



PI06050000
PI06050000

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0605000-0

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0605000-0

(22) Data do Depósito: 30/11/2006

(43) Data da Publicação do Pedido: 15/07/2008

(51) Classificação Internacional: B01J 19/12; B01J 3/04; H05B 6/64; C10G 15/08

(54) Título: DISPOSITIVO E SISTEMA PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS A ALTAS TEMPERATURA E PRESSÃO EM PRESENÇA DE MICROONDAS

(73) Titular: PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, Indústria, CGC/CPF: 33000167081942. Endereço: Av. República do Chile, 65, Centro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil (BR/RJ), CEP: 20.031-912.

(72) Inventor: ELIZABETH MARQUES MOREIRA; MAURI JOSÉ BALDINI CARDOSO; SUMAIR GOUVEIA DE ARAÚJO; JIRO TAKAHASHI

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 30/11/2006, observadas as condições legais.

Expedida em: 30 de Junho de 2015.

Assinado digitalmente por:

Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



DISPOSITIVO E SISTEMA PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS A ALTAS TEMPERATURA E PRESSÃO EM PRESENÇA DE MICROONDAS

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção se refere a um dispositivo para processar cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos, o qual opera sob elevados valores de temperatura e pressão, inclusive de hidrogênio, e em regime de batelada. Mais especificamente dito dispositivo para processar ou hidroprocessar cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos é provido de uma

10 fonte de emissão de radiação eletromagnética na faixa das microondas. Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um sistema de processamento de cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos utilizando dito dispositivo. Dito sistema tem a possibilidade de operar na presença de um catalisador ou não, o qual, juntamente com a carga, é submetido à

15 irradiação das ditas microondas. Dito sistema opera em alta temperatura e pressão, inclusive de hidrogênio, juntamente com irradiação de microondas.

TÉCNICAS RELACIONADAS

 O aquecimento por meio da radiação eletromagnética na faixa das

20 microondas não é somente um procedimento bem estabelecido para uso doméstico, mas também é amplamente usado industrialmente para o processamento de diversos materiais.

 Os dispositivos que permitem esse tipo de aquecimento têm sido projetados para serem empregados em: reticulação e dereticulação de

25 borrachas; tratamento de materiais descartados após o consumo; secagem de alimentos, de materiais poliméricos, de madeiras e produtos industrializados (moldes cerâmicos – indústria automotiva); produção de artefatos cerâmicos e refratários; aceleração do processo de cura do concreto; sínteses químicas; polimerização de plásticos; esterilização de

30 materiais; soldagem de plásticos; reciclagem e recuperação de materiais;

destruição de rejeitos poliméricos, fraturamento ou moagem de rochas, etc.

A técnica de aquecimento por meio da incidência de radiação na faixa das microondas em um material absorvedor oferece a vantagem de
5 otimizar os efeitos térmicos nestes tipos de materiais em virtude do seu aquecimento rápido, direto e localizado nas espécies absorvedoras.

Do mesmo modo, o efeito da dita radiação sobre o material absorvedor cessa ao se remover a fonte de radiação de microondas. Outras vantagens relacionadas ao uso de radiação eletromagnética na
10 faixa das microondas para o aquecimento podem ser destacadas como: economia de energia em relação ao aquecimento convencional em determinados processos onde se deseja aquecimento pontual e seletivo em materiais que possuem diferentes coeficientes de absorção das
15 microondas; menor tempo de processamento; interações específicas entre as microondas, os reagentes e sítios ativos absorvedores de microondas; aquecimento rápido, seletivo e mais uniforme com efeitos de parede minimizados.

Atualmente, as microondas industriais podem ser geradas por uma variedade de dispositivos, como por exemplo, “magnetrons”, “power
20 grid tubes”, “klystrons”, “klystrodes”, “crossed-field amplifier”, “travelling wave tubes” (TWT) e “gyrotrons”.

As radiações eletromagnéticas na faixa das microondas podem ser conduzidas entre a fonte emissora e a carga ou mistura a ser irradiada através de guias de ondas eletromagnéticas. Ditos guias podem se
25 estender por vários metros fazer traçados sinuosos com baixa atenuação das microondas. Além disso, o dispositivo gerador de microondas pode ser remoto da sua fonte de alimentação.

O núcleo de um dispositivo provido de uma fonte de emissão de energia eletromagnética na faixa das microondas como, por exemplo, um
30 reator de microondas é uma válvula específica capaz de gerar este tipo de

radiação eletromagnética. Dito emissor de radiação eletromagnética consiste, por exemplo, de um dispositivo sob vácuo, o qual converte a energia elétrica de baixa frequência em um campo eletromagnético que oscila em uma alta frequência (microondas).

- 5 No caso de um dispositivo do tipo magnetron, uma diferença de potencial constante é aplicada entre os pólos: ânodo, que é um cilindro circular oco, com cavidades características em sua periferia, e cátodo. Os elétrons são acelerados do cátodo para o ânodo, mas a presença de um forte campo magnético entre os dois pólos (produzido por um eletroímã)
- 10 faz com que os elétrons descrevam uma trajetória curva e sigam um caminho em espiral, produzindo uma radiofrequência (RF). Uma antena conduz a radiação eletromagnética presente nas cavidades ao redor do ânodo para o exterior do magnetron. As ondas produzidas são guiadas por um guia de onda até a cavidade na qual está contido o material a ser
- 15 processado. As paredes metálicas do interior do dispositivo absorvem pouca energia, sendo a maior parte da energia refletida até que seja absorvida pelo material irradiado.

Um dos aspectos mais importantes relacionados com o dispositivo objeto da presente invenção é o aquecimento seletivo de materiais, uma

20 vez que a interação com as microondas varia com as propriedades do material. Esse aspecto é de particular relevância na utilização de materiais com atividade catalítica, visto que é desejado combinar esta característica com o aquecimento preferencial, promovido pelas microondas. A ação das microondas sobre o meio reacional pode ocorrer pela sua interação com

25 os dipolos de moléculas polares de líquidos e gases reagentes bem como por sua interação com materiais sólidos, ou mesmo especificamente com seus sítios ativos, acrescentados ao meio reacional.

Os materiais condutores de eletricidade (metais, por exemplo) refletem quase totalmente as microondas, apresentando aquecimento

30 principalmente por perdas ôhmicas, sendo superficial e tão menos intenso

quanto maior sua condutividade. Por outro lado, os materiais isolantes, também denominados dielétricos, podem ser transparentes ou opacos às microondas de acordo com seu fator de perda dielétrica, também denominado parte imaginária da permissividade elétrica, daqui por diante

5 referido apenas como fator de perda, grandeza esta que é função da frequência da radiação eletromagnética e da temperatura do material.

Dielétricos com baixo fator de perda são transparentes às microondas e pouco susceptíveis a aquecimento pelas mesmas, ao passo que aqueles com alto fator de perda convertem a energia eletromagnética

10 em energia térmica, aquecendo-se com a absorção e concomitante atenuação das microondas conforme estas se propagam em seu interior. Este processo é denominado aquecimento dielétrico, e, diferentemente do aquecimento por condução ou convecção (usados em processos convencionais com combustão ou resistências elétricas como fontes de

15 calor), pode atuar diferentemente sobre as cargas, reagentes e catalisadores mesmo estando estes em contato direto entre si e misturados homogeneamente. A descrição do processo de aquecimento por microondas envolve diversos conceitos físico-químicos, como: temperatura, capacidade calorífica, ligação química, estrutura molecular,

20 momento de dipolo, polarização induzida, constante dielétrica ou permissividade relativa, permissividade complexa (real e imaginária), condutividade, efeito Joule, perdas ôhmicas, etc.

O aquecimento dielétrico por microondas é uma maneira conveniente e eficaz de realizar reações químicas em meios mais

25 apropriados (geralmente polares).

A necessidade crescente de se processar petróleos cada vez mais pesados, contendo altos teores de contaminantes, elevada viscosidade, acidez naftênica, e capazes de formar emulsões óleo-água de difícil separação, representa um grande desafio para o parque de refino

30 nacional. Várias abordagens buscando facilitar o processamento desse

tipo de petróleo e obter produtos derivados de maior valor agregado têm sido sugeridas.

