



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

(11) PI 0903587-7 B1

(22) Data do Depósito: 22/05/2009

(45) Data de Concessão: 26/12/2017



(54) Título: PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

(51) Int.Cl.: C10B 53/02; C10B 53/04; C10B 53/07; B01J 19/28

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE MINAS GERAIS - FAPEMIG. ENGENHO NOVE ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA.

(72) Inventor(es): GILBERTO CALDEIRA BANDEIRA DE MELO; ARTUR TORRES FILHO



PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS

A presente invenção refere-se ao processo de pirólise de biomassa e resíduos sólidos de origem municipal, industrial, agrícola ou institucional, incluindo resíduos de serviços de saúde, que tenham material carbonáceo de origem biogênica ou não-biogênica em sua composição, através de um processamento térmico em múltiplos estágios, usando reatores com aquecimento indireto por meio de fluido térmico, promovendo dessa forma a decomposição térmica do material. O processo pode ser aplicado para:

5 Torrefação de madeira ou outro tipo de biomassa para obtenção de madeira ou biomassa torrificada; Pirólise de madeira ou outro tipo de biomassa para obtenção de carvão vegetal; Pirólise de resíduos de origem municipal, industrial, agrícola ou institucional, incluindo resíduos de serviços de saúde, sem restrições quanto as aplicações para o processo.

15 Caracteriza-se o processo pelo emprego do múltiplo estágio. No estágio inicial, que é de caráter opcional, em função da composição e teor de umidade da biomassa ou do resíduo "in natura", é feita a secagem do material em reatores ou vasos providos de aquecimento indireto usando o vapor d'água proveniente de caldeira, ou outro fluido térmico capaz de provocar o aquecimento da massa e respectiva secagem, reduzindo o teor de umidade a níveis mais adequados para a etapa seguinte. A etapa de secagem pode proporcionar uma melhoria na performance da etapa seguinte, mas não é de todo imprescindível, sendo possível processar também biomassa ou resíduos diretamente na etapa seguinte de pirólise, independentemente do seu teor de

25 umidade.

Após a secagem, os materiais secos, ou, no caso da ausência dela, biomassa ou resíduos "in natura", são carregados em reator de pirólise. Neste estágio, que é o principal processo que constitui o objeto desta proteção, ocorre a pirólise propriamente dita, sendo utilizados reatores com aquecimento

30 indireto por meio de fluido térmico, promovendo dessa forma a decomposição térmica do material em temperaturas superiores a um valor mínimo, em torno de 300°C. Durante a pirólise ocorrem as reações químicas que resultam na



desnaturação, craqueamento e rompimento de ligações químicas dos polímeros naturais e artificiais, liberando gases e vapores de menor peso molecular, com correspondente abaixamento do teor de sólidos voláteis dos materiais, e aumento do seu teor de sólidos fixos. Como resultado, o processo

5 provoca a carbonização da matéria orgânica, com correspondente redução de massa e volume do material processado. O processo poderá ocorrer mantendo-se à pressão atmosférica no interior do reator ou sob pressão superior à pressão atmosférica.

O processo é endotérmico em sua fase inicial, na qual os materiais

10 processados recebem calor do fluido térmico até atingirem temperaturas onde as reações de despolimerização se iniciam, e estas reações, que são exotérmicas, passam a gerar entalpia que pode vir a ser suficiente para a manutenção do processo. Eventualmente, em função das características dos materiais processados, a pirólise pode gerar calor a ponto de elevar a

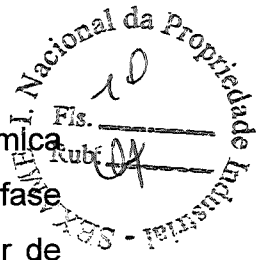
15 temperatura na massa em níveis superiores à temperatura do fluido térmico, resultando na transferência de calor no sentido inverso, isto é, dos resíduos para o fluido térmico. Prevê-se no sistema um dispositivo de proteção contra o aumento de temperatura em excesso no fluido térmico, desviando o fluxo do fluido térmico para um sistema de troca indireta de calor, que utilizará água como agente de arrefecimento, podendo ser feito o aproveitamento da energia

20 gerada no processo, para gerar energia térmica e/ou elétrica.

