilizados para rodagem de veículos;
- **Pneu ou pneumático novo:** aquele que nunca foi utilizado para rodagem, sob qualquer forma, enquadrando-se, para efeito de importação;
- **Pneu ou pneumático reformado:** todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem, enquadrando-se, para efeitos de importação;
- **Pneu ou pneumático inservível:** aquele que não mais se presta para o processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

A partir da Resolução CONAMA nº 258/99 veio à necessidade de ampliar o conceito ou definições para normalização dos conceitos, advindo: Portaria nº 5 - INMETRO,

14 de janeiro de 2000; Nota Técnica - INMETRO DQUAL/DIPAC/ n.º 083/2000, 03 de outubro de 2000 e a Portaria n.º 133 - INMETRO, 27 de setembro de 2001.

- **Pneu novo:** pneu que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e que não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações de qualquer origem;
- **Pneu usado:** pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste.
- **Pneu reformado:** pneu reconstruído a partir de um pneu usado, onde se repõem uma nova banda de rodagem, podendo incluir a renovação da superfície externa lateral (flancos), abrangendo os seguintes métodos e processos: recapagem, recauchutagem e remodelagem.

2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO PNEU

2.1 Quanto a Composição

Os pneus são compostos basicamente de:

- Negro de Fumo; 28%
- Óleo: 10%
- Tecido: 4%
- Derivados do Petróleo: 4%
- Fios de aço: 10%
- Outros; 3%
- Borracha Natural; 14%
- Polímeros Sintéticos: 27%

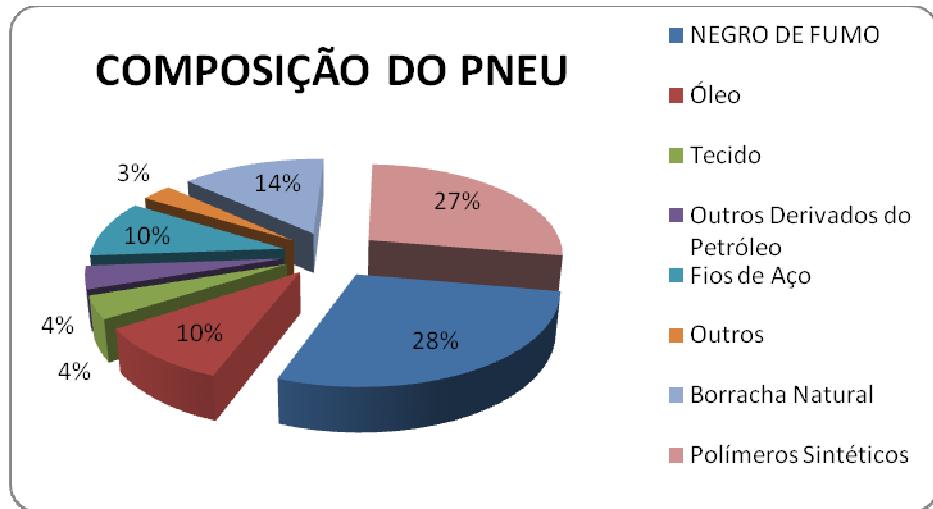


Gráfico 01: Demonstrativo da composição geral do pneu. [11]

Segundo Williams et. al.[2] a eficiência do processo de reciclagem deste material depende da composição dos pneus. Os componentes presentes em maior

quantidade nos pneus são a borracha polibutadieno (BR) e a estiro-butadieno (SBR). Também aparecem: o negro de fumo, Borracha natural (NR), os óleos, o enxofre, o acelerador, o ácido esteárico e o óxido de zinco. Negro de fumo é usado para conferir à borracha resistência aos esforços e à abrasão, enquanto que os óleos são misturas de hidrocarbonetos aromáticos que servem para conferir maciez à borracha e aumentar sua trabalhabilidade durante sua confecção. O enxofre é usado para ligar as cadeias de polímeros dentro da borracha e também endurecer e prevenir a deformação excessiva a elevadas temperaturas. O acelerador é tipicamente um composto organo-sulfúrico que age como um catalisador para o processo de vulcanização. O óxido de zinco e o ácido esteárico também reagem para controlar a vulcanização e realçar as propriedades físicas da borracha. [4]

2.1.1 Negro de Fumo

Negro de fumo é um termo genérico usado para identificar uma ampla variedade de materiais carbonáceos produzidos através da pirólise de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos. É largamente utilizado como agente reforçante e como pigmento em borrachas, tintas industriais e de impressão, plásticos, papel, revestimentos protetores e em compostos condutores de electricidade. Este material difere química e fisicamente das formas mais puras de carbono como o grafite e o diamante, sendo sua característica granulométrica o pequeno tamanho da partícula (10-500nm) o que ocasiona uma grande variação em sua área superficial (entre 6 e 1200m²/g). O teor de carbono pode variar de 83% a 99%, enquanto que os outros componentes mais comumente encontrados são o oxigênio e hidrogênio.

Os negros de fumo são classificados segundo cinco tipos básicos de processo de fabricação, Lampblack, Channel Black (Tipo Canal), Thermal Black (Tipo Termal), Acetylene Black (Tipo Acetileno) e Furnace Black (Tipo Fornalha).

Observa-se que cada tipo de negro de fumo apresenta características apropriadas para conjuntos de aplicações distintas. Assim, o tipo de Canal e Lampblack, são adequados para emprego como corantes e protetores ultravioletas, a Fornalha e o Termal, são empregados como reforçantes e o Acetileno, como condutivo.

Com a Segunda Guerra Mundial houve a restrição do fornecimento de Borracha Natural pelo Sudeste Asiático, o que exigiu a substituição desta por borracha sintética. Foi, então, que a indústria de borracha descobriu que os negros de fumo do tipo Fornalha e Canal (Furnance e Channel), quando empregados como aditivos reforçantes na borracha sintética, acabavam por promover grande melhoria na durabilidade e resistência aos esforços e à abrasão desta borracha.

A pirólise de pneus automotivos, devido à composição da borracha empregada em sua fabricação, produz como importante subproduto o negro de fumo. Este material, assim obtido, apresenta natureza similar à dos negros de fumo comerciais embora existam algumas diferenças na estrutura química (com relação à presença da ligação dupla C=O e de Oxigênio ligado ao Enxofre, sendo que estes dois tipos de ocorrência são favorecidos pelo aumento de temperatura da pirólise). [4]

2.1.2 Óleos, Enxofre e Acelerador

Os óleos são misturas de hidrocarbonetos aromáticos que conferem maciez ao produto e aumentar sua trabalhabilidade no processo de fabricação. O Enxofre tem como função ligar as cadeias poliméricas no interior da borracha bem como o endurecimento da mesma, conferindo-lhe resistência a deformação excessiva a elevadas temperaturas. O acelerador, composto orgânico sulfúrico, atua como catalisador no processo de vulcanização. [4]

2.1.3 Polímeros Existentes nos Pneus

Polímero pode ser entendido como uma macro-molécula composta por unidades menores (do grego *meros*) que se repetem dezenas ou centenas de vezes (daí *polímero*). A figura a seguir mostra a estrutura do pôlio-estireno, formado pela repetição de seu monômero, o estireno. Os polímeros são classificados como:

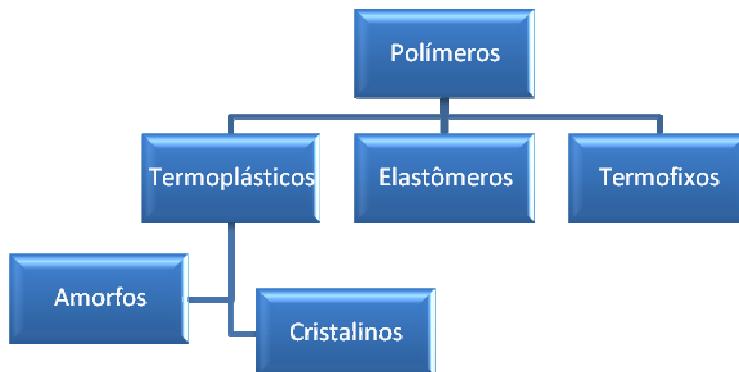


Figura 1: Classificação Geral dos Polímeros [4]

Elastômeros são polímeros que podem ser estirados facilmente em grandes extensões (cerca de 3 a 10 vezes sua extensão original) e retornar rapidamente à sua dimensão original. Esta propriedade é reflexa de sua estrutura molecular composta por uma rede de baixa densidade de reticulação. A palavra borracha é, geralmente, empregada para descrever polímeros não reticulados,

Assim, as borrachas, os plásticos e as fibras sintéticas são compostos exemplos de polímeros. O Butadieno e o Estireno, mostrado na figura a seguir, é à base das mais importantes borrachas utilizadas atualmente.

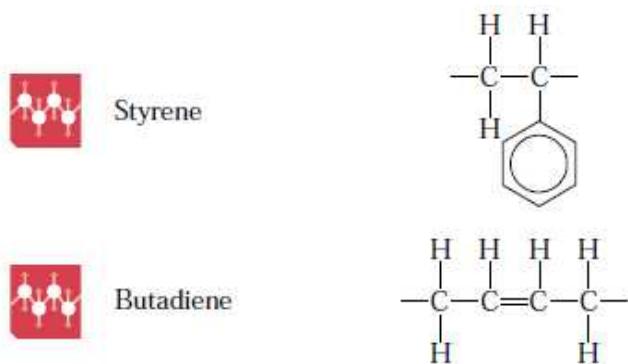


Figura 2: Estrutura atômica do Estireno e Butadieno respectivamente. [5]

2.1.3.1 Borracha Estiro-Butadieno

Composta pelos dois monômeros (Estireno e Butadieno) simultaneamente e em seqüências aleatórias, que resulta na heterogeneidade das propriedades físico-químicas ao longo de sua estrutura. Esta característica, não da ao composto boa resistência a grandes tensões, o que resulta na necessidade em adições de outros componentes, como o negro de fumo.

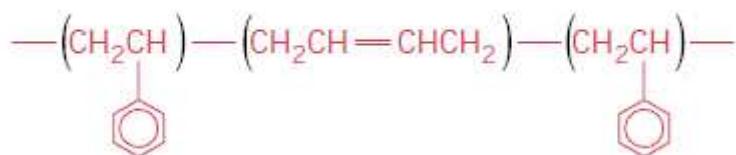


Figura 3: Estrutura da Borracha Estireno-butadieno [5]

2.1.3.2 Borracha Natural (NR)

A borracha natural tem por nome químico poli-isopreno e possui quatro isômeros. O isômero *cis*-1,4-poli-isopreno, um dos componentes da “borracha natural”, ver figura

a seguir, pode ser sintetizado somente na década de 50. Esse processo foi responsável pela grande melhoria da durabilidade e a resistência dessa borracha.



Figura 4: Estrutura atômica isômero da borracha natural. [5]

2.1.3.3 Borracha Polibutadieno (BR)

Essa borracha admite vários isômeros distintos, dentre eles, pode-se destacar o *cis*-1,4-polibutadieno por ser mais produzido. Não possui boa resistência a tensões de deformação elevadas, o que exige a adição de algum *filler* para reforço de sua estrutura. Sendo um elastômero insaturado pode ser facilmente vulcanizado com enxofre, ver figura a seguir.

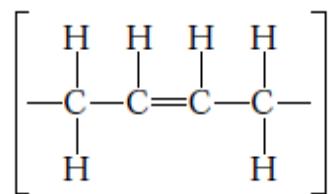


Figura 5: Estrutura da Borracha Estireno-butadieno [5]

2.2 Quanto a Geometria.

Os pneus produzidos no Brasil são do tipo convencional e radial, podendo ainda ser específicos para veículos passeio, caminhonetes, caminhões e tratores.

Esses tipos são produzidos conforme as especificações técnicas de cada fabricante, atendendo às normas da Associação Brasileira de Pneus e Aros, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia).

- **Pneu radial:** pneu cuja carcaça é constituída de uma ou mais lonas cujos fios, dispostos de talão a talão, são colocados substancialmente a 90° , em relação à linha de centro da banda de rodagem, sendo essa carcaça estabilizada por uma cinta circumferencial constituída de duas ou mais lonas substancialmente inextensíveis; ver figura a seguir.

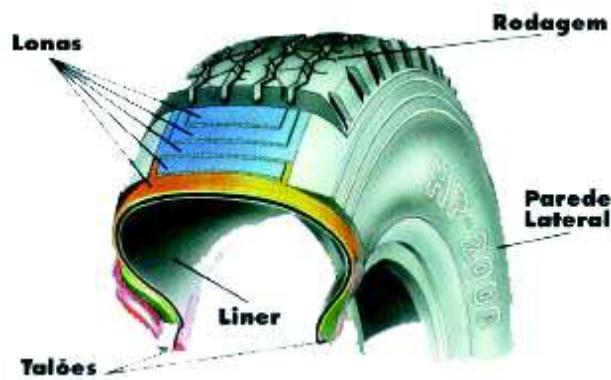


Figura 6: Construção do Pneu Radial. [16]

- **Pneu diagonal:** pneumático cuja carcaça é constituída de lonas, cujos fios dispostos de talão a talão são colocados em ângulos cruzados, uma lona em relação à outra, segundo um ângulo de 38° em relação à linha de centro da banda de rodagem; ver figura a seguir.

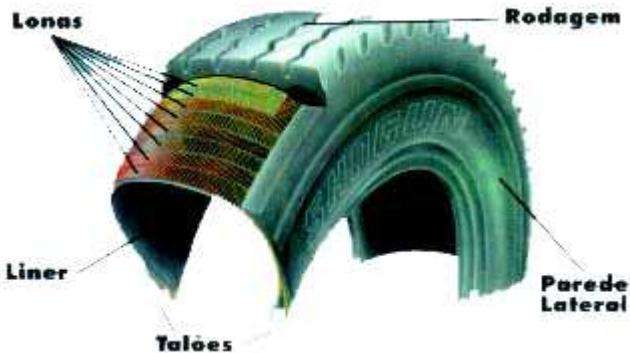


Figura 7: Construção do Pneu Diagonal. [16]

Pela ilustração, percebe-se que o pneu é composto por várias borrachas diferentesumas das outras. Por isso durante a fabricação estas borrachas são vulcanizadas juntas.

A banda de rodagem, ou simplesmente “**rodagem**”, é o componente que entra em contato com o solo, sendo, portanto constituído de um composto de borracha caracterizado pela capacidade de tração e resistência ao desgaste, a “**parede lateral**” é outro material, pois ele precisa ser flexível, a borracha aplicada na área do “**talão**” que, é um feixe de cabos de aço, onde se faz a amarração da lona da carcaça do pneu cuja função é a de fixá-lo ao aro, deverá ser muito resistente a alta temperatura, e assim por diante. Isso explica o porquê em caso de perda de pressão é imprescindível parar o veículo o mais rápido possível, visto que a rodagem em baixa pressão provoca a degradação destes diversos tipos de borracha que compõe o pneu, gerando separações e o sucateamento do pneu.

2.3 Destinações de pneus agressivas ao meio ambiente

Segundo o CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem (2007), os pneus não passíveis de recuperação têm valor negativo, ou seja, pneus inservíveis acarretam em custos para os revendedores de pneus novos que eventualmente pagam para que o resíduo seja levado e disposto em aterros.

Consensualmente, é considerada a destinação mais agressiva ao meio ambiente o descarte de pneus ao ar livre, nos campos, matas, rios, córregos, lagos e mesmo em áreas desertas. Além do péssimo aspecto que deixam na paisagem, os pneus assim descartados representam pelo menos três graves ameaças à saúde humana:

- 1) Sua forma de tubo aberto retém água que favorece a proliferação de insetos nocivos e transmissores de doenças (como a dengue e a febre amarela);
- 2) Embora se biodegradem muito lentamente (estima-se um prazo não inferior a 150 anos), os pneus contém substâncias tóxicas que podem ser liberadas na atmosfera e também contaminar o solo, o lençol freático e os cursos de água;
- 3) Um pneu comum de automóvel contém o equivalente a 10 litros de óleo combustível, e o risco de incêndios é sempre iminente, durando semanas até se extinguir, exalando gases tóxicos e fumaça negra na atmosfera.

A disposição dos pneus em aterros sanitários vem em segundo lugar. Por serem pouco compressíveis e de degradação lenta, podem prejudicar a estabilidade e a vida útil de aterros sanitários. Descartados inteiros, os pneus ocupam mais espaço, dificultam a compactação e acumulam, em seu interior, gases (metano) da decomposição do material orgânico que pode levá-los a emergir dos aterros danificando o isolamento da superfície dos mesmos. Isto permite o vazamento de fluidos e a proliferação de organismos patogênicos e de seus vetores. A solução

paliativa (inclusive a ser adotada na Europa entre 2003 e 2005) é triturar os pneus, dispondo-os nos aterros em camadas misturadas com outros resíduos.

Outra destinação agressiva, infelizmente também adotada aqui, é a pura e simples queima do pneu como combustível em fornos de cerâmicas e outros, sem qualquer tratamento dos gases da queima.

Pneus inteiros costumam ser empregados como proteção anti-choque em cais de atracação de embarcações. Colocam-se ressalvas a esta utilização, pois podem reter água, deterioram-se com os choques e a ação da água e do sol, além de um desagradável aspecto estético. Além do mais, existem produtos específicos para a mesma finalidade, também fabricados com borracha regenerada, moldada com insertos metálicos em seu interior.

Há menção ao uso de pneus inteiros como proteção de encostas e taludes, solução de baixo custo em áreas sujeitas a desmoronamentos, habitadas por população de baixa renda. Embora seja adotada metodologia construtiva que preenche o interior dos pneus com terra, trata-se de solução paliativa e precária para a indesejável condição de moradia em áreas de permanente risco. O mesmo se pode dizer da proteção de margens de córregos em zonas urbanas, para a qual também se tem indicado a aplicação de pneus descartados.

Não se conhecem números precisos do descarte de pneus no Brasil, nem do passivo ambiental representado pelos pneus abandonados na natureza. Estimativa que se pode considerar modesta calcula que 100 milhões de pneus descartados estão depositados (jogados) no meio ambiente, mas é razoável supor que a realidade se mostre bem mais grave. Quanto ao descarte anual, uma comparação pode ser feita com o caso de Portugal. Em 1996, um minucioso levantamento dos pneus descartados nesse país, abrangendo todos os tipos de pneus, até os de bicicletas, apontou 3,0 milhões de pneus de automóveis e veículos comerciais leves,

120 mil de caminhões e 1,6 milhão de outros tipos, atingindo um total de 43 mil toneladas; uma projeção anual sinalizou um descarte total de 50 mil toneladas para 2000. Há mesma época, pouco menos de 10% do descarte em peso estavam sendo incinerados num complexo cimenteiro e outros tantos dispostos em aterros sanitários, indicando que cerca de 80% estavam sendo, simplesmente, dispostos no meio ambiente ou queimados sem controle. Não será fantasioso estimar que, pela maior frota, maior dependência do modal rodoviário de transporte de cargas, as distâncias continentais a ser transpostas e o autotransporte pessoal nos grandes centros, devido à deficiência do transporte coletivo de massa, os números do descarte de pneus no Brasil sejam da ordem de, ou superior a, cinco vezes os de Portugal. Seguindo a determinação do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), e mantido o volume anual médio de pneus novos fabricados para o mercado interno, em 2002 deverão ser reciclados 7,5 milhões, o dobro em 2004, dobrando novamente em 2005 e, a partir de 2006, mais 20%. Essa progressão indica que, de início não se estará atingindo o total anual de descarte e depois deverá se reciclar, gradativamente, o passivo acumulado.

