



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0918769-3 B1



(22) Data do Depósito: 29/07/2009

(45) Data de Concessão: 05/01/2021

(54) Título: SISTEMA PARA MELHORIA DE PERFORMANCE DE TURBINA A GÁS EM UMA USINA A GÁS NATURAL

(51) Int.Cl.: F25J 1/02.

(30) Prioridade Unionista: 09/09/2008 US 61/095,469.

(73) Titular(es): CONOCOPHILLIPS COMPANY.

(72) Inventor(es): KARL D. MASANI; CYRUS B. MEHER-HOMJI.

(86) Pedido PCT: PCT US2009052026 de 29/07/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/030441 de 18/03/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/03/2011

(57) Resumo: SISTEMA PARA MELHORIA DE PERFORMANCE DE TURBINA A GÁS EM UMA USINA A GÁS NATURAL. Trata-se de um sistema para liquefazer gás natural que inclui um processo e aparelho para melhorar a performance de uma ou mais turbinas a gás. A potência de saída da turbina a gás pode ser estabilizada ou mesmo melhorada com o uso do sistema de resfriamento inter-estágio configurado de acordo com uma ou mais modalidades da presente invenção. Em uma modalidade, o ar parcialmente comprimido a partir de um estágio de baixa compressão de uma turbina a gás é resfriado através de troca indireta de calor com um refrigerante primário antes de ser retornado para um estágio de compressão mais alta da mesma turbina a gás. Opcionalmente, o sistema de resfriamento inter-estágio pode empregar um ou mais refrigerantes secundários para remover o calor rejeitado do sistema de resfriamento primário.

**SISTEMA PARA MELHORIA DE PERFORMANCE DE TURBINA A GÁS EM
UMA USINA A GÁS NATURAL**

Referência Cruzada a Pedidos Relacionados

Este pedido reivindica por meio da U.S.C. Seção 5 119(e) o benefício de prioridade da Patente Provisória No. Serial U.S. 61/095469 depositado em 9 de setembro de 2008, cujo conteúdo é integralmente incorporado neste documento por referência.

Fundamentos

10 1. Campo da Invenção

A presente invenção refere-se a métodos e aparelhos para liquefazer gás natural. Em outro aspecto, a invenção diz respeito a uma planta de gás natural liquefeito (LNG) que emprega um sistema de resfriamento para melhorar a 15 performance de uma ou mais turbinas a gás usadas na planta de LNG.

2. Descrição da Técnica Relacionada

A liquefação criogênica é comumente usada para converter gás natural em uma forma mais conveniente para 20 transporte e/ou armazenamento. Devido à grande redução de volume específico proporcionada pela liquefação do gás natural, grandes quantidades de gás natural podem ser transportadas e/ou armazenadas economicamente na forma liquefeita.

25 Transportar gás natural em sua forma liquefeita pode efetivamente ligar uma fonte de gás natural com um mercado distante quando a fonte e o mercado não são conectados por uma tubulação. Esta situação surge comumente quando a fonte de gás natural e o mercado para o gás natural são separados 30 por grandes corpos de água. Nestes casos o gás natural

liquefeito pode ser transportado da fonte para o mercado com o uso de navios tanque de LNG oceânicos especialmente projetados.

Armazenar gás natural em sua forma liquefeita pode
5 ajudar no equilíbrio de flutuações periódicas no fornecimento de demanda pelo gás natural. Em particular, o LNG pode ser "estocado" para uso quando a demanda de gás natural é baixa e/ou o fornecimento é alto. Como resultado, futuros picos de demanda podem ser enfrentados a partir do
10 armazenamento de LNG, o qual pode ser vaporizado de acordo com a exigência da demanda.

Existem diversos métodos para liquefazer gás natural. Alguns métodos produzem um produto de LNG pressurizado (PLNG) que é útil, mas requer reservatórios caros para
15 manter conteúdo sob pressão para transporte e armazenamento. Outros métodos produzem um produto de LNG que tem uma pressão igual ou próxima a pressão atmosférica. Em geral, estes métodos de produção de LNG não pressurizados envolvem resfriar um fluxo de gás natural
20 através de troca indireta de calor com um ou mais refrigerantes e em seguida expandir o gás natural resfriado para uma pressão próxima a atmosférica. Adicionalmente, a maior parte das Instalações de LNG emprega um ou mais sistemas para remover contaminações (por exemplo, água,
25 gases ácidos, nitrogênio, e etano e componentes pesados) do fluxo de gás natural em diferentes pontos durante o processo de liquefação.

Tipicamente, as instalações de LNG empregam um ou mais, compressores refrigerantes multi-estágio para
30 circular refrigerante usado para refrigerar o fluxo de

alimentação de gás natural processado na planta. Estes compressores industriais são frequentemente acionados por turbinas a gás, que queima combustível com um fluxo de ar comprimido para gerar energia que pode ser utilizada para acionar o compressor. A performance destas turbinas a gás, que geralmente pode ser correlacionada à energia produzida e eficiência da turbina, é altamente dependente das condições ambientais de ar. Por exemplo, aumentos na temperatura do ar levam tipicamente a redução na energia produzida na turbina. As reduções na energia produzida na turbina se traduzem na diminuição da performance do compressor, o que, em última análise se transfere para produção de LNG reduzida. Deste modo, pode ser desejável manter e/ou aumentar a produção de LNG através de melhoria de operação na turbina a gás.

Sumário

Em uma modalidade da presente invenção, é fornecido um processo para liquefazer um fluxo de gás natural, em que o dito processo compreende: (a) resfriar pelo menos uma parte do dito fluxo de gás natural através de troca de calor indireta com um primeiro refrigerante em um primeiro ciclo de refrigeração para deste modo produzir um fluxo de gás natural resfriado; (b) resfriar adicionalmente pelo menos uma parte do dito fluxo de gás natural resfriado através de troca de calor indireta com um segundo refrigerante em um segundo ciclo de refrigeração para deste modo fornecer um fluxo de gás natural adicionalmente resfriado; e (c) resfriar um fluxo de ar parcialmente comprimido através de troca de calor indireta com um refrigerante primário para deste modo fornecer um fluxo de

ar parcialmente comprimido resfriado, em que o dito fluxo de ar parcialmente comprimido é retirado de um estágio de compressão intermediário de uma turbina a gás usada para acionar pelo menos um compressor de refrigerante associado com os ditos primeiro e/ou segundo ciclo de refrigeração.

Em outra modalidade da presente invenção, é fornecido um processo para liquefazer um fluxo de gás natural, em que o dito processo compreende: (a) comprimir um primeiro fluxo de refrigerante em um primeiro compressor de refrigerante para deste modo fornecer um primeiro fluxo de refrigerante comprimido, em que o dito primeiro compressor de refrigerante é pelo menos parcialmente acionado através de uma turbina a gás; (b) resfriar um primeiro fluxo de ar através de troca de calor indireta com pelo menos uma parte do dito primeiro refrigerante em um primeiro trocador de calor para deste modo fornecer um primeiro fluxo de ar resfriado; e (c) introduzir pelo menos uma parte do dito primeiro fluxo de ar resfriado para dentro da dita primeira turbina a gás.

Em ainda outra modalidade da presente invenção é fornecida uma planta de gás natural (LNG) que compreende um primeiro ciclo de refrigeração e uma primeira zona de troca de calor. O primeiro ciclo de refrigeração compreende um primeiro compressor de refrigerante, um primeiro conjunto resfriador de refrigerante é operável para resfriar um fluxo de gás natural através de troca de calor indireta com o primeiro fluxo de refrigerante comprimido. O primeiro compressor é acionado pela primeira turbina a gás, que é uma turbina a gás multi-estágio, multi-eixo que compreende um primeiro estágio de baixa compressão e um primeiro

estágio de alta compressão. A primeira zona de troca de calor é operável para resfriar um primeiro fluxo de ar parcialmente comprimido retirado de um primeiro estágio de baixa compressão através de troca indireta de calor com um primeiro refrigerante para deste modo produzir um primeiro fluxo de ar resfriado. O primeiro estágio de alta compressão é configurado para receber o primeiro fluxo de ar resfriado.

