

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1004634-8 A2**

(22) Data de Depósito: 18/11/2010
(43) Data da Publicação: 19/03/2013
(RPI 2202)



(51) *Int.Cl.:*

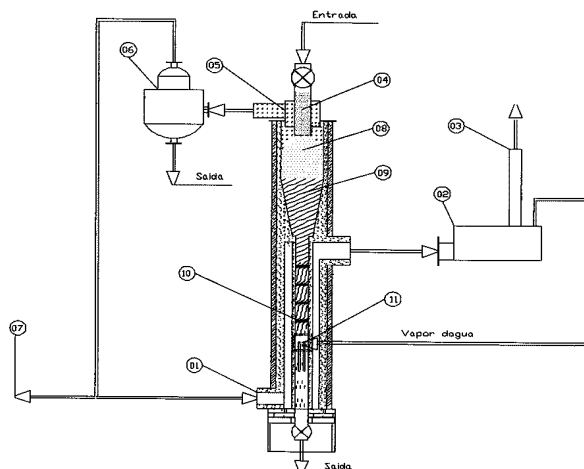
C10B 1/04
C10B 53/07
C10G 1/10
C10J 3/06
C10B 57/02

(54) **Título:** INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA

(73) **Titular(es):** Daniel Vargas Pereira

(72) **Inventor(es):** Daniel Vargas Pereira

(57) **Resumo:** INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA. Compreendendo uma planta industrial para a produção de carvão ativado, óleo pirolítico e sucata metálica, energeticamente auto-alimentada, tendo como matéria-prima pneu inservível. O sistema possibilita uma produção econômica e não poluente, com a geração de produtos de alto valor agregado.



5 INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MULTIPLOS
ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE
PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA.

A presente invenção refere-se a um processo para transformação de pneus inservíveis em produtos como:

- 10 • Óleo para queima (com baixo teor de enxofre e alto poder calorífico)
- Carvões ativados para tratamento de águas e efluentes.
- Geração de gases não condensáveis para queima em fornos e caldeiras.
- Sucata metálica.

15 Os componentes presentes em maior quantidade na borracha dos pneus são a
borracha estireno-butadieno (SBR), a borracha natural (NR) e a
borrachapoli-butadieno (BR). Também aparecem: o negro de fumo, os óleos, o
enxofre, o acelerador, o ácido esteárico e o óxido de zinco. O negro de fumo é
20 usado para conferir à borracha resistência, conferir maciez à borracha e
aumentar sua trabalhabilidade durante a confecção dos pneus. O enxofre é usado
para ligar as cadeias de polímeros dentro da borracha e também para
endurecer e prevenir deformação excessiva pelas elevadas temperaturas. O
acelerador é tipicamente um composto orgânico sulfúrico que age como um
25 catalisador para o processo de vulcanização. O óxido de zinco e o ácido
esteárico também agem para controlar a vulcanização e realçar as propriedades
físicas da borracha.

Durante a utilização normal do pneu ocorre um desgaste, basicamente da banda
de rodagem. Quando o pneu atinge a sua meia vida, a carcaça ainda está em
bom estado, e o mesmo ainda tem valor econômico e é considerado servível,
pois é passível de ser reciclado pelo processo de recauchutagem (recomposição
30 da banda de rodagem). Porém, se por algum motivo, a carcaça estiver em mau
estado, não viabilizando a recauchutagem, o pneu é considerado inservível,
transformando-se literalmente em resíduo (lixo).

As acumulações destes resíduos proporcionam o acúmulo de água da chuva e conseqüentemente a atração de roedores e mosquitos transmissores de doença como a dengue, febre amarela e outras. Além do disto, as queimadas clandestinas a céu aberto geram emissões de poluentes tóxicos para a atmosfera. Para deter o avanço do acúmulo destes resíduos é preciso reciclá-los.