2.4 Legislações Ambientais

As primeiras regulações envolvendo pneus surgem nos anos 90 como normas voltadas para prevenir a geração de resíduos de pneus. Em 1991, o Brasil proibiu a importação de bens de consumo usados, dentre os quais os pneus, por meio da Portaria oito da SECEX. Em 1996 o IBAMA e o CONAMA proibiram a importação de pneus usados.

E no final dos anos 90, mais especificamente em 1999, é publicada resolução do CONAMA que introduziu o princípio da responsabilidade do produtor e do importador pela destinação final ambientalmente adequada de pneus.

Portanto, apenas em 1999 os produtores e importadores ficaram obrigados a coletar e dar destinação ambientalmente adequada a uma quantidade crescente de pneus inservíveis, sendo que as metas de coleta têm como base o volume de pneus fabricados ou importados no mercado doméstico.

No ano de 2000, a portaria oito da SECEX proibiu a concessão de licenças para a importação de pneus recauchutados (reformados) e usados, como bem de consumo ou matéria-prima, utilizando o argumento de que estes pneus entrariam no país com vida útil curta e logo se transformariam em passivo ambiental.

Em 2002, esta portaria foi alterada para permitir as importações de pneus remoldados provenientes dos Estados partes do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), devido a uma decisão do Tribunal Arbitral do MERCOSUL que obrigou o Brasil a autorizar a importação dos pneus remoldados. Porém, as empresas que reformam pneus continuaram importando pneus usados por meio de liminares judiciais, utilizando o argumento de que não há uma lei que classifique pneu usado como resíduo perigoso ou indesejável e, portanto, impede a entrada desse material no país. E como é possível importar o produto do Uruguai, deve ser possível importá-lo de outros países.

A regulamentação da importação de pneus usados tem impacto direto na disputa pelo mercado consumidor doméstico das empresas produtoras de pneus novos e das reformadoras.

As reformadoras desejam esta matéria-prima, pois os pneus usados provenientes da Europa e dos EUA têm qualidade muito maior devido às melhores condições de rodagem dos veículos, o que preserva a carcaça do pneu. Assim, tem sido grande o lobby destas empresas para liberar a importação de pneus reformado-usados. Além disso, na Europa está cada vez mais rígida a legislação para descarte de pneus inservíveis, e é grande o interesse destes países em exportarem pneus reformados

e usados para que o produto torne inservível em outro país, o que os livrariam de ter que lidar com o lixo-pneu.

No ano de 2006, entrou em vigor na Europa a diretiva que proíbe a deposição de pneus picados em aterros sanitários; a deposição de pneus inteiros já é proibida desde 2001. O descarte de pneus triturados em aterros sanitários da União Européia (UE) é da ordem de 80 milhões de pneus anualmente. Com esta diretiva de proibição, a UE está pressionando o Brasil na Organização Mundial do Comércio (OMC) para liberar a importação de pneus reformados.

O Brasil é o detentor da maior frota de veículos dos países em desenvolvimento e, portanto, um destino em potencial para os pneus usados europeus. Pneus de automóveis só podem ser reformados uma única vez, o que significa que os pneus usados importados da Europa podem ser reformados uma única vez e se transformarão em lixo no Brasil. Se o governo brasileiro permitir a entrada de pneus reformados, os europeus encontrarão no território brasileiro uma alternativa para destinar os pneus que antes eram dispostos nos aterros sanitários.

Para o mercado de reciclagem, a proibição da importação dos pneus usados impacta de duas formas diferentes:

- Sem a importação haveria diminuição da demanda da coleta de pneus para destinar de forma ambientalmente correta, pois as empresas importadoras não teriam mais a cota de comprovação de destinação correta dos pneus importados; e
- Por outro lado, aumentaria a disputa pelos 10,3 milhões de pneus usados gerados anualmente pelo mercado de reposição de pneus do país, e que seria a única fonte possível de matéria-prima para as reformadoras do país.

Atualmente está em tramitação no Congresso Nacional um projeto de lei que altera as resoluções anteriores para liberar a importação de pneus usados. Houve várias tentativas de aprovação, mas a pressão da sociedade é grande e até então esta lei ainda tramita no Congresso.

Abaixo são apresentadas e discutidas as principais resoluções sobre destinação dos pneus inservíveis.

2.5 Destinações Funcionais dos Pneus

Em Wiesbaden, Alemanha, 1978, se deu a primeira iniciativa com relação à queima de pneus, utilizados como combustível secundário em fornos de cimento em regime experimental, na usina de Amoneburg. Realizaram-se três anos de teste com grau de substituição de até 50% em termos energéticos, não foram constatados maiores danos aos equipamentos ou queda na qualidade dos produtos.

As iniciativas mais concretas no Brasil ocorrem em parceria com a indústria de cimento. Não sendo necessárias grandes adaptações nos equipamentos, no mínimo, 20% em valor energético do combustível pode ser substituído por pneus.

Até o início da década de 1990 pouco havia com relação à legislação e normas a respeito da armazenagem ou eliminação de pneus. Mas, em decorrência das primeiras catástrofes ocorridas em depósitos ilegais começaram a surgir leis específicas. Um dos fatos marcantes foi o incêndio no ano de 2006 em Hagersville, Canadá, onde se incineraram 14 milhões de pneus num único incidente.

Nos Estados Unidos, em 2005, aproximadamente 85% dos pneus descartados foram legalmente destinados. Atualmente são praticadas diversas técnicas para mitigação do problema de acúmulo de pneus, além do uso como insumo energético, que consome aproximadamente metade da produção.

Estimativas quanto ao número de pneus inservíveis gerados anualmente no Brasil estão entre 17 e 20 milhões, sendo seis milhões no estado de São Paulo. Já se acumulam no país em torno de 100 milhões de unidades em depósitos irregulares. Um levantamento feito por Güenther (2006) reuniu dados das prefeituras da grande São Paulo no ano de 2005 [17]. Entre os municípios analisados, apenas o de Santo André possuía estimativa oficial, de 150 pneus por dia coletados de lojas de serviço de troca e enviados a um aterro especializado. Os municípios de São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Diadema, Mauá e São Paulo não dispunham de estatísticas. Os pneus coletados na região do ABCD são geralmente picados e enviados a um aterro sanitário em Mauá.

A ANIP (2006), Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos, afirma ter produzido e vendido 53,4 milhões de unidades em 2005. Destas, 18,2 milhões foram exportados, 14,5 milhões foram vendidas a montadoras no país e 23,9 milhões foram para o mercado de reposição. Tendo como base de cálculo as vendas para reposição a associação apresenta a seguinte distribuição de mercados de pneus usados:

- Não descartados pelo consumidor após reposição: 36,9 %
- Mercados de segunda mão e de recondicionados: 9,9 %
- Destinados pelos fabricantes: 8,5 %
- Destinados a aterros ou “lixões” por prefeituras: 10,9 %
- Reprocessados por lamination para outros usos: 7,1 %
- Destinação não controlada: 26,7 %
- Total = Mercado de reposição: 100 %

A seguir, são informados alguns meios de reutilização de pneus inservíveis.

2.5.1 Recauchutagem

Os pneus se constituem no segundo item de maior custo de uso dos veículos automotores, depois do combustível. Devido a isto, há muito tempo se desenvolveu um processo para a reforma de um pneu usado, denominado recauchutagem, em que é reposta e vulcanizada a camada superior de borracha da banda de rolamento. A história de recauchutagem de pneus é quase tão antiga quanto à história dos pneus. Hoje, os principais setores para recauchutagem de pneus são de aviões, veículos militares, ônibus escolares, off - road de veículos pesados, veículos de serviço postal, as frotas de táxis, veículos industriais, caminhões de bombeiros, ambulâncias, carros de corrida, etc. A tecnologia recauchutagem está bem estabelecida de forma que os Pneus recauchutados proporcionam um desempenho seguro e confiável a um preço inferior em comparação com pneus novos.



Figuras 8 e 9: Os pneus de aviação podem ser recauchutados até 11 vezes. O maior pneu de produção no mundo é o Titan International, Cada um custa U\$ 50.000, e recauchutagem U\$10.000 [16]

Os requisitos para que se possa fazer a reforma são que a estrutura geral do pneu não apresente cortes e deformações, e a banda de rodagem ainda apresente os sulcos e saliências que permitem sua aderência ao solo (ou seja, que na linguagem popular o pneu não esteja "careca"). As precárias condições de conservação dos pavimentos de estradas e ruas limitam muito a vida útil do pneu de primeira rodagem, assim como impedem sua reforma. Outra limitação é econômica.

Em boas condições de conservação, um pneu de caminhão pode suportar até cinco reformas. No Brasil, a reforma de um pneu de caminhão ou ônibus custa em torno de um terço do preço do novo. Já um pneu reformado de automóvel custa 60% do preço do novo, e não se recomenda que seja reformado mais de uma vez. Além disto, nos grandes centros, redes de lojas especializadas e supermercados vendem os pneus novos com pagamento parcelado, enquanto o pneu reformado deve ser pago à vista. Estes fatores têm reduzido cada vez mais a reforma de pneus de automóveis.

Devido à má conservação das estradas e ruas brasileiras, metade das carcaças não atende aos requisitos para a reforma, e estima-se que apenas um terço dos pneus produzidos anualmente para o mercado interno seja reformado cerca de 10 milhões.

Em outros países, a reforma de pneus também é limitada aos pneus de veículos comerciais, caminhões e ônibus principalmente. No Reino Unido, apenas 47% deles passam pelo processo de reforma, ou cerca de 100 mil unidades por ano.

Apesar do fato de que os pneus recauchutados terem sido testados e aprovados, a maioria dos proprietários de carros particulares não querer comprá-los para os seus veículos por uma variedade de razões. O mercado de pneus recauchutados vem sofrendo drástica queda, para se ter uma idéia em 1990, mais de 33,5 milhões de pneus foram vendidos como pneus recauchutados, enquanto apenas 16 milhões de pneus foram vendidos em 1998.

Nota: A recauchutagem não é contada como a reciclagem de pneus em alguns relatórios sobre pneus usados (resíduos sólidos) de gestão. No entanto, a extensão do ciclo de vida do produto tem contribuído para uma diminuição no desperdício de materiais diversos e problemas de eliminação.

Fatos: Como mencionado anteriormente, os principais mercados para pneus recauchutados são aviões, veículos militares, ônibus escolares, off-road veículos pesados, veículos de serviço postal, as frotas de táxis, veículos industriais, caminhões de bombeiros, ambulâncias, carros de corrida, etc.

Quase 100 por cento das companhias aéreas do mundo utilizam os pneus recauchutados. Quase 100 por cento dos off-road, veículos pesados, uso de pneus recauchutados.

Em 1998, 27 milhões de pneus de caminhões / ônibus foram adquiridos para substituição de frotas, 16 milhões foram reformados e 11 milhões de pneus novos. Para a maioria das frotas, os pneus representam o terceiro maior item em seu orçamento, após o trabalho e o custo do combustível. O custo da reforma de pneus é geralmente de 30 a 50% inferiores ao custo de um pneu novo. Estas estatísticas indicam que os pneus recauchutados para estas aplicações são rentáveis.

O processo de produção de pneus consome uma grande quantidade de energia normalmente equivalente a 22 litros de óleo para a fabricação de um pneu de caminhão novo. A maior parte dessa energia está contida no invólucro, que pode ser reutilizado em um pneu recauchutado. Como resultado, toma o equivalente a apenas 7 litros de petróleo para produzir um pneu recauchutado.

A longevidade dos pneus recauchutados é quase a mesma que os pneus novos e quase a mesma eficiência de combustível para o veículo como pneus novos.

Mitos: Alguns mitos e imagens negativas de produtos reciclados são muitas vezes uma grande barreira. Algumas destas considerações de pneus recauchutados são discutidas abaixo:

1: pneus recauchutados são menos seguros que os pneus novos.

Fato: As estatísticas compiladas pelo Departamento E.U. de Transportes mostram que quase todos os acidentes estão envolvidos os fatos de os pneus estarem sub-inflado ou careca. Corretamente mantida a calibragem e pneus, novos e reformados, não causa acidentes. Pneus recauchutados têm sido utilizados com segurança em ônibus escolares, caminhões, carros, carros de bombeiros e outros veículos de emergência por ano.

Abaixo, tem-se uma tabela onde o pneu recauchutado ou remodelado de diferentes fabricantes é comparado ao pneu novo.

2: pneus recauchutados têm uma maior taxa de falha de pneus novos.

Fato: Falha na estrada ocorre tanto com pneus novos e pneus recauchutados, principalmente dos pneus do caminhão que estão sobrecarregados, sub-inflado, ou abusada de outra forma, em oposição à má qualidade dos produtos recauchutados. Novo ou recauchutado as falhas de pneus s podem ser bastante reduzidas após a boa manutenção, incluindo o acoplamento eficaz em relação a diâmetro e profundidade do piso e do design, bem como a manutenção da pressão de ar adequada.

Problemas (Reais): devido ao mercado diminuir rapidamente para recauchutagem de pneus, o mercado total de pneus recauchutados encolheu mais de 55% nos últimos 8 (oito) anos. Alguns problemas 'reais' devem ser considerados como parte da razão para a diminuição rápida na recauchutagem de pneus. No mercado de

reposição, os pneus recauchutados não fornecem uma vantagem econômica suficiente em comparação com o custo de pneus novos.

Pneus pouco peso contribuem para a eficiência de combustível melhorada e estabilidade em alta velocidade. Recentemente desenvolvidos compostos de alta resistência tornaram isso possível. Os fabricantes têm diminuído a parede lateral e espessura do piso, a fim de reduzir o peso. Isso tem um impacto negativo para recauchutagem, uma vez que o pneu vai exigir um procedimento tecnicamente mais preciso, e um custo adicional para a empresa de recauchutagem.

A concorrência no mercado de reposição de pneus de carros de passeio é muito apertada. Os fabricantes já perceberam que há pouca demanda para recauchutagem de pneus de carros de passeio, e projetaram um tempo-ótimo de uso.

Soluções: Recauchutagem é uma bem-estabelecida e tecnologia comprovada, mas não é a solução definitiva para a gestão de pneus usados.

A chave do sucesso é a forma de desenvolver a recauchutagem, como uma opção viável para o mercado de reposição de pneus de passageiros. Um esforço necessário é eliminar as barreiras e as imagens negativas a respeito de recauchutagem de pneus usados. Em segundo lugar, mudanças na fabricação e design de pneus novos são necessárias para facilitar a reutilização. Isso exigiria iniciativa legislativa.

2.5.2 Recuperação

A recuperação consiste na simples Trituração dos pneus e moagem dos resíduos, reduzidos a pó fino. A borracha contida nos resíduos, na forma vulcanizada, não sofre modificação e não é separada dos demais compostos.

Os pneus recuperados têm dois usos mais comuns:

(1º) Na mistura com asfalto para a pavimentação de vias e pátios de estacionamento. Da Trituração, as partículas não maiores que 5 mm e com umidade de no máximo 2% são misturadas ao asfalto na proporção de 1 a 3% em peso.

(2º) Nas fábricas de cimento, o produto da moagem, com partículas de 1 a 6 mm, podendo chegar a 50-500 micras, é incinerado no forno como combustível e a fumaça (gases produzidos pela queima) é incorporada ao cimento.

O recuperado, sob certos aspectos, tem propriedades semelhantes à da borracha vulcanizada, porém, como não vulcaniza novamente, não pode ser utilizado como substituto da borracha crua na produção de artefatos. Entretanto, devido a seu custo reduzido e baixo peso específico, pode ser empregados como elemento de carga na produção de saltos e solados de calçados, mangueiras, tapetes para automóveis, etc.

2.5.3 Outros Processos

Há dois outros processos para a recuperação dos pneus. O primeiro se baseia na Trituração ou moagem à temperatura ambiente, seguida de peneiramento e separação magnética para a borracha, o aço e o nylon. No segundo, chamado de processo criogênico, os resíduos são tratados numa câmara à temperatura abaixo de zero grau Césios e, em seguida, passam pelo processo mecânico anterior. Ambos são processos considerados "limpos", sem emissão de óxidos de enxofre ou de azoto. Comparativamente, o processo exclusivamente mecânico à temperatura ambiente possui menor investimento inicial, simplicidade e flexibilidade do processo, e volumes de produção elevados. O processo criogênico apresenta as vantagens de um pó de granulometrias regulares e muito reduzidas, a limpeza do produto final e a reduzida manutenção. Ao que consta, o processo criogênico não tem sido utilizado

no Brasil, e o processo mecânico com separação dos materiais passou a ser utilizado mais recentemente.

Há também os processos químicos para recuperação da borracha, entre os quais craqueamento, gaseificação, hidrogenação, extração por degradação e extração catalítica.

3 MÉTODOS DE PIRÓLISE EXISTENTES E DE REUTILIZAÇÃO DE PNEUS.

Desde meados da década de 1990, o processo da pirólise tem sido o mais utilizado na reciclagem de pneus. A pirólise, considerada uma destilação destrutiva, visa reaproveitar componentes do pneu como matérias primas e/ou combustíveis. A seguir é explicado o que é pirólise de maneira genérica e são descritos alguns processos de pirólise utilizados no mundo.

3.1 Pirólise de uma maneira genérica

Segundo o dicionário Aurélio da Língua Portuguesa:

Pirólise: s.f. Química: Decomposição química obtida por aquecimento. [1]

O processo de pirólise pode ser genericamente definido como sendo o de decomposição química por calor na ausência de oxigênio. Os resíduos que alimentam o reator pirolítico podem ser provenientes de Pneus inservíveis, lixo doméstico (orgânicos e inorgânicos), de resíduos plásticos e outros resíduos industriais, deverão ser previamente selecionados e triturados.

Após esta etapa são levados ao reator pirolítico onde ocorrerão as separações dos subprodutos em cada etapa do processo.

Através da pirólise a matéria processada pode ser convertida em diversos subprodutos. Segundo M. da S. Pinto, o material pirolisado pode ser dividido em três grupos:

- Gases, compostos por hidrogênio, metano e monóxido de carbono;

- Combustível líquido, composto por hidrocarbonetos, alcoóis e ácidos orgânicos de elevada densidade e baixo teor de enxofre;

- Um resíduo sólido, constituído, por carbono quase puro e ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória).

Os processos pirolíticos são endotérmicos, ao contrário do processo de gaseificação ou de incineração; é, pois necessário fornecer externamente calor ao sistema para que a reação de pirólise aconteça. Esta condição de contorno se faz necessária, pois somente desta forma, reduzindo as perdas de calor, é possível obter o fracionamento das substâncias sólidas presentes no insumo. [2]

O balanço energético do sistema de pirólise é sempre positivo, pois produz mais energia do que consome este, sem dúvida, é um fator importante para que este processo continue a ser pesquisado [13].