O circuito de fluido térmico é mantido com as temperaturas necessárias para a manutenção do processo por meio do emprego de uma fonte auxiliar de energia térmica (que pode ser obtida pela queima de óleo combustível, gás

25 natural, cavacos de madeira, ou qualquer outro combustível, ou ainda através da eletricidade como fonte primária para o aquecimento do fluido). O processo PYROLIX pode ser configurado na forma de um conjunto de vasos atuando em paralelo, operados de forma concatenada, cada um em determinada fase do ciclo completo que envolve a secagem (opcional), pirólise e resfriamento. Os

30 circuitos de fluidos responsáveis pelas trocas de calor (o circuito de vapor, opcional, o de fluido térmico e fluido de resfriamento, também opcional) são então administrados de forma a otimizar as trocas de calor entre os reatores.



Por exemplo, o fluido térmico que deixa o reator que está em fase exotérmica de pirólise encontra-se superaquecido, e pode ser enviado a um reator em fase endotérmica. Dessa forma é possível reduzir o consumo da fonte auxiliar de energia a um valor mínimo, que pode chegar, sob circunstâncias, e em função da natureza dos materiais processados, ao consumo de combustível auxiliar apenas para dar partida ao processo, sendo a planta operada de forma autotérmica ou com geração e exportação de energia.

No caso específico da aplicação do processo para torrefação de madeira, o reator de pirólise deverá ser descarregado e o processo interrompido através do resfriamento do material, quando a fase endotérmica chegar ao final e a fase exotérmica do processo estiver se iniciando. O produto então deverá ser encaminhado a um reator de resfriamento do material.

Os gases e vapores combustíveis gerados no reator de pirólise na fase exotérmica são encaminhados para sistema de queima, sendo que esses gases e vapores possuem poder calorífico, sendo a energia liberada na queima desses gases e vapores utilizada para gerar o aquecimento do fluido térmico recirculante. Eventualmente, em função da natureza dos materiais processados, caso os vapores e condensáveis obtidos na fase gasosa estejam sendo gerados em quantidades e com poder calorífico superiores à demanda de energia do processo, pode-se promover a condensação dos vapores obtidos na pirólise. Nesse caso, obtém-se como subproduto do processo as fases líquidas constituídas pelo liquor pirolenhoso (em meio aquoso) ou alcatrão insolúvel (fase orgânica), que podem ser destinados a aplicações econômicas como fontes de energia ou de matérias-primas em processos carboquímicos. Em condições favoráveis, conforme o tipo de material processado, pode o processo ocorrer sem a condensação dos líquidos, mas com a queima dos gases e condensáveis e geração de calor excedente, sendo nesse caso possível acoplar o processo para a geração de energia para ser exportada, na forma de energia térmica ou energia elétrica.

Nos casos em que houver a etapa de secagem, os vapores gerados nos vasos de secagem podem também, em função da conveniência, ser encaminhados para o sistema de queima, a fim de eliminar potenciais fontes de



lançamentos de contaminantes e/ou odores nos vapores liberados nos vasos de secagem.

No estágio final, que é o resfriamento, o material é transferido para outros vasos, providos ou não com circulação de água, ar, ou qualquer fluido refrigerante, e nesses vasos ocorre a redução de temperatura para que o produto pirolisado possa sofrer exposição ao meio ambiente abaixo da faixa de temperatura ignição espontânea. Ao fim do processo, os materiais pirolisados e resfriados são descarregados, e terão volume e massa reduzidos em relação aos materiais originais.

Outra possibilidade, dependendo do tipo e natureza do resíduo tratado, é que os produtos da pirólise não necessitem ser resfriados e descarregados, mas submetidos à queima em grelhas ou reatores de combustão, promovendo o aproveitamento do poder calorífico do material carbonizado. Essa queima do produto pirolisado é mais eficiente e mais controlada do que a queima direta do resíduo "in natura". Outra possibilidade também é que o resíduo pirolisado seja submetido a processos de gaseificação térmica, por meio de injeção de agentes gaseificantes, tais como o vapor d'água, ar, ou gás carbônico, sendo então gerados gases combustíveis para uso energético.