Sabe-se que a reutilização de borrachas vulcanizadas é, atualmente, um dos principais problemas na área de reciclagem, por serem termorrígidas, como consequência de ligações químicas cruzadas entre as cadeias do polímero, que impedem a fusão e o re-processamento. Dentre as alternativas para o reaproveitamento destes materiais estão.

1. Reforma ou recauchutagem: depois do combustível, os pneus constituem o item de maior custo de uso dos veículos. Devido a isto a recauchutagem foi desenvolvida com o objetivo de reformar um pneu usado, repondo e vulcanizando a camada superior de borracha da banda de rodagem. Para isso é necessário que a estrutura geral do pneu esteja conservada, não apresentando cortes ou deformações, e a banda de rodagem ainda apresente os sulcos e saliências que permitem sua aderência ao solo.

2. Recuperação: A recuperação consiste na simples trituração dos pneus e moagem dos resíduos. A borracha contida nos resíduos, na forma vulcanizada, não sofre modificação e não é separada dos demais compostos. Os pneus recuperados geralmente seguem dois tipos de utilização:

2.1. Na mistura com asfalto para pavimentação de vias e pátios de estacionamento.

Depois de trituradas, as partículas menores que 5 mm e com umidade de no máximo 2% são misturadas ao asfalto na proporção de 1% a 3% em peso.

2.2. Nas fábricas de cimento. O material moído, com partículas de 1 mm a 6 mm são incinerados nos fornos como combustíveis e a fuligem proveniente dos gases produzidos pela queima é incorporada ao cimento.

3. Regeneração ou desvulcanização: as carcaças dos pneus se enquadram na classificação de resíduos que contêm fibras em elevadas proporções. A regeneração pode ser feita por vários processos – alcalino, ácido, mecânico, e vapor saturado. Na regeneração, os resíduos passam por modificações que os tornam mais plásticos e aptos a receber nova vulcanização, mas não têm as

mesmas propriedades da borracha crua, sendo geralmente misturado a ela para a fabricação de artefatos.

4. Proteção de construções à beira mar: nos diques e cais; barragens e contenção de encostas, onde geralmente os pneus são colocados inteiros.

5 5. Recuperação de energia pela queima em fornos.

6. Pirólise é o processo de termoconversão realizado sob atmosfera isenta de oxigênio e proporcionado pela adição de calor a um material carbonáceo.

10 Apesar de todos estes processos de reciclagem, existe ainda uma quantidade excedente considerável deste resíduo, ou seja, a geração de pneus inservíveis é maior do que as quantidades processadas nas destinações mencionadas. É sabido que estas destinações agregam pouco valor aos produtos gerados; por outro lado as tecnologias que geram produtos com valores mais atraentes são extremamente custosas tornando os produtos economicamente inviáveis.

15 Tendo em vista esta oportunidade (utilizar material inservível para gerar produtos com alto valor agregado a baixo custo) foi desenvolvido um sistema de destilação destrutiva em três estágios (os dois primeiros com ambiente neutro e o terceiro em ambiente oxidante) que gerará produtos em duas fases (uma gasosa e uma sólida) que serão processados sob temperaturas e atmosferas distintas.

A invenção esta baseada no processo de quebra das ligações químicas das cadeias orgânicas pelo calor (reação endotérmica) ocorrendo uma destilação destrutiva, que visa reaproveitar os componentes do pneu como matérias primas e combustíveis.

25 Na presente invenção ocorre a otimização e junção de três operações em um mesmo aparato:

Gaseificação em ambiente neutro.

Carbonização com aquecimento indireto e baixo teor de oxigênio.

Ativação do resíduo carbonoso em atmosfera oxidante.

30 Tendo ainda a vantagem de ser um sistema termicamente autosuficiente .

O sistema consiste na utilização de uma área inicial de gaseificação (up-draft) onde será feita a extração de gás e óleo pirolítico. Nesta área trabalha-se com temperaturas mais baixas com o intuito de gerar-se maiores quantidades de óleo

e a geração de menores quantidades de SO_2 . O sistema funciona em atmosfera neutra, e como as reações (devido a não ocorrência de queima) são endotérmicas a energia para o desencadeamento das reações (quebra das ligações químicas das cadeias orgânicas) é fornecida pela zona posterior.