O fracionamento das substâncias sólidas ocorre gradualmente a medida que estas passam pelas diversas zonas de calor que constituem o reator pirolítico. Como se pode observar, os resíduos perdem inicialmente a umidade pela secagem e, à medida que entram na zona pirolítica, vão sendo decompostos em substâncias distintas: gases, líquidos e sólidos (char e escórias). [14]

O reator pirolítico possui três zonas específicas, a saber:

1. Zona de secagem, onde os resíduos que irão alimentar o reator passam por duas etapas:
 - a. Pré-secagem;
 - b. Secagem propriamente dita; nesta zona as temperaturas estão na faixa de 100º a 150º C (deve-se observar que esta etapa é de suma

importância, pois a umidade pode interagir negativamente com os resultados do processo);

2. Zona de pirólise ou pirolítica, onde ocorrem as reações químicas, sendo elas a volatilização, a oxidação e a fusão; Na zona pirolítica o calor atinge gradientes elevados dependendo do sistema empregado. Em geral, a temperatura no reator varia de 300 a 1600 °C. A variação da temperatura e o monitoramento do ar necessário à combustão são de fundamental importância no processo, pois permite que determinadas substâncias sejam extraídas do insumo sendo pirolisado. Desse modo, a pirólise como um processo de tratamento de resíduos, torna-se menos irreversível se comparada com os demais, como a incineração e o aterro sanitário [13].

Na zona pirolítica são controladas a temperatura e o oxigênio. O resultado desse controle possibilita a extração de gases combustíveis, substâncias alcoólicas, óleos combustíveis, alcatrão, sulfatos de amônio e carbono quase puro (carvão “char”) [13].

3. Zona de resfriamento, onde os resíduos gerados pelo processo são coletados no final do processo (char, cinzas e escória).

O reator é carregado pela parte superior onde, por gravidade, os resíduos previamente triturados penetram na zona de secagem e perdem água, aumentando seu poder de queima. A secagem é realizada pela passagem dos gases oriundos da

zona pirolítica. Após a secagem os resíduos entram na zona de pirólise propriamente dita, onde são submetidos a três processos:

- Volatilização
- Oxidação
- Fusão.

Com o aumento da temperatura os gases da combustão são liberados e a seguir coletados, podendo ser utilizados industrialmente. Alguns sistemas utilizam o calor dos gases para produzir vapor através de trocadores de calor e caldeiras. Outros processos aproveitam os gases diretamente, fazendo movimentar turbinas e máquinas térmicas que produzem potência [14].

Na fase final do processo, os materiais sólidos fundidos juntamente com a escória (vidro, terra, pedras, metais etc.) são resfriados e removidos pela parte inferior do sistema. Quando o processo é aplicado a uma única cadeia de detritos, como a pirólise de pneumáticos, a escória obtida é considerada um dos produtos do processo.

Abaixo, segue uma análise empírica realizada por G. M. Mallan & C. S. Finney da influência dos parâmetros envolvidos num sistema de pirólise genérico.

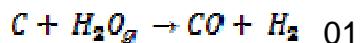
Verificou-se que a umidade varia pontualmente, pois depende de mecanismos dinâmicos (condições climáticas), o valor do PCI (poder calorífico inferior) é freqüentemente alterado, gerando instabilidades nos sistemas e dificultando sua

operação e controle. Entretanto, este problema pode ser resolvido com o aumento de tempo de retenção dos resíduos na zona de secagem.

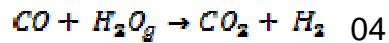
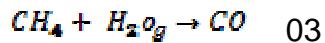
Ainda, E. R. Kaiser & S. B. Friedman, estudando os efeitos da taxa de transferência de calor de um sistema pirolítico, identificaram uma série de mudanças na composição dos gases da pirólise [13].

Posteriormente, os efeitos da temperatura no processo de pirólise também foram estudados, sendo os resíduos submetidos a diversos níveis de temperatura. J. M. McFalad estudando os efeitos da temperatura no processo de pirólise enumeraram uma série de importantes observações.

O teor de carbono residual diminui com o aumento da temperatura devido à conversão do carbono em gases combustíveis, segundo as equações:



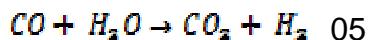
O total de água presente diminui com o aumento da temperatura devido à reação com metano.



Os condensados orgânicos diminuem com o aumento da temperatura devido às reações de “craking”, resultando na formação de produtos orgânicos de baixo peso molecular. Em altas temperaturas estes produtos são convertidos em H₂, CO e CH₄.

A produção de gás aumenta com a temperatura.

A produção de dióxido de carbono aumenta a 900°C. Entretanto acima de 800 ocorre a conversão de CO₂ para CO devido à alta concentração de hidrogênio, baixa concentração de água e pelo coeficiente de temperatura negativo da reação.



Considerando que os parâmetros críticos aqui apresentados podem ser contornados com o avanço da ciência e da tecnologia da combustão, podemos afirmar que em futuro próximo estes sistemas de pirólise poderão vir a ser uma grande arma na luta contra a poluição e o desperdício dos produtos naturais. [2]

Existem variados tipos de reatores pirolíticos em operação, com tecnologias diversas para a extração de subprodutos dos resíduos que processam.

3.2 Pirólise de Pneus SVADALA/METSO

Com larga experiência na pirólise de diversos materiais, a empresa de origem sueca, mas sediada no USA (desde 2001 fundida com a METSO MINERALS), começou a desenvolver intensa pesquisa com a reciclagem de pneus a partir de 1996. Primeiro em laboratório, depois numa usina piloto chegou, finalmente, aos resultados objetivados, iniciando depois a construção de usinas comerciais, com capacidade de

processar 50, 100, 150 e 200 toneladas diárias de pneus. O processo completo pode ser resumidamente descrito no seguinte.

O pneu é triturado em partículas não maiores que 50 mm e um alimentador introduz o material num forno horizontal rotativo - o reator pirolítico - onde é feita, termicamente, a separação dos componentes básicos dos pneus: carbono, óleo, aço e gás:

1. O forno descarrega os sólidos num separador que separa o carbono do aço;
2. O carbono (carvão) é resfriado, passa por outra separação magnética para retirar pequenas partículas de aço, é moído e classificado para venda como negro de fumo.
3. O fluxo de gás é captado do forno para um condensador, onde gás e óleo são separados;
4. O óleo é bombeado para tanques de armazenamento para ser vendido como combustível e/ou reaproveitado na própria usina;
5. O gás pode receber dois tratamentos alternativos: a) queimado numa câmara de combustão secundária, resfriado, lavado, retirada de partículas sólidas em filtros de mangas e liberado na atmosfera; ou b) comprimido, purificado e aplicado numa turbina a gás para gerar energia elétrica para a própria usina e venda do excedente; parte do

gás assim tratado pode ser usada como fonte energética para o formo de pirólise, ou ainda para gerar vapor.

A seguir o fluxograma do processo apresentado acima.

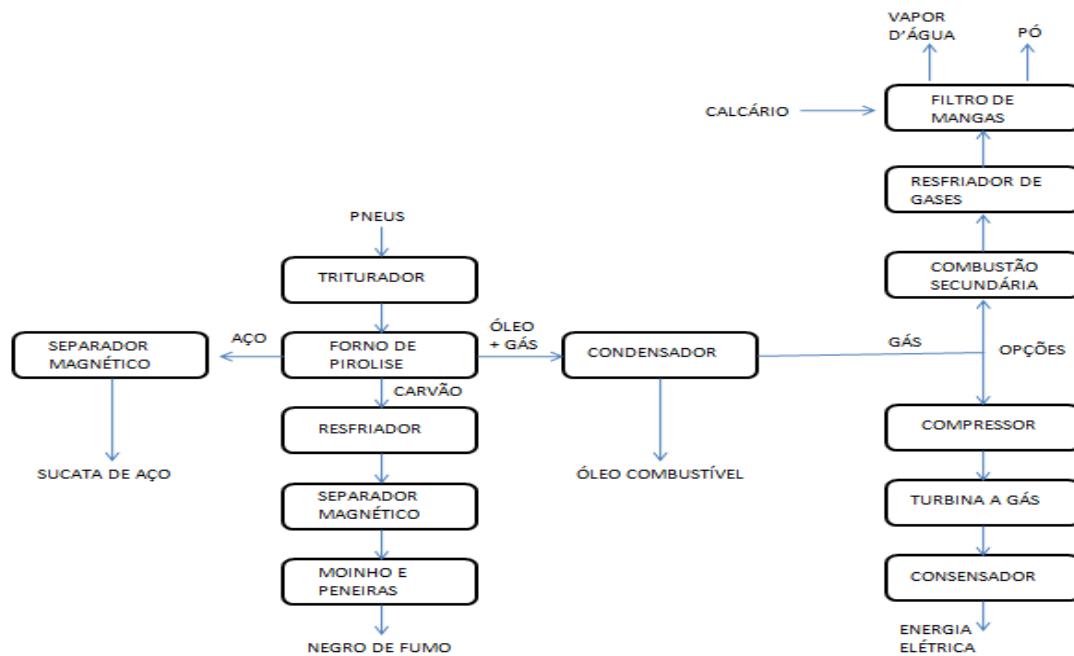


Figura 10: Processo SVEDALA/METSO. [4]

A produção típica de uma usina que processa 100 t/dia de pneus é de 28 t de carvão, 12 t de aço, 22 t de óleo e 30 t de gás não condensável. Dos materiais básicos de um pneu apenas não se aproveitam o tecido de nylon, consumido na pirólise, e parte dos aditivos, representando cerca de 8% do pneu, pequena parte sólida e a maior parte em gases condensados. A instalação da planta é compacta, toda encapsulada, e o processo é considerado "limpo".

3.3 Pirólise Por Microondas

Esse método é baseado num equipamento de destilação de microondas é feito para possibilitar a destilação destrutiva de todos os resíduos de pneus de modo eficiente, efetivo e com o mínimo de impacto ambiental. De acordo com a modalidade preferida, o equipamento contém: uma carcaça com uma pluralidade de câmaras dispostas verticalmente, as câmaras, sendo elas de pré-aquecimento que pré-aquece um conjunto de resíduos de pneus recebidos, e uma câmara de irradiação, localizado abaixo da câmara de pré-aquecimento e termicamente acoplado a esta, de tal forma que o calor gerado na câmara de irradiação crie correntes de convecção de calor na câmara de pré-aquecimento, o aparelho ainda realiza o fornecimento de energia de microondas através do suprimento desta energia à câmara de irradiação para fornecer destilação destrutiva de resíduos de todos os pneus pré-aquecidos recebidos na câmara de irradiação.

Preferencialmente, as câmaras do aparelho de destilação compreendem ainda uma câmara de resfriamento, localizada abaixo da câmara de irradiação, para a recepção de subprodutos da destilação destrutiva e para entrega destes subprodutos da carcaça. A câmara de refrigeração, de preferência inclui uma abertura de entrada próxima em comunicação com a câmara de irradiação, uma abertura de descarga próxima e uma esteira para receber os subprodutos da câmara de irradiação, e para o transporte dos subprodutos que recebeu para a porta de descarregada. Vantajosamente, a porta de descarga compreende um portão que, quando aberto, proporciona a descarga de subprodutos. A câmara de resfriamento preferencialmente também inclui meios para a remoção de fluidos associados com os subprodutos da câmara de resfriamento.

O aparelho possui ainda um portão cujo objetivo é fornecer alimentação por gravidade dos pneus da câmara de pré-aquecimento para a câmara de irradiação. O

portão de meios de preferência inclui um conjunto de portas proporcionando um bloqueio de purga entre a câmara de pré-aquecimento e a câmara de irradiação. Em uma implementação mais desejada, a câmara de pré-aquecimento inclui meios para fornecer um gás de purga sob pressão acima da pressão atmosférica a câmara de pré-aquecimento. Vantajosamente, o gás de purga é composto de nitrogênio, embora outros gases como o CO₂ também possa ser usado. Nesta aplicação preferida, o aparelho de preferência comprehende ainda meios para a manutenção da câmara de irradiação a uma pressão inferior à da câmara de pré-aquecimento antes da recepção de um pneu advindo da câmara de pré-aquecimento para que o gás de purga seja transferido para a câmara de irradiação, quando um pneu é recebido nela.

De acordo com um aspecto importante da invenção, a câmara de irradiação comprehende uma cavidade sintonizada. Em uma modalidade vantajosa, a cavidade ou câmara estaria ligada a um múltiplo de freqüência de microondas.

Preferencialmente, a câmara de irradiação inclui pelo menos uma janela transparente de microondas dentro, por onde a energia de microondas é transmitida. Vantajosamente, o aparelho comprehende ainda meios de limpeza, montado dentro ou na câmara de irradiação, para a remoção de contaminantes de pelo menos uma janela. A limpeza significa, preferivelmente, a utilização de meios de limpeza ultrassônica para a prestação de limpeza vibratória de pelo menos uma janela.

O fornecimento de energia de microondas comprehende pelo menos um guia de onda tendo uma extremidade de saída terminando em uma parede da câmara de irradiação, pelo menos um agitador de microondas localizado na extremidade de saída do guia de ondas, e uma janela de microondas transparente na parede por onde a energia de microondas é, a partir do guia de ondas, acoplada a câmara de irradiação. A fonte de energia de microondas inclui pelo menos a primeira e segunda

guias de onda posicionados em lados opostos da câmara de irradiação para direcionar a energia de microondas para esta câmara, de modo a irradiar ambos os lados de um pneu quando dentro da mesma. Em uma modalidade preferida, a carcaça inclui quatro janelas de microondas transparentes em cada um dos lados da dita câmara de irradiação e um agitador de microondas associadas a cada uma das janelas de modo que cada um dos agitadores cubra um quarto de um lado de um pneu. Em uma modalidade alternativa, há duas janelas de microondas transparentes diagonalmente dispostas, e agitadores de microondas associados á estas, localizados em cada lado da câmara.

A câmara de irradiação de preferência inclui meios para apoiar um pneu verticalmente nela, de modo a definir um plano vertical e do fornecimento de energia de microondas, possibilitando transmitir energia de microondas a certo ângulo ao referido plano vertical.

De preferência, a câmara de irradiação comprehende ainda um vácuo para remover os gases da câmara de irradiação.

3.3.1 O equipamento

O equipamento de destilação de por microondas realiza uma destilação destrutiva de resíduos de pneu fragmentado ou inteiro. O equipamento possui uma carcaça que tem varias câmaras arranjadas verticalmente. Uma câmara de pré-aquecimento pré-aquecida dispõe de vários resíduos de pneus armazenados. Uma câmara de irradiação, localizada em baixo da câmara de pré-aquecimento e termicamente acoplada a esta, tanto que o calor gerado na câmara de irradiação crie correntes de calor de convecção na câmara de pré-aquecimento. Uma câmara de resfriamento, localizada abaixo da câmara de irradiação, recebe os subprodutos da destilação destrutiva e prevê a entrega destes subprodutos da carcaça. Para melhor entendimento, ver a seguir.

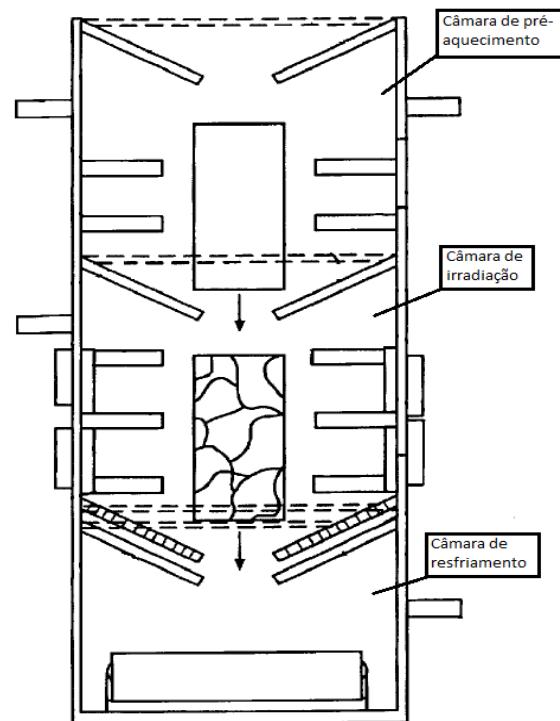


Figura 11:Forno de pirólise por microondas. [6]

3.4 Reciclagem de Pneus em Forno Elétrico Siderúrgico

A figura a seguir mostra um forno elétrico a arco usado na elaboração de aços. Sua capacidade pode variar desde algumas poucas até centenas de toneladas. O material a ser processado é enornado usando-se caçambas que se abrem pelo fundo. Uma carga típica para esse tipo de forno é constituída de aproximadamente 85% de sucata de aço e 15% de ferro-gusa; contudo, podem ser usados outros insumos metálicos, como ferro obtido por redução direta. Juntamente com a carga metálica são acrescentados fundentes como dolomita e cal, numa proporção típica de 3,3 t para 100 t de sucata, os quais formarão a escória que absorve as impurezas

(especialmente enxofre e fósforo) provenientes do banho metálico, protege o revestimento refratário do forno e melhora o desempenho energético do processo. Também são acrescentados 1,15 t de antracito ou coque a cada 100 t de sucata, cuja combustão serve de fonte de energia suplementar ao processo. [7]

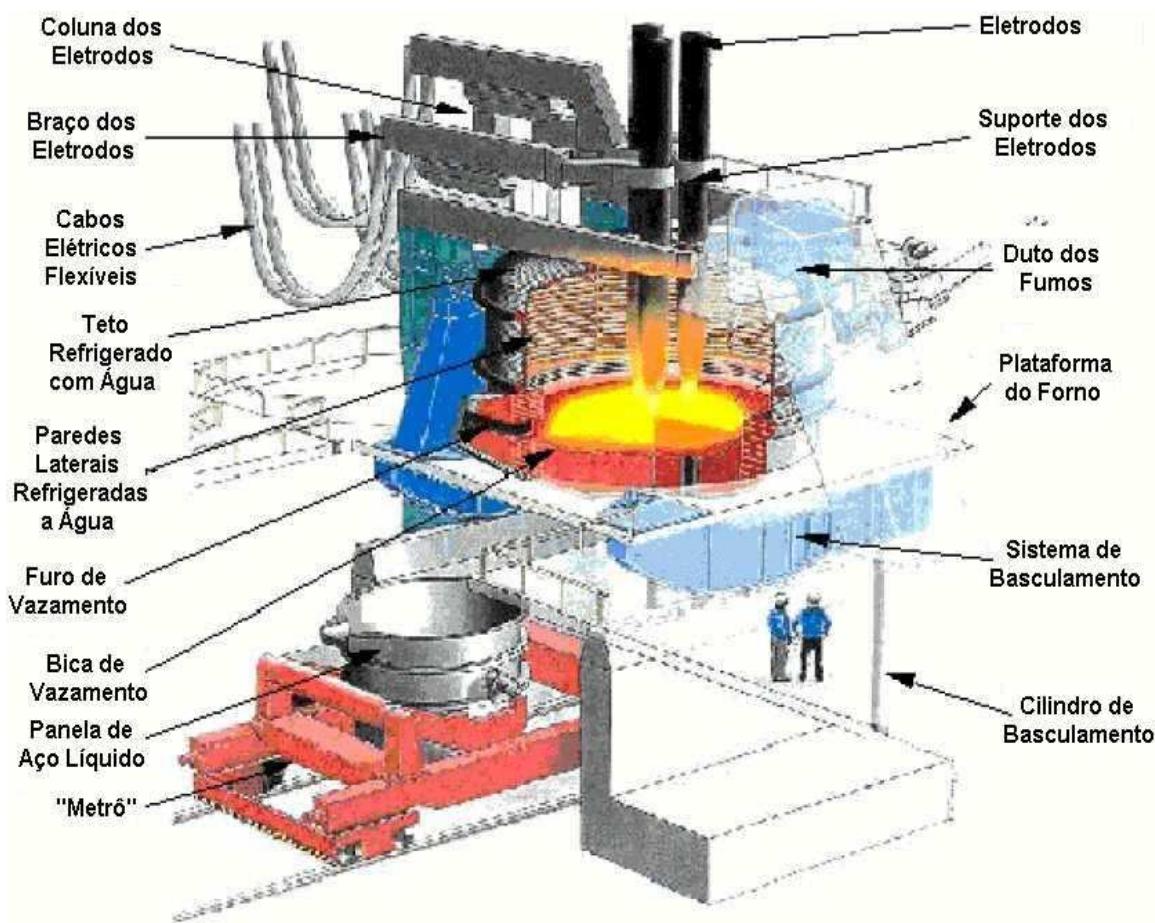
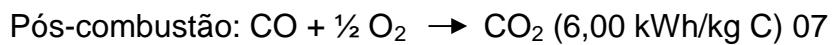
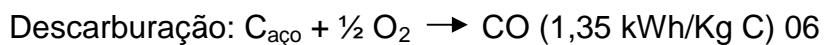


Figura 12: Forno a Arco Elétrico [7]

A fusão da carga metálica sólida ocorre através do calor gerado por arcos elétricos que se estabelecem entre ela e a ponta de três eletrodos suspensos no teto do forno. Esses arcos elétricos ocorrem quando os eletrodos são aproximados da carga

metálica, a qual atinge temperaturas da ordem de 15.000°C no ponto de incidência do arco. À medida que as camadas superiores de sucata se fundem, os eletrodos podem penetrar cada vez mais fundo no banho metálico, liquefazendo as camadas inferiores.