No caso do tratamento de resíduos, com resfriamento e descarregamento do produto pirolisado, este produto final resultante apresenta-se inerte frente a processos biodegradação, podendo ser destinado a uma disposição final em aterros em condições mais favorecidas do que os resíduos originais. Ao ser disposto em aterros, o carbono presente no resíduo, poderá ser estocado de forma permanente, resultando em um seqüestro definitivo do carbono. Interrompe-se assim o ciclo biogeoquímico que resultaria em emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, na forma de metano pelo decaimento biológico anaeróbio, ou de gás carbônico, pelo decaimento biológico aeróbio, ou pela oxidação química.

Outras potenciais aplicações dos resíduos pirolisados são os processos de beneficiamento e recuperação de materiais (por exemplo, recuperação de metais, vidro, ou outros componentes com valor econômico), uso em processos industriais, como por exemplo em processos metalúrgicos, ou uso como fonte

de energia térmica pela queima ou gaseificação e geração de gases combustíveis a partir do resíduo carbonizado.

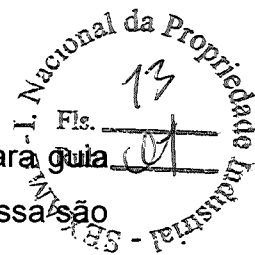


Na literatura relacionada à pesquisa e desenvolvimento tecnológico encontram-se disponíveis várias patentes e artigos que se referem ao processo de pirólise e dispositivos envolvidos no método, assim como alterações e melhorias relacionadas a ele. Abaixo algumas patentes sobre pirólise são citadas para auxiliar a caracterização do atual estado da técnica.

O processo de patente PI0417994-3, intitulado "REATOR E MÉTODO DE PIRÓLISE", descreve um método contínuo para reciclar através de um laminado metal/orgânico que compreende metal, tal como alumínio, laminado com um material orgânico. O método incorpora um único reator constituído de duas câmaras, ambas com agitadores giratórios e uma camada de material particulado absorvedor de microondas. O processo aplica energia de microondas na primeira câmara para aquecer o material particulado absorvedor de microondas a uma temperatura suficiente para a pirólise do material orgânico no laminado.

O pedido PI0204067-0, intitulado "REATOR CONTINUO PARA PIRÓLISE ULTRA RÁPIDA DE BIOMASSA", refere-se a um equipamento de pirólise ultra-rápida de biomassa, caracterizado por um reator contínuo que difere-se dos demais equipamentos existentes pelas suas características operacionais e de projeto, voltadas para um baixo custo operacional e para a maximização do rendimento da fração líquida ("bio-óleo"), importante fonte de insumos químicos. Consiste num reator com montagem vertical o que permite estabelecer um fluxo descendente do material, dispensando tanto o emprego de mecanismos ou partes móveis internos ao reator quanto à utilização de gases para arraste ou fluidização de leito.

O pedido PI0407782-2, intitulado "PROCESSO E DISPOSITIVO PARA PIRÓLISE DE BIOMASSA" descreve a destilação destrutiva de matéria carbonácea sólida com aquecimento indireto, por exemplo, combustão externa com carga estacionária em que a carga é submetida a pressões mecânicas durante a coqueificação, ou a destilação destrutiva, especialmente adaptada a determinadas matérias-primas sólidas de forma especial de material contendo



celulose; com ajuda de um elemento de aquecimento e dispositivos para guia de biomassa. Durante a pirólise, o elemento de aquecimento e a biomassa são comprimidos um contra o outro à pressão variável de 5 a 80 bar. A invenção refere-se também a um dispositivo para pirólise de biomassas, que

5 compreende uma entrada de alimentação do material e uma estação de pirolisação. A alimentação de material compreende dispositivos para gerar uma pressão entre 5 bar e 200 bar, comprimindo a matéria-prima a ser pirolisada contra a estação de pirolisação. A estação de pirolisação compreende um elemento de aquecimento, que é aquecido para uma temperatura dentre 300°C

10 e 1000°C em um estado operacional.