A irradiação de materiais por energia eletromagnética na faixa das microondas é utilizada em várias aplicações industriais como forma alternativa de aquecimento de sistemas específicos. Artigos e patentes reivindicam o uso, com sucesso, de tecnologias de microondas para acelerar processos químicos que demandam aquecimento, e algumas outras aplicações no processamento de petróleos. No entanto, não existem sistemas adequados para processamento assistido por microondas, de cargas em elevadas temperaturas e altas pressões de hidrogênio.

No presente relatório, entende-se por carga: óleo cru, misturas de hidrocarbonetos, frações provenientes do processamento de petróleo, óleos de origem vegetal, produtos orgânicos como álcoois e ésteres, produtos inorgânicos como catalisadores, e misturas destes produtos, entre outros.

A técnica de processamento assistido por irradiação de energia eletromagnética na faixa das microondas (doravante denominada simplesmente microondas) que vem sendo estudada baseia-se na capacidade de se provocar uma interação ou um aquecimento rápido nos materiais de acordo com as suas características dielétricas, permitindo iniciar reações químicas devido à aceleração de sua cinética, e, conseqüentemente, modificando as propriedades desses materiais irradiados em tempos reduzidos.

A maior parte dos avanços tecnológicos na área de engenharia de refino de petróleo começou em 1913 com a introdução da técnica de craqueamento térmico e a seguir com o advento da técnica do craqueamento catalítico em 1936. A introdução de sistemas catalíticos permitiu a obtenção de reações mais rápidas e seletivas, enquanto que os processos de hidrogenação possibilitaram a remoção de agentes

contaminantes e a adequação das frações de petróleo às especificações exigidas pelos processos industriais.

Paralelamente, avanços na área de engenharia de exploração de petróleo (óleo bruto) e gás natural, perfuração e tecnologias de transporte permitiram o crescimento na demanda por petróleo e produtos baseados em petróleo. Este fato permitiu um aumento na produção mundial de petróleo bruto de 150 milhões de barris por ano em 1900, para aproximadamente 22 bilhões de barris por ano em 2000. Os impactos na economia mundial e o significado político internacional relacionado ao petróleo tiveram impactos enormes no panorama social do século XX.

Ao mesmo tempo, tem crescido a pressão sobre as indústrias químicas, tanto pela sociedade civil, como pelas autoridades governamentais, no sentido de aprimorar o desenvolvimento de processos, que sejam cada vez menos prejudiciais ao meio ambiente. Dentro deste cenário industrial, um dos principais problemas que devem ser destacados é o grande volume de agentes contaminantes como, por exemplo, os efluentes tóxicos produzidos por vários processos químicos.

Tem-se procurado minimizar a emissão de agentes contaminantes por meio de diversas medidas, tais como o uso de reagentes alternativos apropriados, processos que apresentem maiores conversões e seletividade aos produtos desejados, a utilização de catalisadores específicos, bem como a reciclagem de reagentes e catalisadores empregados nesses processos.

Neste intuito, catalisadores sólidos têm sido desenvolvidos com o propósito da remoção dos ditos agentes contaminantes dispersos em efluentes, bem como na aceleração e seletividade de reações químicas, com o objetivo de reduzir a formação de subprodutos indesejáveis e melhorar a eficiência do processo reacional.

Reações com petróleos pesados têm sido conduzidas em condições brandas usando-se catalisadores sólidos ácidos e básicos juntamente com

a irradiação por microondas, ou com a utilização de fluidos supercríticos, com o objetivo de desenvolver processos na ausência de solventes orgânicos. O princípio destas reações é a irradiação dos reagentes por microondas, em conjunto com catalisadores sólidos, conforme

5 apresentado por **BANDGAR, B.P.; UPPALLA, L.S.; KURULE, D.S.** **"Solvent-free one-pot rapid synthesis of 3 carboxycoumarins using focused microwaves"**. Green Chem. 1, p.243, 1999 e **PIPUS, G.; PLAZL, I.; KOLOINI, T.** **"Esterification of Benzoic Acid with 2-Ethylhexanol In a Microwave Stirred-Tank Reactor"**, Ind. Eng. Chem. Res., 41(5), p.1129

10 -1134, 2002.

A utilização da água em condições extremas como, por exemplo, a temperaturas acima de 200°C, forma um fluido supercrítico o qual permite a solubilização de moléculas apolares e de compostos orgânicos. Esta solubilização permite a realização das reações orgânicas, na ausência

15 total de solventes orgânicos indesejáveis ao meio ambiente.

A energia de microondas é preferencialmente absorvida pelos sítios ativos dos catalisadores, mas não pela carga de hidrocarbonetos como por exemplo o petróleo pesado, ou pelo recipiente do reservatório. A aplicação desta tecnologia permite o aquecimento indireto dos hidrocarbonetos da

20 carga, como por exemplo petróleo, frações e derivados, através de aquecimentos pontuais pela presença dos catalisadores, que transmitem a energia (calor) por condução (**CUNDY, C.** **"Microwave Techniques In the Synthesis and Modification of Zeolite Catalysts. A Review Collect"**, Czech. Chem. Commun. 63: p.1699–1723, 1998).

25 As reações orgânicas com catálise heterogênea têm sido muito aplicadas no contexto industrial. Estas reações são realizadas com sucesso, porque os catalisadores suportados em compostos porosos apresentam uma ótima dispersão dos sítios reativos, aumentando a seletividade e a eficiência das reações tradicionais.

30 Os experimentos iniciais com técnica de aceleração de reação por

microondas foram realizados com solventes de altos coeficientes dielétricos, tais como dimetilsulfóxido e dimetilformamida, causando um superaquecimento durante as reações. Porém, a aplicação desta técnica se destacou recentemente com os estudos de reações sobre suportes sólidos, em condições livres de solventes. (VARMA, R.S. **"Solvent-free accelerated organic syntheses using microwaves"**, Pure Appl. Chem., Vol. 73(1), p. 193–198, 2001).

Nas reações sobre suporte sólido em condições livres de solvente, os compostos orgânicos adsorvidos nas superfícies de óxidos inorgânicos, tais como alumina, sílica gel, argilas ou suportes modificados, absorvem esta radiação, enquanto que os suportes sólidos não a absorvem. A temperatura na estrutura inorgânica durante a reação é relativamente baixa, porém, durante o processo, as temperaturas junto aos reagentes na superfície do suporte são extremamente altas. As reações assistidas pela irradiação com microondas, na ausência de quaisquer solventes, também proporcionam a oportunidade de se trabalhar com frascos abertos, em função da carga processada, evitando riscos de altas pressões (VARMA, R.S. **"Solvent-free accelerated organic syntheses using microwaves"**, Pure Appl. Chem., Vol. 73(1), p. 193–198, 2001).

A aplicação da metodologia, e a associação dos dispositivos de emissão de energia eletromagnética para o processamento de misturas de hidrocarbonetos, são usualmente apresentadas na literatura especializada, conforme mostrado a seguir:

EBERHARD e colaboradores (**"Microwave-enhanced Hydrogenations at Medium Pressure Using a Newly Construct Reactor"**- Tetrahedron Letters, 46, p.1247-1249, 2005) ensinam sobre a construção de um reator de hidrogenação assistida por microondas, o qual permite que a operação seja realizada em um valor de pressão de até 2500 kPa (25 bar), a partir da modificação de um forno de microondas modelo comercial.

COUTINHO e colaboradores (**"Avaliação da Aplicação da Tecnologia de Microondas no Aquecimento de Diferentes Emulsões Água-Óleo"** - apresentado no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador/Ba, Brasil, outubro de 2005) mostram o
5 processamento de emulsões petróleo cru-água em um reator de microondas de modelo comercial adaptado para operar com pressões até 3500 kPa (35 bar)".

PIPUS e colaboradores (**"Esterification of Benzoic Acid with 2-Ethylhexanol In a Microwave Stirred-Tank Reactor"**, Ind. Eng. Chem. Res., 41(5), p.1129 -1134, 2002) estudaram reações catalíticas de
10 esterificação de ácido benzóico. Para tal desenvolveram um sistema de aplicação de microondas, as quais eram geradas por uma válvula Magnetron de 2,45 GHz que provia cerca de 460 W de potência, acoplada a um guia de ondas e finalmente a um tanque de reação agitado, no qual
15 as microondas penetravam através de uma janela lateral confeccionada com um polímero específico. O volume do vaso de reação era de 500mL e as condições máximas de temperatura e de pressão testadas foram de 256 °C e de 1200 kPa (12 bar), respectivamente.