Geralmente se injeta uma mistura de gás natural (metano) mais ar ou oxigênio no interior do forno usando-se lanças, o que gera calor suplementar através da combustão do silício e carbono presentes no ferro gusa, bem como do carbono presente no antracito ou coque. Após a fusão completa do metal sólido suspende-se a injeção de gás natural, mantendo-se a introdução de ar ou oxigênio que descarbura o banho metálico e efetua a pós-combustão do excesso de antracito ou coque. As reações envolvidas são:



A escória formada pelos fundentes, óxido de ferro e impurezas dos aços sobrenada na superfície do banho metálico. Uma prática relativamente recente no processo de elaboração de aço em fornos elétricos a arco consiste em proporcionar espumar a escória através da injeção simultânea de oxigênio e coque pulverizado em seu interior, gerando bolhas de CO. Isso faz com que sua espessura aumente de 5 a 15 vezes, intensificando a transferência de calor desde os arcos elétricos até a carga. Essa medida ainda proporciona um escudo contra o ataque da radiação do arco sobre as paredes de refratário, reduz o ruído dos arcos elétricos de 120 dB até 85 dB e melhora sua eficiência elétrica, tornando-os mais suaves, reduzindo o fator de potência e as oscilações na rede elétrica. O CO formado deve sofrer pós-combustão sobre a superfície do banho, o que é conseguido injetando-se oxigênio nesse ponto específico através de uma lança. O calor assim obtido é transferido para o banho

metálico, contribuindo para que as reações endotérmicas necessárias ao refino do aço continuem ocorrendo [7,8,9].

Após um processo adequado de fusão e refino, o qual leva em regra 45 minutos, o aço líquido é vazado a 1.630°C para uma panela, momento em que são feitas as devidas adições de elementos de liga.

O metal líquido segue então para o lingotamento, ou eventualmente para uma etapa adicional de refino em forno-panela. O forno elétrico a arco está então pronto para processar nova carga de aço [7].

3.5 Pirólise de pneus com xisto – PETROBRÁS

O Processo Petrosix desenvolvido pela PETROBRAS, para retortagem de xisto, tem como principal característica a simplicidade operacional e a pirólise em baixa temperatura. Atualmente e sem outros investimentos adicionais, o que representa vantagem significativa, o Petrosix está sendo empregado para o co-processamento de xisto e pneus. [25]

Após ser minerado a céu aberto o xisto passa por uma série de britadores os quais reduzem a granulometria do material bruto até dimensões que variem de 6 a 70 milímetros, quando o fluxo é transportado até um vaso-reactor cilíndrico vertical, selado, denominado retorta Petrosix. Neste ponto, o processo foi adaptado para inserir a corrente de pneus já adequada em sua granulometria, em tiras ou pedaços de 50 até 100 mm em sua maior dimensão, à corrente de xisto cru.

Uma vez carregada pelo topo da retorta, a carga segue seu fluxo naturalmente descendente. Deste estágio em diante, ocorrem a secagem, a retortagem propriamente dita, pela passagem de gás quente, em contra corrente. Este

aquecimento provoca a vaporização da matéria orgânica contida no xisto e pneus gerando óleo e gás.

A energia necessária para a pirólise é fornecida pela corrente endógena de gás de processo aquecido externamente até cerca de 480°C, quando é reinjetado na retorta na, zona de retortagem.

Nas zonas anteriores e posteriores à zona de retortagem, ditas de aquecimento e resfriamento respectivamente, a massa gasosa ascendente troca calor ao material retortado que se resfria, resultando na condensação dos vapores de óleo sob a forma neblina, transportada para fora da retorta pela corrente circulante de gases. Parte desta, arrastando as gotículas de óleo, passa por equipamentos de separação tipo ciclones e filtro precipitador eletrostático. Nos ciclones, devido à força centrífuga, as partículas sólidas e gotas de óleo são separadas do gás que segue para ao precipitador eletrostático para polimento final.

O gás limpo isento de neblina e sólidos é comprimido e dividido em três correntes: uma é aquecida em forno a cerca de 480°C e reinjetada na retorta, em altura mediana, para fornecer energia para a retortagem, outra fria é injetada no fundo da retorta para resfriamento do material retortado descendente e aproveitamento do calor, e a terceira é o gás produto que segue para tratamento final.

Na Unidade de Tratamento de Gases a nafta e água de equilíbrio são condensadas e o produto é separado como gás combustível e gás liquefeito, quando então é processada a recuperação do enxofre. [29]

As correntes ricas em óleo recuperado nos ciclones e precipitador eletrostático seguem para tratamento por filtração e centrifugação para produzir o óleo produto.

A água gerada é grande parte reaproveitada diretamente no processo, a porção residual é esgotada e o gás ácido resultante é incinerado.

A água tratada retorna ao processo. A figura a seguir apresenta em fluxograma esquemático do processo integrado com a mineração e a recuperação das áreas pós-ineradas. Após o processamento, o xisto e pneus esgotados de seus voláteis, são ditos retortados e podem ser futuramente reaproveitados como insumo para geração de energia em termelétricas. Atualmente o resíduo sólido é depositado nas cavas da mina, recebendo finalmente uma camada de argila e solo vegetal o que permite a utilização dos terrenos reabilitados para fins florestais, agropecuários e de urbanização. [25]

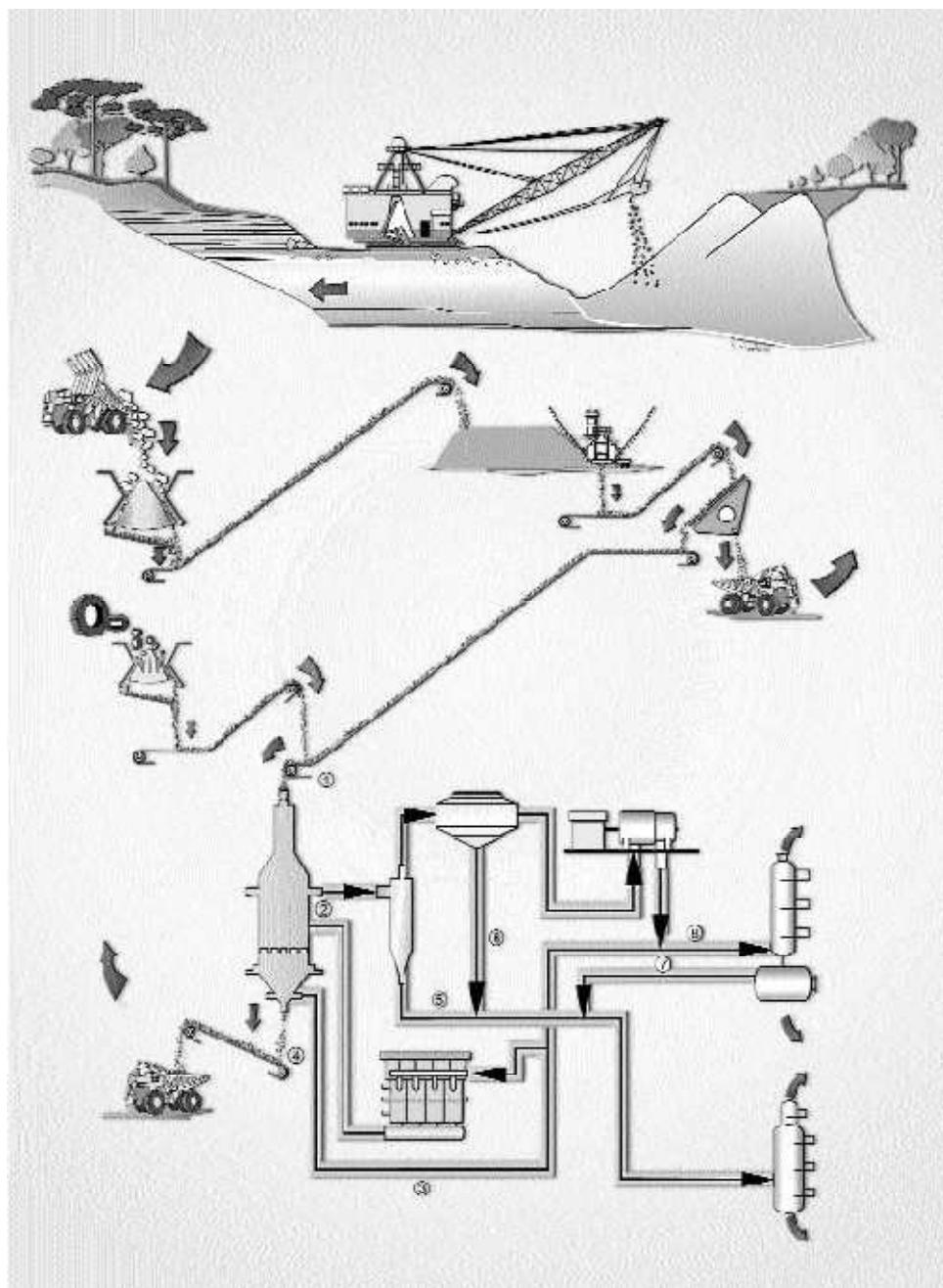


Figura 13 - Processo Petrosix. [25]

Estudos de solubilização e lixiviação realizados pelo Centro de Tecnologia em Saneamento e Meio Ambiente - SENAI, sobre os resíduos sólidos efluentes da

pirólise [8] os enquadram como não perigosos e não inertes, classe II, o que os habilita para disposição assistida como ocorre na SIX. [31]

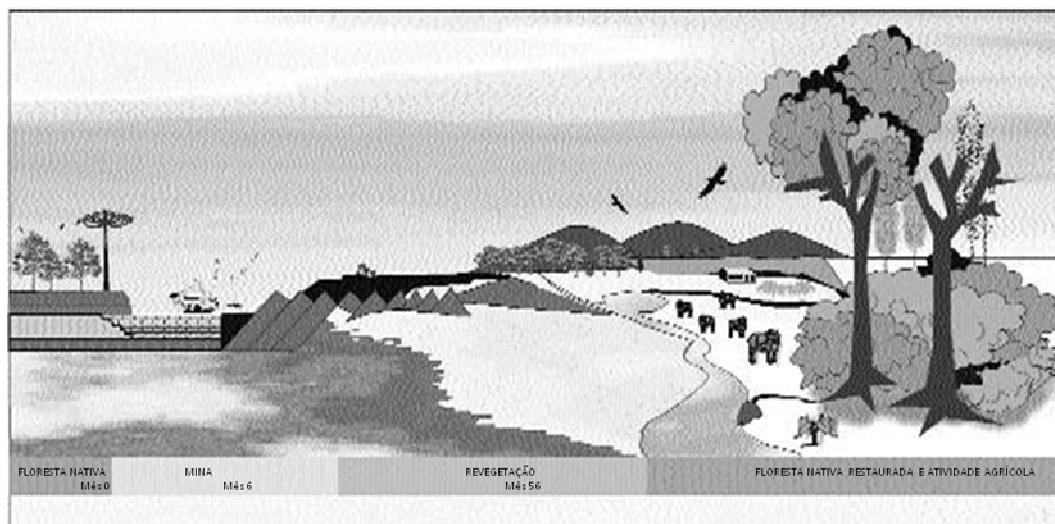


Figura 14 – Esquema do Perfil de Recuperação das Áreas Mineradas

O rendimento qualitativo e quantitativo de produtos de pirólise é função da natureza e qualidade da carga a ser pirolisada e principalmente da temperatura de retortagem. Dodds [30] em estudos diversos cita rendimentos da pirólise de pneus em função da temperatura. Na SIX-Laboratório foram realizados testes de retortagem, segundo o ensaio Fisher (10) sob amostra de pneus de diversas procedências. Os resultados que concordam com a literatura, estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1: Rendimento da Pirólise de Pneus de procedência segundo a temperatura de retortagem.

Temperatura de Pirólise, C	Gás % peso	Óleo % peso	Negro de Fumo % peso
500	6	42	52
530 (Ensaio Fisher)	7	45	40
600	10	50	40
700	15	47	38
800	31	30	29

O rendimento da pirólise de pneus no Processo Petrosix foi avaliado indiretamente uma vez que o óleo e o gás produzidos se apresentam intrinsecamente misturados ao óleo e gás de xisto. O óleo de pirólise, resultante nestas condições, é produzido sob baixa temperatura, o que permite garantir o seu alto padrão de qualidade. [33]

3.5.1 Qualidade dos Produtos Gerados na Pirólise de Xisto e Pneus

Em operação de porte industrial nas dependências da Superintendência da Industrialização do Xisto em São Mateus do Sul, Paraná, em meados de maio de 1999, foram adicionadas 5 %, em peso, do fluxo de alimentação da retorta Petrosix, de pneus picados, sob a corrente de carga de xisto a ser retortado. Os produtos gerados foram avaliados sob aspectos químicos e operacionais e os resultados se apresentam a seguir:

3.5.1.1 Óleo de Pirólise de Xisto e Pneu

O óleo de pirólise, gerado à baixa temperatura, é constituído de cerca de 20% em peso de óleo puro de pneu e é aromático com ligeiro odor queimado. Este apresentou um poder calorífico de superior de 10.262 kcal/kg, densidade 20/4OC de 0,9457 e viscosidade de 7,6 cSt 37,9 OC. O ponto de fluidez de -6 OC. Como óleo integral poderia ser classificado grosseiramente segundo padrão ASTM como Bunker Nº4. As demais propriedades são conforme tabelas nas seguir e se referem ao óleo de pneu puro:

Tabela 2: Composição elementar típica do óleo de pneu.

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR TÍPICA DO ÓLEO DE PNEU - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR	% EM MASSA
Carbono	82.73
Hidrogênio	10.84
Enxofre	1.7
Nitrogênio	0.4
Oxigênio	4.33

Tabela 3: Composição típica de classes químicas do óleo [32]

COMPOSIÇÃO TÍPICA DE CLASSES QUÍMICAS DO ÓLEO DE PNEU - CLASSES QUÍMICAS	%MASSA
Parafinas	24.9
Olefinas	43.3

Naftalênicos	6.6
Aromáticos	25.4

Tabela 4 - RENDIMENTO EM PRODUTOS A PARTIR DA DESTILAÇÃO FRACIONADA [25]

RENDIMENTO EM PRODUTOS A PARTIR DA DESTILAÇÃO FRACIONADA	%VOLUME
Nafta pesada	38
Querosene	17
Óleo Diesel	19
Carga para Craqueamento Catalítico	26

3.5.1.2 Testes de Queima e Aplicações Comerciais do Óleo de Xisto e Pneus

A aplicabilidade comercial recomendada imediata deste óleo é como óleo combustível convencional e suas misturas. Testes de queima em combustor convencional, do óleo de pirólise de pneus e xisto foram conduzidos na SIX, em Unidade Protótipo de Combustão, para avaliação da qualidade das emissões. Os resultados gerados indicaram não haver diferenças significativas entre as emissões do processo de queima de óleos combustíveis convencionais de xisto e de óleo de pirólise de xisto e pneus [11].

Outras aplicações têm sido citadas como uso da fração pesada de óleo de pneus como extensor de borracha em aditivação ou modificação de asfalto através da incorporação de polímeros. Aplicações como óleo aromático na indústria de pneumáticos também têm sido citadas [32]

Tabela 5: Composição aproximada do gás de Pirólise [30]

COMPOSIÇÃO APROXIMADA DO GÁS DE PIRÓLISE	%MOLAR
Hidrocarbonetos	69.2
Dióxido de Carbono	22.46
Monóxido de Carbono	6.9
Sulfeto de Hidrogênio	1.44
Poder Calorífico Superior, Kcal/Kg	8.015

O gás produzido pelo processo de pirólise de pneus e xisto tem a mesma destinação que o atual gás de processo produzido pelo Processo Petrosix. Atualmente o gás combustível é consumido integralmente pela Indústria Cerâmica do Paraná – INCEPA e o equivalente ao gás liquefeito de petróleo, GLP é engarrafado e distribuído pelas revendedoras regionais de gás de cozinha.

3.5.1.3 Resíduo da retortagem de Pneus

Tabela 6: Composição aproximada do pneu retortado. [30]

COMPOSIÇÃO APROXIMADA DO PNEU RETORTADO	% EM PESO
Carbono Fixo	82.73
Cinzas	10.84
Matéria Volátil	1.7
Poder Calorífico Inferior, Kcal/Kg	0.4

O resíduo da pirólise de xisto e pneus tem indicação para uso em termelétricas devido ao seu elevado poder calorífico. Atualmente não é feita a recuperação do aço contido no pneu retortado que retorna à mina para disposição adequada.

Conclusões:

Assim, os pneus usados inservíveis e demais resíduos de automóveis se constituem em cerca de 30 % de materiais que carecem de solução para um ciclo de vida total de reciclagem. O grande desafio da retortagem de pneus atualmente se resume em dois pontos fundamentais: O primeiro deles é a qualidade dos produtos gerados, a qual deve ser tal que permita o aproveitamento no mercado a preços competitivos e o segundo a remuneração do capital investido no desenvolvimento, montagem e operação da planta de pirólise em si.