O pedido PI0106228-0, intitulado "PROCESSO E REATOR PARA PIRÓLISE DE CARGAS RESIDUAIS" que consiste de um reator e um processo de conversão rápida de frações pesadas de hidrocarbonetos em frações mais leves que inibe a formação de subprodutos gasosos e coque. O

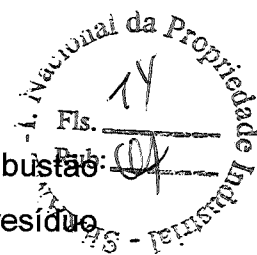
15 processo compreende a pirólise rápida de hidrocarbonetos atomizados em atmosfera inerte aquecida e a baixa pressão, sem a necessidade de adição de hidrogênio. A patente também se refere a um reator utilizado no processo, cuja temperatura interna é mantida em níveis mais baixos, o que possibilita o emprego de material de menor valor para a construção do dito reator. O

20 processo citado proporciona conversões de até 30% das frações pesadas e grande redução da temperatura final de ebulição do resíduo, além de redução do CCR e do teor de asfaltenos sem favorecer a formação de coque. Processo para a conversão de compostos asfálticos em correntes de menor peso molecular, sem a necessidade da presença de hidrogênio ou doadores de

25 hidrogênio e na ausência de catalisadores.

A patente PI0012061-8, sobre o "METODO E APARELHO PARA A PIRÓLISE E GASEIFICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS OU MISTURAS DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS". Tal processo serve para a

30 pirólise e gaseificação de substâncias orgânicas ou misturas de substâncias orgânicas. As substâncias orgânicas são introduzidas em um reator de secagem e de pirólise em que são postos em contato com o material de leito fluidizado do leito de combustão fluidizado ou em que são postos em contato



com o material de leito fluidizado e a parede do reator do leito de combustão fluidizado, em consequência do qual ocorre uma secagem e pirólise. O resíduo sólido carbonáceo, opcionalmente com porções do vapor e dos gases de pirólise, e o material de leito fluidizado são conduzidos de volta para dentro do leito de combustão fluidizado em que o resíduo carbonáceo das substâncias orgânicas é incinerado, o material de leito fluidizado é aquecido e é novamente conduzido para dentro do reator de pirólise. O vapor da secagem e dos gases de pirólise é subsequenteiramente tratado com substâncias condensáveis em uma zona de reação adicional de tal modo que é obtido um gás produto com elevado poder calorífico.

O pedido PI9201202-7, intitulado "PROCESSO E APARELHO PARA A PIRÓLISE DE MATERIAL CARBONÍFERO", descreve um processo destinado a pirólise de materiais de carbonação tais como madeira que compreende aquecer direta ou indiretamente o material carbonífero com gases de combustão. Quando inicia a carbonização o aquecimento direto é interrompido, ao passo que se continua o aquecimento indireto até a carbonização estar concluída.

A patente PI9106714-6, intitulada "MÉTODO E APARELHO PARA PIRÓLISE DE MATERIAIS LIXENTOS" trata de um método e aparelho destinado a pirólise de materiais provenientes do lixo que por si só não é susceptível de ser aquecido por radiação de micro-ondas. O método compreendendo as etapas de: a) Dispor o material lixento, sob uma atmosfera na qual a geração de chama seja substancialmente impedida, com uma base de material pulverizado que compreende carbono na forma elementar, ou com um material que seja capaz de ser pirolisado para carbono elementar por irradiação de micro-ondas, dito material pulverizado sendo susceptível ao aquecimento por irradiação de micro-ondas; b) Aquecer o material pulverizado através de irradiação de micro-ondas de modo que a energia térmica seja transferida do material pulverizado para o material lixento, sendo que o tempo e a intensidade da irradiação é controlado a fim de causar a pirólise substancial desse material, no qual é depositado em uma porção superior da base de material pulverizado de modo a permitir que os resíduos afundem na base,



sendo pirolisado dentro da mesma. O aparelho é constituído por um contêiner inerte à radiação de micro-ondas e é capaz de reter uma base de material pulverizado; uma câmara de reação, um conduto para alimentar o material proveniente do lixo a uma parte superior da base de material pulverizado; um gerador de micro-ondas; câmaras de vácuo para controlar a atmosfera na câmara de tal forma que seja evitada a geração de chamas; uma saída para remoção de gases, desenvolvidos na pirólise dos materiais provenientes do lixo, a partir da câmara.