Breve Descrição das Figuras

10 Certas modalidades da presente invenção são descritas abaixo em detalhes com referências as figuras em anexo, em que:

A Figura 1 é uma visão geral simplificada de um sistema de acionamento/compressor que inclui uma zona de resfriamento inter-estágio configurada de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 2 é uma visão geral simplificada de um sistema de acionamento/compressor que inclui uma zona de resfriamento inter-estágio configurada de acordo com outra modalidade da presente invenção;

A Figura 3 é uma visão geral simplificada de uma planta de LNG tipo cascata configurada de acordo com uma modalidade da presente invenção;

A Figura 4a é um diagrama esquemático de uma planta de LNG configurada de acordo com uma modalidade da presente invenção com partes da planta de LNG conectada a linhas A, B, C, D, E, F, G, H e I que são ilustradas na Figura 4b;

A Figura 4b é um diagrama esquemático de um sistema de resfriamento inter-estágio configurado de acordo com uma modalidade da presente invenção que é integrado na parte da

planta de LNG ilustrada na Figura 4a através das linhas A, B, C, D, E, F, G, H e I;

A Figura 5a é um diagrama esquemático de uma planta de LNG configurada de acordo com outras modalidade da presente invenção com partes da planta de LNG conectada a
5 linhas A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K e L que são ilustradas na Figura 5b;

A Figura 5b é um diagrama esquemático de um sistema de resfriamento inter-estágio configurado de acordo com
10 outra modalidade da presente invenção que é integrado na parte da planta de LNG ilustrada na Figura 5a através das linhas A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K e L;

Descrição Detalhada

Com referência primeiro a Figura 1, um diagrama
15 esquemático do sistema acionador de compressor 410 que emprega um sistema de resfriamento inter-estágio é ilustrado em geral como compreendendo uma turbina a gás 412 acoplada mecanicamente e operável para acionar um compressor 414. Em uma modalidade, a turbina a gás 412 pode
20 ser diretamente acoplada ao compressor 414, enquanto, em outra modalidade, a turbina a gás 412 pode ser acoplada indiretamente ao compressor 414 através de um dispositivo de manipulação de velocidade 431, como mostrado na Figura 1. Exemplos de dispositivos de manipulação de velocidade
25 podem incluir, mas não estão limitados a, caixa de engrenagens ou conversor de torque. Adicionalmente, o sistema de compressor/acionamento 410 compreende um resfriador de ar inter-estágio 440 operável para resfriar pelo menos uma parte do fluxo de ar parcialmente comprimido

que sai de um ou mais estágios de compressão da turbina a gás 412.

A turbina a gás 412 pode ser uma turbina a gás industrial disponível comercialmente. A turbina a gás 412
5 pode compreender uma configuração de eixo único ou multi-eixos e pode compreender uma turbina a gás de fabricação em série, uma turbina a gás modulada, uma turbina a gás aeroderivativa, ou uma combinação destas. Exemplos de turbinas a gás de fabricação em série podem incluir, mas
10 não estão limitados a turbinas a gás de eixo único da GE Frame-5, Frame-6, Frame-7 ou Frame-9 disponíveis pela GE Power Systems, em Atlanta GA ou equivalentes a estas. Exemplos de turbinas a gás modulares podem incluir turbinas a gás Siemens SGT-600 ou SGT-700 (disponíveis pela Siemens
15 AG em Earlangen, Alemanha) e turbinas a gás Solar Mars® ou Titan™ *disponíveis pela Solar Turbines Incorporated em Peoria, Illinois) ou as equivalentes a estas. Exemplos de turbinas a gás aeroderivativas incluem, mas não estão limitados a, GE LM1600, LM2000, LM2500, LM2500+, LM6000 ou
20 LMS100® (disponíveis pela GE Power Systems, em Atlanta GA) ou equivalentes a estas.

Em uma modalidade ilustrada na Figura 1, a turbina a gás 412 pode ter uma configuração de três eixos. De acordo com esta modalidade, a turbina a gás 412 pode compreender um
25 estágio de compressão de baixa pressão 416, um estágio de compressão de alta pressão 418, uma câmara de combustão 420, uma turbina de alta pressão 422, uma turbina de baixa pressão 424 e uma turbina de energia opcional 426. Em uma modalidade ilustrada na Figura 1, a turbina de energia 426
30 pode ser acoplada mecanicamente direta ou indiretamente ao

estágio de compressão de baixa pressão 416 e compressor 414 através de um primeiro eixo interno concêntrico 430. Em outra modalidade, a turbina a gás 412 pode não incluir a turbina de energia 426. O estágio de compressão de baixa
5 pressão 416 e estágio de expansão de baixa pressão 424 podem ser acoplados mecanicamente através de um segundo eixo interno concêntrico 432, enquanto o estágio de compressão de alta pressão 418 e o estágio de expansão de alta pressão 426 são acoplados de forma motriz por um
10 terceiro eixo externo concêntrico 434, como ilustrado na Figura 1.

O compressor 414 pode ser um tipo de compressor industrial multi-estágios capaz de comprimir sequencialmente um fluxo gasoso para pressões
15 sucessivamente mais altas. Em uma modalidade o compressor 414 podem ter pelo menos um, pelo menos 2 ou pelo menos 3 estágios (não mostrados). O compressor multi-estágios 414 pode ser um compressor centrífugo, um compressor axial, ou uma combinação destes.

20 Em geral, o resfriador inter-estágio 440 pode ser um trocador de calor operável para resfriar o fluxo entrante de ar parcialmente comprimido retirado de um estágio de compressão de baixa pressão 416 por pelo menos 1°C, pelo menos 2°C, pelo menos 5°C, ou pelo menos 8°C. Em outra
25 modalidade, o resfriador inter-estágio 440 pode resfriar parcialmente o fluxo de ar comprimido no conduto 452 por não mais do que 25°C, não mais do que 20°C, não mais do que 15°C, ou não mais do que 10°C. Em uma modalidade, o resfriador inter-estágio 440 pode compreender um trocador
30 direto de calor que emprega um ou mais métodos de troca

direta de calor. Exemplos de métodos de troca direta de calor adequados incluem técnicas de vaporização de entrada, nebulização, e compressão molhada. Quando o resfriador inter-estágio 440 emprega um trocador direto de calor, um
5 ou mais fluidos de transferência de calor, tais como, por exemplo, água, alcoóis, ou hidrocarbonetos leves, podem ser empregados. Em outra modalidade, o resfriador inter-estágio 440 pode compreender um trocador indireto de calor. Exemplos de trocador indireto de calor adequados podem
10 incluir, mas não estão limitados a, um trocador de calor casco e tubo, um trocador de calor de núcleo na caldeira, e um trocador de calor de aletas. Quando o resfriador inter-estágio 440 emprega um trocador indireto de calor, podem ser empregados no resfriador inter-estágio 440 um ou mais
15 fluidos adequados de transferência de calor, que incluem, por exemplo, água, glicóis, alcoóis, fluidos de transferência de calor disponíveis comercialmente, e uma combinação destes.

Passando agora para a operação do sistema
20 compressor/acionador 410 ilustrado na Figura 1, um fluxo não comprimido de ar de entrada no conduto 450 pode ser introduzido dentro de uma entrada de gás da turbina 412 de estágio de compressão de baixa pressão 416. A combustão do fluxo de ar pode então ser pelo menos parcialmente
25 comprimida e pelo menos uma parte do fluxo resultante pode ser retirado do estágio de compressão de baixa pressão 416 através do conduto 452. Se presente, o fluxo de ar parcialmente comprimido restante pode passar para o estágio de alta compressão 418, como ilustrado pela linha tracejada
30 na Figura 1.

Depois disso, o fluxo pelo menos parcialmente comprimido no conduto 452 pode ser introduzido em um resfriador de ar inter-estágio 440, em que pelo menos uma parte do fluxo pode ser resfriada através de um trocador indireto de calor com um resfriador no conduto 442, como 5 mostrado na Figura 1. O resfriador pode compreender um fluido adequado para transferência de calor capaz de remover pelo menos uma parte do calor do fluxo de ar parcialmente comprimido no conduto 452. O resfriador pode 10 compreender água, glicóis, alcoóis, hidrocarbonetos leves, e uma combinação destes. Configurações específicas que empregam diferentes tipos serão discutidos em detalhes brevemente, com respeito às Figuras 2, 4a, 4b, 5a, e 5b. Como mostrado na Figura 1, o fluxo de ar parcialmente 15 comprimido resfriado resultante no conduto 454 pode então ser introduzido no estágio de compressão de alta pressão 418, como mostrado na Figura 1.