Estudos referentes à deshidrogenação foram feitos por KIM e
20 colaboradores (**"Dielectric catalysts for Microwave- Induced Dehydrogenation os Ethane Into ethylene"**. Paper 467, 9th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress). Nestes estudos os autores tratam um processo de deshidrogenação do etano em um reator de quartzo, no qual se utilizava um sistema de microondas que
25 compreende um gerador, um guia de ondas e dispositivos de medição de potência ajustáveis, de modo a manterem a potência na faixa de variação de 0,25 a 2,5 kW.

Encontra-se descrito no documento de patente US 2005133498, um método e um instrumento a ele associado para a realização de reações
30 químicas em regime contínuo assistidas por microondas, com monitoração

de pressão e resfriamento simultâneo. No entanto, o equipamento descrito não pode ser empregado em reações de hidrogenação em condições severas de temperatura e pressão.

No documento de patente **US 2004069776**, descreve-se um dispositivo para aquecimento de uma amostra, como por exemplo, uma mistura química. Mais especificamente trata-se de um dispositivo de aquecimento por microondas compreendendo um gerador de microondas, um guia de onda para guiar as microondas geradas e um defletor. No dito dispositivo as condições de ressonância e o fator de acoplamento da radiação a partir do guia de onda para a cavidade ressonante são facilmente ajustáveis por meio da rotação do defletor. As condições de ressonância e o fator de acoplamento podem ser ajustados em resposta às propriedades dielétricas da amostra para otimizar a quantidade da potência absorvida e desse modo obter o controle o processo de aquecimento da amostra. O dispositivo proposto, porém, não opera sob condições severas de temperatura e pressão.

No documento de patente **JP 2002113350**, é proposto um vaso para reações químicas que opera sob elevados valores de temperatura e pressão. Dito vaso é provido de um dispositivo que serve como uma fonte de microondas para promover o início da reação química. O vaso de reação possui cavidades no guia de onda ou uma linha coaxial instalada numa primeira janela, a qual serve como divisória entre o vaso de reação e o guia de onda. Os materiais que podem ser aquecidos neste vaso de reação são absorvedores de microondas e/ou absorvedores de onda catalíticos. O vaso para reações químicas proposto no documento **JP 2002113350** é igualmente provido de sistemas adicionais de fluidos de alta temperatura e alta pressão em um estado supercrítico e/ou sistema de reação eletrônico, sistema de reação fotoquímica, sistema de reação usando ondas ultrassônicas, e um sistema de reação usando um método externo de aquecimento. Dito documento **JP 2002113350** mostra um

sistema complexo para processamento de cargas em condições críticas, de modo a utilizar diversos sistemas adicionais para manter a estabilidade do sistema.

O documento de patente **EP 0501285** descreve um dispositivo para
5 iniciar e/ou promover reações químicas e/ou físicas sob pressão em amostras pela ação das microondas, tendo as inserções do recipiente que recebem as amostras ao menos parcialmente permeáveis às microondas, e que possuem um arranjo especial, de maneira a conectar-se por meio de ao menos um orifício acoplado a um gerador das microondas
10 impermeável às mesmas. Para permitir a elevada pressão das reações e um modo econômico, propõe-se de acordo com a invenção que o arranjo do dispositivo compreenda um ou mais vasos de pressão de material resistente a elevados valores de pressão, cujos orifícios do acoplamento são selados de modo que sejam permeáveis às microondas e também
15 resistentes à alta pressão.

Encontra-se descrito no documento de patente **US 6120741** um dispositivo para realizar reações químicas em grande escala. Dito dispositivo compreende um gerador de microondas e um vaso para aplicação das microondas, o qual contém um reator de alta capacidade e
20 uma cobertura. Dito vaso tem a forma de um cilindro e possui uma entrada para as microondas na parede inferior do vaso, posicionada na direção de seu eixo longitudinal "X", e uma extremidade superior aberta, por meio da qual o gerador fornece as microondas em módulo único ao longo do eixo "X" do vaso. O tamanho do vaso é ideal para combinar com o comprimento
25 de onda na modalidade ressonante das microondas ao longo do eixo "X". A cobertura deve selar a abertura superior do vaso. Dita cobertura tem uma canalização a qual conecta o interior do vaso ao ambiente externo de modo que vaso esteja sob a pressão atmosférica.

Apesar de a literatura estar amplamente provida de tecnologias
30 referentes ao processamento de cargas de hidrocarbonetos por meio

microondas, nenhum modelo comercial de reator, empregando radiação na faixa das microondas destinado ao uso em laboratório e também ao uso industrial, é apropriado para operar simultaneamente a elevados valores de temperatura e pressão e em presença de hidrogênio.

- 5 No intuito de solucionar os problemas mencionados, a presente invenção apresenta um dispositivo desenvolvido para processar hidrocarbonetos, em particular correntes de hidrocarbonetos pesados de petróleo, o qual é provido de uma fonte de emissão de energia eletromagnética na faixa das microondas. Dito dispositivo compreende um
- 10 vaso reacional especialmente projetado para a utilização de microondas e capaz de operar sob condições severas de temperatura e pressão, e, também, na presença de hidrogênio. Dependendo das aplicações, inclusive da necessidade de economizar energia, o referido dispositivo pode combinar o uso de fontes convencionais de energia com o uso de
- 15 microondas, de forma separada ou simultaneamente.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

- A presente invenção se refere a um dispositivo para processar cargas, preferencialmente cargas de hidrocarbonetos, o qual compreende basicamente três módulos. Um primeiro módulo compreendendo uma
- 20 fonte de alimentação elétrica e uma fonte de emissão de energia eletromagnética na faixa das microondas; um segundo módulo, o qual compreende um vaso reacional; e ainda, um terceiro módulo, que compreende um guia de onda instrumentado e seus acessórios.

- Com o objetivo de facilitar a compreensão da presente invenção, no
- 25 presente relatório entende-se por “guia de onda instrumentado”, um sistema de acoplamento, o qual permite que a radiação de energia eletromagnética na faixa das microondas seja conduzida de forma orientada a um vaso reacional, ou seja, interliga a fonte de microondas com o vaso reacional.

- 30 O guia de onda instrumentado consiste em uma porção longitudinal,

o qual compreende basicamente um módulo isolador, guias de ondas de seções retangulares e circulares, um conjunto de interfaces, o qual é provido de sensores de onda e pelo menos uma janela transparente às microondas.

- 5 O guia de ondas instrumentado é conectado ao vaso reacional através de uma janela específica, transparente às microondas, mas capaz de suportar as altas temperatura e pressão, até de hidrogênio, presentes no interior do vaso reacional.

O dispositivo da presente invenção foi elaborado para operar sob elevados valores de temperatura e pressão, em regime de batelada, com ou sem recirculação de gás, em especial o hidrogênio, com ou sem adição de materiais absorvedores de microondas, além do fato de não estar limitado a operar somente por meio do uso da incidência de radiação eletromagnética, ou seja, dito dispositivo é capaz de operar com o uso de outras fontes de energia.

Reações exotérmicas e endotérmicas heterofásicas são também promovidas por meio do uso do dito dispositivo. Dito dispositivo ainda promove o tratamento de cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos pesados, de forma a hidrogenar, hidrocraquear e hidrotratar os hidrocarbonetos, como por exemplo, frações pesadas de petróleo.

O dispositivo da presente invenção possui características únicas, as quais o permite operar sob uma temperatura de até aproximadamente 500°C e a um valor de pressão de até aproximadamente 20MPa (200 bar / 2900 psi). Mais especificamente, o material a ser tratado é preferencialmente submetido à incidência de radiações eletromagnéticas na faixa das microondas em uma frequência preferencial de 2,45 GHz e sob uma potência máxima de 3 kW. A fonte de microondas pode ser escolhida em função do processo e do volume da carga a ser tratada. A escolha de diferentes frequências da radiação de microondas, em função do processo e da carga, permite maximizar sua interação com os sítios

ativos e sua profundidade de penetração no meio reacional. A escolha da potência da fonte de microondas, contínua ou de pico, também é função do processo e do volume do vaso do reator. A potência total de microondas pode ser obtida utilizando-se uma única fonte de microondas

5 de alta potência ou um conjunto de fontes de microondas de menor potência, todas elas acopladas ao vaso do reator por meio de guias de ondas instrumentados.