O processo PI8406991-0 intitulado "APARELHO PARA A PIRÓLISE DE MATERIAIS CONTENDO HIDROCARBONETOS", trata de uma câmara de pirólise que inclui um banho de sal em fusão dividido por um defletor situado na horizontal em uma camada superior e uma camada inferior. Unido a uma extremidade da câmara fica o forno, o qual inclui queimadores sub-merase para aquecerem o sal e para manterem o sal em seu estado de fusão. O sal em fusão flui do forno através da camada de banho superior e de volta ao forno na camada inferior. O material contendo hidrocarboneto é aplicado à camada de banho superior e é pirolisado à medida que se move para a extremidade de descarga da câmara, onde o material gasto é removido e os gases de hidrocarboneto são recuperados por um sistema de escape na câmara. O sal em fusão atua como vedante entre as atmosferas do forno e a câmara de pirólise, e também atua para remover poluentes dos gases de combustão dos queimadores no forno.

A patente PI8400355-3, intitulada "APARELHO PARA PIRÓLISE DE MATERIAL EM PARTÍCULAS" descreve um aparelho para pirólise de material em partículas, por um procedimento contínuo, usando partículas como meio de aquecimento em uma câmara de combustão e uma câmara da pirólise arranjada lado a lado e ligada por uma passagem de interligação superior, que se estende entre as câmaras, e uma passagem de retorno. O material em partículas é fluidizado nas câmaras e induzido a circular entre elas, pela configuração das câmaras e passagens e/ou a natureza da fluidização. O material em partículas é aquecido na câmara de combustão e então circula



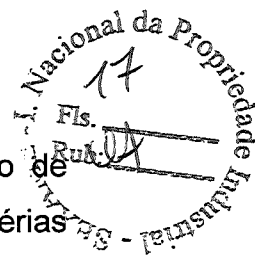
através da passagem superior para aquecer e misturar com o material de carga fresco introduzido na câmara de pirólise, liberando vapores do processo.

A patente PI8306082-0 intitulada "PROCESSO PARA PIRÓLISE RÁPIDA DE PRODUTOS LIGNOCELULÓSICOS EM FORMA DE FRAGMENTOS DE PEQUENAS DIMENSÕES E DISPOSITIVO PARA REALIZAÇÃO DE TAL PROCESSO", descreve um processo de pirólise rápida de produtos lignocelulósicos, mais particularmente de rejeitos florestais, e de um dispositivo para sua realização. Segundo o processo, se efetua uma pirólise rápida dos produtos lignocelulósicos em um leito fluidizado de partículas refratárias quentes. Os produtos da pirólise, constituídos de um resíduo sólido carbonado, de alcatrões e de gás, escapam do leito fluidizado e atravessam uma zona de superaquecimento constituída de um trocador com um reforço, alimentado por uma chuva de partículas refratárias quentes que suprem sua energia calorífica ao leito fluidizado. O resíduo sólido carbonado é depois separado dos produtos gasosos, dos quais uma parte é reciclada para a fluidização, e queimada em um reator de combustão de leito transportado, aquecendo as partículas refratárias que alimentam o trocador de reforço e leito fluidizado.

O pedido PI8204142-3 intitulado "PROCESSO E SISTEMA DE PIRÓLISE COM RECIRCULAÇÃO DE GÁS QUENTE". Trata-se de um processo e sistema para a pirólise contínua de carga orgânica produzem um resíduo carbonáceo sólido de volatilidade controlada, de modo que é altamente eficaz quanto ao aproveitamento de energia. O valor do produto gasoso e do óleo pirolítico produzido é também otimizado.

Por fim, a patente PI8201100-1 com o título "PROCESSO PARA OBTENÇÃO DE ENERGIA POR MEIO DE PIROLISE", que descreve um processo de queima, após trituração, de materiais de refugo tais como papéis, lixo doméstico, borracha, e outros, para a obtenção de combustíveis sólidos, tais como carvão e semelhantes, líquidos, como óleos combustíveis, gasosos assim como metano, butano, propano, os quais podem ser reaproveitados como fontes alternativas de energia.