- 5 A zona subsequente é onde ocorre a carbonização, também nesta zona o fornecimento de energia em parte é suprido exteriormente e em parte pelos gases provenientes da ativação, sendo que, a atmosfera neutra é proveniente dos gases gerados durante a ativação (oriundos das reações $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)
- 10 É uma etapa de preparação do material, onde se removem componentes voláteis e gases leves (CO , H_2 , CO_2 e CH_4), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior.

- Ativação em ambiente oxidante (utilizando vapor em alta temperatura 920°C) que consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial. Esta reação é essencialmente endotérmica, sendo que o suprimento energético é todo externo (utilizando os gases gerados no próprio sistema).
- 15

- Ao chegar à indústria, a matéria-prima (pneus inservíveis) será descarregada na área de trituração, onde imediatamente se iniciará a trituração do material em frações de $50 \times 50 \text{ mm}$.
- 20

O material já triturado é encaminhado por um sistema de transporte até a moega alimentadora da retorta vertical. O referido aparato é composto por 5 áreas.

Produtos Gerados

- O sistema de piroativação nos possibilitará obtermos (a partir da matéria-prima pneu inservível) os seguintes produtos (percentuais médios):
- 25

- óleo pirolítico num percentual de 36 %
- carvão num percentual de 26% (carvão ativado 20%)
- gás não condensável num percentual de 20%
- sucata de arame queimado 18%

- 30 **Óleo pirolítico.**

O óleo pirolítico, fração condensável extraída juntamente com os gases, é composto por Aromáticos pesados, Aromáticos leves, Alkanos, Acetonas, Aldeídos.

Tabela 1: Características básicas do óleo pirolítico

Peso específico	0,9481 g/ml
PCI	9000 Kcal/kg
PONTO DE FULGOR	40° C
COMPOSIÇÃO ELEMENTAR	%
Carbono	87
Hidrogênio	10
Nitrogênio	1,2
Oxigênio	1,4
Enxofre	0,8

5 Fonte : CEMPRE, 2003

Tabela 2. Composição elementar típica do óleo de pneu.

COMPOSIÇÃO ELEMENTAR	% EM MASSA
Carbono	82,73
Hidrogênio	10,84
Enxofre	1,70
Nitrogênio	0,40
Oxigênio	4,33

Fonte : CEMPRE, 2003

A este produto podem ser dadas duas destinações: a queima e a destilação.

Na hipótese da destilação podem ser obtidos os seguintes produtos:

10 Tabela 3. Produtos gerados durante a destilação fracionada do óleo pirolítico

PRODUTOS	PERCENTUAIS	UTILIZAÇÃO
Nafta leve	10%	Indústria química (solvente)
d-Limonene	6%	Indústria química
Óleo leve	10%	Indústria química
Óleo pesado (resíduo de destilação)	74%	Queima

Fonte: C. Roy, H. Darmstadt, B. Benallal, A. Chaala. 1995.

Carvão ativado.

- 5 Carvões ativados são materiais carbonosos porosos que apresentam uma forma micro cristalina, não granítica, que sofreram um processamento para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho em macro, meso e micro porosidade .

Produção de Carvão Ativado

- 10 Carvões ativados são obtidos através de duas etapas básicas: a carbonização pela pirólise do precursor e a ativação propriamente dita.

- 15 A ativação, processo subsequente a pirólise, consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, visando o aumento da área superficial. É a etapa fundamental na qual será promovido o aumento da porosidade do carvão. Deseja-se no processo de ativação o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica etc.) de acordo com a configuração requerida para uma dada aplicação específica.

Ativação física – A ativação física consiste na reação do carvão com gases contendo oxigênio combinado .