Como ilustrado na Figura 1, o fluxo de ar comprimido que sai do estágio de compressão de alta pressão 418 20 através do conduto 458 pode ser introduzido subsequentemente na câmara de combustão 420, em que o fluxo de ar pode ser queimado com um gás introduzido na câmara de combustão 240 através do conduto 460. Os gases de combustão quentes que saem da câmara de combustão 420 podem ser 25 expandidos sequencialmente no estágio de expansão de estágio alto 422, estágio de expansão de estágio baixo 424, e turbina de energia 426. A energia resultante, que pode ser pelo menos parcialmente transformada em energia rotacional, pode ser usada para acionar respectivamente o 30 estágio de compressão de baixa pressão 416 (através do

primeiro eixo interno concêntrico 432), estágio de compressão alta 422 (através do eixo externo concêntrico 434), e compressor de carga 414 (através do segundo eixo interno concêntrico 430).

5 Em geral, resfriar pelo menos parcialmente o fluxo de ar comprimido retirado do estágio de compressão de baixa pressão antes de reintroduzir o fluxo resfriado no estágio de compressão de alta pressão pode aumentar a saída de energia da turbina de gás pelo menos em 10 por cento, pelo
10 menos 15 por cento, pelo menos 20 por cento, ou pelo menos 25 por cento, quando comparado com a saída de energia de uma turbina de gás que não emprega este tipo de resfriamento inter-estágio. Em uma modalidade, o resfriador de ar inter-estágio 440 pode operar para resfriar o fluxo
15 do ar parcialmente comprimido no conduto 452 por uma quantidade na faixa de 1 até 25°, 2 até 20°, ou 5 até 15°. Tipicamente, o fluxo de ar no conduto 452 pode ter uma temperatura maior do que 20°C, maior do que 20°C, maior do que 25°C, maior do que 30°C, enquanto que o fluxo no
20 conduto 454 pode ter uma temperatura menor do que 15°C, menor do que 10°C, ou menor do que 5°C.

 Outra modalidade de um sistema compressor/acionador simplificado 510 que emprega um resfriador inter-estágio é ilustrado na Figura 2. A configuração e operação do sistema
25 compressor/acionador 510 ilustradas na Figura 2 são similares às aquelas previamente descritas na Figura 1, exceto pelo fato de que o resfriador inter-estágio 540 do sistema compressor/acionador 510 inclui adicionalmente um meio para resfriar adicionalmente a entrada de ar de combustão
30 introduzido no estágio de compressão de alta pressão 516 da

turbina a gás 512. A diferença na operação do sistema compressor/acionador 510 ilustrado na Figura 2, com relação à operação do sistema compressor/acionador 410 descrito previamente com respeito à Figura 1, será agora discutida em detalhes.

Um fluxo de entrada de ar não comprimido no conduto 550 entra no resfriador inter-estágio 540, em que o fluxo pode ser resfriado através de troca indireta de calor com um fluxo refrigerante que entra no resfriador inter-estágio 540 através do conduto 542. Em uma modalidade, o resfriador inter-estágio 540 pode ser operável para resfriar o ar entrante não comprimido por pelo menos 2°C, pelo menos 5°C, pelo menos 8°C, ou pelo menos 10°C. Geralmente, a temperatura do fluxo de ar no conduto 550 pode ser maior do que 8°C, pelo menos 10°C, pelo menos 15°C, 25°C, maior do que 30°C, maior do que 32°C, maior do que 35°C, ou maior do que 37°C, enquanto que a temperatura do fluxo de ar resfriado retirado do resfriador inter-estágio 540 através do conduto 551 pode ser menor do que 20°C, menor do que 15°C, menor do que 10°C, ou menor do que 5°C. Embora ilustrado como um trocador de calor único na Figura 2, em outra modalidade, o resfriador inter-estágio 540 pode compreender dois ou mais trocadores de calor separados, cada um capaz de resfriar pelo menos uma parte dos fluxos de ar de combustão e/ou ar comprimido associado com a turbina a gás 512.

Como mostrado na Figura 2, o fluxo de ar resfriado no conduto 551 pode em seguida ser introduzido na entrada de ar de combustão do estágio de compressão de baixa pressão 516 da turbina de gás 512. Subsequentemente, um fluxo de ar

parcialmente comprimido retirado da saída do estágio de compressão de baixa pressão 516 pode ser roteado para o resfriador inter-estágio 540 pode continuar através do sistema compressor/acionador 510 de uma maneira análoga a discutida em detalhes previamente com respeito à Figura 1.

De acordo com uma modalidade, a presente invenção pode ser implementada em uma planta usada para resfriar gás natural para sua temperatura de liquefação para deste modo produzir gás natural liquefeito (LNG). A planta de LNG geralmente emprega um ou mais refrigerantes para extrair calor do gás natural e em seguida descarta o calor no ambiente. Existem várias configurações de sistemas de LNG, e a presente invenção pode ser implementada em muitos tipos diferentes de sistemas de LNG.

Em uma modalidade, a presente invenção pode ser implementada em um sistema de LNG de refrigerante misturado. Exemplos de processos de refrigerante misturado podem incluir, mas não estão limitados a, um único sistema de refrigeração que usa um refrigerante misturado, um sistema de refrigerante misturado de propano pré-resfriado, e um sistema de refrigerante misturado dual. Em geral, os refrigerantes misturados podem compreender componentes hidrocarbonetos e/ou não hidrocarbonetos. Exemplos de componentes hidrocarbonetos adequados tipicamente empregados em refrigerantes misturados podem incluir, mas não são limitados a, metano, etano, etileno, propano, propileno, bem como isômeros de butano e butileno. Componentes não hidrocarbonetos geralmente empregados em refrigerantes misturados podem incluir dióxido de carbono e nitrogênio. Processos de refrigerante misturado empregam

pelo menos um componente refrigerante misturado, mas também podem adicionalmente empregar um ou mais refrigerantes de componente puro.

Em outra modalidade, a presente invenção é implementada em um sistema de LNG em cascata que emprega um processo de refrigeração tipo cascata que usa um ou mais refrigerantes de componente puro. Os refrigerantes utilizados em processos de refrigeração tipo cascata podem ter pontos de ebulição sucessivamente mais baixos a fim de maximizar a remoção de calor do fluxo de gás natural que está sendo liquefeito. Adicionalmente, os processos de refrigeração tipo cascata podem incluir algum nível de integração de calor. Por exemplo, um processo de refrigeração tipo cascata pode resfriar um ou mais refrigerantes que tem uma volatilidade mais alta através de troca de calor indireta com um ou mais refrigerantes que tem uma volatilidade mais baixa. Adicionalmente para resfriar o fluxo de gás natural através de troca de calor indireta com um ou mais refrigerantes, os sistemas de LNG de cascata e refrigerante misturado podem empregar um ou mais estágios de resfriamento e expansão para resfriar simultaneamente o LNG enquanto reduzem sua pressão para uma pressão próxima a atmosférica.