C10353102



Embora existam no estado da técnica diversas patentes tratando de pirólise, que é um método conhecido no tratamento de resíduos ou de matérias orgânicas diversas, grande parte refere-se à pirólise de hidrocarbonetos e produtos de origem mineral, xisto betuminoso e derivados do petróleo, biomassa vegetal lenhosa para obtenção do carvão vegetal, pneus. Só uma pequena parte dessas patentes trata, no entanto, de processos de pirólise de resíduos sólidos.

A obtenção de energia é um dos objetivos de algumas das tecnologias acima descritas, enquanto que na presente invenção esse não é um objetivo primordial, embora também possa ocorrer. A pirólise está sendo realizada aqui como um processo de tratamento de resíduos de origem municipal, industrial, agrícola ou institucional. Por exemplo, os resíduos de serviços de saúde ou o "lixo hospitalar" podem ser tratados através do presente processo visando como propósitos principais: redução de massa e volume do resíduo, facilitando o seu manuseio posterior, transporte, e reduzindo a demanda de espaço para seu destino final em aterros sanitários; inertização e/ou esterilização dos resíduos pela sua conversão em um material carbonáceo não mais passível de processos de biodegradação, e pela destruição térmica de materiais infectantes e/ou biologicamente ativos.

O resíduo final obtido poderá ser manuseado e disposto de forma segura, sem riscos de disseminação de qualquer vetor de saúde pública, e sem a lixiviação de compostos químicos para o ambiente através de processos de decomposição biológica da matéria orgânica biodegradável.

Outra vantagem do processo de tratamento de resíduos pela pirólise, se comparada com a incineração, que é outra possibilidade do tratamento térmico de resíduos, é o fato de a pirólise ser realizada em uma atmosfera redutora, em deficiência de oxigênio molecular, de forma a prevenir a formação de poluentes organoclorados, especialmente as dibenzodioxinas e dibenzofuranos policlorados, tal como normalmente se forma em processos convencionais de incineração. Também, ao contrário da incineração, o processo PYROLIX é empregado de uma forma controlada, em resíduos que são carregados em bateladas em cada vaso reator, de maneira a assegurar para cada material que



é admitido no reator a permanência pelo tempo e pela temperatura necessários para garantir a sua pirólise completa. Assim, é possível o controle e o registro do tempo e temperatura que cada lote de resíduo processado foi exposto no interior do reator, pelo controle individual do tempo de reação e pela medição da temperatura no interior dos reatores, garantindo assim a segurança do tratamento. Evitam-se, portanto, os episódios típicos de descontrole de processo que ocorrem em instalações convencionais de incineração de resíduos, em que os resíduos são descarregados em grelhas de combustão, e nos quais a queima pode ser interrompida ou arrefecida, em função da adição de resíduos de baixa inflamabilidade ou com elevado teor de umidade.

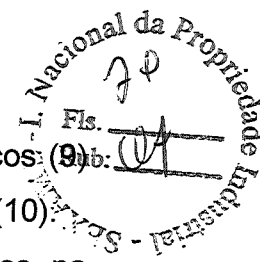
Das tecnologias acima descritas, encontradas nos bancos de patentes, algumas empregam o uso de microondas, outras de sólidos obtidos na combustão em leito fluidizado, outra de sal fundido, e algumas utilizam os próprios gases e vapores gerados no processo de pirólise para a obtenção da energia térmica necessária ao processo, mas nenhum deles utiliza fluido térmico para aquecimento indireto da carga, tal como descrito na presente patente. Outra característica única da presente invenção é a separação em dois ou três estágios do processo. No primeiro estágio (opcional) de desidratação e no segundo estágio de pirólise propriamente dita, com temperaturas que podem variar entre 300°C e 450°C, no qual irão ocorrer as reações típicas de decomposição térmica do material carbonáceo contido no resíduo em atmosfera com deficiência de oxigênio, os gases combustíveis gerados são encaminhados a um processo de queima que proporcionará a destruição dos compostos orgânicos contidos nos gases e vapores do processo, além de proporcionar um incremento de energia térmica para aquecimento do fluido térmico recirculante, minimizando dessa forma o consumo do combustível auxiliar empregado.