- 20 Devido à natureza endotérmica das reações de ativação, as partículas de carvão devem ser mantidas em contato íntimo com os gases oxidantes. A energia para o processo de ativação pode ser fornecida de maneira direta ou indireta dependendo do tipo de forno empregado .

- 25 Para o processo de ativação física, são utilizados, geralmente, como oxidantes, vapor de água e CO_2 . As reações gás-sólido envolvidas no processo são descritas através das seguintes etapas.

1. Difusão do reagente para a superfície externa do sólido;
2. Difusão do reagente pelos poros internos do sólido;
3. Adsorção do reagente pela superfície interna do sólido;
- 30 4. Reação na superfície do sólido;
5. Dessorção dos produtos da superfície interna do sólido;
6. Difusão dos produtos pelos poros internos do sólido;

7. Difusão dos produtos da superfície externa do sólido. **Propriedades Físico-Químicas dos Carvões Ativados**

Porosidade

- 5 A porosidade dos carvões ativados é um dos aspectos mais importantes para a avaliação de seu desempenho. As diferenças nas características de adsorção estão relacionadas com a estrutura dos poros do material. Baseado nas propriedades de adsorção, a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) estabelece uma classificação porosa assim resumida:
- 10 Quanto à forma: Utiliza-se a expressão poro aberto ou poro fechado para designar buracos em materiais sólidos, o primeiro correspondendo a buracos que se comunicam com a superfície externa e o segundo correspondendo a um buraco isolado. Se um poro aberto é tal que permite o fluxo de um fluido, o poro é dito ser poro de transporte, sendo que, este pode apresentar braços que não contribuem para o fenômeno de transporte.
- 15 Quanto à dimensão dos poros: Baseado nas propriedades de adsorção, a IUPAC, propõe a seguinte classificação de poros como apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Classificação de poros segundo a IUPAC

Tipo de poro	Diâmetro médio	Função Principal
Microporos	$m\theta < 2 \text{ nm}$	Contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporos	$2 \text{ nm} < m\theta < 50 \text{ nm}$	São importantes para a adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
Macroporos	$m\theta > 50 \text{ nm}$	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.

Caracterização Textural

O controle da distribuição do tamanho dos poros e a afinidade superficial do carvão ativado são importantes aspectos na sua preparação.

- 5 O carvão ativo é um dos melhores adsorventes que se conhece, devido a sua enorme superfície interna, constituída por milhares de poros microscópicos.

O resíduo carbonoso isento de metais será utilizado como carvão ativado para tratamento de efluentes e águas em sistemas de abastecimento público e industrial.

- 10 Características específicas e propriedades típicas de carvão ativado para tratamento de água obtido apartir de resíduos de pneus.

Tabela 5. Características e propriedades de carvão ativado obtido apartir de resíduos de pneus.

ESPECIFICAÇÕES	
Número de lodo mg/g	800 mínimo
pH	Alcalino
Densidade aparente g/cm	0,20 - 0,75
Granulometria passante na malha # 100	99%
Granulometria passante na malha # 200	95%
Granulometria passante na malha # 325	90%
Índice de Fenol g/l	2,5 máx.
Umidade	8% máx.
Cinzas	12% máx.

Fonte: Pesquisa direta 2010

- 15 **Gás não condensável.**

O gás gerado será utilizado na alimentação energética do próprio sistema de carbonização, sendo que possui um PCI de 7000 kcal/kg. Tabela 5 : Composição básica do gás.

COMPONENTE	% POR PESO	% POR VOLUME
Metano	16.1%	31.5%
Etano	32.6%	34.1%
Propano	7.6%	5.4%
Iso-Butano	1.2%	0.6%
n-Butano	33.1%	17.9%
Nitrogeno	9.4%	10.5%
H2S	0.0%*	0.0%*

Fonte : Pesquisa direta ,2010.

Metais

A utilização de pneus radiais gera, após a separação magnética, um percentual considerável de restos de arames, que após serem compactados serão vendidos para sucateiros da região.

