



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

CARTA PATENTE Nº BR 102018074753-3

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: BR 102018074753-3

(22) Data do Depósito: 29/11/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 09/06/2020

(51) Classificação Internacional: B01J 19/08; H05B 7/18; C01B 3/34; H05H 1/00.

(52) Classificação CPC: B01J 19/088; H05B 7/18; C01B 3/34; B01J 2219/0809; B01J 2219/0841; B01J 2219/0875; B01J 2219/0898; H05H 1/00.

(54) Título: PROCESSO E REATOR A PLASMA PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - UFES, Instituição de Ensino e Pesquisa. CGC/CPF: 32479123000143. Endereço: AVENIDA FERNANDO FERRARI, 514, CAMPUS I, Vitória, ES, BRASIL(BR), 29075-910, Brasileira; PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 33000167000101. Endereço: AV. REPÚBLICA DO CHILE, N.65, CENTRO, RJ, BRASIL(BR), 20031912, Brasileira

(72) Inventor: AURELIO REIS DA COSTA LABANCA; ALFREDO GONÇALVES CUNHA.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 29/11/2018, observadas as condições legais

Expedida em: 21/11/2023

Assinado digitalmente por:

Alexandre Dantas Rodrigues

Diretor de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

PROCESSO E REATOR A PLASMA PARA PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE

CAMPO DA PRESENTE INVENÇÃO

[001] A presente invenção está relacionada a um processo e reator de produção de gás de síntese. Mais especificamente, a presente invenção sugere um reator que faz uso de descargas elétricas e dióxido de carbono e um processo de reforma que utilize este reator para a produção de gás de síntese com alto poder calorífico e de carbono nanoestruturado.

FUNDAMENTOS DA PRESENTE INVENÇÃO

[002] O hidrogênio e os gases ricos em hidrogênio, chamados de gás de síntese, são produzidos em larga escala para uso na indústria do refino, na produção de amônia, metanol, hidrocarbonetos líquidos a partir do processo de "Fischer-Tropsch", em diversos processos petroquímicos e em processos de hidrogenação de solventes, parafinas e produtos usados no ramo alimentício. Para a sua obtenção, alguns processos de reforma de hidrocarbonetos (como o gás natural e/ou outros hidrocarbonetos leves) podem ser utilizados, como, por exemplo, a reforma a vapor, oxidação parcial, reforma autotérmica ou reforma seca. Atualmente, o processo de reforma a vapor de gás natural (metano e/ou outros hidrocarbonetos leves) é o método mais utilizado para a produção de hidrogênio em escala industrial.

[003] Entretanto, tais processos apresentam parâmetros que podem encarecer ou prejudicar o processo, tal como a necessidade de compra e/ou fabricação, regeneração, reposição e descarte de catalisadores adequados a cada processo de reforma, bem como o uso de água (no caso de reforma a vapor), ou de oxigênio (no caso de reforma autotérmica ou oxidação parcial). Alguns processos, neste último caso, usam o ar atmosférico como fonte de oxigênio, gerando gás de síntese de baixo poder calorífico, em vista do alto teor de nitrogênio presente no ar. Por outro lado, apesar de produzir gás de síntese de médio poder calorífico, a utilização de oxigênio puro oneraria ainda

mais o processo, devido à necessidade de uma unidade separadora de ar para suprimento de oxigênio ao processo.

[004] Desta forma, faz-se necessário encontrar processos de produção de gás de síntese e de carbono nanoestruturado através de reforma de gás natural (e/ou de outros hidrocarbonetos leves) que possam ser realizados a seco, porém sem a utilização de catalisadores ou de gases diluentes, ou ainda sem a utilização de unidades separadoras de ar para fornecimento de oxigênio na geração de gás de síntese de médio poder calorífico.

[005] Os processos a plasma figuram como uma alternativa viável para a geração de gás de síntese com alto poder calorífico. O objetivo básico dos reatores de arco elétrico na região do arco térmico, conhecido também como plasma térmico, é a transformação eficaz da energia elétrica em energia térmica, o que viabilizaria o processo de reforma, uma vez que as tochas compreendem as seguintes características:

- Alta temperatura do arco (acima de 11 000K);
- Alta eficiência de conversão da energia elétrica em térmica, podendo chegar a 95%;
- Utilização de quaisquer gases: oxidantes, neutros ou redutores;
- Alta entalpia do fluxo de plasma;
- Alta densidade de potência;
- Pequenas dimensões;
- Alta condutividade térmica do fluxo de plasma.

[006] Neste sentido, o documento CEVOLANI *et al.*, in “Enriquecimento de gás natural veicular via plasma de dióxido de carbono”, *6º Congresso Brasileiro do Carbono – Carbono 2015*, Resumo - P55 (2015), também versa o uso de plasma térmico no processamento dos gases constituídos pelo GNV e pelo dióxido de carbono, contudo está voltado apenas ao enriquecimento do GNV, ou seja, no acréscimo de um percentual reduzido de hidrogênio no GNV para uso em motores apenas, enquanto que na presente invenção não ocorre um

“enriquecimento” do gás (GNV, no caso) e sim, praticamente todos os átomos de hidrogênio existentes nas moléculas da carga processada serão convertidos em hidrogênio molecular (H₂), os gases obtidos mediante a presente invenção podem ser usados em células a combustível, diferentemente do documento aqui citado, e também em motores.

[007] Por outro lado, o documento CUNHA, A.G, e MAROTTA, A., *in* “Low erosion rate of zirconium cathode in a plasma torch”, *IEEE International Conference on Plasma Science*, 2C8 (1989) pp. 66-67. DOI: 10.1109/PLASMA.1989.166038 busca resolver o problema das elevadas taxas de erosão de catodos em tochas de plasma. Neste trabalho, os autores revelam o estudo de catodos de zircônio, nos quais, ao reagir com ar, havia formação de um filme protetor de ZrO₂ e ZrN na superfície do catodo, filme este que possuía boas propriedades refratárias e de eletro-emissão. Foi constatado que, para diminuir a taxa de erosão, é necessário manter a temperatura da superfície do catodo de zircônio a mais baixa possível, melhorando o resfriamento. Entretanto, a presença de carbono no meio reacional produz carbeto de zircônio, que deteriora o catodo. Na presente invenção não se faz uso do ar e nem do oxigênio do ar.

[008] Já o documento CHEN, L., PERSHIN, L., e MOSTAGHIMI, J., *in* “A New Highly Efficient High-Power DC Plasma Torch”, *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, VOL. 36, NO. 4, AUGUST 2008, trata de uma tocha de plasma que é operada com uma mistura de dióxido de carbono e hidrocarbonetos, por exemplo, metano (componente principal do gás natural). Segundo os autores, a entalpia e a condutividade térmica do plasma de CO₂ com CH₄ é consideravelmente maior do que no plasma com argônio, usualmente utilizado como gás protetor do catodo e limitador da eficiência térmica do processo. Entretanto, a configuração aplicada neste documento não permite uma flexibilidade muito grande na quantidade de metano aplicada, devido à instabilidade gerada no plasma. Além disso, o metano precisa estar

presente na região do catodo para reposição do carbono.

[009] Deste modo, não há relatos no estado da técnica que antecipem um reator movido a plasma de dióxido de carbono e um processo de reforma que utilize este reator para a produção de gás de síntese com alto poder calorífico e de carbono nanoestruturado.

SUMÁRIO DA PRESENTE INVENÇÃO

[0010] A presente invenção está relacionada à produção de gás de síntese com alto poder calorífico e de carbono nanoestruturado.

[0011] Um primeiro objetivo da presente invenção é desenvolver um reator a plasma para processamento do gás natural e/ou hidrocarbonetos leves com tocha de plasma que não necessite do uso de gás de proteção ao catodo (gás de blindagem).

[0012] Um segundo objetivo da presente invenção é desenvolver um processo de reforma que utilize um reator a plasma para a produção de gás de síntese a partir do gás natural e/ou hidrocarbonetos leves.