A Figura 3 ilustra uma modalidade de uma planta de LNG que emprega um sistema de resfriamento de ar de entrada na turbina capaz de aumentar a eficiência e potência de uma ou mais turbinas a gás empregadas naquela planta. A planta de LNG tipo cascata da Figura 3 compreende em geral uma seção de resfriamento em cascata 10, uma zona de remoção de pesos 11, e uma seção de resfriamento e expansão 12. A

seção de resfriamento em cascata 10 é representada como compreendendo um primeiro ciclo de refrigeração mecânico 13, um segundo ciclo de refrigeração mecânico 14, um terceiro ciclo de refrigeração mecânico 15. Em geral, o primeiro, segundo e terceiro ciclos de refrigeração 13, 14, 15 podem ser ciclos de refrigeração de circuito fechado, ciclos de refrigeração de circuito aberto, ou uma combinação destes. Em uma modalidade da presente invenção, o primeiro e segundo ciclos de refrigeração 13 e 14 podem ser ciclos de circuito fechado, e o terceiro ciclo de refrigeração 15 pode ser um ciclo de circuito aberto que utiliza um refrigerante que compreende pelo menos uma parte do fluxo de alimentação de gás natural sofrendo liquefação. De acordo com uma modalidade da presente invenção, o primeiro, segundo e terceiro ciclos de refrigeração 13, 14, 15 podem empregar respectivos primeiro, segundo e terceiro refrigerantes que tem sucessivamente pontos de ebulição mais baixos. Por exemplo, o primeiro, segundo e terceiro refrigerantes podem ter pontos médios de ebulição à pressão padrão (ou seja, pontos médios de ebulição padrão) dentro de 10°C, dentro de 5°C, dentro de 2°C de pontos de ebulição padrão de propano, etileno e etano, respectivamente. Em uma modalidade, o primeiro refrigerante pode compreender pelo menos 75 por cento em mol, pelo menos 90 por cento em mol, pelo menos 95 por cento em mol, ou pode consistir essencialmente de propano, propileno, ou misturas destes. O segundo refrigerante pode compreender pelo menos 75 por cento em mol, pelo menos 90 por cento em mol, pelo menos 95 por cento em mol, ou pode consistir essencialmente de etano, etileno, ou misturas

destes. O terceiro refrigerante pode compreender pelo menos 75 por cento em mol, pelo menos 90 por cento em mol, pelo menos 95 por cento em mol, ou pode consistir essencialmente de metano.

5 Como mostrado na Figura 3, cada um de primeiro, segundo e terceiro ciclos de refrigeração 13, 14, 15 empregam respectivamente primeiro, segundo e terceiro compressores de refrigerante 16, 19, 22 para comprimir o primeiro, segundo e terceiro refrigerantes usados para
10 resfriar o fluxo de alimentação de gás natural. Em geral, cada um de primeiro, segundo e terceiro compressores de refrigerante 16, 19, 22 compreendem grandes compressores multi-estágio acionados por uma ou mais turbinas a gás 16a, 19a e 22a. Embora ilustrado na Figura 3 como turbinas a gás
15 únicas, em uma modalidade, o compressor 16, 19, e/ou 22 pode ser acionados por duas ou mais turbinas. Em outra modalidade, o primeiro, segundo e terceiro compressores 16, 19, 22 podem cada um compreender dois ou mais compressores acionados por pelo menos uma turbina a gás 16a, 19a, 22a.
20 Tipicamente, esta configuração pode ser útil quando a planta de LNG 10 compreende pelo menos um trem de produção. Em geral, cada turbina de gás 16a, 19a, 22a pode queimar um fluxo de gás combustível com um fluxo de ar ambiente filtrado para deste modo fornecer energia para o expensor.
25 Esta energia é em seguida pelo menos parcialmente transformada em energia rotacional, que pode ser usada para acionar os compressores de refrigerante 16, 19, 22 através de um eixo comum.

 As turbinas de gás 16a, 19a, 22a podem ser quaisquer
30 turbinas a gás industriais disponíveis comercialmente. Em

geral, turbinas a gás 16a, 19a, e/ou 22a podem ter uma configuração de eixo único ou de multi-eixos. Tipicamente, as turbinas a gás multi-eixos podem compreender dois (por exemplo, duplo eixo) ou três (por exemplo, triplo eixo) eixos, mas outras turbinas multi-eixos são igualmente adequadas. A pluralidade de eixos empregada em uma turbina a gás multi-eixos pode ser concêntrica ou pode ser posicionada substancialmente paralela uma a outra. Turbinas a gás de eixo único também podem compreender um motor auxiliar para fornecer energia suplementar durante a partida da turbina. Detalhes adicionais com respeito a tipos específicos de turbinas a gás foram discutidos previamente com respeito à Figura 1.

Como mostrado na Figura 3, a planta de LNG 10 pode adicionalmente compreender uma pluralidade de resfriadores inter-estágio 25a a 25c operáveis para resfriar um ou mais fluxos parcialmente comprimidos originados a partir das turbinas a gás 16a, 19a, 22a através de troca de calor direta e/ou indireta com um refrigerante primário nos condutos P1, P2 e P3. Como ilustrado na Figura 3, o refrigerante primário introduzido e retirado dos resfriadores inter-estágio 25a a 25c pode ser originário de fontes de refrigerante 26a a 26c. Em geral, as fontes de refrigerantes 26a a 26c podem ser quaisquer dissipadores de calor adequados mecânicos, térmicos, ou de absorção capazes de remover pelo menos uma parte do calor armazenado nos fluxos de refrigerante primários aquecidos retirados dos resfriadores inter-estágio 25a a 25c. De acordo com uma modalidade, as fontes de refrigerante 26a a 26c podem compreender múltiplas zonas dentro de um único sistema

resfriador; enquanto, de acordo com outra modalidade, as fontes de refrigerante 26a a 26c podem compreender um ou mais sistemas resfriadores independentes. Em uma modalidade ilustrada na Figura 3, fontes de refrigerante 26a a 26c
5 podem empregar fluxos de refrigerante secundário nos condutos S1, S2, S3 para remover pelo menos uma parte do calor armazenado nos fluxos de refrigerante primário aquecido nos condutos P1, P2, P3 através de troca de calor direta e/ou indireta. Como mostrado na Figura 3, os fluxos
10 de refrigerante primário resfriado podem ser re-empregados nos resfriadores 25a a 25c e podem continuar como previamente discutido.

Fluxos de refrigerante primário e secundário podem compreender um fluido de transferência de calor adequada e
15 combinações destes. Fluxos de refrigerante primário e/ou secundário podem compreender refrigerantes hidrocarbonetos, refrigerantes não hidrocarbonetos, e combinações destes. De acordo com uma modalidade, os refrigerantes primário e/ou secundário podem compreender água, glicóis, e/ou alcoóis ou
20 podem ser um ou mais meios de transferência de calor disponíveis comercialmente, tal como, por exemplo, DOWFROST™ (disponível comercialmente pela Dow Chemical Company, de Midland, Michigan). Em outra modalidade, o refrigerante primário e/ou secundário pode compreender ar,
25 nitrogênio, ou dióxido de carbono. Em ainda outra modalidade, fluxos de refrigerante primário e/ou secundário podem compreender uma parte de um ou mais dos primeiro, segundo, e/ou terceiro refrigerantes empregados nos primeiro, segundo e/ou terceiro ciclos de refrigeração 13,
30 14, 15 da planta de LNG 10, representada na Figura 3.

Configurações específicas de resfriadores inter-estágio 25a a 25c e fontes de refrigerante 26a a 26c serão discutidas em detalhes brevemente com respeito às Figuras 4a, 4b, 5a, e 5b.

5 Voltando a Figura 3, adicionalmente ao primeiro compressor de refrigerante 16, o primeiro ciclo de refrigeração 13 pode compreender um primeiro resfriador 17 e um primeiro conjunto resfriador 18. O primeiro compressor de refrigerante 16 pode descarregar um fluxo de
10 refrigerante comprimido, que pode subsequentemente ser resfriado e pelo menos parcialmente liquefeito no resfriador 17. O fluxo refrigerante resultante pode em seguida entrar no primeiro conjunto resfriador 18, em que pelo menos uma parte do fluxo refrigerante pode resfriar o
15 fluxo de gás natural entrante no conduto 100 através de troca indireta de calor com a vaporização do primeiro refrigerante. O refrigerante gasoso pode sair do primeiro conjunto resfriador de refrigerante 18 e pode em seguida ser roteado para uma porta de entrada do primeiro
20 compressor de refrigerante 16 a ser recirculado como descrito previamente.

O primeiro conjunto resfriador de refrigerante 18 pode compreender um ou mais estágios de resfriamento operáveis para reduzir a temperatura do fluxo de gás
25 natural entrante no conduto 100 através de uma quantidade na faixa de 20°C até 120°C, de 25°C até 110°C, de 20°C até 120°C, ou de 40°C até 85°C. Tipicamente, o gás natural entrante no primeiro conjunto resfriador de refrigerante 18 através do conduto 100 pode ter uma
30 temperatura na faixa de -20°C a 95°C, de -10°C a 75°C,

ou de 10°C a 50°C. Em geral, a temperatura do fluxo de gás natural resfriado que sai do primeiro conjunto resfriador 18 pode estar na faixa de -55°C a -15°C, de -45°C a -20°C, ou de -40°C a -30°C. Em geral, a pressão do fluxo de gás natural no conduto 100 pode ficar na faixa de 690 kPa a 20.690 kPa, de 1.725 kPa a 6.900 kPa, ou de 2.760 kPa a 5.500 kPa. Porque a queda de pressão através do primeiro conjunto resfriador 18 pode ser menor do que 690 kPa, menor do que 345 kPa, ou menor do que 175 kPa, o fluxo de gás natural resfriado no conduto 101 pode ter substancialmente a mesma pressão que o fluxo de gás natural no conduto 100.