5 Descrição do sistema de piroativação.

Todo os sistema será contruido em material refratário (metálico ou não) isolado termicamente.

A figura 1 ilustra esquematicamente o referido sistema e processo. De conformidade com o quanto ilustrado na mencionada figura e em consonancia com a descrição apresentada, refere-se o presente pedido de patente de invenção de uma **INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MULTIPLOS ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA.**

Zona 5. Combustão e aquecimento , temperatura media 1100°C; terá um ou mais queimadores 1. Nesta zona serão queimados os gases não condensaveis exauridos pela zona 1 (após terem passado pela torre de separeção para a remoção dos condensáveis) e parte dos gases gerados na zona de ativação. Os gases quentes (resultado da queima)serão direcionados para o gerador de vapor2, afim de se fazer o aproveitamento do calor residual. Os gases após passarem pela caldeira de recuperação de calor passarão por um lavador de gases 3 e posteriormente lançados no ambiente.

Zona 1 . Aquecimento da matéria prima 4 (temperatura media 150° C, tempo de residencia 8 minutos,taxa de aquecimento 15° C/min, velocidade de escoamento de 0,3 m/min). Nesta zona será feita a alimentação da retorta e a materia prima (pneus inservíveis triturados) será aquecida (em contracorrente) pelos gases (condensaveis e não condensaveis) gerados na zona 2. Ambas as frações gasosas5 serão aspiradas para um sistema de torre de fracionamento de pratos6 onde os condensaveis serão separados do gas não condensavel. O primeiro (óleo pirolítico) ira para tancagem e o segundo (GNC) retornara para alimentar a zona 5 (combustão e aquecimento), sendo que, o excedente será consumido em combustor de alta performace 7

Zona 2 . Gaseificação8(temperatura media 400° C, tempo de residencia 28 minutos,taxa de aquecimento 25° C/min, velocidade de escoamento de 0,1 m/min). Nesta zona iniciara a redução de volume e peso do material; serão geradas duas frações gasosas uma não condensavel e outra condensavel que passarão para a zona 1 onde trocarão calor com a materia prima.

Zona 3 . Carbonização⁹ (temperatura media 600° C, tempo de residencia 20 minutos,taxa de aquecimento 20° C/min, velocidade de escoamento de 0,3 m/min). Nesta zona devido a alta temperatura finalizara a gaseificação e ocorrerá a carbonização da materia prima, sendo que os gases gerados irão para o aquecimento da zona 2.

Zona 4 . Ativação¹⁰(temperatura media 900° C, tempo de residencia 28 minutos,taxa de aquecimento 20° C/min, velocidade de escoamento de 0,1 m/min). Nesta zona a atmosfera sera oxidante e o aquecimento indireto.Dos gases gerados 50% irão passar para a zona 3 e farão o aquecimento desta, o restante ira para a zona de combustao complementar o aquecimento da propria zona. Nesta zona sera injetado vapor superaquecido (950° C) ¹¹ para a geração da atmosfera oxidante. O resíduo carbonoso ativado será extraído através de um sistema de eclusa.

Exemplo.

Pneus inservíveis foram triturados em pedaços de 50 x 50 mm e foram introduzidos na retorta verticalcontínuamente (a uma quantidade de 100kg/h durante um período de 24 horas) no forno piloto. Foram introduzidos na retorta durante o referido período 2400 kg de pedaços de pneu inservível e exauridos pela parte superior 480 kg de GNC e 860 kg de óleo pirolítico com as seguintes características.

ÓLEO PIROLÍTICO	
PESO ESPECÍFICO	0,95 g/ml
PCI	9000 kcal/kg
PONTO DE FULGOR	41 ° C
TEOR DE ENXOFRE	0,8 %

GÁS NÃO CONDENSÁVEL	
PCI	7000 kcal/kg

Já pela parte inferior da retorta foram extraídos 400 kg de carvão ativado e 240 kg de sucata metálica. O carvão ativado extraído teve as seguintes características.