Adicionalmente, a presente invenção refere-se ainda, a um sistema de processamento de cargas, o qual compreende o dispositivo da presente

10 invenção, para processar cargas em geral, associado a uma unidade eletrônica para controle automático do sistema e com interface para supervisão por operador.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 mostra uma representação esquemática de uma vista

15 frontal do sistema para processar cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos objeto da presente invenção.

A Figura 2 mostra uma representação esquemática de uma vista frontal do dispositivo para processar cargas e/ou misturas de hidrocarbonetos.

20 A Figura 3 mostra uma representação esquemática da janela transparente às microondas utilizada no sistema da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere a um dispositivo a um sistema utilizado para processar, reagir, sintetizar e tratar cargas,

25 preferencialmente misturas de hidrocarbonetos, na presença ou não de um catalisador, por meio da exposição das ditas cargas à incidência de radiação de microondas, sob condições severas de temperatura e pressão, em regime de batelada, com ou sem recirculação de gás, podendo ser utilizado inclusive hidrogênio. Dito dispositivo é associado a

30 uma unidade de controle e supervisão eletrônica que permite ao usuário

uma forma mais clara e fácil de visualização e controle do processo e que monitora variáveis críticas à integridade do sistema, podendo acionar medidas de segurança caso necessário.

5 No dispositivo objeto deste invento, o uso de energia eletromagnética na faixa das microondas, oferece aos sistemas reacionais uma forma alternativa de excitação e aquecimento seletivo da carga e/ou mistura, possibilitando um aumento na cinética das reações e efetividade das reações.

10 O dispositivo da presente invenção garante ainda uma boa transferência de energia para os materiais processados de modo a permitir que os processos a serem realizados seqüencialmente possuam uma maior eficiência, um maior rendimento, uma melhor atividade e seletividade, reduzindo a viscosidade do óleo tratado, bem como gerando produtos com menor grau de agressividade ao meio ambiente e com maior
15 valor agregado. Além disso, fornece informações que permitem entender os mecanismos físico-químicos envolvidos no processo de aquecimento por microondas e comparar os resultados obtidos com os aqueles resultados obtidos por meio do aquecimento convencional.

20 O aquecimento dielétrico por microondas é uma maneira conveniente e eficaz de realizar reações químicas em meios mais apropriados (geralmente polares).

O dispositivo para processamento de cargas, objeto da presente invenção, é formado basicamente por três módulos. Um primeiro módulo compreendendo uma fonte de alimentação de carga e uma fonte de
25 emissão de energia eletromagnética; um segundo módulo, o qual compreende um vaso reacional; e ainda, um terceiro módulo, que compreende um guia de onda instrumentado e seus acessórios.

Dito guia de onda instrumentado é um sistema de acoplamento, o qual permite que a radiação de energia eletromagnética na faixa das
30 microondas seja conduzida de forma orientada ao vaso reacional.

A fonte de emissão de energia está acoplada ao guia de onda instrumentado, que conduz de forma orientada a radiação de microondas ao vaso reacional. Dito guia de onda instrumentado, no presente exemplo, consiste em uma porção longitudinal, a qual compreende basicamente um
5 módulo isolador, guias de ondas de seções retangulares e circulares, um conjunto de interfaces, o qual é provido de sensores de onda e pelo menos uma janela transparente às microondas.

O dispositivo para processamento de cargas da presente invenção não é limitado a operar somente com o uso de energia eletromagnética,
10 dito dispositivo permite que os processos, como por exemplo, o processo de tratamento de cargas de hidrocarbonetos ocorra também com o uso das fontes de energia convencionais, como descrito na literatura, ou ainda, com o uso simultâneo de ambas as fontes de energia.

No vaso reacional se faz incidir a irradiação de microondas sobre o
15 material a ser processado na presença ou não de um catalisador, de modo a proporcionar um aquecimento seletivo, o qual varia conforme as propriedades dielétricas do material a ser processado. Na concretização preferida da invenção a carga processada é uma corrente de hidrocarbonetos pesados.

20 Os volumes aplicados ao dispositivo objeto da presente invenção durante os processos solicitados, assim como os valores de potência de energia aplicados ao dispositivo para processamento de cargas podem ser escalonados de maneira a adequar as condições operacionais ao tipo de demanda a ser processada.

25 O dispositivo da presente invenção possui uma característica única, a qual o permite operar em condições elevadas de temperatura e pressão. A pressão aplicada ao dito dispositivo pode variar desde valores no entorno da pressão atmosférica até 20 MPa (200 bar/2900 psi). Entretanto, no exemplo apresentado mais adiante, deve ser aplicado ao dispositivo um
30 valor de pressão na faixa de aproximadamente 13,8 a cerca de 17,2 MPa

(138 a 172 bar/2000-2500 psi), sendo ainda mais preferencial um valor aproximado de 17,2 MPa.

Em relação à temperatura, o dispositivo da invenção opera preferencialmente a 400°C, embora esse valor de temperatura possa
5 variar da temperatura ambiente a 500°C.

Na extremidade superior externa do vaso reacional do dispositivo objeto da invenção, ou seja, no topo do vaso reacional, fica localizada a instrumentação operacional e de segurança, a saber, válvulas de operação rápida, como por exemplo, válvulas reguladoras de pressão, válvulas de
10 alívio de pressão, válvulas de alimentação e coleta de carga e produtos, discos de segurança, e sensores de pressão e de temperatura.

O dispositivo para processar hidrocarbonetos possui um revestimento externo para isolamento térmico e para contenção em eventuais casos de vazamento. Para as finalidades da invenção, o termo
15 “vazamento” refere-se tanto ao vazamento da carga quanto ao vazamento da radiação das microondas.

Devido às condições operacionais, o sistema de vedação bem como o revestimento externo do dito dispositivo precisa ser seguro, desta forma pode-se utilizar “*grafoil*”, solda e prensagem metal-cerâmica, e metais
20 especiais como o aço inoxidável 304, aço inoxidável 316, e “*kovar*”.

A emissão da radiação das microondas sobre a carga é realizada de forma contínua ou em pequenos intervalos de emissão (pulsos). No exemplo apresentado adiante, preferencialmente a radiação das microondas deve ser realizada de forma contínua com uma potência
25 preferencial de 2 kW, entretanto a dita potência pode variar na faixa de 2 a 3 kW. No caso de emissão de energia por pulsos, a potência máxima, neste exemplo, é preferencialmente próxima de 8 kW.

O guia de onda instrumentado do dispositivo da presente invenção consiste em uma porção longitudinal, o qual compreende pelo menos uma
30 janela transparente às microondas, acoplada ao vaso reacional; dita janela

permite a incidência da energia eletromagnética de microondas diretamente sobre a carga, com o mínimo de perdas possíveis. Na forma preferida da presente invenção o vaso reacional do dispositivo para processamento de carga é provido somente de uma janela.

- 5 Para processar volumes maiores de carga o vaso reacional pode contar com múltiplos sistemas de fontes de microondas, cada um deles acoplados à sua janela no vaso reacional através de um guia de ondas instrumentado.

- 10 Visando minimizar as perdas quando da incidência da radiação, o grau de incidência da radiação sobre a carga pode ser simulado e calculado por meio do uso de um programa de computador (*software*) comercial específico.

- 15 A janela transparente pode ser projetada em diversos tipos de materiais como, por exemplo, safira, quartzo, vidro, cerâmica, etc. Esses materiais apresentam perdas dielétricas muito pequenas na frequência das microondas e suportam altos valores de temperatura e pressão. As medidas da espessura da dita janela são adequadas para que suportem as variações de temperatura e pressão que estão sendo empregadas durante o processo.

- 20 Uma outra característica desta invenção é a escolha feita dos componentes na montagem, de modo que haja o mínimo de perturbação do campo eletromagnético, evitando ao máximo as perdas de potência dentro do sistema. Para tanto, são feitos orifícios (devidamente selados contra vazamentos de hidrogênio e microondas) para medidas de
25 temperatura, para injeção e coleta de carga (material), projetados especialmente para que não haja interferência no meio reacional.

- 30 No dispositivo objeto da invenção a cavidade de microondas e o próprio dispositivo foram projetados para garantir uma boa transferência de energia para os materiais (cargas e catalisadores), possibilitando melhorar o rendimento e a qualidade da carga processada, entender os

mecanismos físico-químicos envolvidos neste processo e comparar os resultados obtidos com aqueles do aquecimento convencional.