O processo PYROLIX de pirólise de resíduos sólidos em múltiplo estágio é apresentado em fluxograma na figura 1. Os resíduos provenientes da coleta ou da fonte geradora serão recebidos (1) e introduzidos em bateladas, em reatores com aquecimento indireto por fluido térmico, onde ocorrerá a pirólise propriamente dita (2). Em casos onde se optar pelo estágio inicial de secagem



(não mostrado), os materiais provenientes dos vasos de secagem é que serão alimentados (1) no vaso de pirólise (2). Os reatores podem operar em paralelo, em um número total de vasos suficientes para processar a quantidade diária a ser recebida. Esses reatores constituem-se de cilindros horizontais metálicos, encamisados para serem aquecidos externamente com o fluido térmico gerado recirculado em um aquecedor de fluido térmico (3). Os reatores de pirólise (2) possuem sistema interno de revolvimento por braços mecânicos de movimento circular, montados em eixo central ao cilindro. Os gases gerados no interior desses reatores são encaminhados a fornalha do aquecedor de fluido térmico, a qual opera utilizando combustível auxiliar, através de um combustor, responsável pela manutenção da temperatura à faixa compreendida entre 700°C e 750°C (4). O final do processo de pirólise poderá ser controlado por uma chama piloto posicionada na tubulação de exaustão de gases. A falta de combustão dos gases gerados no interior do reator de pirólise indica o final do processo de pirólise no reator, podendo se dar início à descarga do produto pirolisado para os vasos de resfriamento (5).

O resfriamento do material pirolisado se dá em cilindros horizontais metálicos, encamisados para serem resfriados externamente com água ou outro fluido refrigerante nas camisas dos vasos (5). O fluido refrigerante circula em circuito fechado das camisas dos vasos para um sistema de arrefecimento (6), constituído por um reservatório e por uma torre de resfriamento, interligados a um conjunto moto-bomba, responsável por encaminhar vazão suficiente para a demanda térmica requerida no resfriamento do produto pirolisado. Eventualmente, conforme a configuração e capacidade de processamento da planta de pirólise, pode-se optar por vasos de resfriamento não encamisados, expostos ao resfriamento natural, ou por resfriamento a ar. O controle de temperatura realizado no interior dos vasos de resfriamento determina o ponto em que estes podem ser descarregados, o que ocorre quando a temperatura do material encontra-se inferior a valores em torno de 60°C. Os gases e vapores eventualmente gerados no interior dos gases de resfriamento são também conectados com o processo de queima que ocorre na fornalha do aquecedor de fluido térmico (4). A descarga do material



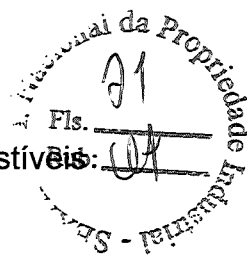
pirolisado dos vasos de resfriamento é realizada em contêineres metálicos (9) para que o produto seja encaminhado ao armazenamento e destino final (10).

5 Para atendimento aos limites legais para lançamentos de gases na atmosfera, encontram-se propostos sistemas de remoção de partículas do tipo coletores de pó centrífugos multiciclones interligados em série a filtros de tecido (7), para daí os gases serem encaminhados para lançamento (8).

10 Após a pirólise, os produtos irão conter uma massa inferior do que os materiais processados, dependendo do conteúdo orgânico presente nos mesmos. De maneira geral, a perda de massa e redução de volume será tanto maior, quanto maior for o teor de matéria orgânica (biogênica ou não-biogênica) no material inicial, podendo alcançar valores em torno de 80% a 90% para o caso de materiais inteiramente orgânicos.

15 No caso de processamento de resíduos, os produtos finais serão enviados para a disposição ambiental em aterros sanitários, de uma forma muito mais segura e econômica do que seria a disposição dos resíduos iniciais, pois o resíduo pirolisado é inerte do ponto de vista biológico, não sofrendo decomposição microbiológica. Como consequência, não irá gerar biogás por decaimento anaeróbico (evitando a formação de metano, que é um gás de efeito estufa), nem haverá formação do chorume ou lixiviado por decomposição biológica. Esse resíduo pirolisado irá conter carbono na forma elementar – semelhante à grafite, e será ainda passível de combustão. Assim, a técnica de aterro mais recomendada deverá ser intercalando camadas do resíduo e camadas inertes, que servirão de proteção contra propagação de chamas. Uma vez dispostos no ambiente, o carbono dos resíduos pirolisados estará
25 permanente seqüestrado, pois não mais será passível de decomposição.