[0013] De forma a alcançar os objetivos acima descritos, a presente invenção propõe um reator movido a plasma de dióxido de carbono e tocha contendo catodo de zircônio, bem como um processo de reforma a seco utilizando este reator.

[0014] O processo de acordo com a presente invenção gera monóxido de carbono e hidrogênio, visando também o enriquecimento do gás natural com o gás hidrogênio em até pelo menos 10%. O gás natural assim enriquecido possibilitaria a operação de um motor de combustão interna com misturas pobres (maior percentual de ar em relação ao combustível do que o usual), apresentando uma variedade de aspectos positivos, entre eles, a redução de emissões desse motor e a melhoria da eficiência de combustão.

[0015] Vantajosamente, o processo de acordo com a presente invenção obtém-carbono de alta pureza e também nanoestuturado (grafeno e outros materiais carbonosos), que possui alto valor agregado e grandes demandas

industriais. Comercialmente conhecido como *Carbon Black* ou negro de fumo, o carbono possui a indústria de pneus como principal mercado e sua demanda mundial é da ordem de 10 milhões de toneladas por ano. Além disso, o carbono proveniente da pirólise a plasma é um dos mais puros que se conhece e, por isso, pode ser usado em diversas aplicações nobres como, por exemplo, na produção de aços especiais.

[0016] A configuração proposta para o reator da presente invenção elimina a necessidade de gás de proteção do catodo (gás de blindagem), gerando assim gás de síntese com maior teor de CO e H₂, do mais alto poder calorífico dentre todas as tecnologias de geração de gás de síntese.

[0017] Devido ao conjunto de características da presente invenção (quais sejam, o efeito térmico e catalítico propiciado pelo arco de plasma gerado, configuração e tipos de materiais usados nos eletrodos, a geometria da tocha de plasma, a forma de injeção dos gases, a variação da potência da tocha de plasma, a variação dos gases e também das proporções entre os gases utilizados), a necessidade de catalisadores na reação, bem como de água na geração do gás hidrogênio, é eliminada. O uso do CO₂ como gás do plasma resolve problemas na manutenção da descarga plasmática e dificuldades técnicas-operacionais na fonte de potência, eliminando também a necessidade de se gerar o gás do plasma, para então, usá-lo no próprio processo, como no caso do uso do hidrogênio como gás do plasma. Ademais, o CO₂, gás industrial e de processo, de fácil obtenção, tem a vantagem de ser não contaminante ou diluente do gás de síntese gerado, pois é convertido em CO, além de ser de ionização mais simples do que o gás hidrogênio.

[0018] A presente invenção pode ser aplicada na indústria química ou de combustíveis sintéticos a partir dos gases CO e H₂ gerados, bem como em unidades geradoras de hidrogênio, com aproveitamento do CO e do calor sensível do processo integrado. As proporções entre o CO e o H₂ podem ser controladas mediante as proporções dos gases reagentes (gás natural e/ou

outros hidrocarbonetos leves e o CO₂). A formação de carbono no estado sólido também pode ser controlada.

[0019] Esses objetivos e demais vantagens da presente invenção ficarão mais evidentes a partir da descrição que se segue e dos desenhos anexos.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0020] A descrição detalhada apresentada adiante faz referência às figuras anexas, as quais:

[0021] A Figura 1 representa a tocha de arco elétrico utilizada, de acordo com a presente invenção, onde são representados os seguintes elementos constitutivos: catodo (a), anodo (b), tubo para a passagem do gás (c), câmara de entrada do gás (d), sistema de estabilização do arco (e), sistema de rotação do arco (f) e sistema de refrigeração dos eletrodos (g).

[0022] A Figura 2 representa as dimensões internas da tocha de plasma, de acordo com a presente invenção, onde são representados os seguintes elementos constitutivos: catodo (a), anodo (b), tubo para a passagem do gás (c), câmara de entrada do gás (d) e sistema de rotação do arco (f).

[0023] A Figura 3 representa um gráfico com as vazões de saída para os diversos gases resultantes da reação do GNV com um plasma de CO₂ no teste HZR11, onde, principalmente, se manteve fixa a vazão variou as vazões de CO₂ e se variou a vazão de GNV.

[0024] A Figura 4 representa um gráfico da seletividade para os produtos da reforma a seco no teste HZR11, onde, se manteve fixa a vazão de CO₂ e se variou a vazão de GNV.

[0025] A Figura 5 representa um gráfico com as vazões de saída para os diversos gases resultantes do teste HZR13, onde se fixou a corrente do arco elétrico, a vazão do CO₂ e se variou a vazão do GNV.

[0026] A Figura 6 representa um gráfico com os resultados da conversão de GNV em H₂ e abatimento de CO₂ do gás inicial, que faz referência a formação de carbono em fase sólida e que foi extraído do GNV, para o teste HZR13,

onde se fixou a corrente do arco elétrico, a vazão do CO₂ e se variou a vazão do GNV.

[0027] A Figura 7 representa um gráfico com os resultados dos rendimentos energéticos para o H₂, CO e C₂H₂ do teste HZR13, onde se fixou a corrente do arco elétrico, a vazão do CO₂ e se variou a vazão do GNV.

[0028] A Figura 8 representa um gráfico da seletividade para os produtos da reforma no teste HZR13, onde se fixou a corrente do arco elétrico, a vazão do CO₂ e se variou a vazão do GNV.

[0029] A Figura 9 representa um gráfico com o consumo elétrico, energia elétrica consumida no plasma por mol de H₂ e CO gerados no teste HZR13, onde se fixou a corrente do arco elétrico e a vazão do CO₂, variando-se a vazão do GNV.

[0030] A Figura 10 representa um gráfico da conversão percentual dos reagentes (GNV e CO₂) em CO, H₂ e carbono para o teste HZR13, onde se fixou a corrente do arco elétrico a vazão do CO₂, variando-se a vazão do GNV.

[0031] A Figura 11 representa um gráfico com as vazões de saída para os diversos gases resultantes da reação do GNV com um plasma de CO₂ no teste HZR13, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

[0032] A Figura 12 representa um Gráfico com os resultados da conversão de GNV em H₂ e abatimento de CO₂ no teste HZR13, que faz referência a formação de carbono em fase sólida e que foi extraído do GNV, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

[0033] A Figura 13 representa um gráfico com os resultados dos rendimentos energéticos para o H₂, CO e C₂H₂ do para o teste HZR13, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

[0034] A Figura 14 representa um gráfico da seletividade para os produtos no teste HZR13, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

[0035] A Figura 15 representa um gráfico com o consumo elétrico, energia elétrica consumida no plasma por mol de H₂, de CO e de carbono gerados no teste HZR13, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

[0036] A Figura 16 representa um gráfico da conversão percentual dos reagentes em CO, H₂ e carbono para teste HZR13, onde se fixou as vazões do GNV e CO₂ e se variou a corrente do plasma.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA PRESENTE INVENÇÃO

[0037] A presente invenção refere-se a um reator movido a plasma de dióxido de carbono e tocha de plasma contendo eletrodos para processamento do gás natural e/ou hidrocarbonetos leves.

[0038] A presente invenção refere-se, ainda, a um processo de reforma que utilize um reator a plasma de dióxido de carbono e tocha de plasma contendo eletrodos para processamento do gás natural e/ou hidrocarbonetos leves, inclusive biogás, visando a produção de gás de síntese e carbono sólido, preferencialmente nanoestruturado, a partir do gás natural e/ou hidrocarbonetos leves.

[0039] No âmbito da presente invenção, as tochas de plasma possuem os seguintes elementos construtivos, conforme indicado na Figura 1 e Figura 2:

- Eletrodos: catodo (a) e anodo (b);
- Um tubo para a passagem do gás (c), que pode ser alojado no anodo no caso de arco não transferido;
- Uma câmara de entrada do gás (câmara de vórtice) (d);
- Sistema de estabilização do arco (geralmente em vórtice) (e);
- Sistema de rotação do arco (magnética ou vórtice) (f);
- Sistema de refrigeração dos eletrodos (g).