O sistema de processamento de cargas da presente invenção compreende basicamente o dispositivo objeto da invenção e uma unidade eletrônica para controle e supervisão, o qual possui meios para retorno da informação por intermédio de sensores de onda e transdutores, os quais estão localizados na porção longitudinal do dispositivo, e diretamente conectados à unidade de controle eletrônico.

A unidade de controle e supervisão eletrônica permite que a informação seja codificada por controladores lógicos programáveis (CLP) e por um sistema supervisor, o qual gerencia o funcionamento do sistema de processamento de cargas, e permite sua interação com o operador.

Para que o dispositivo e o sistema de processamento de cargas, objeto da presente invenção seja mais bem compreendido, será detalhado a seguir, assim como cada um dos elementos que os compõem, com base nas Figuras que acompanham este relatório.

Conforme mostrado na **Figura 1**, o sistema de processamento de cargas compreende um dispositivo (A) para processamento da carga, e uma unidade eletrônica (B) para controle automático do sistema e com interface para supervisão por operador.

A **Figura 2** mostra especificamente o dispositivo (A) para processar cargas, preferencialmente de hidrocarbonetos, tendo sido especialmente desenvolvido para este sistema, o qual é formado por três partes distintas: um primeiro módulo compreendendo uma fonte de alimentação de carga (1) e uma fonte de emissão de energia (2) eletromagnética; um segundo módulo, o qual compreende um vaso reacional (3); e ainda, um terceiro módulo, que compreende um guia de onda instrumentado (5) e seus acessórios.

No primeiro módulo, a fonte de alimentação de carga (1) está

diretamente conectada à fonte de emissão de energia (2) de radiação das microondas por meio de cabos (4) que suportam altas tensões. A fonte de emissão de energia (2) esta acoplada ao guia de onda instrumentado (5), o qual conduz de forma orientada a radiação das microondas ao vaso reacional (3).

A fonte de emissão de energia (2) de radiação das microondas utilizada na presente invenção é uma válvula termoiônica, como por exemplo, uma válvula magnetron, a qual é responsável pela geração da radiação eletromagnética na frequência de microondas.

O valor típico da frequência eletromagnética utilizada na presente invenção, porém não limitante, é de 2,45 GHz. Este valor de frequência eletromagnética tem mostrado uma grande influência na cinética de reações de diversas sínteses e reações orgânicas. Entretanto, outros valores de frequências podem ser utilizados explorando a absorção e profundidade de penetração de uma dada frequência de microondas aplicada a uma carga e catalisador específicos, maximizando a interação entre as microondas e os sítios ativos do catalisador. Uma forma de aferir a capacidade de absorção da radiação eletromagnética na faixa das microondas por um material é verificar as suas propriedades dielétricas. Desta forma, para determinar a frequência eletromagnética a ser aplicada durante o processo de tratamento, deve-se verificar o fator de perda dielétrica (**loss factor** ou **loss tangent**) do material a ser processado, pois dito fator fornece uma boa indicação da distância que a radiação eletromagnética é capaz de penetrar em um determinado material e quanto que este material pode dissipar desta energia para o meio sob a forma de calor ou outras interações.

O guia de onda instrumentado (5) consiste em uma porção longitudinal, a qual aloca os demais acessórios do terceiro módulo do dispositivo (A) objeto da invenção e opera sob a pressão atmosférica. A porção longitudinal é provida de um módulo isolador (6), o qual protege a

fonte de emissão de energia (2) de possíveis ondas refletidas, de modo a evitar os efeitos danosos que podem ser provocados pela energia refletida. Dito módulo isolador (6) compreende um circulador de três portas e uma carga fictícia, os quais não estão mostrados nas Figuras.

- 5 A porção longitudinal é ainda provida de um guia de onda de seção retangular (7), um segmento de transição (8) de seção retangular para circular e um segmento de seção circular de acoplamento (9) à janela (11) do vaso reacional (3). Dita configuração, entretanto, não é limitante do invento. Na porção longitudinal do guia de onda podem-se acoplar
10 segmentos curvos que alteram a sua inclinação permitindo outros arranjos físicos dos componentes.

- De modo a controlar a potência real de energia eletromagnética incidente sob a carga ou mistura de hidrocarbonetos, a porção longitudinal é provida de sensores de ondas (10) transmitidas e refletidas, acoplada a
15 um segmento específico do guia de onda instrumentado com sensores apropriados. A potência real de energia eletromagnética é monitorada por wattímetros, os quais estão diretamente ligados aos sensores de onda (10).

- No guia de onda de seção retangular (7) existe um sistema de ajuste
20 (não mostrado nas Figuras), o qual possibilita que a impedância do segmento de seção circular de acoplamento (9) acoplado ao reator seja casada com a impedância do segmento acoplado à fonte de microondas, a fim de se conseguir uma absorção máxima da energia eletromagnética na faixa das microondas transmitida para a carga.

- 25 Na extremidade inferior do vaso reacional (3) do dispositivo está localizada uma janela (11) transparente às microondas.

- A presente invenção ainda possibilita que o vaso reacional (3) seja provido de múltiplas janelas, distribuídas adequadamente por suas superfícies externas, e acopladas cada uma a uma fonte de microondas,
30 que podem operar em diferentes frequências, em faixas de operação pré-

regulamentadas ou não, por guias de onda instrumentados, a fim de que se possa alcançar a potência total necessária adequada ao material que se deseja processar.

5 Devido ao fato do segmento de seção circular de acoplamento (9) estar acoplado à base do vaso reacional (3), dito segmento deve ser capaz de operar sob elevados valores de temperatura e pressão.

10 Na extremidade superior externa do vaso reacional (3), fica localizada a instrumentação operacional e de segurança (12), relativa à parte ligada à temperatura e pressão, que garante a segurança do sistema de processamento de cargas. Dita instrumentação operacional e de segurança (12) compreende um sistema adicional de carga e coleta de material, conexões para termopares para monitoramento da temperatura e sensores de pressão, válvulas de segurança e alívio e, ainda uma entrada de gás.

15 Uma outra característica do dispositivo (A) consiste no fato de que no interior do vaso reacional (3) existe um pequeno aparato bombeador ou agitador, da carga, por exemplo, de óleo (não mostrado nas Figuras). Dito aparato bombeador permite manter a carga em constante agitação de modo a garantir a sua completa homogeneidade. O aparato bombeador é
20 confeccionado de um material transparente às microondas.

Ao se operar em condições severas de temperatura e pressão, o sistema operacional deve estar protegido de falhas. De modo a garantir a estanqueidade e a vedação do sistema operacional caso ocorra uma falha, a janela (11), assim como o vaso reacional (3), o guia de onda
25 instrumentado (5) e demais acessórios, são vedados por meio de gaxetas feitas de material especial, como por exemplo, "*grafoil*".

Caso a janela (11) transparente seja fabricada em cerâmica, alternativamente ao uso das gaxetas para vedação, pode-se fabricar a janela (11) transparente com uma configuração especial, na qual seu
30 segmento cônico seja fixado permanentemente, como por exemplo, por

meio de soldas, a um flange de metal especial. O metal com que é feito o flange deve possuir o mesmo valor de dilatação que a cerâmica. A Figura 3 mostra esquematicamente uma possível configuração da janela (11) da presente invenção.

5 Retornando à **Figura 1**, vimos que o sistema de processamento de cargas é provido do dispositivo **(A)** objeto da presente invenção e uma unidade de controle eletrônica **(B)**, na qual controla-se o retorno da informação por meio dos sensores de onda **(10)**, localizados na porção longitudinal do guia de onda instrumentado **(5)**, os quais estão diretamente
10 conectados à unidade de controle e supervisão eletrônica **(B)**.

 Dita unidade de controle e supervisão eletrônica **(B)** compreende controlador lógico programável - **CLP (13)**, o qual contém os módulos de entradas e saídas analógicas e digitais de todos os sinais dos elementos de campo necessários para o controle do sistema de processamento. Dito
15 **CLP (13)** digitaliza e processa, por meio de um programa de computador (software), o sinal da potência da radiação de microondas (transmitida e refletida) identificada pelos sensores de onda **(10)**.

 A unidade de controle e supervisão eletrônica **(B)** compreende ainda uma unidade central de processamento **(14)**, dotada de um monitor **(15)**
20 para interface com o operador, a qual possui módulos adicionais integrados de tratamento e armazenamento de sinais.