O processo de pirólise oferece muitas vantagens sobre outras práticas de incineração, queima direta ou disposição, como a recuperação de uma variedade de materiais e seus conteúdos energéticos que de outra forma seriam dispostos em aterros.

O óleo recuperado de pneus pode ser usado diretamente como óleo combustível, de boa qualidade, e como aditivo de asfaltos. O negro de fumo gerado tem sido aplicado como carga ou modificador de asfaltos especiais além de insumo para termelétricas. As emissões ambientais da queima de óleo e gás de pirólise de xisto e pneus são comparáveis às de outros processos de combustão de óleos combustíveis convencionais.

O *Processo Petrosix* se apresenta como uma solução ambientalmente segura, licenciada pelo IAP – Instituto Ambiental do Paraná, e tecnicamente adequada para o processamento de até 30 milhões de pneus usados e inservíveis por ano. [25]

3.6 Utilização de Pneus Inservíveis na fabricação de cimento

A construção civil e a fabricação de artefatos de cimento têm sido responsáveis pela produção nacional de cimento, atualmente, com mais de 35 milhões de toneladas.

A queima de resíduos industriais nos fornos de clínquer tem sido tema de discussão em âmbito nacional e internacional por estar relacionada às implicações no que diz respeito às emissões atmosféricas e à qualidade do cimento produzido. As unidades de cimento estão se confrontando com os problemas de sustentabilidade, ao terem que garantir não somente os suprimentos de matérias-primas e insumos energéticos, como de cumprir normas e padrões.

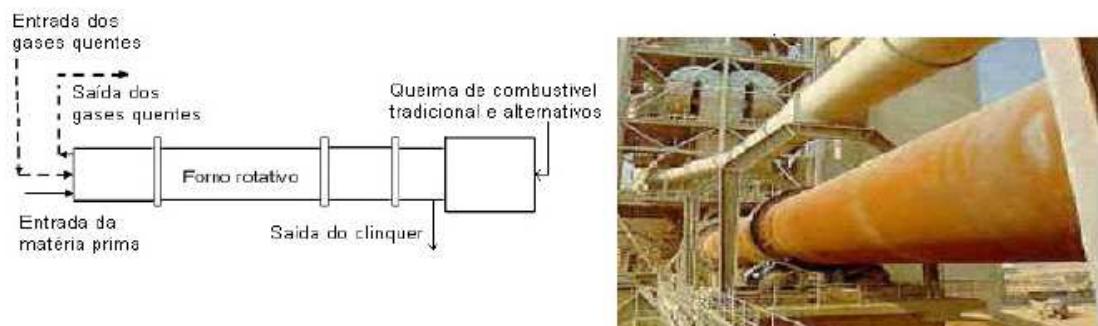


Figura 15 – Esquema e vista geral de um forno rotativo [10]

No Brasil a construção civil e a fabricação de artefatos de cimento têm sido responsáveis pela produção de cimento, atualmente, com mais de 35 milhões de toneladas, para isso, as plantas foram ampliadas e modernizadas, além de outras instaladas. Isso gerou uma concentração de capital nas jazidas de calcário e fábricas de cimento, tornando relevante o peso dos proprietários e sócios estrangeiros dessas unidades. Acrescido a isso, houve a modernização nos processos de fabricação empregados, redução de custos, principalmente, no que concerne ao

combustível utilizado e, algum investimento na redução da emissão de particulados (pó), que é a poluição visual observada pela sociedade. [10]

Resíduos industriais de natureza diversificada têm contribuído como fontes de substituição de combustível em fornos rotativos de produção de clínquer das unidades de fabricação de cimento, visando uma recuperação de recursos ao invés de uma simples operação de destruição desses resíduos.

A fim de garantir a sustentabilidade do processo necessitam garantir não somente os suprimentos de matérias primas e insumos energéticos, como de cumprir normas e padrões.

Para tal, os pneus inservíveis estão sendo cogitados para a queima em fornos de clínquer, reduzindo os gastos com combustíveis derivados do petróleo como óleo diesel. Porém, a queima de pneus libera para a atmosfera SO₂ e CO₂. A queima de pneus em fornos de cimenteiras consiste no simples processo de introduzir e adicionar resíduos à carga que vai alimentar o forno para queima, no entanto, essa prática pode ser desastrosa considerando-se que o processo de queima é realizado em contra corrente, ou seja, a carga vai sendo aquecida, progressivamente, antes de chegar à zona de combustão.

Dependendo da velocidade de queima, as substâncias voláteis podem ser arrastadas antes de atingirem a temperatura necessária à sua destruição. O monóxido de carbono (CO) e COV (compostos orgânicos voláteis) poderão ocorrer, principalmente, em casos em que se efetue um fornecimento de combustível não totalmente controlado e/ou em que há uma mistura pouco eficaz com o ar comburente, originando uma deficiência de oxigênio. Dessa forma, segundo Santi (2004), a queima de pneus, ou de qualquer outro resíduo em fornos de cimento, deve seguir alguns critérios estabelecidos pelos órgãos ambientais responsáveis do local onde as cimenteiras estão instaladas. Visando quantificar a queima de pneus

pode-se adotar uma composição média dos constituintes conforme mostra o gráfico 01 deste trabalho.

Com base na composição química média de um pneu, apresentada na tabela 2, a queima total (oxidação total) de uma tonelada de pneus pode significar, teoricamente, uma emissão 2,56 t de CO₂ e 26 kg de SO₂ para atmosfera.

Caso o enxofre contido em uma tonelada de pneu tenha, respectivamente, 0,1%, 0,5% e 1%, a emissão para a atmosfera de óxido arsenioso (As₂O₃) será de 17g, 85g e 170g. Esses valores são dificilmente identificados e quantificados na emissão dos gases quentes para atmosfera, entretanto, no momento em que se multiplicam pelo valor da produção anual, a massa de óxido, então, torna-se significativa.

4 ASPECTOS TÉCNICOS DA PLANTA DA USINA DE PIRÓLISE

A seguir, detalhes, descrições, desenhos e imagens do sistema de pirólise de pneus que podem ser alterados de acordo com a necessidade do local de instalação.

Os equipamentos são projetados e adquiridos com as referidas especificações. Algumas das ilustrações podem mostrar as tampas e caixas como desaparecidas. Essas peças ausentes na ilustração são, como tal, para mostrar o interior do dispositivo, apenas.

Algumas fotos e desenhos podem não mostrar as características de segurança necessárias, que são exigidos pelas normas brasileiras de segurança.

Segue o descritivo da planta, para melhor entendimento, que foi divida em seções que demonstram o caminho que o pneu faz ao longo da cadeia produtiva de reciclagem do mesmo.

4.1 Seção A – Preparação do Pneu para o Processo Pirolítico

A figura abaixo mostra a seção “A”:

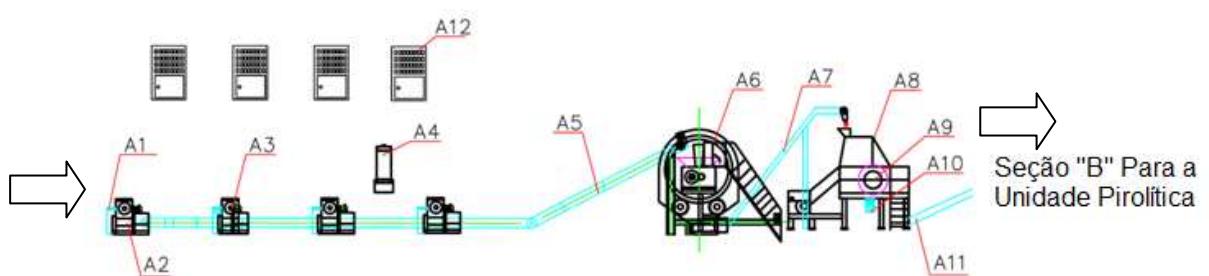


Figura 16: Esquemático da seção A da Usina de Pirólise [11]

Seção A – Sistema de Trituração abaixo se tem a legenda das indicações do desenho acima.

Tabela 7: Descritivo da seção A da Usina de Pirólise [11]

Nº do Item	Item
A1	Transporte
A2	Unidade de remoção de aço 1
A3	Unidade de remoção de aço 2
A4	Máquina de aquartelamento dos pneus
A5	Correia transportadora 1
A6	Triturador 1
A7	Esteira 2
A8	Triturador 2
A9	Separador Magnético (interno)
A10	Transportador do aço
A11	Transportador de saída do triturador
A12	Sistema de controle elétrico

Equipamentos de menor tecnologia embarcada como, tubulações, trituradores, podem ser adquiridos na RMGV, reduzindo os custos com importações e transporte bem como o acesso a rede autorizada, proporcionando redução de tempo de reparo e/ou substituição de peças.

4.2 Seção “B” – Unidade Pirolítica

Basicamente é o complexo que envolve o Reator de Pirólise em Leito Fluidizado. Abaixo, observa-se uma figura do reator em exposição em Jinan, China [12].



Figura 17: Fotografia de planta demonstrativa instalada em Jinan, China. [12]



Figura 18: Fotografia do reator pirolítico instalado em Jinan, China. [12]

Na figura a seguir, seguem a planta da referida seção e o descriptivo dos equipamentos que a compõe.

Seção B – Unidade Pirolítica

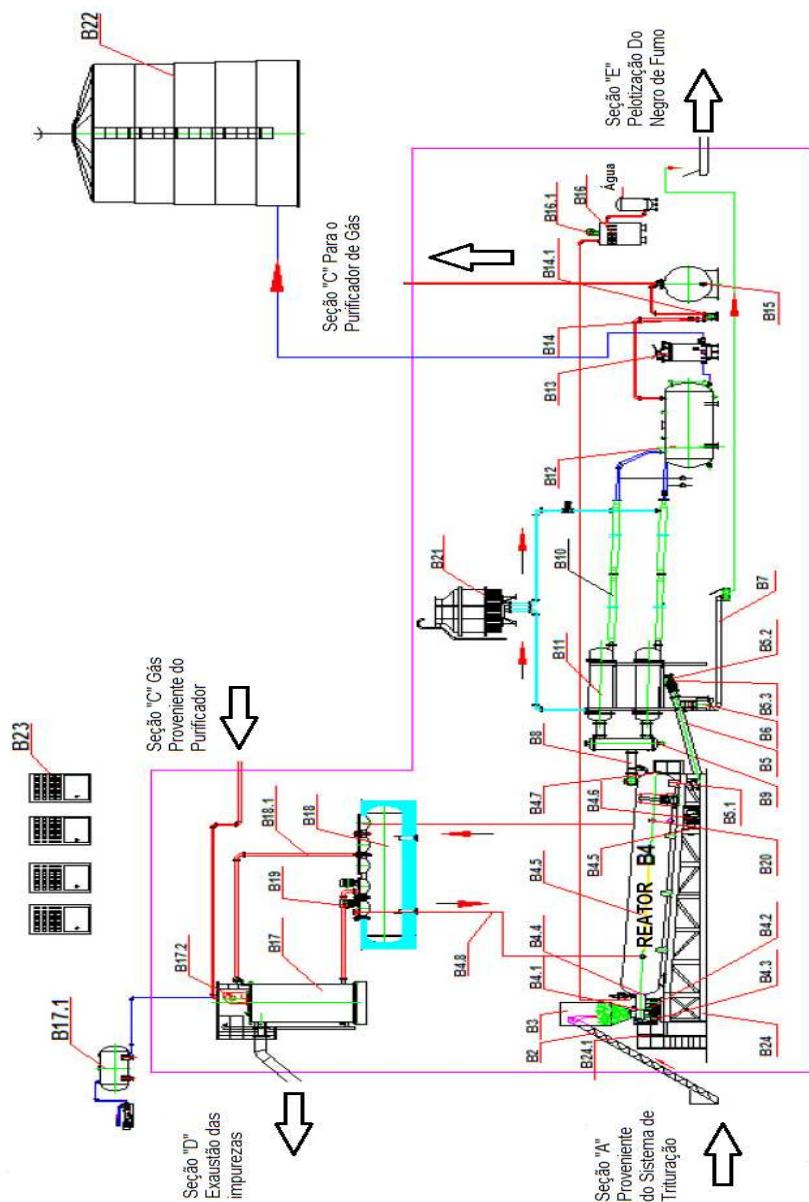


Figura 19: Esquemático da seção B da Usina de Pirólise [11]

Tabela 8: Esquemático da seção B da Usina de Pirólise [11]

Nº do N Item	Item	Nº do Item	Item
B1	Sistema CCTV	10	Tubulação de Arrefecimento
B2	Transportador	B11	Condensadores Horizontais
B3	Funil de alimentação	B12	Tanque de Armazenamento de Combustível
B4	Reator	B13	Filtro de Precisão
B4.1	Regulador de alimentação	B14	Sistema de Controle de Pressão
B4.2	Motor do Regulador de alimentação	B14.1	Sistema de Controle de Pressão
B4.3	Caixa de transmissão do motor do Regulador de Alimentação	B15	Tanque de Armazenamento de Gás
B4.4	Vedaçāo da entrada de ar (interno)	B16	Tubulação do Gerador de Vapor
B4.5	Motor do Reator	B17	Forno
B4.6	Caixa de transmissão do motor do Reator	B17.1	Tanque de Combustível do Forno
B4.7	Aquecedor do Reator (interno)	B17.2	Queimador do Forno
B4.8	Tubulação de alta temperatura	B18	Tanque de Armazenamento de Solução para Aquecimento
B5	Transportador de Negro de Fumo (interno)	B18.1	Bomba de Temperatura Elevada
B5.1	Vedaçāo de Saída (interno)	B19	Bomba de Temperatura Elevada
B5.2	Motor do Transportador de Carvão de Pirólise	B20	Válvula de Temperatura Elevada

B5.3	Caixa de Transmissão do Motor do Transportador de Carvão	B21	Torre de Resfriamento
		B22	Tanque de Armazenamento de Óleo

Uma vez que os pneus foram cominuicionados (triturados) e os cerca de 90% ~ 95 do aço foi removido dos pneus, eles estão prontos para serem processados pelo reator (B4). O forno (B17) aquece a solução ate atingir a temperatura operacional. Tal processo dura cerca de três horas, a partir de um arranque a frio completo, até que se poça alimentar o reator.

Transportadores (B2) são usados para transportar os pneus triturados para o funil de alimentação (B3). O fluxo de pedaços de pneus está regulado com o sistema de alimentação (B4.1, 4,2, 4,3) de modo a fornecer a quantidade ótima de fragmentos a serem transformados continuamente. Ao mesmo tempo, o catalisador é adicionado para permitir que a pirólise seja mais eficiente.

O reator é munido de um motor (B4.5, 4.6) para facilitar a pirólise. A reação de pirólise decompõe os fragmentos de pneu em óleo combustível, carvão pirolítico e possibilita a separação desses produtos de qualquer aço remanescente.

O óleo combustível, agora no estado físico de vapor, flui para o separador de óleo (B9) e depois para os condensadores horizontais (B11). Os condensadores de vapor refrigerado transformam o combustível de gasoso em estado líquido. O óleo combustível (agora líquido) continua a fluir para o tanque (B12). Uma bomba transporta o combustível a um filtro de precisão (B13) e depois para o tanque de óleo de armazenamento (B22).

A outra saída do reator é para a retirada do negro de fumo e qualquer aço restante (cerca de 05 ~ 10%). Estes dois materiais são levados para fora do reator através do transportador (B5). Os dois produtos são processados através do separador magnético (B6) de modo a remover o aço do Negro de Fumo. O aço é então transportado para o beneficiamento. O negro de fumo é transportado por (B7) para a Secção E.

4.3 Seção "C" – Beneficiamento do Gás Pirolítico

A Seção C fornece gás Purificado. O gás de hidrocarbonetos, que não é condensado em óleo líquido, é "limpo" para remover enxofre (desulfuração). Depois de limpo, o gás é queimado no forno para o reaproveitamento no sistema para geração de energia, reduzindo assim os custos operacionais.

Seção C: Indicação dos equipamentos do sistema de gás.

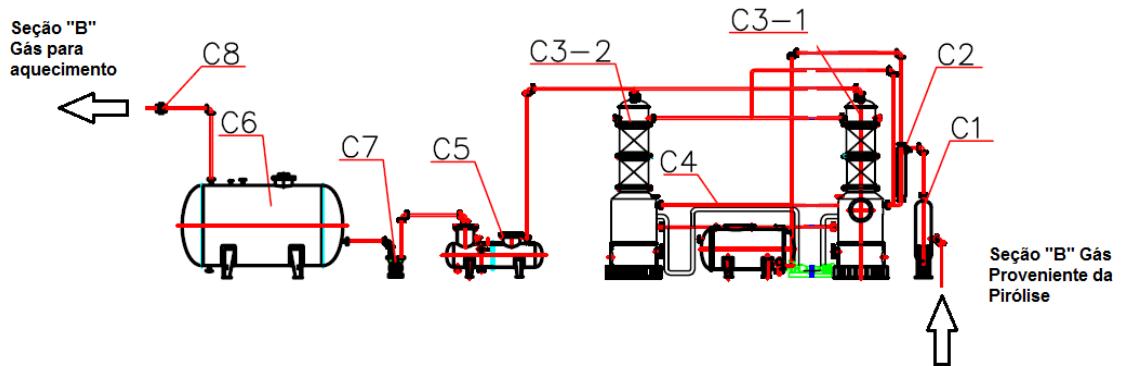


Figura 20: Esquemático da seção C da Usina de Pirólise [11]

Tabela 9: Descritivo da seção C da Usina de Pirólise [11]

Nº ítem	Ítem
C1	Tanque Separador
C2	Purificador de SO ₂
C3	Purificador de Dupla Fase
C4	Tanque de Armazenamento de NaOH
C5	Separador
C6	Tanque de Armazenamento de gás
C7	Ventilador para Transporte de Gás
C8	Dispositivo de Supressão de realimentação

4.4 Seção “D” – Tratamento dos gases de exaustão

Secção D: é um sistema de escape de purificação que remove as emissões de gases de escape do forno.

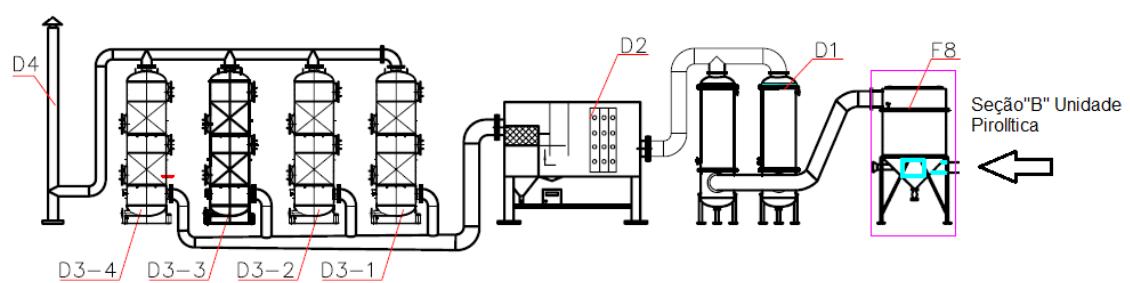


Figura 21: Esquemático da seção D da Usina de Pirólise [11]

Tabela 10: Descritivo da seção D da Usina de Pirólise [11]

Nº ítem	Ítem
D1	Condensador Vertical
D2	Coletor para remoção do enxofre (pó)
D3	Purificador do escape
D4	Chaminé

4.5 Pelotização do Negro de Fumo

Na Secção E, o Negro de Fumo sofre granulação e a esteira [E9] leva o negro de fumo recuperado do reator ao triturador. Ele é transformado pelo moedor até o tamanho especificado. Coletores de poeira são usados para manter um ambiente limpo e atender as exigências ambientais. O negro de fumo é então transportado para a seção F.