[0040] De acordo com a presente invenção, as tochas apresentam anodo selecionado do grupo consistindo de anodo reto, anodo cônico ou anodo em degrau. Em uma modalidade preferencial, as tochas apresentam anodo reto ou

em degrau.

[0041] De acordo com a presente invenção, pode ocorrer injeção de gases na região do catodo ou do anodo. Preferencialmente, CO_2 é injetado na região do catodo, que provoca primeiro a ionização do CO_2 . Ainda, preferencialmente, CH_4 é injetado na saída do anodo, o que permite:

- injetar qualquer vazão de CH_4 sem afetar a estabilidade do arco elétrico;
- obter altos percentuais de conversão de CO_2 (de 75% a 100%, preferencialmente entre 90 e 100%), independentemente da vazão de CH_4 aplicada no processo;
- obter conversão de 75% a 100%, preferencialmente entre 90 e 100% de $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ para $2\text{H}_2 + 2\text{CO}$.

[0042] Em uma modalidade da presente invenção, o diâmetro do anodo e/ou do catodo pode estar na faixa entre 2 mm e 100mm, preferencialmente entre 5 e 50 mm.

[0043] No âmbito da presente invenção, podem ser utilizados ~~catodos~~ eletrodos conforme descritos no estado da técnica. Preferencialmente, são utilizados catodos selecionados do grupo consistindo de cobre e zircônia.

[0044] De acordo com a presente invenção, a potência a ser utilizada no plasma pode variar entre 1 a 6 000 kW, preferencialmente entre 20 e 200 kW.

[0045] Para realizar o processo de acordo com a presente invenção, são utilizadas vazões de saída de gás na faixa entre 2 e 60.000 mol/h, preferencialmente, entre 10 e 2000 mol/h.

[0046] A descrição que se segue partirá de concretizações preferenciais da presente invenção. Como ficará evidente para qualquer técnico no assunto, a presente invenção não está limitada a essas concretizações particulares.

Exemplos:

[0047] Para o melhor entendimento dos processos ocorridos dentro das tochas de plasmas, foi utilizado o recurso de simulação por Fluido Dinâmica

Computacional (CFD - *Computational Fluid Dynamics*). O tornado apresentou um bom rendimento energético na produção do hidrogênio, entretanto, com baixa conversão do CO₂. A tocha de plasma térmico com arco elétrico obteve resultados superiores na conversão do gás natural com plasma de CO₂, em termos de rendimento e escala.

Teste HZR11

[0048] Visando observar os efeitos do confinamento dos gases, o segundo anodo teve seu diâmetro interno reduzido. Neste teste foi mantida a vazão fixa de 131 mol/h para o CO₂, enquanto a vazão de GNV foi variada de 112 a 639 mol/h. A corrente do arco elétrico foi mantida constante em 103 A, mas a potência diminuiu com o aumento da vazão do GNV, devido ao pequeno diâmetro do segundo anodo que provocou um aumento da pressão na saída do primeiro anodo. A diminuição do diâmetro do segundo anodo, além de provocar uma maior queda de pressão, aumenta a temperatura dos gases que passam por ele. Este fato reflete na vazão do CO que diminui com o aumento da vazão do GNV. Este comportamento pode ser visto no gráfico da seletividade mostrado na Figura 4.

Teste HZR13

[0049] Como a diminuição do diâmetro do segundo anodo fez diminuir o rendimento energético na produção do H₂, no teste HZR13, o diâmetro retornou para 25 mm. Como uma nova tentativa para aumentar a temperatura do plasma, neste teste o diâmetro do primeiro anodo foi diminuído. Os resultados deste teste foram divididos em dois grupos. No primeiro, o procedimento foi igual ao do teste HZR11, onde se fixou a vazão do CO₂ em 135 mol/h, fazendo variar a vazão do GNV, para uma corrente constante de 103 A. Neste caso não houve diminuição da potência devido ao aumento da vazão do GNV. No segundo grupo, foram fixadas as vazões do GNV em 312 mol/h e a do CO₂ em 135 mol/h, fazendo variar a corrente em 70, 103, 125 e 150 A, conseqüentemente, a potência e a temperatura do plasma.

Varição da vazão do GNV

[0050] Os gráficos das Figuras 5 a 11 mostram os resultados do teste onde foram mantidas constantes a corrente e a vazão do CO₂, que é o gás de trabalho, enquanto a vazão do GNV foi variada.

[0051] A Figura 5 mostra um gráfico com as vazões dos gases de entrada e saída da tocha de plasma, bem como a potência para cada vazão de GNV. A potência do arco aumenta ligeiramente com o aumento da vazão do GNV, comportamento oposto ao encontrado no teste 11, onde a potência diminuiu devido ao aumento de pressão na saída do primeiro anodo, provocado pela perda de carga devido ao pequeno diâmetro do segundo anodo. A vazão do H₂ atinge um máximo quando a vazão do GNV é aproximadamente 2,3 vezes a vazão do CO₂. O mesmo máximo acontece para o rendimento energético na produção do H₂, e sua seletividade, como podem ser vistos nas Figuras 8 e 9. A Figura 7 mostra que para o maior rendimento energético na produção de H₂, a conversão do GNV em H₂ está em torno de 58% e o abatimento de CO₂ em 10%. A Figura 10 mostra que o consumo elétrico para a produção de H₂ é bem menor que a do CO. Para a condição de máximo rendimento energético na produção de H₂, o percentual de conversão dos reagentes em CO, H₂ e carbono ficou em 60%, sendo que o máximo de conversão foi de 92% para vazões de GNV menores que a vazão de CO₂, conforme Figura 11.

Varição da potência do plasma

[0052] Os gráficos das figuras 12 a 17 foram resultados dos testes com a variação da potência do plasma, via variação da corrente do arco elétrico, onde a razão entre as vazões do GNV e CO₂ correspondia ao máximo do rendimento energético na produção do H₂, para a razão $[Vazão\ CO_2 / (Vazão\ CO_2 + Vazão\ GNV)] = 0,30$. O gráfico da Figura 12 mostra a vazão dos gases reagentes e os produtos, onde se observa que o aumento da potência fez diminuir as vazões residuais do CH₄ e CO₂. Quanto aos produtos, houve um leve aumento nas vazões de C₂H₂ e CO, sendo que o aumento na vazão de H₂ foi muito maior. A

Figura 13 mostra que a conversão de GNV em H₂ variou de 40 para 77%, na faixa de potência explorada, sendo que o comportamento da curva indica que esse resultado pode ser maior para potências maiores. Este gráfico também sinaliza que o abatimento de CO₂ deve aumentar com o aumento da potência do plasma.

[0053] A Figura 14 mostra o rendimento energético para os produtos, que diminui para o CO, aumenta continuamente para o C₂H₂ e passa por um máximo para o H₂. Esta queda no rendimento pode estar associada à curva característica do plasma, que com o aumento da corrente, a tensão do arco diminui, seguido de uma diminuição do comprimento do arco elétrico, fazendo com que a tocha de plasma saia do ponto de máximo rendimento. Assim, para que a tocha de plasma continue operando com máximo rendimento é preciso aumentar a vazão do CO₂, a fim de que a tensão do arco volte ao valor inicial e, conseqüentemente, o comprimento do arco.

[0054] O gráfico da seletividade, visualizado na Figura 15, mostra que o aumento da potência favorece a formação do H₂, diminui a formação do CO, variando-se muito pouco a vazão de C₂H₂ e carbono.

[0055] O consumo elétrico para o H₂, mostrado na Figura 16, indica uma redução quase imperceptível com o aumento da potência, enquanto aumenta para o CO e passa por um máximo para o carbono.

[0056] O gráfico da Figura 17 mostra que o aumento da potência do plasma aumenta o percentual de conversão dos reagentes em CO, H₂ e carbono.