CARVÃO ATIVADO	
NÚMERO DE ÍODO	800
pH	Alcalino
DENSIDADE APARENTE	0,20 g/cm

REINVINDICAÇÕES

INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA.

- 5 1. Caracterizado pelo fato de compreender uma planta industrial dotado de um sistema de homogeneização granulométrica com sistema de alimentação pelo topo da retorta vertical de múltiplos estágios, que compreende um sistema composto por 5 zonas.

10 Zona 5. Combustão e aquecimento, temperatura média 1100°C; terá um ou mais queimadores (1). Nesta zona serão queimados os gases não condensáveis exauridos pela zona 1 (após terem passado pela torre de separação para a remoção dos condensáveis) e parte dos gases gerados na zona de ativação. Os gases quentes (resultado da queima) serão direcionados para o gerador de vapor (2), a fim de se fazer o aproveitamento do calor residual. Os gases após
15 passarem pela caldeira de recuperação de calor passarão por um lavador de gases (3) e posteriormente lançados no ambiente.

Zona 1. Aquecimento da matéria prima (4) (temperatura média 150° C, tempo de residência 8 minutos, taxa de aquecimento 15° C/min, velocidade de escoamento de 0,3 m/min). Nesta zona será feita a alimentação da retorta e a
20 matéria prima (pneus inservíveis triturados) será aquecida (em contracorrente) pelos gases (condensáveis e não condensáveis) gerados na zona 2. Ambas as frações gasosas (5) serão aspiradas para um sistema de torre de fracionamento de pratos (6) onde os condensáveis serão separados do gás não condensável. O primeiro (óleo pirolítico) irá para tancagem e o segundo (GNC) retornará para
25 alimentar a zona 5 (combustão e aquecimento), sendo que o excedente será consumido em combustor de alta performance (7).

Zona 2. Gaseificação (8) (temperatura média 400° C, tempo de residência 28 minutos, taxa de aquecimento 25° C/min, velocidade de escoamento de 0,1 m/min). Nesta zona iniciará a redução de volume e peso do material; serão
30 geradas duas frações gasosas uma não condensável e outra condensável que passarão para a zona 1 onde trocarão calor com a matéria prima.

Zona 3. Carbonização (9) (temperatura média 600° C, tempo de residência 20 minutos, taxa de aquecimento 20° C/min, velocidade de escoamento de 0,3 m/min). Nesta zona devido à alta temperatura finalizará a gaseificação e
35 ocorrerá a carbonização da matéria prima, sendo que os gases gerados irão para o aquecimento da zona 2.

Zona 4 . Ativação **(10)** (temperatura media 900° C, tempo de residencia 28 minutos,taxa de aquecimento 20° C/min, velocidade de escoamento de 0,1 m/min) . Nesta zona a atmosfera sera oxidante e o aquecimento indireto.Dos gases gerados 50% irão passar para a zona 3 e farão o aquecimento desta, o restante ira para a zona de combustao complementar o aquecimento da propria zona. Nesta zona sera injetado vapor superaquecido (950° C) **(11)** para a geração da atmosfera oxidante. O resíduo carbonoso ativado será extraído através de um sistema de eclusa.

5 2. Caracterizado pelo fato da referida instalação destinar-se a geração de produtos de alto valor agregado apartir de produtos inservíveis.

10 3. De acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ser um sistema de destilação destrutiva em três estagios (os dois primeiro com ambiente neutro e o terceiro em ambiente oxidante) que gerará produtos em duas fases (uma gasosa e uma solida) que serão processados sob temperaturas e atmosferas distintas.