Como ilustrado na Figura 3, o fluxo de gás natural resfriado (também referenciado neste documento como o "fluxo de metano predominantemente resfriado") que sai do ciclo de refrigeração 13 pode em seguida entrar no segundo ciclo de refrigeração 14, que pode compreender um segundo compressor de refrigerante 19, um segundo resfriador 20, e um segundo conjunto resfriador 21. O refrigerante comprimido pode ser descarregado do segundo compressor de refrigerante 19 e pode subsequentemente ser resfriado e pelo menos parcialmente liquefeito no resfriador 20 antes de entrar no segundo conjunto resfriador 21. O segundo conjunto resfriador 21 pode empregar uma pluralidade de estágios de resfriamento para reduzir progressivamente a temperatura do fluxo predominantemente de metano no conduto 101 por uma quantidade na faixa de 30°C a 100°C, de 35°C a 85°C, ou de 50°C a 70°C através de troca indireta de calor com a vaporização do segundo refrigerante. Como mostrado na Figura 3, o segundo refrigerante vaporizado

pode em seguida ser retornado para uma porta de entrada do segundo compressor de refrigerante 19 antes de ser recirculado no segundo ciclo de refrigeração 14, como descrito previamente.

5 O fluxo de alimentação de gás natural 100 conterá usualmente etano e componentes mais pesados (C_2+) que podem resultar na formação de uma fase líquida rica em C_2+ em um ou mais estágios de resfriamento do segundo ciclo de refrigeração 14. A fim de remover o material de pesados
10 indesejados do fluxo predominantemente de metano antes de completar a liquefação, pelo menos uma parte do fluxo de gás natural que passa através do segundo conjunto resfriador de refrigerante 21 pode ser retirado através do conduto 102 e processado na zona de remoção de pesados 11,
15 como mostrado na Figura 3. O fluxo no conduto 102 pode ter uma temperatura na faixa de -110°C até -45°C , de -95°C até -50°C , de -85°C até -65°C . Tipicamente, o fluxo no conduto 102 pode ter pressão que fica dentro de 5 por cento, de 10 por cento, ou de 15 por cento da pressão do
20 fluxo de alimentação do gás natural no conduto 100.

A zona de remoção de pesados 11 pode compreender um ou mais separadores gás-líquido operáveis para remover pelo menos uma parte do material de hidrocarboneto pesado do fluxo predominantemente de metano. Tipicamente, a zona de
25 remoção de pesados 11 pode ser operada para remover benzeno e outros componentes aromáticos de peso molecular alto, que podem congelar em etapas de liquefação subsequentes e tamponar o equipamento do processo a jusante. Adicionalmente, a zona de remoção de pesados 11 pode ser
30 operada para recuperar os hidrocarbonetos pesados em um

fluxo de produto de gás natural líquido (NGL). Exemplos de componentes de hidrocarboneto típicos incluídos em fluxos de NGL podem incluir etano, propano, isômeros de butano, isômeros de pentano, e hexano e componentes mais pesados (ou seja, C₆+). A extensão da recuperação do NGL do fluxo predominantemente de metano impacta fundamentalmente uma ou mais características finais do produto LNG, tais como, por exemplo, índice Wobbe, conteúdo de BTU, maior valor de aquecimento (HHV), conteúdo de etano, e assim por diante.

Em uma modalidade, o fluxo de produto de NGL que sai da zona de remoção de pesados 11 pode ser sujeita a fracionamento adicional a fim de obter um ou mais fluxos de componente puro. Frequentemente, os fluxos de produto NGL e/ou seus constituintes podem ser usados como material de mistura a gasolina.

Como mostrado na Figura 3, um fluxo predominantemente de metano com pesados extraídos pode ser retirado da coluna de remoção de pesados 11 através do conduto 103 e pode ser roteado de volta ao segundo ciclo de refrigeração 14.

Geralmente, o fluxo no conduto 103 pode ter uma temperatura na faixa de -100°C a -40°C, de -90°C a -50°C, ou de -80°C a -55°C. A pressão do fluxo no conduto 103 pode tipicamente ser na faixa de 1.380 kPa a 8.275 kPa, de 2.420 kPa a 5.860 kPa, ou de 3.450 kPa a 4.830 kPa.

Como mostrado na Figura 3, o fluxo predominantemente de metano no conduto 103 pode subsequentemente ser adicionalmente através de um segundo conjunto resfriador de refrigerante 21. Em uma modalidade, o fluxo que sai do conjunto resfriador de refrigerante 21 através do conduto 104 pode ser completamente liquefeito e pode ter uma

temperatura na faixa de -135°C a -55°C , de -115°C a -65°C , ou de -95°C a -85°C . Geralmente, o fluxo no conduto 104 pode ficar a mesma pressão que o fluxo de gás natural entrante na planta de LNG no conduto 100.

5 Como ilustrado na Figura 3, o fluxo de transporte de LNG pressurizado no conduto 104 pode combinar com um fluxo no conduto 109 antes de entrar no terceiro ciclo de refrigeração 15, que é representado como geralmente compreendendo um terceiro compressor de refrigerante 22, um
10 resfriador 23, e um terceiro economizador de refrigerante 24. O refrigerante comprimido descarregado do terceiro compressor de refrigerante 22 entra no resfriador 23, onde o fluxo de refrigerante é refrigerado através de troca indireta de calor antes de entrar na zona de resfriamento
15 29. A zona de resfriamento 29 pode compreender um ou mais estágios de resfriamento operáveis para resfriar e condensar pelo menos parcialmente o fluxo predominantemente de metano no conduto 109. Em uma modalidade, a zona de resfriamento 29 pode ser definida pelo menos parcialmente
20 dentro de um ou mais dos primeiro e segundo conjuntos de resfriamento 18, 21 e/ou dentro do terceiro economizador de refrigerante 24. Quando uma parte da zona de resfriamento 29 é definida dentro de um ou mais dos primeiro, segundo e terceiro ciclos de refrigeração 13, 14, 15, em uma
25 modalidade, os respectivos ciclos de refrigeração podem definir uma ou mais passagens adicionais de resfriamento.

 Em uma modalidade adicional retratada na Figura 3, o terceiro economizador de refrigerante 24 pode compreender um ou mais estágios de resfriamento operáveis para resfriar
30 adicionalmente o fluxo predominantemente de metano

pressurizado no conduto 104 através de troca de calor indireta com a vaporização de refrigerante. Em uma modalidade, a temperatura do fluxo do fluxo de transporte de LNG pressurizado no conduto 105 pode ser reduzida por
5 uma quantidade na faixa de 2°C a 35°C , de 3°C a 30°C , ou de 5°C a 25°C no terceiro economizador de refrigerante 24. Tipicamente, a temperatura do fluxo de transporte de LNG pressurizado que sai do terceiro economizador de refrigerante 24 pode ficar na faixa de -170°C até -55°C ,
10 de -145°C até -70°C , ou de -130°C até -85°C .

Como mostrado na Figura 3, o fluxo de transporte de LNG resfriado que sai do terceiro economizador de refrigerante 24 pode em seguida ser roteado para a seção de resfriamento e expansão 12, onde o fluxo pode ser pelo
15 menos parcialmente sub-resfriado através de uma redução sequencial de pressão para próximo a pressão atmosférica pela passagem por um ou mais estágios de expansão. A seção de resfriamento e expansão 12 pode compreender na faixa de 1 a 6, de 2 a 5, ou de 3 a 4 estágios de expansão. Em
20 uma modalidade, cada estágio de expansão pode reduzir a temperatura do fluxo de transporte de LNG por uma quantidade na faixa de 5°C a 35°C , de $7,5^{\circ}\text{C}$ a 30°C , ou de 10°C a 25°C . Cada estágio de expansão compreende um ou mais expansores, que reduzem a pressão do fluxo liquefeito
25 para deste modo evaporar ou expandir uma parte deste. Exemplos de expansores adequados podem incluir, mas não estão limitados a, válvulas Jule-Thompson, bicos venturi, e turbo-expansores. Em uma modalidade da presente invenção, a seção de expansão 12 pode reduzir a pressão do fluxo de
30 transporte de LNG no conduto 105 por uma quantidade de 520

kPa a 3.100 kPa, de 860 kPa a 2.070 kPa, ou de 1.030 kPa a 1.550 kPa.