[0057] A descrição que se fez até aqui do objeto da presente invenção deve ser considerada apenas como uma possível ou possíveis concretizações, e quaisquer características particulares nelas introduzidas devem ser entendidas apenas como algo que foi escrito para facilitar a compreensão. Desta forma, não podem de forma alguma ser consideradas como limitantes da presente invenção, a qual está limitada ao escopo das reivindicações que seguem.

REIVINDICAÇÕES

1. Reator a plasma para produção de gás de síntese, **caracterizado** por compreender:

tocha compreendendo anodo reto ou em degrau;, em que o diâmetro dos eletrodos, sendo catodo (a) e anodo (b) e, está na faixa entre 2 mm e 100mm, onde o dióxido de carbono é usado como gás de plasma sendo injetado na região do catodo (a) e o gás natural e/ou metano e/ou hidrocarbonetos leves injetados próximo à saída do anodo (b) do reator de plasma

câmara(s) de entrada de gás (d),

em que o reator comporta vazões de saída de gás na faixa entre 2 e 60.000 mol/h, preferencialmente entre 10 e 10.000 mol/h, mais preferencialmente entre 110 a 2.000 mol/h, e ainda mais preferencialmente entre 110 a 1.000 mol/h; e em que a potência encontra-se na faixa entre 1 a 6.000 kW, preferencialmente entre 20 e 2.000 kW.

2. Reator, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de compreender eletrodos selecionados do grupo consistindo de cobre e zircônia.

3. Reator, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato do diâmetro dos eletrodos, sendo catodo (a) e anodo (b), estar numa faixa de 5 a 80mm, mais preferencialmente o diâmetro está numa faixa de 10 a 50mm.

4. Reator, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** por permitir a injeção de gases na região do anodo (b) e/ou do catodo (a).

5. Processo para produção de gás de síntese, **caracterizado** por compreender realizar a reforma de gás natural e/ou hidrocarbonetos leves através das seguintes etapas:

a) injetar CO₂ na região do catodo de um reator, conforme definido na reivindicação 1, e

b) injetar gás natural e/ou metano (CH₄) e/ou hidrocarbonetos leves próximo à saída do anodo do referido reator, conforme definido na reivindicação 1, em que o gás de síntese gerado é composto principalmente por CO e H₂ e sem nitrogênio.

em que a vazão de saída de gás (c) está na faixa entre 2 e 60.000 mol/h, preferencialmente entre 10 e 10.000 mol/h, mais preferencialmente entre 110 a 2.000 mol/h, e ainda mais preferencialmente entre 110 a 1.000 mol/h; e em que a potência encontra-se na faixa entre 1 a 6.000 kW, preferencialmente entre 20 e 2.000 kW.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** por a conversão de CO₂ encontrar-se na faixa entre 50 e 100%.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, **caracterizado** por utilizar corrente do arco elétrico na faixa entre 20 e 250 A, mais preferencialmente na faixa entre 70 e 200 A.

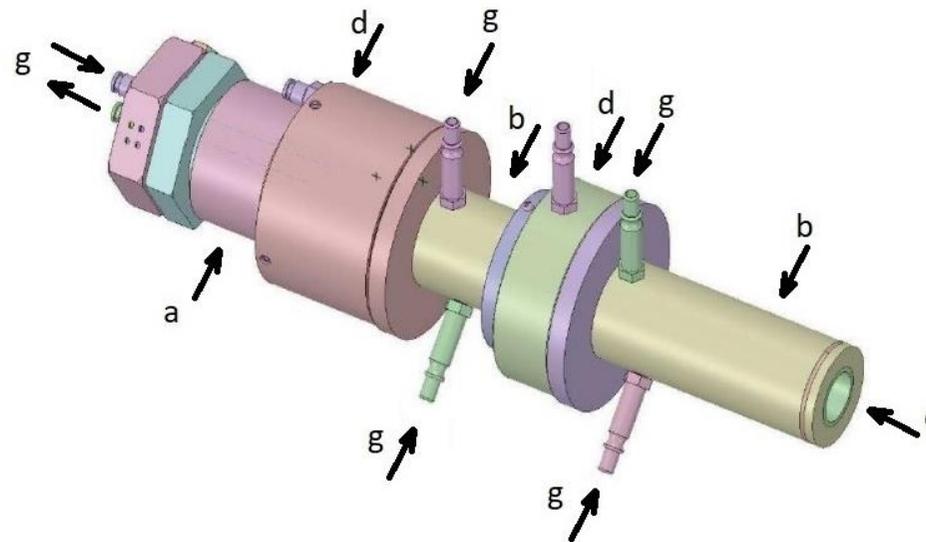
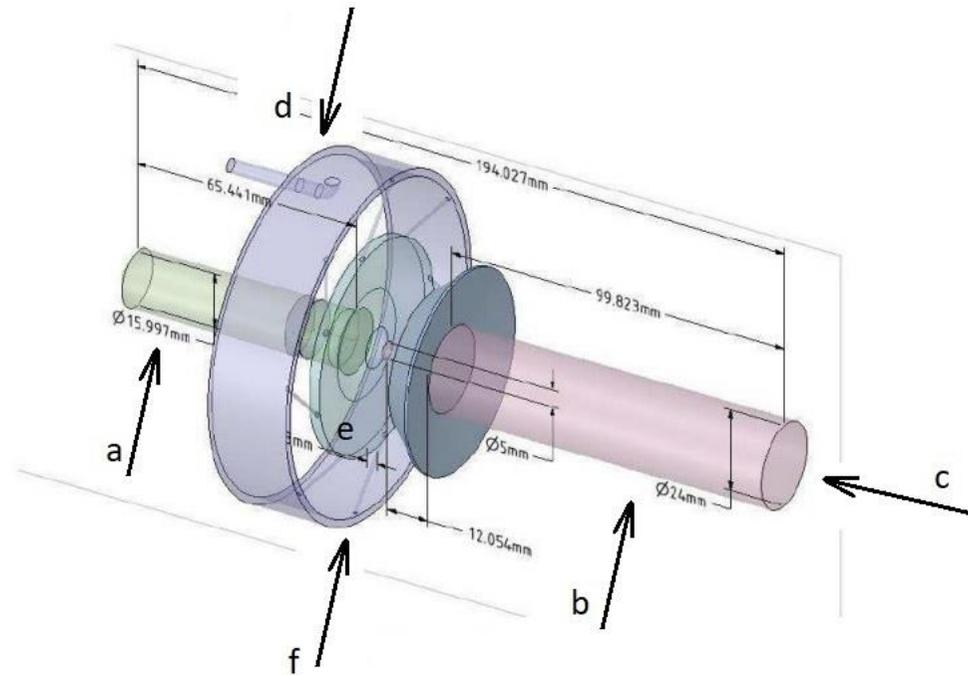