15

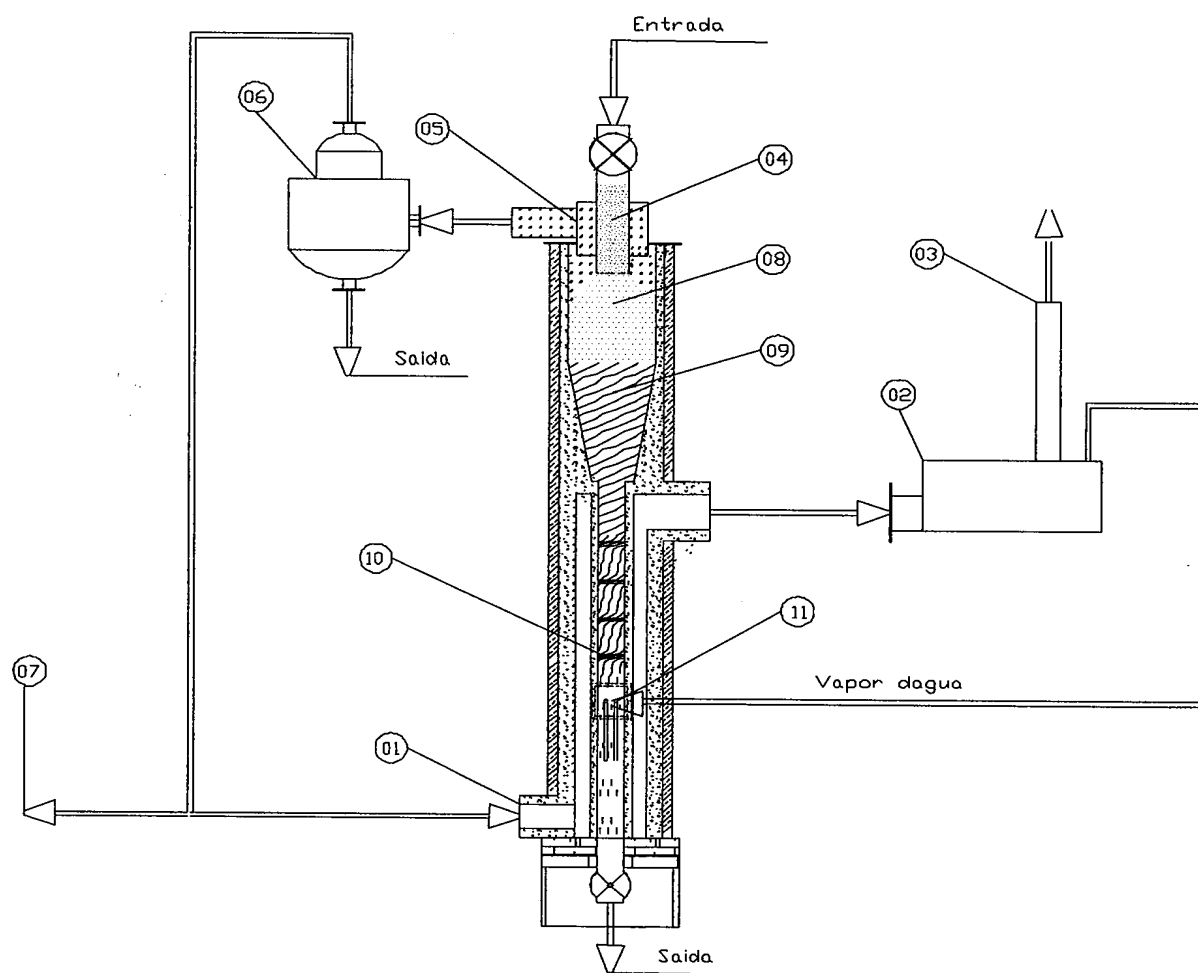


FIGURA 1

RESUMO

- 5 INSTALAÇÃO E PROCESSO EM RETORTA VERTICAL DE MÚLTIPLOS ESTÁGIOS PARA GASEIFICAÇÃO, CARBONIZAÇÃO E ATIVAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS E RESÍDUOS DE BORRACHA. Compreendendo uma planta industrial para a produção de carvão ativado, óleo pírolítico e sucata metálica, energeticamente auto-alimentada, tendo como matéria-prima pneu inservível. O sistema possibilita uma produção econômica e não poluente, com a geração de produtos de alto valor agregado.