Cada estágio de expansão pode empregar adicionalmente um ou mais separadores vapor-líquido operáveis para separar a fase de vapor (ou seja, o fluxo de gás expandido) do fluxo de líquido resfriado. Como discutido anteriormente, o terceiro ciclo de refrigeração 15 pode compreender um ciclo de refrigeração de circuito aberto, ciclo de refrigeração de circuito fechado, ou uma combinação destes. Quando o terceiro ciclo de refrigeração 15 compreende um ciclo de refrigeração de circuito fechado, pelo menos uma parte do fluxo de gás expandido que sai da seção de expansão 12 pode ser usada como um refrigerante para resfriar pelo menos uma parte do fluxo de gás natural no conduto 104, e a parte restante do gás expandido pode ser usada em uma ou mais localizações interna ou externa a planta de LNG. Geralmente, quando o terceiro ciclo de refrigerante 15 compreende um ciclo de circuito aberto, o terceiro refrigerante pode compreender pelo menos 50 por cento em peso, pelo menos 75 por cento em peso, ou pelo menos 90 por cento em peso de gás expandido da seção de expansão 12, baseado no peso total do fluxo. Como ilustrado na Figura 3, o gás expandido da seção de expansão 12 através do conduto 106 pode entrar no terceiro economizador de refrigerante 24, onde o fluxo pode resfriar pelo menos uma parte do fluxo de gás natural que entra no terceiro economizador de refrigerante 24 através do conduto 104. O fluxo de refrigerante aquecido resultante pode em seguida sair do terceiro economizador de refrigerante 24 através do conduto 108 a pode depois disso ser roteado para uma porta de

entrada do terceiro compressor de refrigerante 22. Como
mostrado na Figura 3, o terceiro compressor de refrigerante
22 descarrega um fluxo de terceiro refrigerante comprimido,
que é depois disso resfriado no resfriador 23. O fluxo de
5 metano resfriado resultante no conduto 109 pode em seguida
ser adicionalmente resfriado na zona de resfriamento 29
antes de combinar com o fluxo de gás natural no conduto 104
antes de entrar no terceiro economizador de energia 24,
como discutido previamente.

10 Como mostrado na Figura 3, o fluxo de líquido que sai
da seção de expansão 12 através do conduto 107 pode
compreender LNG. Em uma modalidade, o LNG no conduto 107
pode ter uma temperatura na faixa de -130°C até -185°C ,
de -145°C até -170°C , ou de -155°C até -165°C e uma
15 pressão na faixa de 0 kPa a 345 kPa, de 35 kPa a 210
kPa, ou de 82,7 kPa a 210 kPa.

De acordo com uma modalidade, o conduto de LNG 107
pode compreender pelo menos 85 por cento em volume de
metano, pelo menos 87,5 por cento em volume de metano,
20 pelo menos 95 por cento em volume de metano, ou pelo menos
97 por cento em volume de metano, LNG no conduto 107 pode
compreender menos do que 15 por cento em volume de etano,
menos do que 10 por cento em volume de etano, menos do que
7 por cento em volume de etano, ou menos do que 5 por
25 cento em volume de etano. Em ainda outra modalidade, o LNG
no conduto 107 pode ter menos do que 2 por cento em volume
de material C_3+ , menos do que 1,5 por cento em volume de
material C_3+ , menos do que 1 por cento em volume de
material C_3+ , ou menos do que 0,5 por cento em volume de
30 material C_3+ . Em uma modalidade (não mostrada), o LNG no

conduto 107 pode subsequentemente ser roteado para armazenamento e/ou despachado para outro local através de tubulação, navio oceânico, caminhão, ou um outro meio de transporte adequado. Em uma modalidade, pelo menos uma
5 parte do LNG pode ser subsequentemente vaporizado para transporte por tubulação ou para uso em aplicações que requerem gás natural em fase de vapor.

Passando agora para as Figuras 4a e 4b e 5a e 5b, a nomenclatura numérica a seguir foi empregada. Os itens
10 numerados de 31 a 49 correspondem aos reservatórios do processo e equipamentos diretamente associados com o primeiro ciclo de refrigeração de propano 30, e itens numerados de 51 a 69 correspondem aos reservatórios do processo e equipamentos relacionados ao segundo ciclo de
15 refrigeração de etileno 50. Os itens numerados de 71 a 94 correspondem aos reservatórios do processo e equipamentos associados com o terceiro ciclo de refrigeração do metano 70 e/ou seção de expansão 80. Os itens numerados de 96 a 99 são reservatórios do processo e equipamentos associados com
20 a zona de remoção de pesados 95. Os itens numerados de 100 a 199 correspondem a linhas de fluxo ou condutos que contém predominantemente fluxos de metano. Os itens numerados de 200 a 299 correspondem a linhas de fluxo ou condutos que contém predominantemente fluxos de etileno. Os itens
25 numerados de 300 a 399 correspondem a linhas de fluxo ou condutos que contém predominantemente fluxos de propano. Os itens numerados de 600 a 699 correspondem às linhas de fluxo ou condutos bem como aos reservatórios do processo e equipamentos associados com o sistema de resfriamento
30 inter-estágio representado na Figura 4b, enquanto que os

itens numerados de 700 até 799 correspondem às linhas de fluxo ou condutos bem como correspondem aos reservatórios do processo e equipamentos associados com um sistema de resfriamento inter-estágio representado na Figura 5b.

5 Com referência primeiro as Figuras 4a e 4b, é ilustrada uma planta de LNG de acordo com uma modalidade da presente invenção. A parte da planta de LNG representada na Figura 4a compreende em geral um ciclo de refrigeração de propano 30, um ciclo de refrigeração de etileno 50, um
10 ciclo de refrigeração de metano 70 com uma seção de expansão 80m e uma zona de remoção de pesados 95.

Embora "propano", "etileno", e "metano" sejam usados para referenciar os respectivos primeiro, segundo e terceiro refrigerantes, deve ser entendido que a modalidade
15 ilustrada na Figura 4a e descrita aqui pode se aplicar a uma combinação de refrigerantes adequados. Os componentes principais do ciclo de refrigeração de propano 30 incluem um compressor de propano 31, um resfriador de propano 32, um conjunto resfriador de propano em estágio alto 33, um
20 conjunto resfriador de propano em estágio intermediário 34, e um conjunto resfriador de propano em estágio baixo 35. Os componentes principais do ciclo de refrigeração de etileno 50 incluem um compressor de etileno 51, um resfriador de etileno 52, um conjunto resfriador de etileno em estágio
25 alto 53, um primeiro conjunto resfriador de etileno em estágio baixo opcional 54, um segundo conjunto resfriador/condensador de etileno em estágio baixo 55, e um economizador de etileno 56. Os componentes principais do ciclo de refrigeração de metano 70 incluem um compressor de
30 metano 71, um resfriador de metano 72, um economizador

principal de metano 73, e um economizador secundário de metano 74. Os componentes principais da seção de expansão 80 incluem um expensor de metano de estágio alto 81, um tambor de expansão de metano de estágio alto 82, um expensor de metano de estágio intermediário 83, um tambor de expansão de metano de estágio intermediário 84, um expensor de metano de estágio baixo 85, um tambor de expansão de metano de estágio baixo 86.

A parte da planta de LNG representada na Figura 4a inclui uma zona de remoção de pesados localizada a jusante do primeiro conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 para remover componentes hidrocarbonetos pesados do gás natural processado e recuperar os líquidos de gás natural resultantes. A zona de remoção de pesados 95 da Figura 4a é mostrada como compreendendo em geral uma primeira coluna de destilação 96 e uma segunda coluna de destilação 97. A planta de LNG das Figuras 4a e 4b também inclui um sistema de resfriamento inter-estágio 600, representado na Figura 4b. As linhas A a I ilustram como o sistema de resfriamento inter-estágio 600 é integrado na planta de LNG na Figura 4a. O sistema de resfriamento inter-estágio 600 será discutido em mais detalhes brevemente com respeito à Figura 4b.