Figura 1

**Figura 2**

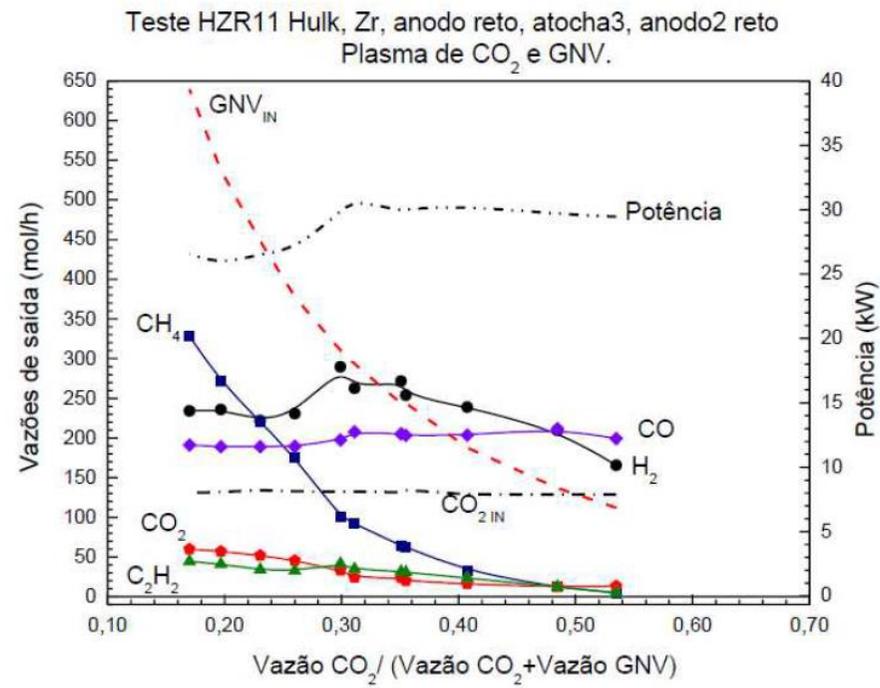
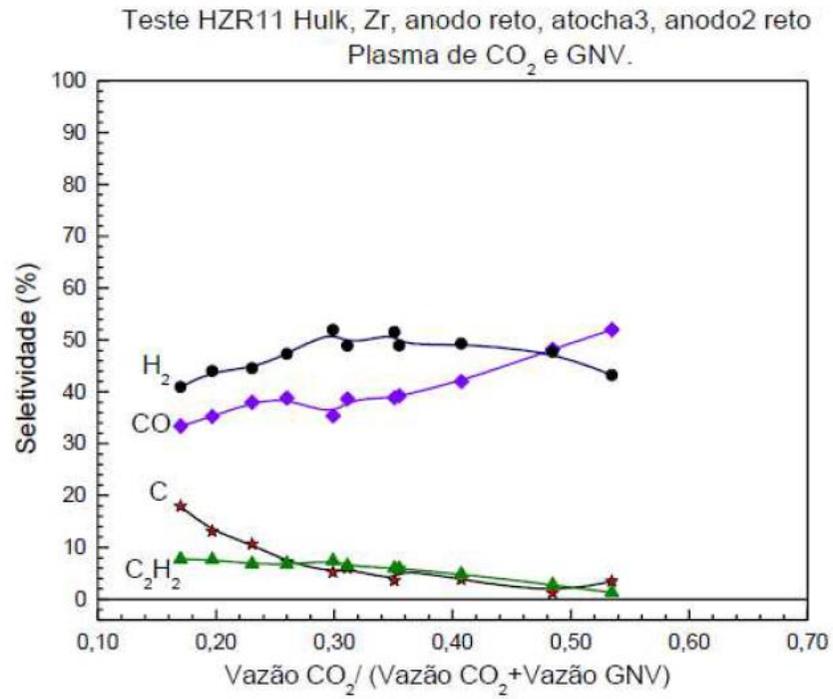


Figura 3

**Figura 4**

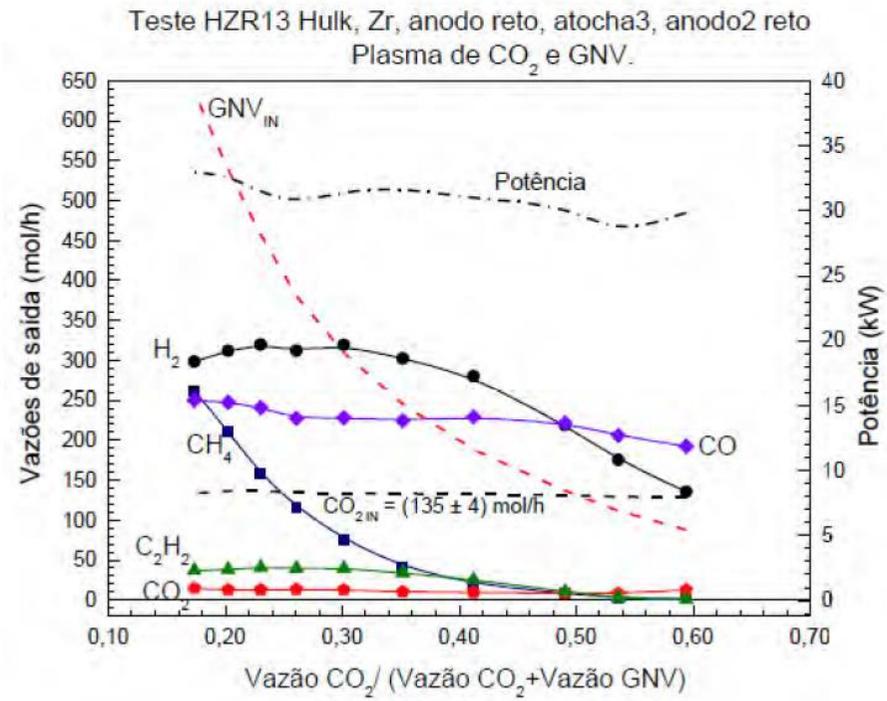
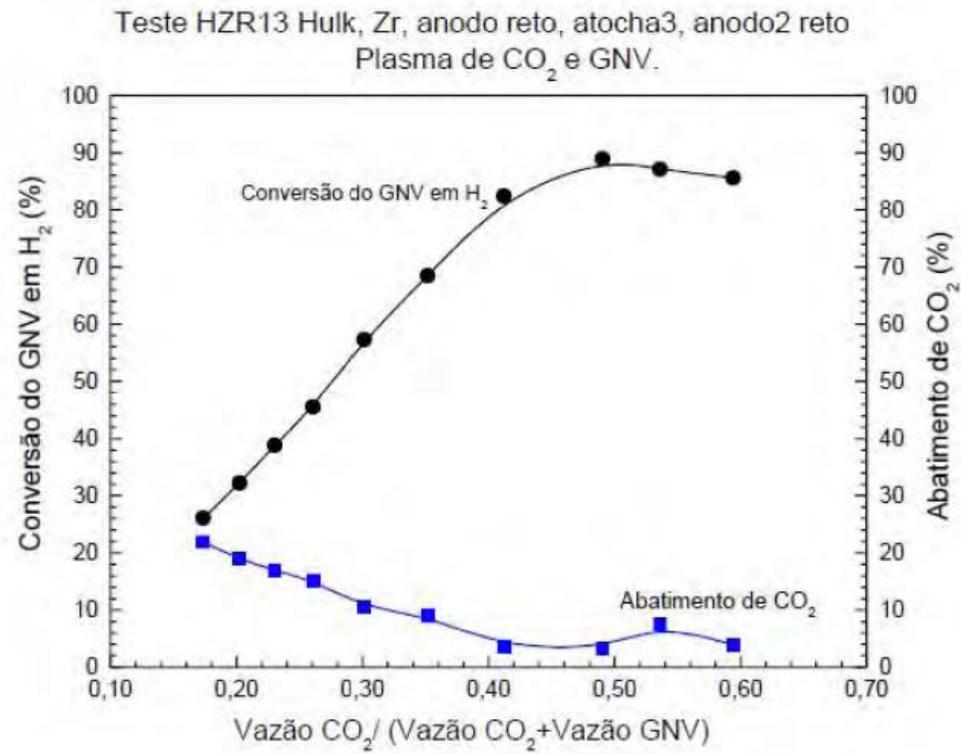
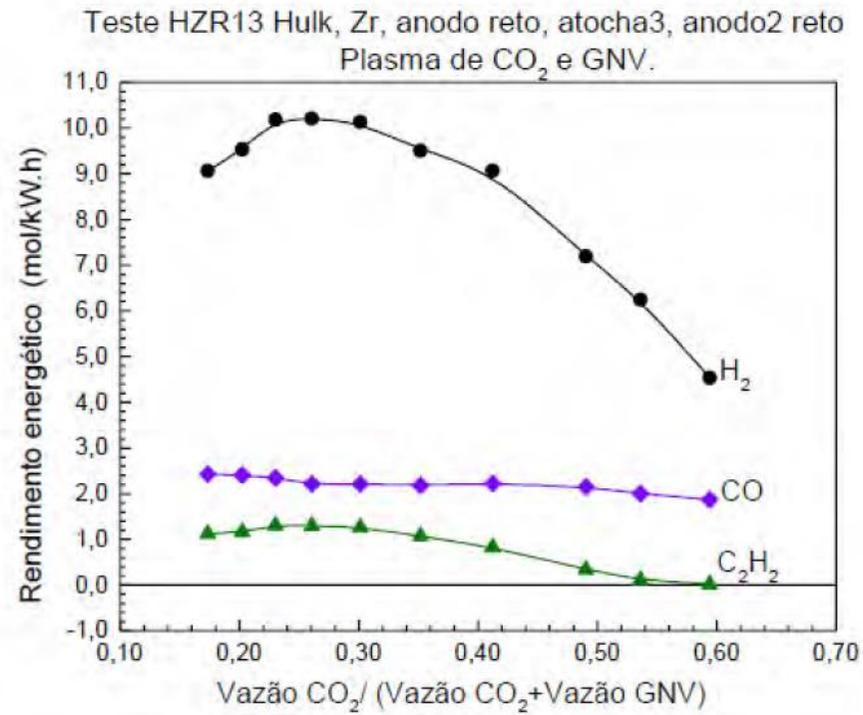
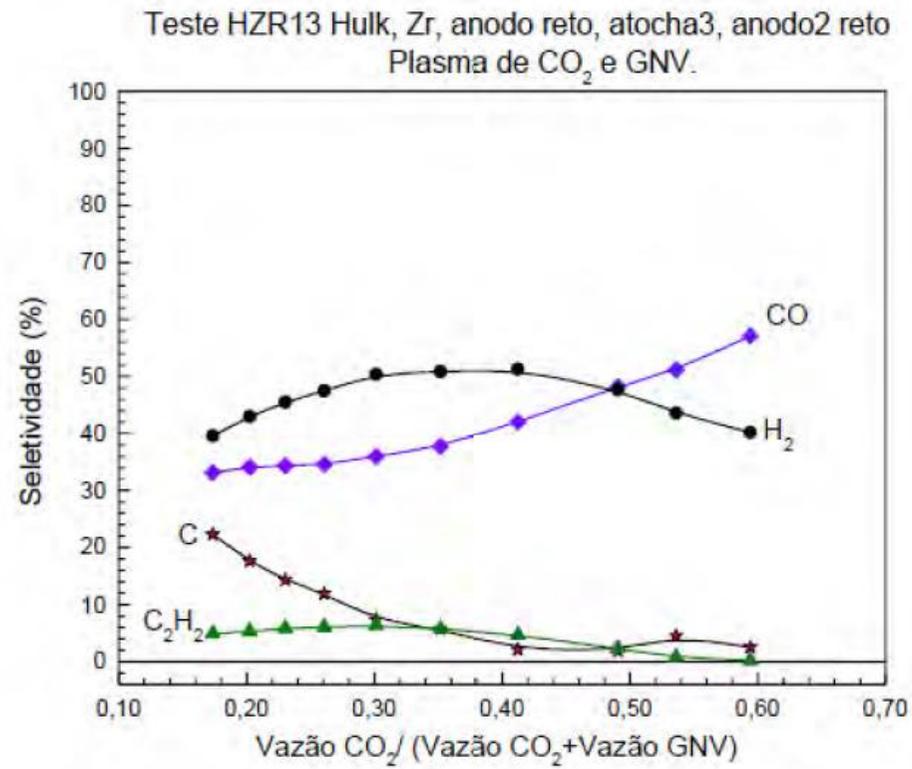
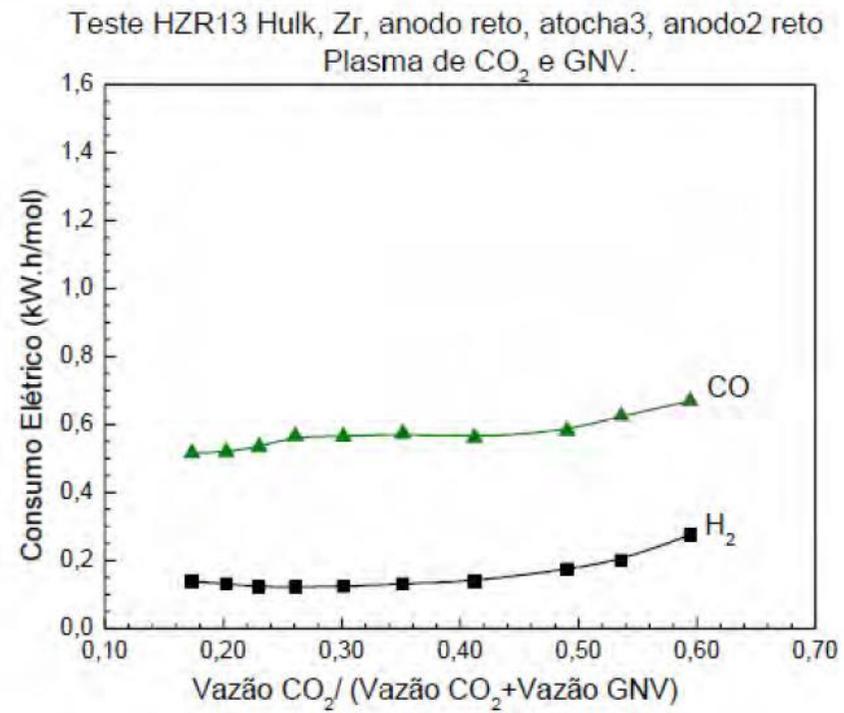