Eventualmente, se os resíduos iniciais forem de origem e composição conhecidos, controlados e adequados, poderá ser obtido um resíduo final pirolisado passível de aplicação energética ou industrial mais vantajosa do ponto de vista econômico do que o processo de aterramento. Neste caso, o
30 resíduo poderá ser submetido a este outro uso, como por exemplo: obtenção de briquete como termo-redutor em fornos de redução metalúrgico/siderúrgico; extração de metais por lixiviação química; combustão direta, com geração de

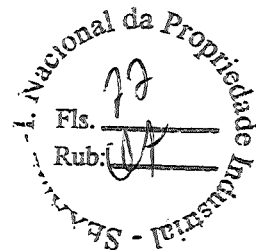


energia térmica e/ou elétrica, gaseificação para gerar gases combustíveis (combustão indireta), ou ainda para utilização como carvão ativo.

- No caso de uso do processo para torrefação ou carbonização de biomassa, obtém-se como produto final a biomassa torrificada ou o carvão vegetal, que são produtos de valor comercial e com diversas aplicações.
- 5

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático de uma unidade para tratamento de resíduos sólidos que emprega o processo de pirólise de resíduos sólidos em múltiplos estágios.



REIVINDICAÇÕES

1. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", caracterizado pelo processo compreender as seguintes etapas:

5 a) Pirólise dos resíduos

b) Resfriamento dos resíduos pirolisados

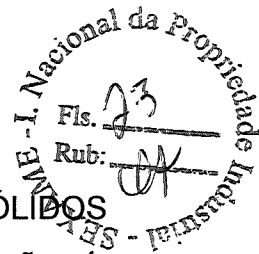
10 2. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender uma etapa opcional de desidratação da biomassa ou dos resíduos sólidos, mediante aplicação de vapor ou um fluido térmico recirculante.

15 3. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pela desidratação ocorrer preferencialmente em vasos de secagem.

4. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a etapa "a" da reivindicação 1, caracterizado pela pirólise ser realizada em reatores de pirólise (2).

20 5. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por utilizar um fluido térmico recirculante gerado preferencialmente em um aquecedor de fluido térmico (3).

25 6. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos reatores de pirólise (2) compreenderem um sistema interno de revolvimento por braços mecânicos de movimento circular, montados em um eixo central ao cilindro.



7. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelos gases gerados no interior dos reatores (2) serem encaminhados a fornalha do aquecedor de fluido térmico (3), a qual opera utilizando combustível auxiliar, através de um combustor (4).
8. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo combustor (4) ser responsável pela manutenção da temperatura em uma faixa compreendida entre 500°C e 900°C.
9. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a etapa "a" da reivindicação 1, caracterizado por compreender uma chama piloto posicionada na tubulação de exaustão de gases para identificar o final do processo de pirólise e controlar o início da descarga do produto pirolisado nos reatores (2) para os vasos de resfriamento (5).
10. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a etapa "a" da reivindicação 1, caracterizado por compreender um sistema de remoção de partículas do tipo coletores de pó centrífugos multiciclones interligados em série a filtros de tecido (7), para posterior encaminhamento dos gases ao lançamento à atmosfera (8).
11. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a etapa "b" da reivindicação 1, caracterizado pelos resíduos pirolisados serem encaminhados aos vasos de resfriamento (5) para refrigeração a partir de um sistema de arrefecimento (6).
12. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelos resíduos após saírem dos vasos de resfriamento (5)



serem despejados em contêineres (9) para que o produto seja encaminhado ao armazenamento e destino final (10).

- 5 13. "PROCESSO DE PIRÓLISE DE BIOMASSA E RESÍDUOS SÓLIDOS EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS", de acordo com a reivindicação 12, caracterizado por compreender um sistema de controle de temperatura no interior dos vasos de resfriamento (5) que determina a temperatura em que os resíduos podem ser descarregados nos contêineres (9).

FIGURAS

Figura 1