 A unidade de controle e supervisão eletrônica **(B)** proporciona uma interface gráfica para os dados processados e o acompanhamento do processo pelo operador de uma forma mais clara e de fácil visualização.
25 Um módulo de aquisição **(16)** de dados da unidade de controle eletrônica **(B)** realiza a interface entre os elementos de campo e o controle do processo.

 O dispositivo **(A)** para processamento de cargas, desenvolvido para operar o presente sistema de processamento de cargas, permite realizar
30 processos de hidrogenação para a redução ou eliminação dos teores de

enxofre (HDS), de nitrogênio (HDN), de oxigênio (HDO), de aromáticos (HDA), e de metais (HDM), bem como processos de hidrocrackeamento (HCC), assim como a realização de reações exotérmicas e endotérmicas heterofásicas de hidrocarbonetos pesados e suas frações.

- 5 O presente invento possibilita ainda, a redução ou eliminação dos teores de enxofre e de nitrogênio, bem como a desaromatização e o craqueamento de moléculas pesadas presentes na carga de hidrocarbonetos.

 As reações aceleradas pela irradiação com microondas envolvem a
10 absorção seletiva pelas moléculas polares, já que as moléculas apolares são inertes à perda dielétrica nesta região de frequência (300 MHz a 300 GHz).

 O processo utilizado na presente invenção baseia-se na ação da radiação das microondas sobre os sítios ativos do material adsorvente ou
15 catalisador, incidentes sobre a carga. Na presente invenção podem ser utilizados diferentes tipos de materiais absorvedores de radiação das microondas, como por exemplo, materiais líquidos ou sólidos, em pó ou extrudados.

 O dispositivo permite o processamento com o uso de radiação de
20 microondas de cargas de hidrocarbonetos com catalisadores suportados, zeolíticos ou outros leitos de catalisador.

 Os materiais absorvedores de microondas compreendem rejeitos de finos de coque; catalisadores ou mistura de catalisadores descartados de unidades de craqueamento catalítico fluído, como por exemplo, os
25 catalisadores zeolíticos; catalisadores ou mistura de catalisadores descartados de unidades de hidrotratamento, constituídos à base de metais de transição (Co-Mo, Ni-Mo, etc.), suportados em óxidos refratários escolhidos dentre: alumina, sílica, titânio, zircônio e/ou misturas, entre outros, onde o material que suporta a fase ativa do material
30 absorvedor pode ser, preferencialmente transparente às microondas.

A relação mássica de material absorvedor de microondas/mistura de hidrocarbonetos está compreendida em uma faixa de valores entre 0,05 e 1, preferencialmente em uma faixa de valores compreendida entre 0,1 e 0,5. Entretanto, ditos valores não são limitantes à presente invenção.

5 Uma outra modalidade da presente invenção consiste na possibilidade da utilização da radiação das microondas, aplicada em óleos ou em suas frações, em misturas multifásicas de óleos e absorvedores de radiação das microondas, como catalisadores, sob a forma de emulsões ou de lamas de óleo pesado e água.

10 A radiação das microondas penetra profundamente nas emulsões e lamas de óleo pesado/água, podem executar ações separadamente, que funcionam para romper as estruturas de óleo /água, água /óleo e água/sólido, além de reduzir a acidez naftênica da carga de hidrocarbonetos. A radiação de microondas interage com a água muito mais fortemente do
15 que com o óleo.

As emulsões de água em óleo pesado absorvem microondas. A energia é depositada, preferencialmente, na água. Este diferencial de aquecimento causa um gradiente de temperatura e uma redução subsequente na estabilidade da tensão de superfície que estabiliza a
20 emulsão. Quanto maior for o diferencial de aquecimento, maior será o rompimento da emulsão.

Uma outra modalidade da presente invenção é a realização de uma modelagem da emissão de energia, por meio do uso de um programa de computador (*software*) comercial de simulação de campo eletromagnético.
25 Dita modelagem permite simular a distribuição de energia e o ângulo de incidência adequado através do guia de ondas de uma maneira eficaz para que se obtenha uma maior transferência e/ou uma otimização da energia incidente sob a carga.

Para que a invenção possa ser mais bem compreendida, a seguir a
30 invenção será detalhada sob a forma de exemplos. Entretanto, os

exemplos aqui descritos possuem caráter puramente ilustrativo, não se tornando formas limitativas da invenção.

EXEMPLO 1: Confecção do dispositivo para processamento de carga

A seleção dos materiais para confecção do dispositivo foi realizada de forma que houvesse o mínimo de perturbação do campo eletromagnético, evitando ao máximo as perdas de potência dentro do sistema.

O primeiro módulo do dispositivo compreende uma fonte de alimentação e uma fonte de emissão de energia. A fonte de alimentação da fonte de emissão de energia apresenta baixo ruído e foi selecionada por fornecer grande estabilidade e confiabilidade para o processamento de cargas de hidrocarbonetos pesados, em sistema de batelada. Dita fonte é compatível com as necessidades exigidas para a alimentação da fonte de emissão de microondas. Para a realização destes experimentos foi utilizada uma válvula do tipo magnetron.

O segundo módulo do dispositivo compreende o vaso reacional. Dito vaso reacional foi confeccionado em material metálico, preferencialmente em aço inoxidável 304, ou 316. O vaso reacional usado nos experimentos de laboratório possui dimensões aproximadas de 100 mm de diâmetro externo e altura de 150 mm, valores esses não limitantes da presente invenção, visto que esses valores podem ser facilmente dimensionados e adequados para uso em escala industrial.

O terceiro módulo do dispositivo compreende um guia de onda instrumentado e seus acessórios, como anteriormente discutido. Dito guia de onda instrumentado também foi confeccionado em material metálico, como por exemplo, aço inoxidável. O guia de onda instrumentado atua devidamente acoplado à fonte de emissão de energia.

O vaso reacional assim como o guia de onda instrumentado foi devidamente vedado contra vazamentos, utilizando-se matérias adequados disponíveis comercialmente, como grafoil e solda metal-

cerâmica.

A janela do guia de onda instrumentado foi confeccionada em cerâmica

EXEMPLO 2: Condições operacionais do dispositivo.

5 O dispositivo operou em regime de batelada com temperatura de 450°C e pressão de hidrogênio de 150 bar.

No vaso reacional se fez incidir a radiação de microondas sobre o material a ser processado.

Na presente concretização o material processado foi uma carga de
10 hidrocarbonetos pesados na presença de um catalisador suportado como catalisador e absorvedor de microondas.

Os catalisadores suportados e as zeólitas são os catalisadores heterogêneos dos mais importantes usados na indústria do petróleo. Convém salientar que a maior parte da gasolina mundial é produzida pelo
15 processo de craqueamento catalítico fluído (FCC) do petróleo, usando catalisadores zeolíticos tratadas antes ou depois deste processo em unidades de hidrotratamento com catalisadores suportados.

Antes da carga de hidrocarboneto ser introduzida no vaso reacional, dito vaso já estava parcialmente preenchido com o catalisador e a carga
20 pré-aquecida.

A carga processada no dispositivo foi submetida em um primeiro momento a uma radiação pulsada com potência de 8 kW e em um segundo momento a radiação das microondas de maneira contínua com a aplicação de uma potência de 2 kW.

25 **EXEMPLO 3: Resultados observados.**

Na comparação realizada para avaliação das formas de aquecimento, notou-se que havia diferenças entre o aquecimento convencional e o aquecimento promovido com radiação de microondas durante o processamento de petróleo pesado na presença de
30 catalisadores.

Os resultados demonstraram que as transformações de compostos orgânicos sobre catalisadores podem ser induzidas pelas irradiações com microondas. Os dados catalíticos confirmaram que os catalisadores podem ser catalisadores eficazes, que proporcionam seletividade elevada, particularmente sob condições de alta temperatura e pressão. Os resultados mostraram ainda rendimento e seletividade ligeiramente mais elevados que os para aquecimento convencional.

Comparando-se as atividades dos catalisadores, nos modos de aquecimento por microondas e convencional, demonstrou-se que o aquecimento com microondas poderia reduzir muito a temperatura ou a pressão de reação e poderia claramente expandir ou reduzir o intervalo de temperatura ou pressão de operação com estes catalisadores. Com isto abre-se a possibilidade de se trabalhar em condições de reação menos severas, o que pode representar, em termos globais, uma grande economia de energia envolvida no processo.