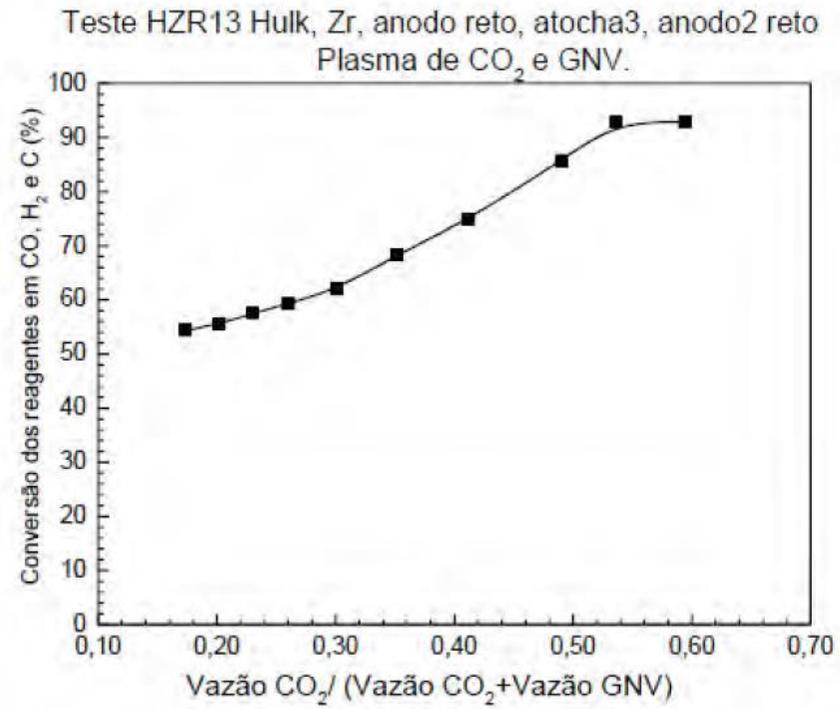
Figura 5

**Figura 6**

**Figura 7**

**Figura 8**

**Figura 9**

**Figura 10**

Teste HZR13 Hulk, Zr, anodo reto, atocha3, anodo2 reto
Plasma de CO₂ e GNV.