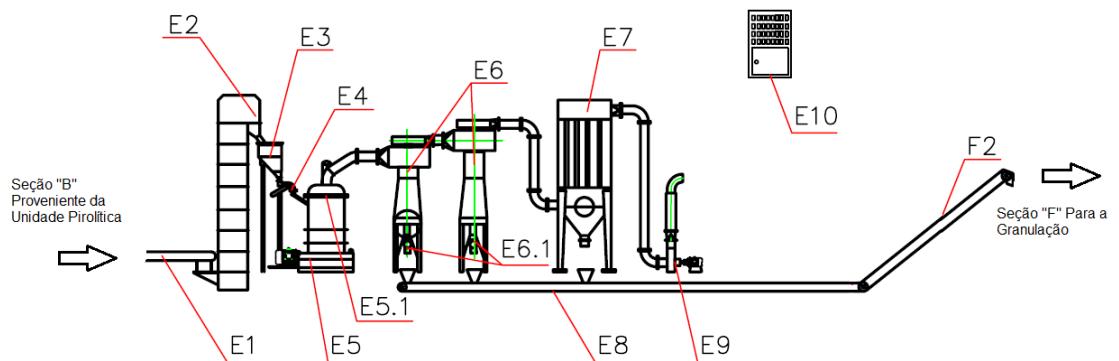


Figura 22: Esquemático da seção E da Usina de Pirólise [11]

Tabela 11: Descritivo da seção E da Usina de Pirólise [11]

Nº ítem	Ítem
E1	Transportador
E2	Elevador tipo Colher
E3	Funil de Armazenamento
E4	Regulador de Alimentação
E5	Moedor de negro de fumo
E6	Coletor de negro de fumo
E7	Dispensador de negro de fumo
E8	Coletor de poeira de pulso
E9	Transportador de negro de fumo
E10	Ventilador
E11	Painel de controle

4.6 Beneficiamento do Negro de Fumo

Na Secção F, acontece o processamento do negro de fumo, torna as pelotas provenientes da seção “E” em pequenas partes, de aproximadamente 8 cm de diâmetro de Carvão de Pirólise que são secadas com ar quente seco, resfriado e transportado para o embalador, onde é ensacado e pronto para a comercialização.

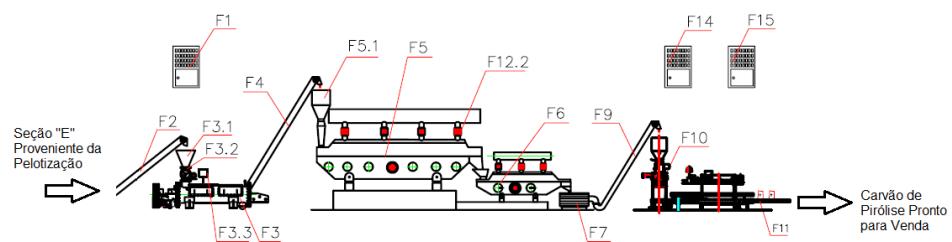


Figura 23: Esquemático da seção F da Usina de Pirólise [11]

Tabela 12: Descritivo da seção F da Usina de Pirólise [11]

Nº ítem	Ítem
F1	Painel de Controle
F2	Transportador
F3	Fábrica de aglomerados contínuo
F3.1	Funil
F3.2	Alimentador
F3.3	Tanque de Água para o processo
F4	Elevador Tipo Colher
F5	Secador de Leito Fluidizado
F5.1	Funil de Armazenamento
F6	Leito Fluidizado de Arrefecimento
F7	Peneira
F8	Coletor de Poeira
F9	Elevador Tipo Colher
F10	Embalador Automático
F11	Transportador
F12	Forno Secador a Ar Quente
F12.1	Queimador do Forno de Ar Quente
F12.2	Auto-Forno Quente Principal
F13	Ventilador
F14, 15	Painéis de Controle

5 ANÁLISE ECONÔMICA DA USINA DE PIRÓLISE

Os métodos usados para a avaliação econômica foram o valor presente líquido e a taxa interna de retorno. O valor presente líquido foi calculado para um ano antes do início das atividades da planta e a taxa de atratividade usada foi de 15% devido à característica conceitual do projeto. [11]

A análise econômica da usina de Pirolise de pneus inservíveis foi realizada para o retorno do investimento na taxa mínima, considerando-se como receitas as vendas dos produtos obtidos dos pneus (Óleo e Gás de Pirólise, além do aço retirado dos pneus), do certificado de descarte legal dos pneus e contabilizando-se outros custos operacionais e legais.

A estimativa do investimento da usina, os custos operacionais e o preço do aço foram obtidos de informações disponíveis na literatura e sites no mercado.

O preço de venda do óleo, do gás e o aço provenientes da pirólise dos pneus inservíveis foi calculado pelo menor preço do produto com características similares oferecido no mercado brasileiro.

5.1 Avaliação da quantidade de pneus descartados na região metropolitana do Espírito Santo

O volume de combustível veicular rodoviário consumido no Espírito Santo foi obtido avaliando-se o volume de combustível vendido no estado, conforme informação da ANP, descontando-se a porcentagem média brasileira de combustível consumido em outras atividades, conforme dados do Ministério das Minas e Energia.

Na tabela a seguir é apresentada a estimativa do consumo efetivo de combustíveis no transporte rodoviário no Espírito Santo, obtido de informações da ANP e do Balanço Energético Nacional de 2009 do Ministério das Minas e Energia (Brasil, 2009).

Tabela 13: Quantidade em milhões de litros vendidos no Estado do Espírito Santo [18]

ANO	GASOLINA COMUM	ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO	GNV	ÓLEO DIESEL
1999	425	90,78	219	638
2000	497	64,93	263	688
2001	439	42,98	337	715
2002	457	41,87	353	700
2003	448	36,72	409	702
2004	422	36,72	409	702
2005	431	50,55	385	741
2006	462	42,43	406	844
2007	475	70,83	445	873
2008	485	137,25	645	936

As médias do consumo específico padrão de veículos de passageiros e comerciais leves foram obtidas em testes de veículos, realizados pela revista Quatro Rodas (CARROS..., 2004).

Foram realizados cálculos ponderados do consumo específico médio anual de combustíveis para a frota nacional distribuídos por tipo de combustível e potência. No gráfico a seguir, tem-se a matriz de combustíveis veiculares referente ao ano de 2008 no Brasil. [19]

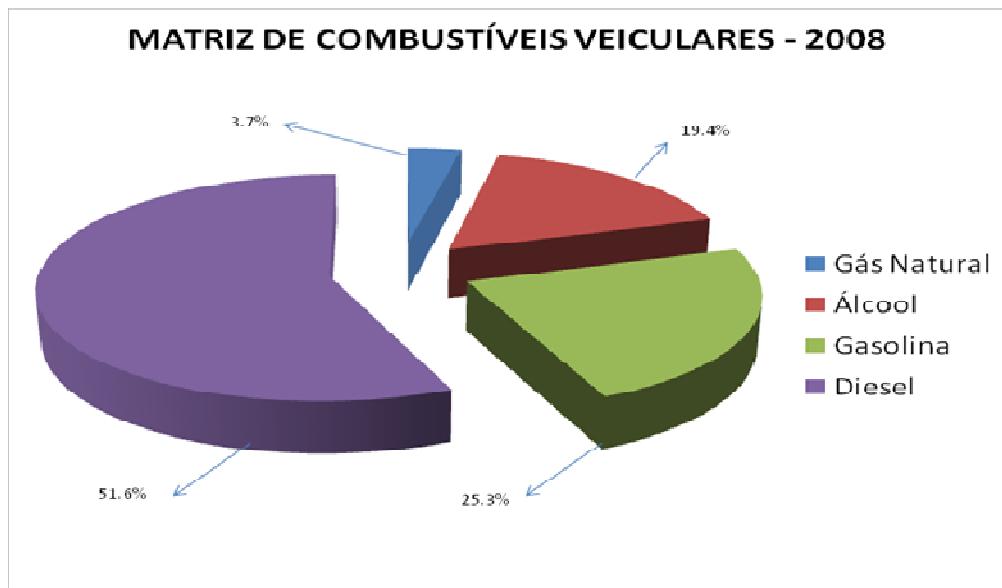


Gráfico 02: Fonte: Resenha Energética Brasileira 2008 – Ministério de Minas e Energia (MME) [19]

A frota nacional é formada pela soma das vendas anuais dos veículos nacionais e importados, conforme informações do anuário estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA).

$$N_{frota, \text{nacional}} = \frac{\text{Vendas, nacional}}{\text{importado}}$$

O resultado apresentou um consumo específico médio para a frota de 9,32 a 9,72 km/L para veículos a gasolina e de 6,80 a 6,81 km/L para veículos a álcool.

$$9,32 < C_{esp, \text{méd}}(\text{Gasolina}) < 9,72 \left[\frac{\text{km}}{\text{L}} \right]$$

$$6.8 < C_{espc, \text{méd}}(\text{Alcool}) < 6.81 \left[\frac{\text{km}}{\text{L}} \right]$$

Os veículos movidos a gás natural veicular foram considerados como tendo o mesmo consumo dos veículos a gasolina, conforme pesquisas com cooperativas de táxi. Tais pesquisas indicaram que esses veículos apresentam desempenho parecido ao dos modelos a gasolina.

As médias do consumo específico padrão de veículos movidos a diesel, para o consumo urbano e rodoviário em km/h, foram fornecidas pelos fabricantes de veículos. Os caminhões foram segmentados em: leve, médio, médio pesado, pesado e extra pesado, considerando-se as vendas de caminhões no período de 1999 a 2008. As segmentações das vendas dos caminhões nos anos anteriores não estão disponíveis, sendo aplicada a mesma percentagem de 1999 ao total de caminhões vendidos anualmente no mercado nacional.

Os cálculos do consumo específico e número médio de pneus da frota nacional para os veículos a diesel resultaram em 5,35 a 5,88 km/L para o consumo específico de diesel e em 6,7 a 7,1 pneus por veículo.

$$5.35 < C_{espc, \text{méd}}(\text{Diesel}) < 5.88 \left[\frac{\text{km}}{\text{L}} \right]$$

$$6,7 < N_{\text{méd}, \text{Pneus}}(\text{Diesel}) < 7,1 \left[\frac{\text{Pneu}}{\text{veículo}} \right]$$

Finalmente, foi considerado que o consumo específico dos veículos da frota do Espírito Santo é o mesmo da frota nacional, visto que, mesmo o estado representando 1.77% da frota total de veículos do país, segundo dados levantados pelo Denatran em 2009, tal porcentagem representa considerável fatia quantitativa do montante, justificando a utilização. O Espírito Santo também tem uma economia diversificada, participando em praticamente todos os ramos de atividades relevantes ao transporte rodoviário, além de possuir importantes malhas rodoviárias do país.

Atualmente, segundo dados do DETRAN-ES, 2009, os veículos espírito-santenses estão distribuídos conforme o gráfico a seguir:

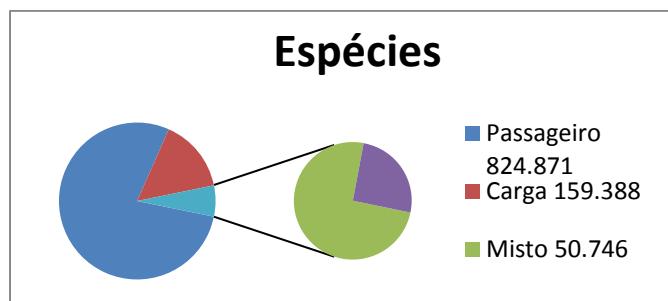


Gráfico 03: Distribuição dos veículos no ES por espécie [21]

A seguir um panorama da distribuição de veículos por tipo de combustível, segundo DETRAN-ES, 2009:

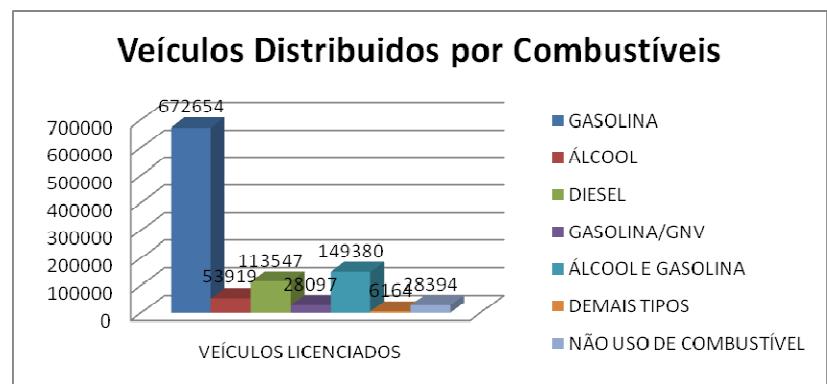


Gráfico 04: Números de veículos licenciados no estado do ES por tipo de combustível [21]

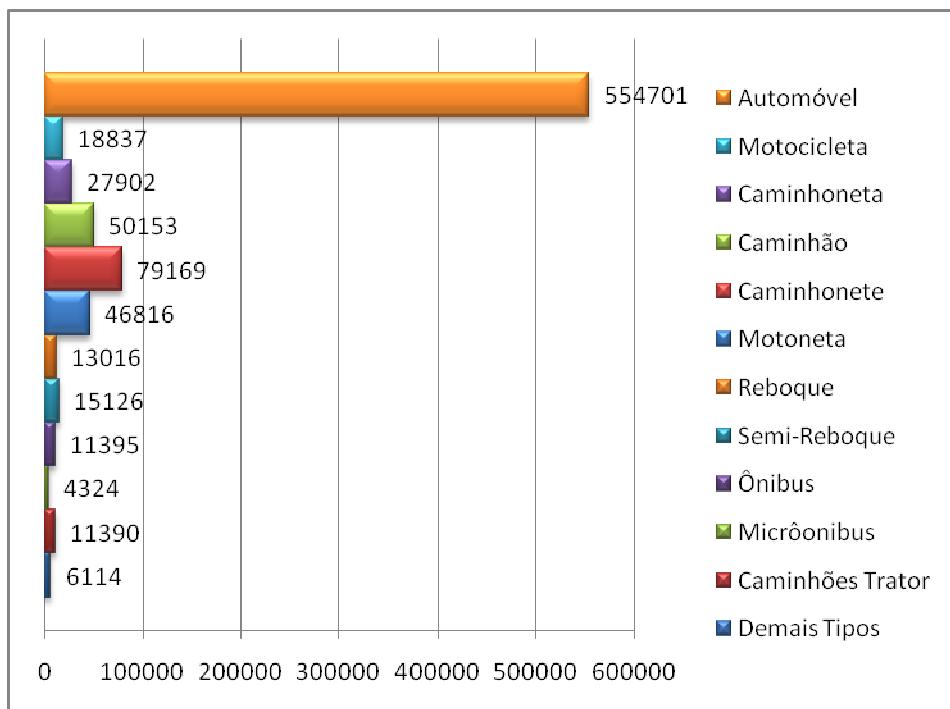


Gráfico 05: Número de veículos licenciados por número de eixos. [21]

Em pesquisas realizadas com empresas de transporte e cooperativas de táxi na RMES, verificou-se que a vida útil de pneus de automóveis, em trajetos mistos urbanos e rodoviários, tem sido, em média, de 50 000 km. A vida útil média dos pneus novos de caminhões é de 80 000 km e dos reformados, 60 000 km.

Tabela 14: Demonstrativo de vida útil de pneus por tipo de veículo em km

Tipo de veículo	Vida útil em km
Motos	8.000
Automóveis	50.000
Caminhões (pneus novos)	80.000
Caminhões (pneus reformados)	60.000

O pneu radial de automóveis tem sido pouco reaproveitado e estima-se que apenas 5% a 10% desses pneus sejam reformados.

Entretanto, a reforma de pneus de caminhões é bastante comum podendo, em boas condições, chegar a cinco reformas (Andrietta, 2003).

A durabilidade do pneu reformado é menor que a do pneu novo e é prática comum não usar pneu recauchutado nas rodas dianteiras nem na tração dos cavalos mecânicos.

Para esta avaliação, foram consideradas três reformas para todos os pneus de veículos com motor diesel, com redução de 20% na vida útil e de 5% dos pneus dos automóveis também com redução de 20% da vida útil.

A estimativa de pneus descartados no Espírito Santo foi feita calculando-se a quilometragem total rodada da frota, dividindo-se este valor pela vida útil total dos pneus e multiplicando- se pelo número médio de pneus dos veículos da frota.

$$N_{pneus, ES} = \frac{D_{tot}}{V_{útil, pneus}} \times N_{pneus}$$

Onde:

- Npneus ES = Estimativa de pneus descartados no Espírito Santo;
- Dtot = Quilometragem total rodada da frota;
- Vútil pneus = Vida útil total dos pneus;
- Npneus = Número médio de pneus dos veículos da frota considerada;

A estimativa da distância total percorrida pela frota foi feita considerando-se o consumo de combustível no período de tempo considerado, multiplicada pelo consumo médio de combustível da frota.

$$\mathbf{D_{tot} = Cc \times Cm\acute{e}d} \quad \text{eq 9}$$

Onde:

- Dtot = Distância total percorrida pela frota;
- Cc = Consumo de combustível no período de tempo considerado;
- Cméd = Consumo médio de combustível da frota;

A distância média percorrida na vida útil do pneu foi obtida por pesquisa de campo.

O consumo de combustível no transporte em rodovias foi obtido de duas fontes: a Agência Nacional de Petróleo (ANP) e o Ministério de Minas e Energia.

O consumo médio da frota foi estimado considerando-se o consumo específico por grupos de potência dos veículos e o volume de tipos de combustível, proporcional ao número de veículos de cada grupo.