A operação da planta de LNG ilustrada na Figura 4a será descrita agora em mais detalhes, começando com o ciclo de refrigeração do propano 30. Um fluxo de entrada de ar (por exemplo, ar de combustão) no conduto A é introduzido dentro do acionador de turbina a gás 31a, que é usado para pelo menos parcialmente propelir o compressor de propano 31. Depois disso, um fluxo de ar parcialmente comprimido é

retirado de um estágio de baixa compressão da turbina a gás 31a e roteado para o sistema de resfriamento inter-estágio 600 ilustrado na Figura 4b através do conduto D, como mostrado na Figura 4a. Um fluxo de ar resfriado, parcialmente comprimido retirado do sistema de resfriamento inter-estágio 600 na Figura 4b pode então ser introduzido através do conduto E dentro da turbina de gás propano 31a, como ilustrado na Figura 4a. Detalhes adicionais com respeito à configuração e operação do sistema resfriador inter-estágio 600 serão discutidos em detalhes brevemente. Em geral, o compressor de propano 31 pode ser um compressor multi-estágio (por exemplo, três estágios). Em uma modalidade, os três estágios de compressão existem em uma única unidade, embora cada estágio de compressão possa ser uma unidade separada e as unidades possam ser mecanicamente acopladas e acionadas por um único acionador. Sob compressão, o propano é passado através do conduto 300 para o resfriador de propano 32, onde o mesmo é resfriado e pelo menos parcialmente liquefeito através de troca indireta de calor com um fluido externo (por exemplo, ar ou água). Uma temperatura e pressão representativas do propano liquefeito refrigerante que sai do resfriador 32 são de 38°C e 1.310 kPa.

Como mostrado na Figura 4a, o fluxo a partir do resfriador de propano 32 pode entrar no conduto 302 e pode ser passado para um meio de redução de pressão, ilustrado como válvula de expansão 36, em que a pressão do propano liquefeito é reduzida, em que desta forma uma parte do mesmo evapora ou se expande. O fluxo de duas fases resultante em seguida flui através do conduto 304 para

dentro de um conjunto resfriador de propano de estágio alto 33. O conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 usa meios de troca indireta de calor 37, 38 e 39 para resfriar respectivamente, os fluxos de gás entrantes, que incluem o
5 fluxo de refrigerante metano ainda a ser discutido no conduto 112, um fluxo de alimentação de gás natural no conduto 110, e um fluxo de etileno refrigerante ainda a ser discutido no conduto 202 através de troca de indireta de calor com o refrigerante vaporizado. O fluxo de metano
10 refrigerante resfriado sai do conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 através do conduto 130 e pode subsequentemente ser roteado para a entrada do economizador de metano principal 73, que será discutido em maiores detalhes em uma seção subsequente.

15 O fluxo de gás natural resfriado no conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 (também referenciado como o "fluxo rico em metano") flui através do conduto 114 para um reservatório de separação 40, onde as fases líquida e gasosa são separadas. A fase líquida, que
20 pode ser rica em propano e componentes mais pesados (C_3+), é removida através do conduto 303. A fase predominantemente de vapor sai do separador 40 através do conduto 116 e pode em seguida entrar no conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34, onde o fluxo é resfriado em meios
25 de troca indireta de calor 41 através de troca indireta de calor com um fluxo de propano refrigerante ainda a ser discutido. O fluxo rico em metano de duas fases no conduto 118 pode em seguida ser roteado para o conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35, onde o fluxo pode ser
30 adicionalmente resfriado através de meios de troca indireta

de calor 42. O fluxo predominantemente de metano resultante pode em seguida sair do conjunto resfriador de propano de estágio baixo 34 através do conduto 120. Subsequentemente, o fluxo rico em metano resfriado no conduto 120 pode ser
5 roteado para o conjunto resfriador de etileno de estágio alto 53, que será discutido em mais detalhes brevemente.

O propano refrigerante vaporizado pode ser retirado do conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 através do conduto 306 e pode em seguida ser introduzido na
10 porta de sucção de estágio alto do compressor de propano 31. O propano refrigerante líquido residual no conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 pode ser passado através do conduto 308 através de um meio de redução de pressão, ilustrado aqui como válvula de expansão 43, na
15 qual uma parte do refrigerante liquefeito é expandida ou vaporizada. O fluxo de refrigerante de duas fases resfriado resultante pode em seguida entrar no conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34 através do conduto 310, em que deste modo fornece refrigerante para o fluxo de gás
20 natural e o fluxo de etileno refrigerante ainda a ser discutido que entram no conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34. O propano refrigerante vaporizado sai do conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34 através do conduto 312 e pode em seguida
25 entrar na porta de entrada de estágio intermediário do compressor de propano 31. O propano refrigerante liquefeito restante sai do conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34 através do conduto 314 e é passado através de um meio de redução de pressão, ilustrado aqui como
30 válvula de expansão 44, na qual a pressão do fluxo é

reduzida para deste modo expandir ou vaporizar uma parte do mesmo. O fluxo de refrigerante vapor-líquido resultante em seguida entra no conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35 através do conduto 316 e resfria o fluxo rico em metano e de etileno refrigerante ainda a ser discutido que entram no conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35 através dos condutos 118 e 206, respectivamente. O fluxo de propano refrigerante em seguida sai do conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35 e é roteado para a porta de entrada de estágio baixo do compressor de propano 31 através do conduto 318 onde o mesmo é comprimido e reciclado como descrito previamente.

Como mostrado na Figura 4a, um fluxo de etileno refrigerante no conduto 202 entra no conjunto resfriador de propano de estágio alto 33, onde o fluxo de etileno é resfriado através de meios de troca de indireta de calor 39. O fluxo resfriado resultante no conduto 204 em seguida sai do conjunto resfriador de propano de estágio alto 33, depois do que o fluxo entra no conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34. Como consequência de entrar no conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34, o fluxo de etileno refrigerante pode ser resfriado adicionalmente através de meios de troca indireta de calor 45. O fluxo de etileno resfriado resultante pode em seguida sair do conjunto resfriador de propano de estágio intermediário 34 antes de entrar no conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35 através do conduto 206. No conjunto resfriador de propano de estágio baixo 35, o fluxo de etileno refrigerante pode ser pelo menos parcialmente condensado, ou completamente condensado,

através de meios de troca indireta de calor 46. O fluxo resultante sai do resfriador de propano de estágio baixo 35 através do conduto 208 e pode subsequentemente ser roteado para um acumulador 47, como mostrado na Figura 4a. O fluxo de etileno refrigerante liquefeito que sai do acumulador 47 através do conduto 212 pode ter uma temperatura e pressão de -30°C e 2.032 kPa.

Passando agora para o ciclo de refrigeração de etileno 50 na Figura 4a, o fluxo de etileno refrigerante liquefeito no conduto 212 pode entrar no economizador de etileno 56, onde o fluxo pode ser adicionalmente resfriado através de um meio de troca indireta de calor 57. O fluxo de etileno líquido sub-resfriado no conduto 214 pode em seguida ser roteado através de um meio de redução de pressão, ilustrado aqui como válvula de expansão 58, por meio da qual a pressão do fluxo é reduzida para deste modo expandir ou vaporizar uma parte do mesmo. O fluxo de duas fases resfriado no conduto 215 pode em seguida entrar no conjunto resfriador de etileno de estágio alto 53, onde pelo menos uma parte do fluxo de etileno refrigerante pode vaporizar para deste modo resfriar o fluxo rico em metano que entra em um meio de troca indireta de calor 59 do resfriador de etileno de estágio alto 53 através do conduto 120. O refrigerante vaporizado e liquefeito restante sai do resfriador de etileno de estágio alto 53 através dos respectivos condutos 216 e 220. O etileno refrigerante vaporizado no conduto 216 pode reentrar no economizador de etileno 56, onde o fluxo pode ser aquecido através de um meio de troca indireta de calor 60 antes de entrar na porta

de entrada de estágio alto do compressor de etileno 51 através do conduto 218, como mostrado na Figura 4a.