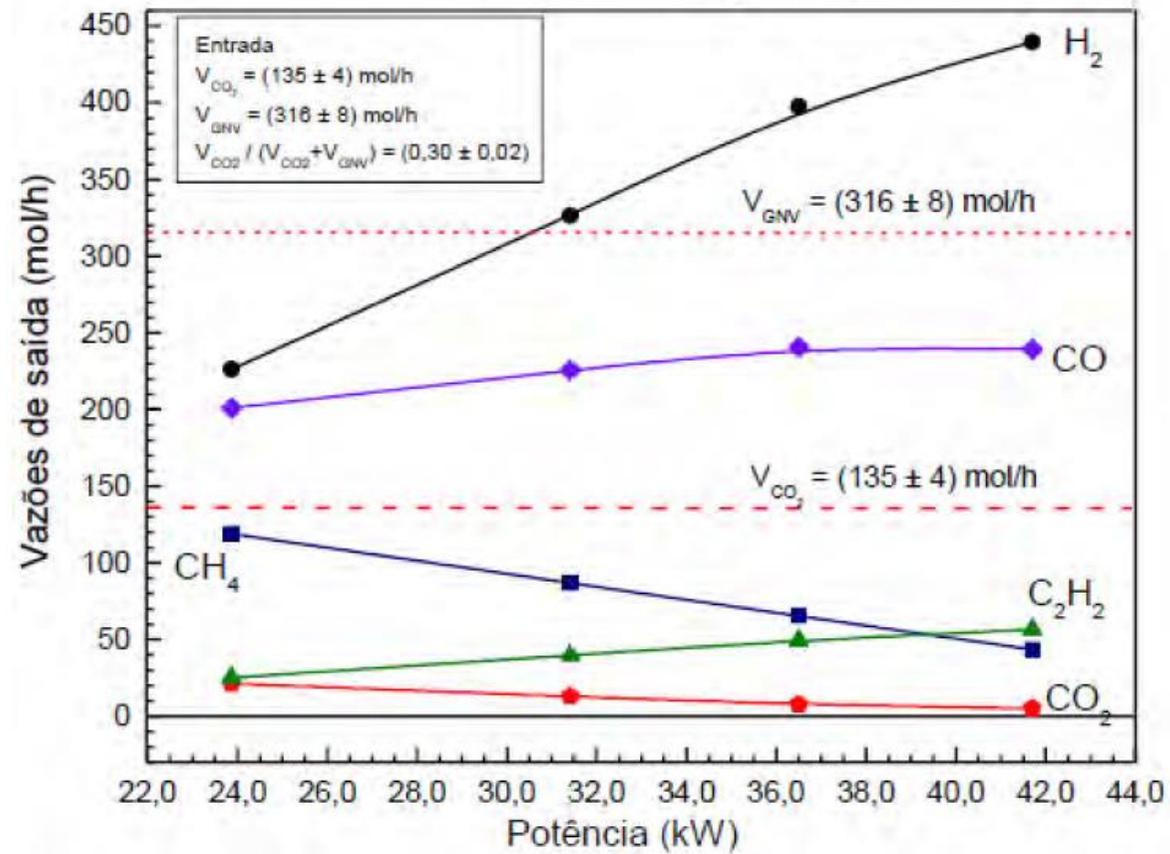


Figura 11

Teste HZR13 Hulk, Zr, anodo reto, atocha3, anodo2 reto
Plasma de CO₂ e GNV.

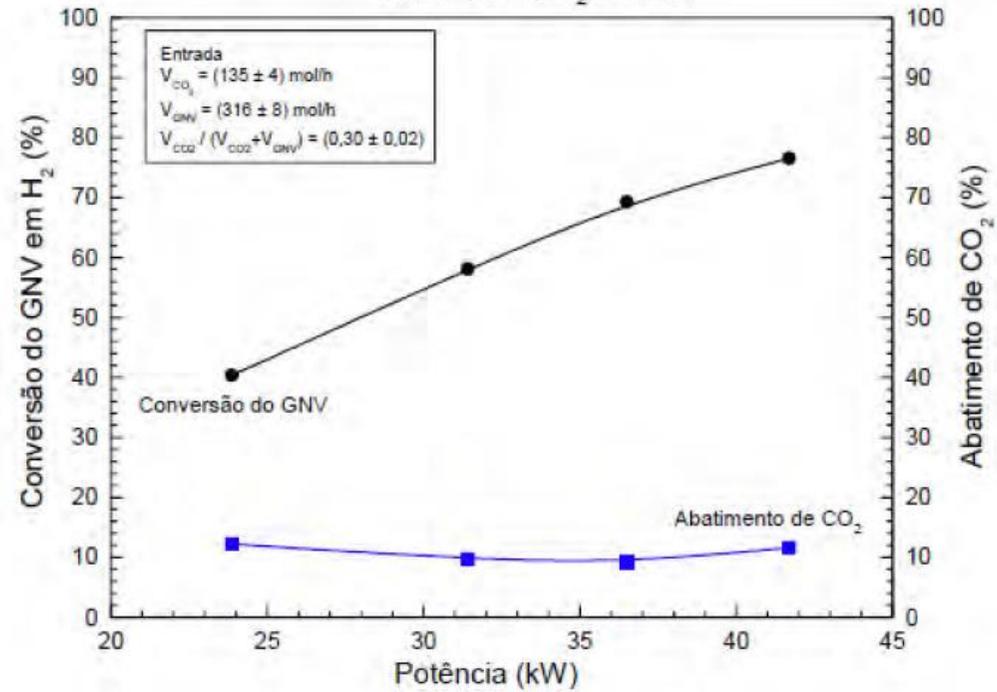
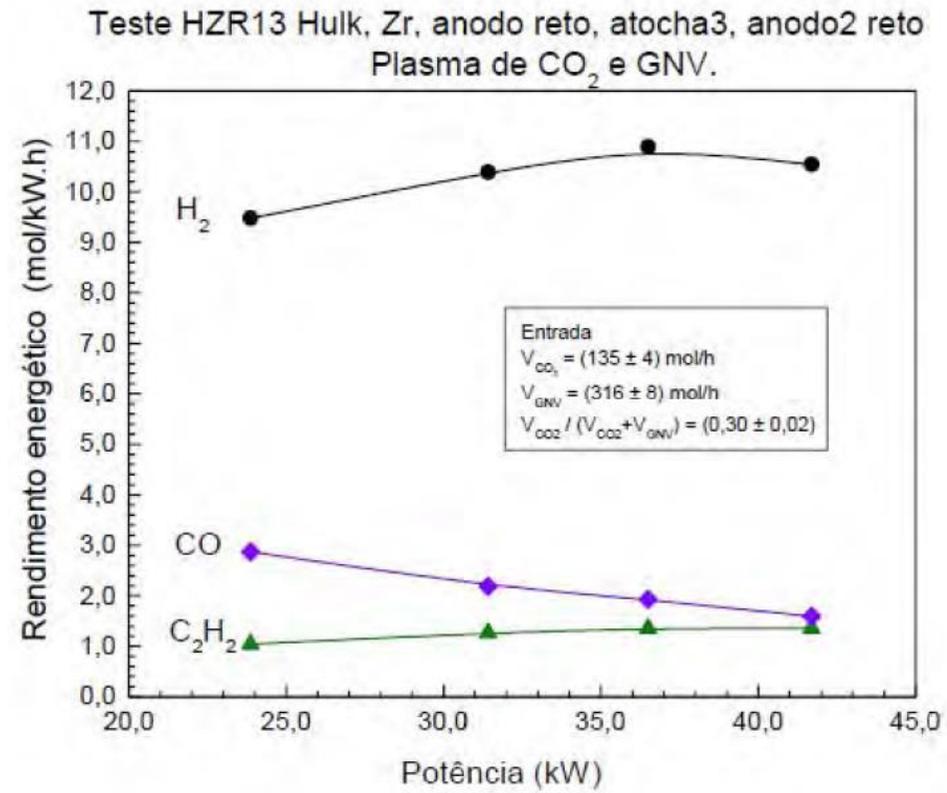
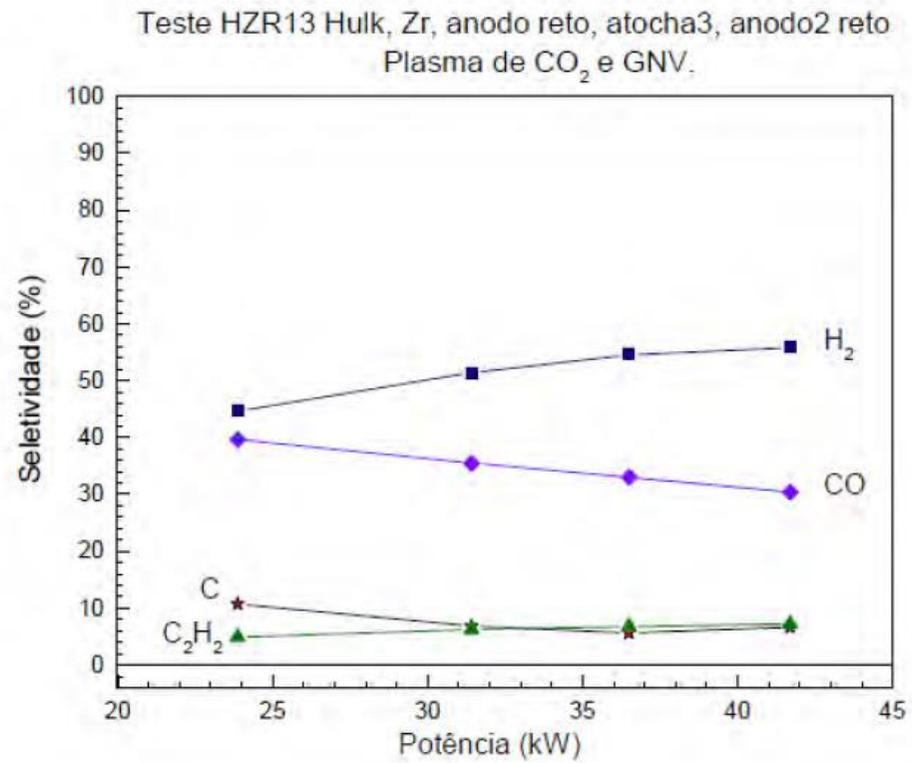