O consumo específico para caminhões e ônibus foi estimado usando-se o consumo fornecido pelas indústrias fabricantes destes veículos. A potência média dos caminhões foi 70% da potência do motor e a potência considerada para os ônibus foi 50% da potência do motor.

$$Pot.\text{m}\bar{e}d(\text{caminh}\ddot{o}es) = Pot.\text{motor} \times 0.7 \quad 10$$

$$Pot.\text{m}\bar{e}d(\text{\textbf{ônibus}}) = Pot.\text{motor} \times 0.5 \quad 11$$

A transformação tempo/distância foi feita usando-se velocidades entre 20 e 35 km/h para o tráfego urbano e entre 60 e 70 km/h para o tráfego nas estradas.

$$20 < Vel.\text{urbano} < 35 \left[\frac{km}{h} \right]$$

$$60 < Vel.\text{estradas} < 70 \left[\frac{km}{h} \right]$$

O tamanho da frota, ou seja, o número total de veículos da frota foi considerado como o valor acumulado da venda interna de veículos de 1980 até 2003, sendo usado para se calcular o consumo médio e o número de pneus.

$$N_{\text{tot.frota}} = 1970 < \text{Valor acumulado das vendas de veículos} < 2008$$

Tabela 15: Distribuição de carros licenciados por ano de fabricação [21]

Ano de Fabricação	Quantidade	% em relação à frota total
1900 – 1970	9.958	0,95
1971 – 1980	75.600	7,19
1981 – 1990	115.420	10,97
1991 – 1995	115.568	10,98
1996 – 2000	195.905	18,62
2001	46.569	4,43
2002	46.438	4,41
2003	44.782	4,26
2004	54.293	5,16
2005	60.904	5,79
2006	75.206	7,15
2007	104.323	9,92
2008	107.189	10,19
Total	1.052.155	100

O descarte de pneus foi estimado para veículos de passeio, comerciais leves e pesados.

Na tabela a seguir é apresentada a quantidade estimada de pneus descartados no Espírito Santo distribuídos por tipos de combustíveis dos veículos no ano de 2008.

Tabela 16: Distância percorrida pela frota espírito-santense, 2008

Combustível	Consumo [km/l]	Quantidade de Combustível Vendida em 2008	Distância Percorrida [km]
Gasolina	9,52	485000000	4617200000
GNV	9,52	160800	1530816
Álcool	6,8	137250000	933300000
Diesel	5,6	936000000	5241600000

Tabela 17: Número de pneus descartados pela frota espírito-santense, 2008

Combustível	Vida Útil	Distância Percorrida [km]	Nº de pneus por veículo	Nº de pneus descartados por ano
Gasolina	50000	4617200000	4	369376
GNV	50000	1530816	4	122,5
Álcool	50000	933300000	4	74664
Diesel	80000	5241600000	7	458640

Tabela 18: Balanço estimado de pneus descartados pela frota espírito-santense, 2008.

Total de Pneus	Total de Pneus em Massa (kg)	Nº de pneus descartados por dia	Toneladas de Pneus descartados por dia
902802,5	31071699,8	2507,8	86,3

O passivo de pneus descartados no Espírito Santo, considerando-se os o período de 2000 a 2008, atinge um valor superior a 6,8 milhões de pneus, como mostra a tabela a seguir.

Tabela 19: Acumulado de pneus descartados no ES, no período de 2000 a 2008

Ano	Total de Pneus Descartados	Total em Massa de Pneus Descartados (kg)
2000	751113,7	23539150
2001	708473,9	23885991
2002	714425	23551400
2003	701520,9	23269807
2004	686195	23376520

2005	719873,3	24639665
2006	78869,2	27814073
2007	829175	28877296
2008	902805,5	31071700
Acumulado	6802180,5	230025604

Acredita-se que uma grande parcela destes ainda esteja espalhada por todo o território espírito-santense, uma vez que apenas um pequeno percentual de pneus é reciclado.

5.2 Análise logística

A capacidade da planta da usina de pirólise é de 15 Toneladas/dia, ou seja, cerca de 03 (três) vezes a atual disponibilidade de pneus no estado, segundo dados colhidos na Reciclanip,2008, que foi de 1630 toneladas/ano, ou 4,53 Toneladas/dia.

A capacidade da planta de cominuição é de dois milhões de pneus por ano. O potencial disponível de pneus inservíveis no ES foi de 1.393.912 unidades, em contra partida, o valor real recolhido foram de apenas, aproximadamente, 146.000 ao ano (Reciclanip 2008), ou seja, o recolhimento efetivo de pneus no estado do Espírito Santo é 10% do potencial total do estado. Este valor é inferior à capacidade da planta, sendo necessária a coleta de pneus em outras regiões para abastecer a planta ou a redução do passivo existente.

Os aspectos logísticos começam nos ecopontos que recebem os pneus descartados os quais serão enviados à planta de cominuição e posteriormente à usina de pirólise.

Os aspectos envolvidos na coleta de pneus das pequenas cidades até os depósitos de pneus denominados ecopontos foram considerados como sociais por causa do gerenciamento de resíduo público envolvido.

O transporte foi feito durante cinco dias da semana. A distribuição fornece a melhor localização da planta e permite o estudo econômico das rotas de transporte de coleta e envio de pneus para a planta.

Abaixo, no mapa 01, vemos a atual distribuição dos ecopontos da Reciclanip no Espírito Santo. Ao todo são 9 (nove) pontos, nos seguintes municípios:

- Vila Velha
- Vitória
- Guarapari
- Cachoeiro de Itapemirim
- Aracruz
- Montanha
- Pinheiros
- Colatina
- Marataízes



Mapa 1: Mapa do Espírito Santo evidenciado os ecopontos do estado. Fonte: Reciclanip

A melhor localização da planta de pirólise seria no centro de maior concentração de veículos no estado, uma vez que gerará economia de transporte dos pneus recolhidos até a usina de Pirólise. Segue na tabela abaixo o total de carros licenciados pelo DETRAN-ES no ano de 2008, nos principais municípios concentradores da maior frota.

Tabela 20: Número de veículos licenciados nas maiores cidades do Estado do Espírito Santo. [22]

Município	Tamanho da Frota
Vitória	142.819
Vila Velha	133.390
Serra	98.048
Cachoeiro de Itapemirim	70.325
Cariacica	84.685
Linhares	37.878
Guarapari	36.109
Colatina	33.361

Baseado no atual momento do desenvolvimento populacional e industrial do Espírito Santo ficou decidido que o município do estado que melhor comportaria uma usina de Pirólise de pneus seria o da Serra.

A área central da cidade da Serra não é adequada para o programa devido ao fluxo intenso de caminhões em uma área urbana. Assim, a localização do depósito foi considerada na área centro-oeste da Serra, analisando-se o baixo custo do terreno e o fácil acesso para caminhões. Este ecoponto, em especial, também foi avaliado como o melhor para receber pneus de todo o estado do Espírito Santo.

Como sugestão de estudos futuros, fica a determinação das rotas de transporte dos pneus usando o software Logware, versão 4.0, módulo Router (Ballou, 2001), que minimiza a distância total e o total de veículos necessários. E para determinação da localização ótima da usina de Pirólise o uso do módulo COG (center-of-gravity), que utiliza o método do centro de gravidade exato, seria o maior adequado para tanto.

O software *LogWare* é uma coletânea de algoritmos da pesquisa operacional para resolver problemas logísticos. Este software, integrante da 4^a edição de Ballou (2001), é capaz de resolver problemas de distribuição, roteirização, localização de centros de distribuição, *layouts*, estoque, entre outros. Por não ser integrado com um SIG, as coordenadas de localidades como pontos de parada, centros de distribuição etc., têm que ser inseridas manualmente.

Três modelos de caminhões foram colocados como disponíveis com capacidades de transporte de pneus de 416 (leve), 780 (médio) e 1 216 (pesado) unidades.

Os dados referentes às rotas de recolhimento de pneus utilizados no programa foram:

- Início da rota às 7h;
- Tempo máximo da rota de 13 horas, com parada de uma hora para almoço;
- Pagamento de hora extra, com acréscimo de 25% nos salários, após nove horas de jornada corrida;
- Tempo fixo de uma hora gasto em cada parada e de 18 segundos para carregar cada pneu.

O tempo necessário para a descarga dos pneus não foi considerado.

Consideraremos como a utilização média de 75% da capacidade do caminhão.

As rotas correspondem às seguintes distâncias, em ordem crescente:

- Vila Velha – Serra → 27,9 km – aprox. 26 min.
- Vitória – Serra → 28,0 km – aprox. 29 min.
- Cariacica – Serra → 36,5 km – aprox. 28 min.
- Aracruz – Serra → 57,3 km – aprox. 54 min.
- Guarapari – Serra → 82,9 km – aprox. 1h e 2 min.

- Colatina – Serra → 104 km – aprox. 1h e 30 min.
- Marataízes – Serra → 152 km – aprox. 2h e 8 min.
- Pinheiros – Serra → 257 km – aprox. 3h e 11 min.
- Montanha – Serra → 299 km – aprox. 3h e 47 min.

As rotas representam uma distância de 1044,6 km por dia, com um transporte de 6 844 pneus por dia, a um custo de R\$1.895,75 ou R\$0,28 por pneu.

5.3 Aspectos sócios ambientais: custos governamentais com a dengue causada pelo Aedes Aegypti

A estimativa de custo para o combate à dengue na RMGV, que é a segunda com maior número de casos de dengue, logo após a Bahia, que lidera o ranking, é fator crucial a ser considerado uma vez que se estima que os pneus representem 9% dos focos de dengue e que os gastos sejam proporcionais a este valor, portanto, pode-se aceitar que o custo de combate à dengue seja de R\$ 0,28/pneu.

De maneira geral, tal relevância pode ser observada uma vez que em 2009, o Ministério da Saúde liberou 1,08 bilhões de reais para deter o avanço da dengue no país (Fundação Nacional de Saúde, 2009).

Considerando-se que o gasto público é proporcional à população, que era de 191.480.630 no Brasil e de 3.487.199 habitantes no Espírito Santo, o custo para erradicar a doença pode ser estimado em R\$ 19,7 milhões, ou US\$ 11,1 milhões, na RMGV.

Além do gasto com o controle da dengue, o gasto público causado pela doença é incrementado pelo gasto com internação em hospitais e pelas horas perdidas de trabalho da população infectada e doente.

O Espírito Santo confirmou 21.692 casos de dengue no primeiro semestre de 2010, segundo informações do balanço divulgado pela Secretaria da Saúde. No total, sete mortes provocadas pela doença foram registradas no estado, até então. Os municípios com maior número de notificações absolutas são, na ordem, Serra, Vila Velha, Vitória, Nova Venécia e Baixo Guandu.

O balanço feito a partir de dados informados pelas Secretarias Estaduais de Saúde até 22/1 de 2010 mostra que em 2008 foram registrados 37.105 casos e em 2009, 53.708 casos, ou seja, um aumento de 30,7%. E ainda, o serviço público de saúde no Brasil gastou R\$ 237,82/caso para o tratamento da doença e R\$ 40,38/caso para o diagnóstico.

A fração do custo devido às horas de trabalho perdido pelos trabalhadores doentes não foi considerada neste estudo.

Outro gasto a ser considerado é o custo que as prefeituras têm com o recolhimento de pneus descartados inadequadamente pelas cidades. Este custo foi considerado igual ao custo da logística para recolher os pneus dos ecopontos até a usina de comunicação, ou seja, de R\$ 0,37 por pneu descartado.

Assim, o custo governamental total com o pneu descartado pode ser estimado em R\$ 0,37 por pneu. O governo pode oferecer este valor para a população desempregada, que realizaria a coleta de pneus.

5.4 Preço do certificado do descarte legal de pneus

5.4.1 Estudo de Campo

De acordo com o Relatório do XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2007, foi realizada uma pesquisa do tipo Survey junto a 58 pedestres de uma das avenidas economicamente mais importante do Brasil (Avenida Paulista -

SP), escolhidos aleatoriamente, com o intuito de verificar o grau de conscientização desta população em relação às alternativas sustentáveis para com os pneus inservíveis.

A pesquisa *Survey* pode ser descrita como a obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, indicados como representante de uma população alvo, por meio de um instrumento de pesquisa, normalmente um questionário PINSONNEAULT & KRAEMER, 1993).

Fink (1995 a; 1995 b) discorre sobre esse método, sua utilidade e quando deve ser utilizado, bem como sobre os principais aspectos relacionados com uma *Survey*. Como principais características do método de pesquisa *Survey* podem ser citadas: o interesse é produzir descrições quantitativas de uma população, e faz uso de um instrumento pré-definido.

A pesquisa de campo foi realizada durante um período de 5 dias e permitiu verificar e analisar o conhecimento sobre a contribuição da reciclagem dos pneus inservíveis e das tecnologias para a sua minimização.

Dos entrevistados, 70% eram homens e a faixa etária que predominou nesta pesquisa ficou entre os 31 e 40 anos. No que se refere à profissão, a maioria trabalhava em empresas privadas.

Do total entrevistado, 60% não tinham noção sobre o destino dado aos pneus usados. Os 40% que responderam saber, acreditavam que a reciclagem era, de fato, o destino final adequado aos pneus usados, como matéria prima para asfalto.

Sobre o local a onde são deixados os pneus usados: 62% os deixam no local da troca, 23% jogam em lixões e 15% entregam em programas de coleta seletiva de lixo.

Quanto à preferência na entrega dos pneus usados a uma empresa preocupada com a preservação do meio ambiente, 36% dos entrevistados disseram sim à preferência e, 64% afirmaram nunca terem pensado no assunto.

A maioria dos entrevistados repudia o descarte de pneus em lixões e, possuem uma evidente preocupação com poluição ambiental e com os riscos que podem advir para a saúde pública.

Todos os entrevistados desconhecem a necessidade e a existência de uma legislação para a questão do descarte, consequentemente, desconhecem também, a Resolução nº. 258, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA [15], que determina que as empresas fabricantes e importadoras de pneus sejam as responsáveis pela destinação final dos pneus usados.

Por desconheceram a existência de legislação, 100% dos entrevistados concordam com a necessidade de uma lei que obrigue as empresas fabricantes a receber os pneus usados para a reciclagem.

Foi realizada ainda uma pesquisa de campo complementar, dentro da Universidade Federal do Espírito Santo, com um total de 63 pessoas entrevistadas, dentre estudantes e professores, numa faixa etária de 21 a 55 anos. Depois de informados sobre a existência e conteúdo da Resolução nº. 258, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA [15], uma única pergunta foi feita a cada um deles. Foi questionada a opinião pessoal sobre a proposta do presente estudo em submeter às empresas produtoras de pneus que pagassem pelo recebimento do certificado de descarte legal dos pneus inservíveis (certificado este emitido pelo Órgão governamental ambiental responsável), sendo o custo deste calculado como o gasto em reais que as tais empresas têm atualmente para darem o destino final legal aos pneus, incluindo transporte, beneficiamento (quando for o caso), e fim.

O resultado foi que 100% dos entrevistados apoiaram a idéia, e acreditam na dinamização e otimização do processo de recolhimento e posterior beneficiamento dos pneus descartados no Espírito Santo.

Como no ES, o procedimento de recolhimento e destinação dos pneus inservíveis produzidos é encargo da Reciclanip, uma empresa sem fins lucrativos criada pelos fabricantes de pneus novos Bridgestone Firestone, Goodyear, Michelin e Pirelli cujo foco principal é a coleta e destinação de pneus inservíveis no Brasil. Tal empresa segue as seguintes normas gerais:

- O Convênio de Cooperação Mútua, para abertura de um Ponto de Coleta de Pneus, é formalizado diretamente com o Poder Público, onde a Prefeitura Municipal indica um local coberto para onde são levados os pneus recolhidos pelo serviço de Limpeza Pública, ou mesmo aqueles encaminhados por borracheiros, lojas de pneus, particulares e outros.
- É importante que a área do Ponto de Coleta de Pneus seja coberta e protegida, a fim de se evitar o acúmulo de água ou mesmo a entrada de pessoas não autorizadas;
- A partir dos Pontos de Coleta de Pneus das Prefeituras Municipais, a Reciclanip efetua o transporte dos pneus inservíveis para destinação final em empresas homologadas pelo IBAMA, sem custos para o município;
- A Reciclanip é uma entidade sem fins lucrativos, por isso não compra e não vende pneus. [33]
- O Programa de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis desenvolvido pela Reciclanip objetiva atender à Resolução N.º 416, de 30 de setembro de 2009, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente); [15]

O projeto de implantação da Reciclanip segue o modelo de gestão de empresas européias com larga experiência na coleta e destinação de pneus inservíveis, em especial a Aliapur, na França, Signus, na Espanha, e Valor Pneu, que atua em Portugal. A diferença está no fato de que essas empresas são remuneradas pelos

vários agentes da cadeia produtiva para garantir a destinação de pneus em seus países. Não são empresas projetadas para obter lucro, mas recebem recursos para cobrir as despesas operacionais. Na Reciclanip, ao contrário das similares européias, os fabricantes de pneus novos arcam com todos os custos de coleta e destinação de pneus inservíveis, como transporte, trituração e destinação.[33]

Os custos envolvidos nos processos de recolhimento, beneficiamento e fim dos pneus inservíveis no ES não foram passíveis de mensuração, uma vez que varia de empresa para empresa. No entanto basta ser conhecida a existência do custo para tornar a proposta do certificado de destinação legal dos pneus descartados como viável.

O certificado de destinação legal dos pneus inservíveis consistiria em um documento elaborado pela Reciclanip e posteriormente emitido e ratificado pelo órgão ambiental regulador das atividades relacionadas ao ramo. Tal certificado teria um custo para as empresas fabricantes de pneu calculado como sendo o menor valor gasto pelas mesmas para darem um fim legal aos pneus recolhidos.

O certificado terá duas funções ou consequências principais que cobrem totalmente o contexto levantado aqui que seriam a garantia de recolhimento máximo efetivo dos pneus descartados e os benefícios da terceirização dos serviços de coleta e destinação, eximindo as empresas produtoras da gestão de pessoal e logística, além do registro que comprovem a destinação dos pneus dentro dos preceitos da lei, e isso a um custo mínimo.

O capital proveniente dos pagamentos pelos certificados será computado como parte da receita da Usina de Pirólise implantada em questão.

6 VIABILIDADE ECONÔMICA DA USINA DE PIRÓLISE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO ES

A viabilidade econômica da usina de Pirólise de pneus inservíveis mostra a robustez do empreendimento uma vez que a produção de óleo e gás de pirólise é viável, a venda desses insumos está garantida dada as similaridades entre os produtos gerados e os ofertados pelo mercado.

No estado do Espírito Santo, 20% dos pneus descartados são de caminhões e 80% de pneus de automóveis e caminhonetes.

A composição média destes pneus é 70% de borracha, 17,5% de aço e 12,5% de fibras poliméricas e resíduo sólido [34].

Sendo que neste estudo, foi considerado que os pneus são compostos de 70% de borracha, 17,5% de aço, 12,5% de plásticos e resíduos [4]. Considerando-se, para automóveis, a massa de 8 kg por pneu, obtém-se 5,6 kg de borracha, 1,4 kg de aço e 1,1 kg de plásticos e resíduos. Para caminhões, a massa é de 14 kg por pneu, obtém-se 9,8 kg de borracha, 2,1 kg de aço e 1,7 kg de plásticos e resíduos. [34]

Segundo dados fornecidos pela ANIP- Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos e Reciclanip, os pneus inservíveis recolhidos no estado do Espírito Santo, são, atualmente, transportados sem nenhum beneficiamento (cominuição) por caminhão até os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais para tomarem um fim adequado.