Verificou-se, também ser possível utilizar diferentes materiais absorvedores de microondas, líquidos ou sólidos, em pó ou extrudados, catalisadores de uma forma geral, adequados a processos específicos.

O dispositivo objeto da invenção permite o processamento com o uso de microondas de cargas de hidrocarbonetos com catalisadores suportados, zeolíticos ou outros leitos de catalisador.

Verificou-se igualmente ser possível a aplicação de microondas para processar óleo cru, misturas de hidrocarbonetos, frações provenientes do processamento de petróleo, óleos de origem vegetal, produtos orgânicos como álcoois e ésteres, produtos inorgânicos como catalisadores, e misturas destes produtos, entre outros, tanto sob a forma de emulsões como sob a forma de lamas de óleo pesado e água.

Uma vantagem do uso do dispositivo da invenção é a possibilidade de ajustar cargas cujas composições estejam inadequadas, de modo que possam ser utilizadas como cargas para um processamento posterior.

Vale dizer, adequar a carga às especificações exigidas pelo processo seguinte.

A vantagem do uso do dispositivo objeto da invenção é a garantia de uma boa transferência de energia para os materiais processados de modo a permitir que os processos a serem realizados seqüencialmente possuam uma maior eficiência, um maior rendimento, uma melhor atividade e seletividade. Por consequência, torna-se possível reduzir a viscosidade do óleo tratado, bem como gerar produtos com menor grau de agressividade aos equipamentos e ao meio ambiente e com maior valor agregado.

A invenção aqui descrita, assim como os aspectos alternativos abordados devem ser considerados como uma possível concretização. Deve, entretanto, ficar claro que a invenção não está limitada a essas concretizações e, aqueles com habilidade na técnica irão perceber que, qualquer característica particular nela introduzida, deve ser entendida apenas como algo que foi descrito para facilitar a compreensão e não podem ser feitas sem se afastar do conceito inventivo descrito. As características limitantes do objeto da presente invenção estão relacionadas às reivindicações que fazem parte do presente relatório.

REIVINDICAÇÕES

1. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS A ALTAS TEMPERATURA E PRESSAO EM PRESENÇA DE MICROONDAS, caracterizado por compreender:

- 5 - um primeiro módulo que compreende uma fonte de alimentação de carga (1) conectada a uma fonte de emissão de energia (2) por meio de cabos (4) que suportam altas tensões;
- um segundo módulo que compreende um vaso reacional (3) com pelo menos uma janela específica, transparente às microondas, mas
- 10 capaz de suportar altas temperatura e pressão, até de hidrogênio, e
- um terceiro módulo que compreende o guia de onda instrumentado (5) e seus acessórios.

2. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por estar acoplado a um sistema que

15 permite processar, reagir, sintetizar, tratar hidrocarbonetos sob altas temperaturas e pressão, em regime de batelada, por meio da exposição dos hidrocarbonetos preferencialmente à incidência de radiações eletromagnéticas na faixa das microondas, através de pelo menos uma janela transparente às microondas, e sob condições severas de

20 temperatura e pressão, em regime de batelada com ou sem recirculação de gás hidrogênio.

3. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o guia de onda instrumentado (5) ser um sistema de acoplamento, o qual permite que a radiação de microondas

25 seja conduzida de forma orientada ao vaso reacional (3).

4. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 1 e 3, caracterizado por o guia de onda instrumentado (5) ser confeccionado em material metálico, preferencialmente em aço inoxidável e consistir em uma porção longitudinal a qual compreende

30 basicamente:

- um módulo isolador (6) que compreende um circulador de três portas e uma carga fictícia e serve para proteger a fonte de emissão de energia (2) de possíveis ondas refletidas;
- um guia de onda de seção retangular (7), um segmento de transição (8) de seção retangular para circular e um segmento de seção circular de acoplamento (9) à janela (11) do vaso reacional (3), ao qual podem-se acoplar segmentos longitudinais ou curvos que alteram a sua inclinação permitindo outros arranjos físicos dos componentes descrevendo curvas com ângulos variáveis;
- um conjunto de interfaces, o qual é provido de sensores de onda (10) transmitidas e refletidas para controlar a potência real de energia eletromagnética absorvida pela carga ou mistura de hidrocarbonetos;
- pelo menos uma janela (11) transparente às microondas, a qual permite a incidência da energia eletromagnética na faixa de microondas diretamente sobre a carga ou sobre a mistura de hidrocarbonetos com o mínimo de perdas possíveis.

5. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por dito dispositivo operar adicionalmente com o uso de fontes de energia convencionais.

6. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por dito dispositivo operar adicionalmente com o uso simultâneo de uma fonte de energia convencional e uma fonte de energia de microondas.

7. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 5 e 6, caracterizado por a emissão de energia eletromagnética sobre a carga total poder ser realizada tanto na forma contínua como na forma pulsada.

8. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o vaso reacional (3) ser provido de

pequeno aparato bombeador de óleo que serve para manter a carga em constante agitação de modo a garantir a sua completa homogeneidade

9. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 4,6 e 7, caracterizado por a potência aplicada de forma

5 contínua variar na faixa de 0 a 3 kW.

10. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 4 e 7, caracterizado por no caso de emissão de energia por pulsos, a potência máxima ser preferencialmente próxima de 8 kW.

10 **11. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o valor da pressão aplicada ao dito dispositivo variar desde valores no entorno da pressão atmosférica até 20 MPa, porém variar mais preferencialmente na faixa de 13,8 a aproximadamente 17,2 MPa.

15 **12. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o valor da temperatura aplicada ao dito dispositivo variar na faixa de 20 a 500 °C.

13. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 1 e 4, caracterizado por o segmento de transição
20 (8) permitir a transição entre o guia de onda de seção retangular (7) e o segmento de seção circular de acoplamento (9) e ajustar adequadamente a incidência das ondas.

14. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 1 e 4, caracterizado por a potência real de energia
25 eletromagnética ser monitorada por controladores diretamente ligados aos sensores de onda (10).

15. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com as reivindicações 1 e 4, caracterizado por no guia de onda de seção retangular (7) existir um sistema adicional de ajuste para possibilitar que a
30 impedância da carga total do processo seja casada com a impedância do

guia de onda de seção retangular.

16. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com as reivindicações 1 e 4, caracterizado por as medidas de espessuras da janela (11) transparente às microondas ser adequada para suportar as variações de temperatura e pressão e serem projetadas em diversos tipos de materiais tais como safira, quartzo, vidro, cerâmica, entre outros.

17. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a janela (11) transparente às microondas poder adicionalmente possuir uma configuração especial, na qual seu segmento cônico está fixado permanentemente a uma flange de metal especial caso sejam fabricadas em cerâmica.

18. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por a janela (11) transparente às microondas que serve como janela de transição da carga total do guia de onda de seção retangular (7) para o segmento de seção circular de acoplamento (9) estar localizada na extremidade inferior do vaso reacional (3).

19. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por um segmento de seção circular de acoplamento (9) estar localizado na extremidade inferior da janela (11) de transição e operar sob a pressão atmosférica.

20. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por um guia de onda de seção circular estar preferencialmente acoplado à base do vaso reacional (3) por meio da janela (11) transparente à radiação de microondas e operar sob elevados valores de temperatura e pressão.

21. **DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS** de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por na extremidade superior externa do vaso reacional (3) estar localizada a instrumentação operacional e de

garante a segurança do sistema de processamento de cargas.

22. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir realizar processos para a redução ou eliminação dos teores de enxofre (HDS), de nitrogênio (HDN), de oxigênio (HDO), de aromáticos (HDA), e de metais (HDM), bem como processo de hidrocrackeamento (HCC) e a realização de reações exotérmicas e endotérmicas heterofásicas de hidrocarbonetos pesados e suas frações.

23. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possibilitar a redução da acidez e redução ou eliminação dos teores de enxofre e de nitrogênio, bem como a desaromatização e o craqueamento de moléculas pesadas presentes em cargas de hidrocarbonetos.

24. DISPOSITIVO PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por possibilitar a aplicação de microondas para processar óleo cru, misturas de hidrocarbonetos, frações provenientes do processamento de petróleo, óleos de origem vegetal, produtos orgânicos como álcoois e ésteres, produtos inorgânicos como catalisadores, e misturas destes produtos, entre outros, tanto sob a forma de emulsões como sob a forma de lamas de óleo pesado e água.

25. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE CARGAS A ALTAS TEMPERATURA E PRESSÃO EM PRESENÇA DE MICROONDAS caracterizado por compreender o dispositivo para processar cargas conforme reivindicado nas reivindicações de 1 a 24 e uma unidade eletrônica (B) para controle automático do sistema e com interface para supervisão por operador.

26. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE HIDROCARBONETOS de acordo com a reivindicação 25, caracterizado por dito sistema ser provido de uma unidade de controle e supervisão eletrônica (B), na qual controla-se o retorno da informação por intermédio dos sensores de onda (10) e

transdutores e proporciona a interface gráfica para apresentação dos dados processados e o acompanhamento do processo pelo operador.

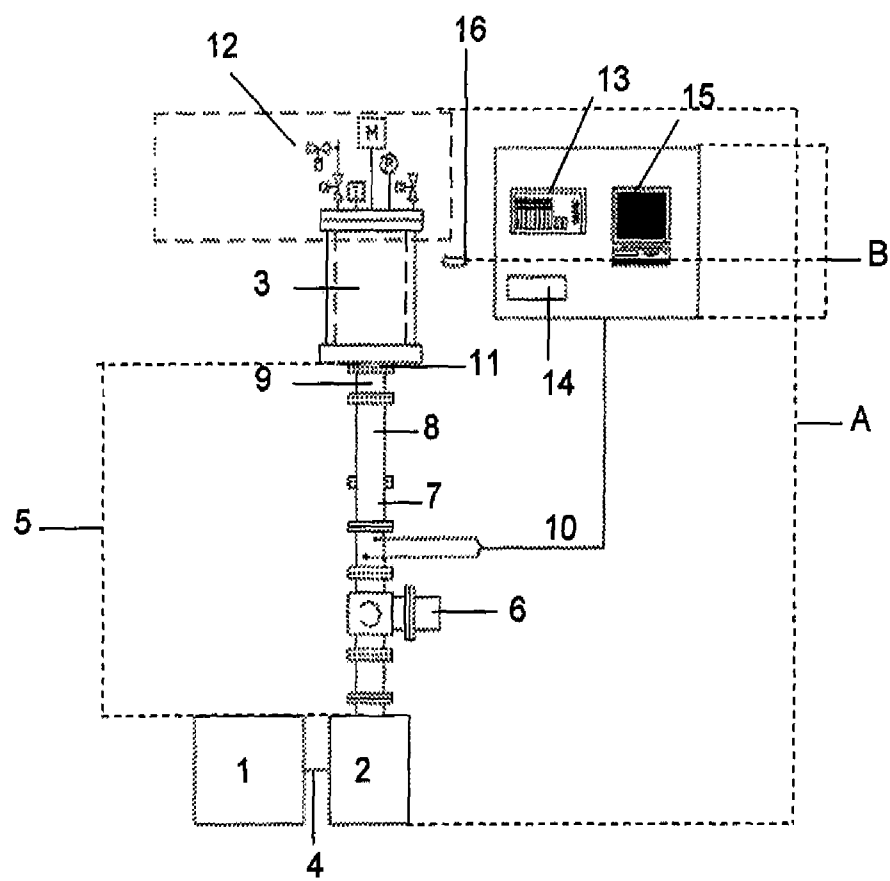
27. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE HIDROCARBONETOS de acordo com as reivindicações 25 e 26, caracterizado por a unidade de

5 controle e supervisão eletrônica (B) compreender:

- um controlador lógico programável - CLP (13), o qual contém os módulos de entradas e saídas analógicas e digitais de todos os sinais dos elementos de campo necessários para o controle do sistema de processamento; dito CLP (13) digitaliza e processa, por meio de um
10 programa de computador, o sinal da potência da radiação de microondas (transmitida e refletida) identificada pelos sensores de onda (10);

- uma unidade central de processamento (14), dotada de um monitor (15) para interface com o operador, a qual possui módulos adicionais integrados de tratamento e armazenamento de sinais;

15 - um módulo de aquisição (16) de dados que realiza a interface entre os elementos de campo e o controle do processo.

**FIG. 1**

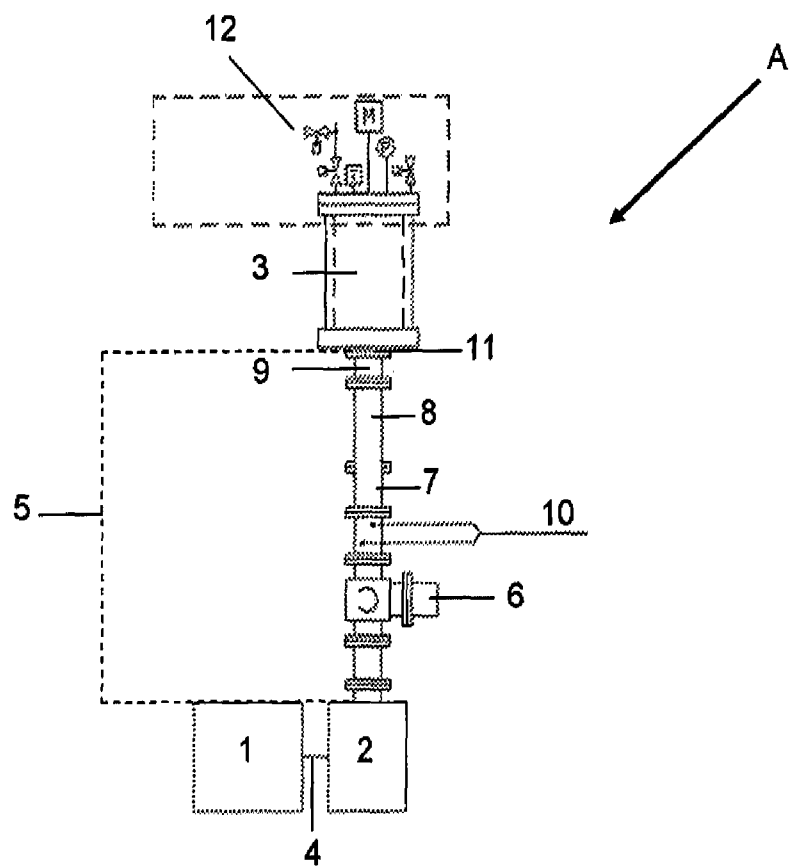
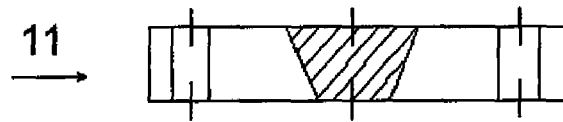


FIG. 2

**FIG. 3**

RESUMO**DISPOSITIVO E SISTEMA PARA PROCESSAMENTO DE CARGAS A
ALTAS TEMPERATURA E PRESSÃO EM PRESENÇA DE
MICROONDAS**

5 A presente invenção se refere a um dispositivo (A) para processar
cargas a alta temperatura e pressão em presença de microondas, o qual
compreende basicamente um primeiro módulo constituído por uma fonte
de alimentação de carga (1), uma fonte de emissão de energia (2)
eletromagnética; um segundo módulo, o qual compreende um vaso
10 reacional (3) e um terceiro módulo que compreende um guia de onda
instrumentado (5) e seus acessórios. O uso do dito dispositivo (A)
possibilita processar cargas, sob ação de microondas e em condições de
alta temperatura e pressão, mesmo de hidrogênio, como ajustar cargas
preferencialmente de hidrocarbonetos cujas composições estejam
15 inadequadas, de modo que possam ser utilizadas como cargas para um
processamento posterior, além de garantir uma boa transferência de
energia para os materiais processados permitindo que os processos a
serem realizados seqüencialmente possuam uma maior eficiência, um
maior rendimento, uma melhor atividade e seletividade. Por conseqüência,
20 torna-se possível reduzir a viscosidade do óleo tratado, bem como gerar
produtos com menor grau de agressividade ao meio ambiente e com maior
valor agregado. Adicionalmente, a presente invenção refere-se ainda, a
um sistema de processamento de cargas, o qual compreende o dispositivo
(A) para processar cargas e uma unidade eletrônica (B) para controle
25 automático do sistema e com interface para supervisão por operador.