Figura 12

**Figura 13**

**Figura 14**

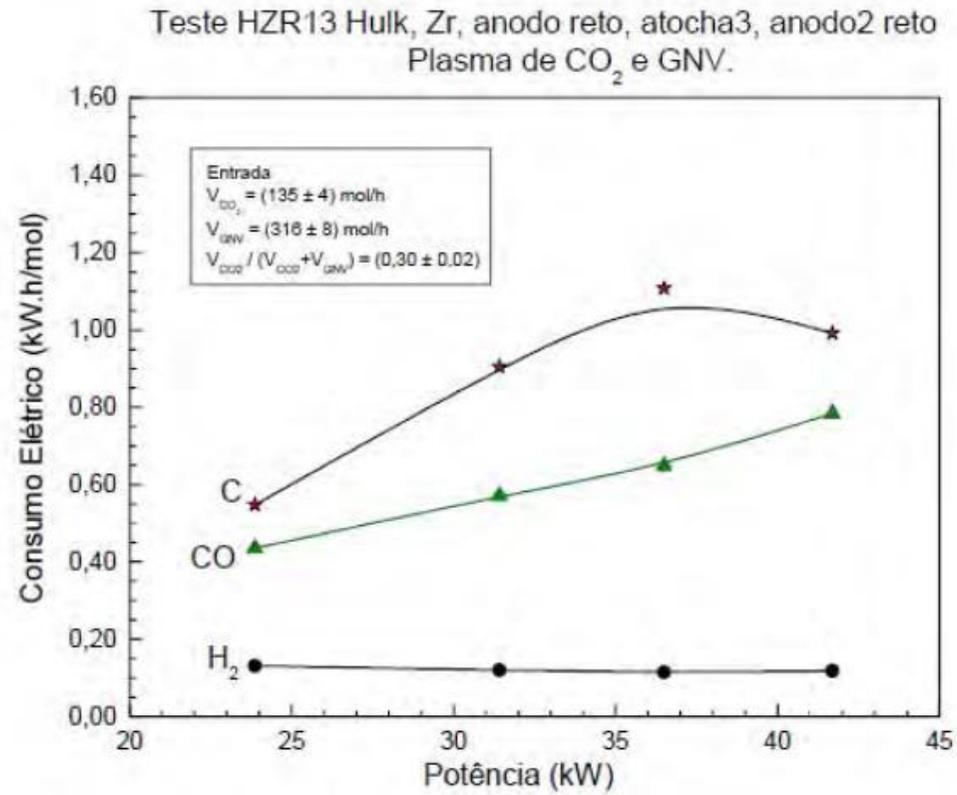


Figura 15

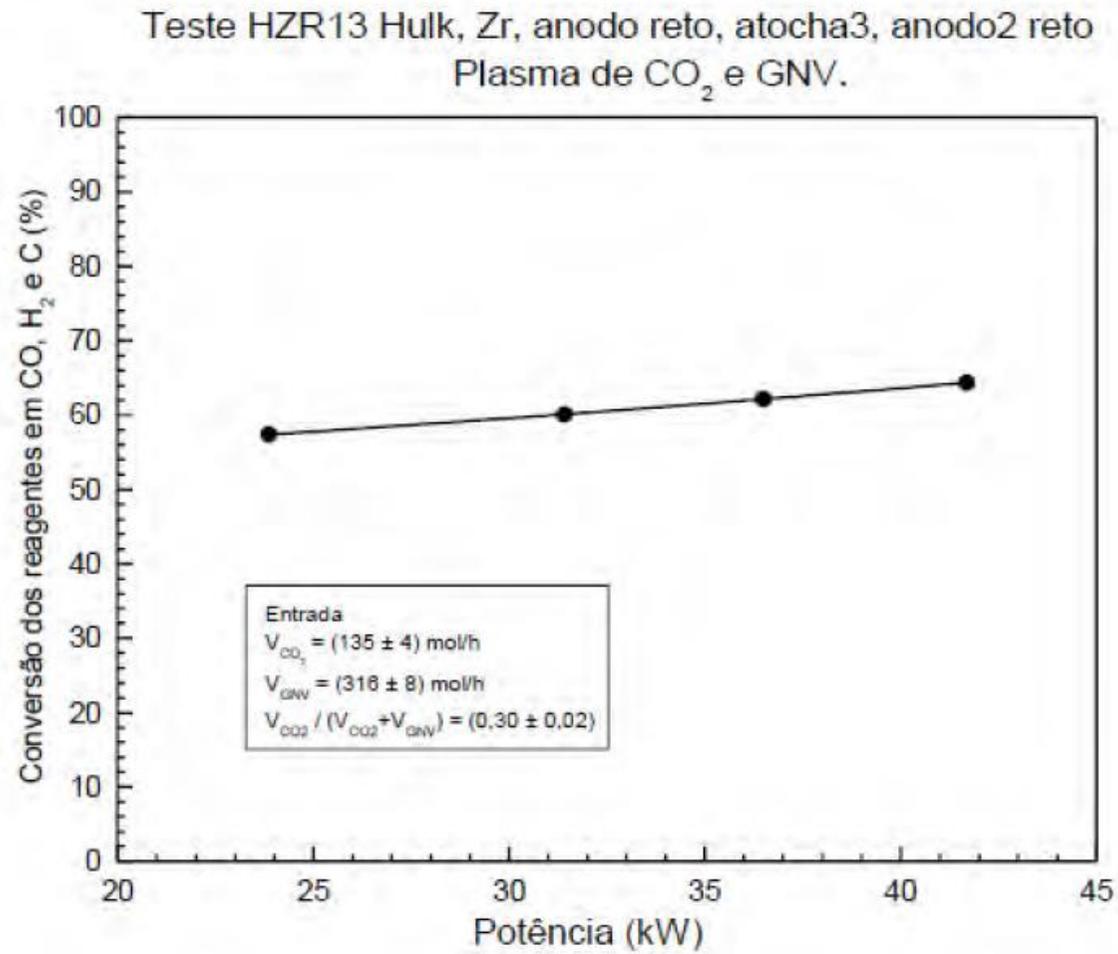


Figura 16