Um simples cálculo aproximado, considerando que um caminhão genérico movido a Diesel, tenha um consumo de 1,5km/l e que a distância entre as capitais dos estados do ES e RJ, e entre ES e MG, sejam de respectivamente 512 km e 515 km. E ainda supondo que o menor preço do litro do Diesel oferecido pelos postos seja de R\$1,85 (pesquisa de campo em cinco postos do ES), os gastos com combustível apenas referentes a um único trajeto de ida e volta do ES para MG, é de aproximadamente

R\$2.860,00. Se adotarmos haver três viagens por semana, sistematicamente, o gasto com combustível seria de R\$34.320,00 mensalmente por caminhão. O cálculo por ser extrapolado para três caminhões fazendo o trajeto, e o gasto passa a ser de R\$102.920,00 por mês com o transporte dos pneus recolhidos. [35]

Essa realidade deixa claro que o gasto com transporte destes pneus até outros estados representa um passivo financeiro relevante e que a implantação de uma usina de beneficiamento dos pneus por pirólise no ES teria como consequência imediata a exclusão desse gasto.

Usaremos no presente estudo, como base de valores, produtividade e retorno os parâmetros da usina de pirólise de pneus inservíveis oferecida pela empresa norte-americana Eco-Energy. [11]

Tal empresa oferece ao mercado usinas para a pirólise de pneus com todos os equipamentos necessários para o processamento, desde a Trituração dos mesmos até os produtos finais, no caso o óleo, gás e aço proveniente da pirólise dos pneus inservíveis, dados separadamente.

A capacidade da planta da usina em questão é de 30 tons/dia. Essa capacidade é cerca de seis vezes maior que a atual oferta de pneus recolhidos no ES, mas se justifica ser viável, uma vez que o potencial diário de pneus descartados no estado é de 92,3 tons/dia, ou seja, aproximadamente três vezes a capacidade da usina.

A Eco-Energy considera a composição de um pneu como segue abaixo:

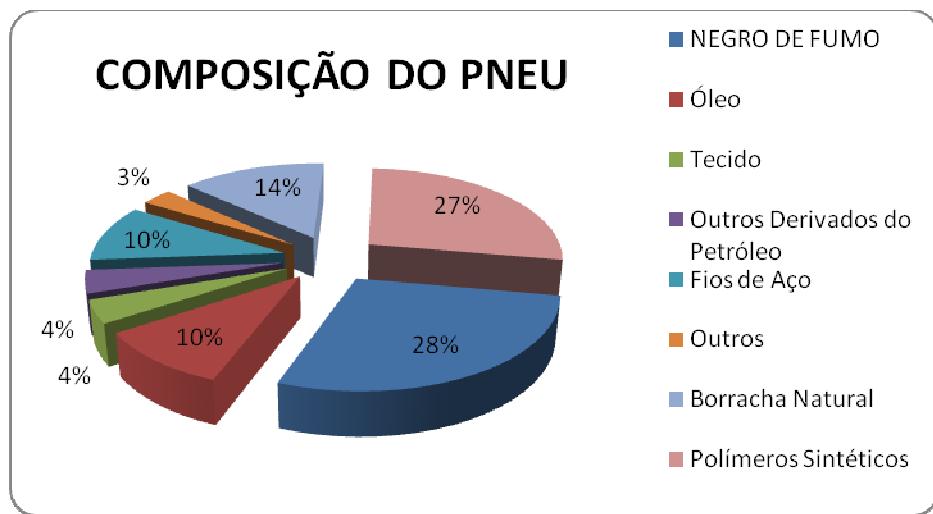


Gráfico 1: Composição do Pneu [11]

Dos insumos gerados, o negro de fumo, óleo e aço podem ser vendidos com lucro substancial, gerando receita para a Usina. Já os gases gerados e parte do óleo serão usados na geração de calor nas caldeiras, movendo as turbinas e dando uma característica positiva, que talvez seja a mais atrativa de todas as oferecidas pela usina de Pirólise, que é a possibilidade de utilizá-los na cogeração e geração de 100% da energia necessária para a operação da mesma, sem a necessidade de utilização de fontes externas, o que torna tal investimento muito atrativo financeiramente.

O uso de catalisadores patenteados pela Eco-Energy que são adicionados aos pneus antes de entrarem no reator, onde a Pirólise efetivamente ocorre. Tais catalisadores aumentam a eficiência do processo de Pirólise, aumentando assim a margem de lucro gerada.

Os produtos finais gerados pela Usina de Pirólise em questão são divididos em porcentagem como segue abaixo:

a) Óleo Combustível (43% ~48%)

O Óleo este que pode ser comercializado diretamente com os clientes industriais. No caso específico do ES, que possui instalado em seu território duas das maiores empresas do setor de minério e materiais metálicos do mundo (Vale e Arcelor Mital), e que são consumidores em potencial de óleo para tocar suas respectivas unidades geradoras de calor e energia, seriam os alvos compradores principais.

Abaixo, segue a tabela 17 com uma comparação entre as componentes e características dos óleos comerciais e o óleo de Pirólise.

Tabela 21: Composição química dos óleos combustíveis mais utilizados.

Componentes (%)	Óleo BPF	Óleo C (OC-4)	Óleo BTE	Óleo Diesel	Querosene	Óleo de Pirólise
C	84,8	85,4	87,4	86	85,6	83
H	11,1	12,3	11,8	13,1	14,3	7,6
O	0	0	0	0	0	8,57
S	4	2,3	0,7	0,9	0,1	0,5
N	0	0	0	0	0	0,3
H ₂ O	0,01	0,01	0,01	0	0	>0,01
Cinzas	0,01	0	0,01	0	0	0
Poder Calorífico Superior (Kj/Kg)	43.304	45.355	43.995	45.815	46.422	43.410
Poder Calorífico Inferior (Kj/Kg)	40.878	42.593	41.003	42.928	43.430	40.674

b) Negro de Fumo (35%~38%)

Negro de fumo de alta qualidade, equivalente aos comercializados como N330 e N660, são produzidos. Estes são ingredientes essenciais para a indústria fabricante de pneus e outras indústrias fabricantes de materiais em borracha de alta durabilidade. Além também de ser insumo indispensável na fabricação de pigmentos para tintas e plásticos.

Na tabela a seguir são mostradas as características dos carbonos N330 e N660 comercializados no mercado.

Tabela 22: Características dos carbonos N330 e N660 comerciais. [23]

Fatores	N330	N660
G/kg de n°da absorção do iodo	82 +/- 5	36 +/- 4
Número 10-5m ³ /kg da absorção do DBP	102 +/- 5	90 +/- 5
N°da absorção do DBP da amostra comprimida 10-5m ³ / kg	81~95	68~82
Área de superfície 103m ² /kg do CTAB	79~87	31~39
Área de superfície 103m ² do nitrogênio	78~88	30~40
Força do matiz	98~108	-
Perda de aquecimento	2,5	1,5
Cinza	0,5	0,5
>= do mapa da força elástica	-1,5	-3,5
>= de Extensão %	-10	+10
Módulo do mapa de 300%	-1,7 +/- 1,3	-3,5 +/- 1,3

c) Aço dos Arames (10%~12%)

O aço contido nos pneus representa certa de 6% a 15% do peso total do pneu. Tal produto pode ser vendido, a um preço competitivo, para as mineradoras do ES reutilizá-los em seus fornos, reciclando-os.

d) Gás de Pirólise (5%)

Óleo este que será reutilizado para a geração de energia térmica que tocará a usina de forma a torná-la auto-sustentável energeticamente.

e) Capacidade do Sistema de Pirólise

Com dois reatores, o sistema de Pirólise proposto é capaz de produzir:

Tabela 23: Quantidade de produtos gerados

Quantidade de pneus processados	30 tons/dia
Óleo combustível produzido	14 tons/dia
Negro de fumo produzido	10 tons/dia
Aço	4,5 tons/dia
Resíduos não aproveitáveis	1,5 tons/dia

6.1 Avaliação econômica da usina de Pirólise

Segue as estimativas das variáveis operacionais da Usina de Pirólise oferecida pela Eco-Energy.

Tabela 24: Estimativas Operacionais da Usina

Capacidade de Processamento	30 tons/dia
Consumo diário de energia elétrica	5450
Pessoal Requerido para operação	12

Segue as estimativas da produção diária dos derivados dos pneus processados pela Usina de Pirólise oferecida pela Eco-Energy.

Tabela 25: Estimativas de Produção

Produto	Produção diária em toneladas	Percentual correspondente a produção
Óleo Combustível	12,9~14,4	43~48
Negro de Fumo	10,5~11,4	35~38
Aço dos Arames	3,0~3,6	10~12

Os equipamentos foram desenvolvidos de modo a possibilitar que a produção ocorra com o menor numero de funcionários possíveis, sendo a maior parte do processo de Pirólise controlado e operado automaticamente.

É sugerido pela Eco-Energy que a usina opere 24 horas por dia durante 7 dias da semana para uma otimização da produtividade e, consequentemente, dos lucros.

Na tabela a seguir é mostrado os preços negociáveis dos produtos da Pirólise, de acordo com vastas pesquisas realizadas nos sites especializados do ramo nos Estados Unidos.

Tabela 26: Estimativas dos preços dos produtos de Pirólise.

Produto	Arrecadação por tonelada U\$/Tonelada	Total arrecadado U\$
Óleo Combustível	250	3.400
Negro de Fumo	500	5.400
Aço dos Arames	80	265
Total	830	9.065

Operando 330 dias por ano, gerará o rendimento bruto de U\$ 2,991,450 anual. Considerando o valor do Dólar como R\$1,80, equivaleria a R\$5,384,610 anual.

6.2 Retorno do Investimento

É possível mensurar o tempo de amortização do investimento, ou seja, o tempo necessário para haver o retorno do capital investido na aquisição da Usina de Pirólise em questão.

O preço da Usina de Pirólise completa oferecida pela Eco-Energy é de U\$7.000.000. No entanto, devemos acrescer de 70% tal custo, uma vez que as taxas de

importação aplicadas na atualidade giram em torno desse patamar, o custo em reais passaria a ser de R\$11.900.000.

Assim:

$$\text{TEMPO DE AMORTIZAÇÃO} = \text{R\$11.900.000} / 5.384.610 = 2.21 \text{ anos.}$$

*Valor calculado sobre a premissa de operação da Usina em capacidade máxima (30 tons/dia).

Portanto, o tempo de amortização se mostra bastante atrativo.

Vale ressaltar que o tempo de amortização foi calculado usando-se como receita, única e exclusivamente, a gerada pela venda dos produtos da Pirólise direta dos pneus processados. E que, segundo estudos realizados pela equipe responsável pelo Boletim Técnico da Petrobrás, 2006 [34], considerando a análise da viabilidade de implantação de uma indústria de cominuição dos pneus e a venda da borracha e aço provenientes desses, a renda obtida com a emissão dos Certificados de Destinação Legal dos Pneus representa mais da metade da receita total daquela indústria. Isto é, ao ser considerado e computado como renda para a Usina de Pirólise aqui proposta, tal emissão do referido Certificado representaria, pelo menos, um acréscimo de 35% na receita bruta anual da Usina, evidenciando assim, a sua extrema relevância.

7 CONCLUSÕES

Segundo este estudo preliminar, a implantação de uma de Pirólise de pneus inservíveis na região metropolitana da grande Vitória (RMGV) é um empreendimento economicamente viável.

Porém é um empreendimento de alto risco, que necessita de parcerias com os fabricantes/importadores de pneus, prefeituras, cooperativas de reciclagem e empresas de transporte de cargas e passageiros no Espírito Santo.

Os fabricantes/importadores e os representantes das empresas de transporte de cargas e passageiros no Espírito Santo devem assumir: o custo do certificado de descarte de pneus, os acordos com as prefeituras da região para a coleta dos pneus descartados e manter um estreito relacionamento com as cooperativas de reciclagem.

O número de pneus descartados no estado do Espírito Santo, de 2000 até 2008 foi estimado. O passivo de pneus descartados nos últimos dez anos atingiu o montante de 6,8 milhões de unidades.

No ano de 2008, aproximadamente 900 mil de pneus foram descartados no Espírito Santo. O que equivale a 2,5 mil pneus por dia e considerando que um pneu comum tem em média 8 kg, tal quantidade representa, aproximadamente, um potencial de 86 toneladas diárias. Isto mostra que a capacidade latente de pneus descartado diariamente no estado é cerca de 3 (três) vezes maior que a capacidade de processamento da planta de pirólise aqui proposta. Ou seja, o grande entrave para a viabilização desse empreendimento é a ineficiente política de coleta de pneus inservíveis.

A receita proveniente da venda dos produtos oriundos do pneu pirolisado (óleo, gás e negro de fumo) foi calculada em R\$ 5.384.610, sem considerar a receita decorrente a emissão/venda da Certificação de Destinação Legal dos Pneus Inservíveis.

Um dos benefícios que pode ser citado é a economia direta do governo com os gastos em saúde publica referentes ao combate e tratamento da Dengue, que foi estimado em R\$ 19,7 milhões no ano de 2008, uma vez que os pneus representam cerca de 9% dos focos de reprodução do Aedes Aegypti.

Outro benefício é referente à geração de empregos indiretos como, na coleta e transporte e diretos na operação e manutenção da Usina.

Em suma, tal estudo mostra que um investimento por parte do governo, ou uma parceria público-privada no seguimento proposto nesse trabalho se tornaria viável uma vez otimizado o processo de coleta e transporte dos pneus inservíveis no estado do Espírito Santo.

8 BIBLIOGRAFIA:

- [1] FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo dicionário da língua portuguesa.** 3. ed. rev. e atual. - Curitiba: Positivo, 2004. 2120 p.
- [2] NATALI, J. R., Ética Ambiental, Ed. Millennium Ltda, 2001.
- [3] LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3. ed. – São Paulo: Hemus, 1995. 265 p.
- [4] GOULART, E. A. **Reciclagem Energética de Pneus Automotivos Através de reator de Leito Fluidizado:** Uma Proposta para a Questão Ambiental. 1999. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- [5] CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução.** 5. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2002. 589 p.
- [6] US N°7.101.464 B1 – 5 set. 2006
- [7] GOMI, A. A. **Aproveitamento de Sucata de Pneus e Resinas Plásticas em Fornos Elétricos a Arco.** In: PlastShow 2008 Feira e Congresso, São Paulo/SP, 6 a 8 mai. 2008.
- [8] NUNN, J. et al. Sydney Steel Mill Trial. In: _____. **Sustainable Steelmaking Using Renewable Forest Energy.** BHP Billington Min. Tech., Wallsend, 2001. 12 p.
- [9] SAHAJWALLA, V. et al. AISTech 2005 – Iron & Steel Technology Conference. In: _____. **Influence of Carbonaceous Materials on Slag Foaming Behavior during EAF Steelmaking.** Proceedings. AIST, Charlotte, 2005. 2 vol, p. 639-650.

[10] MONTEIRO, L. P. C.; MAINIER, F. B. Queima de Pneus Inservíveis em Fornos de Clínquer. **ENGEVISTA**, 10 v, n.1, p. 52-58, jun. 2008.

[11] Tire Pyrolysis – Bi Products. Innovative Ecology. Windows 98/2000. Disponível em: <<http://www.in-eco.com/Resources.aspx>>. Acesso em: 09 mai. 2010.

[12] Patented Industrial Recycling Pyrolytic Systems. Innovative Ecology. Windows 98/2000. Disponível em: <<http://www.in-eco.com/Systems.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2010.

[13] Centro Científico Independente – Para Reflexão Ambiental. CCI. Windows 98/2000. Disponível em: <<http://www.fe.up.pt/~jotace/>>. Acesso em: 04 abr. 2010.

[14] BRASIL. Lei nº 1259/95. Resolução nº 258 e nº 416 CONAMA. Congresso Nacional, 26 ago. 1999.

[15] RENOCAP pneus & serviços. Disponível em:
<<http://www.renocap.com.br/autonomo.pdf>>. Acesso em: 15 mar 2010.

[16] JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de São Paulo. **Perspectiva**. São Paulo, 20 v, n. 2, p. 90-104. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/spp/v20n02/v20n02_07.pdf>. Acesso em: 14 mai 2010.

[17] BRASIL. ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2009. Disponível em:
<<http://www.anp.gov.br/?pg=24287&m=anuário&t1=&t2=anuário&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1277824520939>>. Acessado em: 14 abr. 2010.

[18] Resenha Energética Brasileira 2008 – Ministério de Minas e Energia (MME)

[19] Anuário Estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acessado em: 25 abr 2010.

[20] PRODEST DETRAN-ES / GET / COES Julho de 2009

[21] Relatório Anual de Estatística de Transito, Detran-2008. Disponivel em: <http://www.detran.es.gov.br/index.php?id=/busca_resultados/busca.index.php>. Acessado em: 05 mai 2010.

[22] GOMES, M. M. Negros de Carbono. Portal da Indústria da Borracha. Windows 98/2000. Disponível em: <<http://www.rubberpedia.com/negro-carbono.php>>. Acesso em: 05 mai 2010.

[23] HAWLEY, G. G. **The Condensed Chemical Dictionary**, 10. ed. Ed Van Nostrand 1981, p. 1130.

[24] RODRIGUES, W.; MARTIGNONI, B. N. V. et al. **Teste de Retortagem de Xisto e Pneus no Processo Petrosix** - Relatório Interno PETROBRAS, mai. 1999.

[25] FADER, J. H. "Converting scrap automotive tires and automotive shredder residue into hydrocarbon fuels and fillers", American Tire Reclamation Inc., Chemical Society, Rubber Division, USA, 1995 Scrap Tire Management Council, "Scrap Tire Use Disposal Study" 1992.

[26] RESHCNER, K. **An overview of commercially available scrap tire processing and rubber recycling methods**, abr. 2000.

[27] Scrap Tire Management Council, "Scrap Tire Use Disposal Study" 1992.

[28] DODDS, J.; et al. **Scrap Tires: A Resource and Technology Evaluation of Tire Pyrolysis and Other Selected Alternate Technologies.** N.T.S.I. Report presented to the U.S. Dept. of Energy, nov. 1983.

[29] Laudo de Análise do SENAI - Centro de Tecnologia em Saneamento e Meio Ambiente, Curitiba, 1997.

[30] YOUSEFI, A. A.; AIT-KADI, A.; ROY, C. **Effect of used-tire-derived pyrolytic oil on the properties of polymer-modified asphalts.** Fuel 79, 2000, p. 975-986.

[31] Reciclagem de Pneus - Superintendência da Industrialização do Xisto - SIX - Relatório Interno PETROBRÁS, abr. 2000.

[32] SOUZA, E. J. J. **Testes de queima de óleo de xisto - OTE, produzido na retortagem mista com pneus** - Relatório Interno PETROBRAS, set. 1999.

[33] RECICLANIP: o ciclo sustentável do pneu. Disponível em:
www.reciclanip.com.br. Acesso em: 14 mai 2010.

[34] DUSSE, C. A.; et al. **Aspectos técnicos, econômicos, logísticos, ambientais e sociais da reutilização de pneus inservíveis para a produção de asfalto-borracha.** Boletim Técnico da Petrobras, Rio de Janeiro, 49 v, n.1/3, dez. 2006

[35] ANIP- Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos e Reciclanip. Disponível em: <http://www.anip.com.br>. Acessado em: 05 jun 2010.