O refrigerante liquefeito restante no conduto 220 pode reentrar no economizador de etileno 56, onde o fluxo
5 pode ser adicionalmente sub-resfriado através de um meio de troca indireta de calor 61. O fluxo de refrigerante resfriado resultante sai do economizador de etileno 56 através do conduto 222 e pode subsequentemente ser roteado para um meio redutor de pressão, ilustrado aqui como
10 válvula de expansão 62, por meio do qual a pressão do fluxo é reduzida para deste modo vaporizar ou expandir uma parte do mesmo. O fluxo de duas fases resfriado resultante no conduto 224 entra no conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54, onde o fluxo de refrigerante
15 pode resfriar o fluxo de gás natural no conduto 122 que entra no conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 através de um meio de troca indireta de calor 63. Como mostrado na Figura 4a, o fluxo rico em metano resfriado resultante que sai do conjunto resfriador de
20 etileno de estágio baixo opcional 54 pode em seguida ser roteado para a zona de remoção de pesados 95 através do conduto 124. A zona de remoção de pesados 95 será discutida em detalhes em uma seção subsequente.

O refrigerante de etileno vaporizado sai do conjunto
25 resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 através do conduto 226, depois do que o fluxo pode se combinar com um fluxo de vapor de etileno ainda a ser discutido no conduto 238. O fluxo combinado no conduto 240 pode entrar no economizador de etileno 56, onde o fluxo é aquecido em
30 um meio de troca indireta de calor 64 antes de ser

alimentado na porta de estágio baixo do compressor de etileno 51 através do conduto 230.

Como mostrado na Figura 4a, um fluxo de ar de entrada (por exemplo, ar de combustão) no conduto B pode ser introduzido em um acionador de compressor de etileno da turbina a gás 51a, o qual é usado para pelo menos parcialmente impelir o compressor de etileno 51. De maneira similar a turbina de gás propano 31a, um fluxo de ar parcialmente comprimido retirado de uma turbina a gás de estágio baixo 51a pode ser roteado para o sistema de resfriamento inter-estágio 600 representado na Figura 4a através do conduto F antes de ser retornado para um estágio de compressão alta da turbina a gás 51a através do conduto G, como mostrado na Figura 4a. Em geral, o compressor de etileno 51 pode compreender um ou mais estágios de compressão. Em uma modalidade, existem três estágios de compressão em uma única unidade, embora cada estágio de compressão possa ser uma unidade separada e as unidades possam ser acopladas mecanicamente e acionadas por um único acionador. Em consequência da compressão, um fluxo de etileno refrigerante comprimido no conduto 236 pode subsequentemente ser roteado para o resfriador de etileno 52, onde o fluxo de etileno pode ser resfriado através de troca indireta de calor com um fluido externo (por exemplo, água ou ar). O fluxo de etileno pelo menos parcialmente condensado resultante pode em seguida ser introduzido através do conduto 202 no conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 para resfriamento adicional como descrito anteriormente.

O etileno refrigerante liquefeito remanescente sai do conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 através do conduto 228 antes de entrar no segundo condensador/conjunto resfriador de etileno de estágio baixo 5 55, onde o refrigerante pode resfriar o fluxo rico em metano que sai da zona de remoção de pesados 95 através do conduto 126 através de meios de troca indireta de calor 65 no segundo condensador/conjunto resfriador de etileno de estágio baixo 55. Como mostrado na Figura 4a, o etileno 10 refrigerante vaporizado pode em seguida sair do segundo condensador/conjunto resfriador de etileno de estágio baixo 55 através do conduto 238 antes de se combinar com o etileno vaporizado que sai do conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 e entrar na porta de 15 entrada de estágio baixo do compressor de etileno 51, como discutido previamente.

O fluxo de gás natural resfriado que sai do condensador/conjunto resfriador de etileno de estágio baixo também pode ser referenciado como o "fluxo de transporte de 20 LNG pressurizado". Como mostrado na Figura 4a, o fluxo de transporte de LNG pressurizado sai do segundo condensador/conjunto resfriador de etileno de estágio baixo 55 através do conduto 132 antes de entrar no economizador de metano principal 73. No economizador de metano principal 25 73, o fluxo rico em metano pode ser resfriado em um meio de troca indireta de calor 75 através de troca indireta de calor com um ou mais fluxos de metano refrigerante ainda a ser discutido. O fluxo de transporte de LNG pressurizado sai do economizador de metano principal 73 e pode em 30 seguida ser roteado através do conduto 134 para dentro da

seção de expansão 80 do ciclo de refrigeração de metano 70. Na seção de expansão 80, o fluxo predominantemente de metano resfriado passa através do expansor de metano de estágio alto 81, por meio do qual a pressão do fluxo é
5 reduzida para deste modo vaporizar ou expandir uma parte do mesmo. O fluxo rico em metano de duas fases resultante no conduto 136 pode em seguida entrar no tambor de expansão de metano de estágio alto 82, por meio do qual as partes de vapor e líquida podem ser separadas. A parte de vapor que
10 sai do tambor de expansão de metano de estágio alto 82 (ou seja, o gás expandido de estágio alto) através do conduto 143 pode em seguida entrar no economizador de metano principal 73, onde o fluxo é aquecido através de meios de troca indireta de calor 76. O fluxo de vapor aquecido
15 resultante sai do economizador de metano principal 73 através do conduto 138 e subsequentemente combina com o fluxo de vapor ainda a ser discutido que sai da zona de remoção de pesados 95 no conduto 140. O fluxo combinado no conduto 141 pode em seguida ser roteado para a porta de
20 entrada de estágio alto do compressor de metano 71, como mostrado na Figura 4a.

A fase líquida que sai do tambor de expansão de metano de estágio alto 82 através do conduto 142 pode entrar no economizador de metano secundário 74, onde o
25 fluxo de metano pode ser resfriado através de meios de troca indireta de calor 92. O fluxo resfriado resultante no conduto 144 pode então ser roteado para um segundo estágio de expansão, ilustrado aqui como expansor de estágio intermediário 83. O expansor de estágio intermediário 83
30 reduz a pressão do fluxo de metano que passa através dele

para deste modo reduzir a temperatura do fluxo através de vaporização ou expansão de uma parte do mesmo. O fluxo rico em metano de duas fases resultante no conduto 146 pode em seguida entrar no tambor de expansão de metano de estágio intermediário 84, onde as partes de líquido e vapor do fluxo podem ser separadas e podem sair do tambor de expansão de estágio intermediário através dos respectivos condutos 148 e 150. A parte de vapor (ou seja, o gás expandido de estágio intermediário) no conduto 150 pode reentrar no economizador de metano secundário 74, onde o fluxo pode ser aquecido através de um meio de troca indireta de calor 87. O fluxo aquecido pode em seguida ser roteado através do conduto 152 para o economizador de metano 73, onde o fluxo pode ser adicionalmente aquecido através de um meio de troca indireta de calor 77 antes de entrar na porta de entrada do estágio intermediário do compressor de metano 71 através do conduto 154.

O fluxo líquido que sai do tambor de expansão de metano de estágio intermediário 84 através do conduto 148 pode em seguida passar através de um expansor de estágio baixo 85, por meio do qual a pressão do fluxo rico em metano liquefeito pode ser adicionalmente reduzida para que deste modo uma parte do mesmo seja vaporizada ou expandida. O fluxo de duas fases resfriado resultante no conduto 156 pode em seguida entrar no tambor de expansão de metano de estágio baixo 86, onde as fases de vapor e líquida podem ser separadas. O fluxo líquido que sai do tambor de expansão de metano de estágio baixo 86 pode compreender o produto de gás natural liquefeito (LNG). O produto LNG, que está à pressão atmosférica, pode ser roteado através do

conduto 158 fluxo abaixo para subsequente armazenamento, transporte e/ou uso.

O fluxo de vapor que sai do tambor de expansão de metano de estágio baixo (ou seja, o gás expandido metano de estágio baixo) no conduto 160 pode ser roteado para o economizador de metano secundário 74, onde o fluxo pode ser aquecido através de um meio de troca indireta de calor 89. O fluxo resultante pode sair do economizador de metano secundário 74 através do conduto 162, depois do que o fluxo pode ser roteado para o economizador de metano principal 73 para ser adicionalmente aquecido através dos meios de troca indireta de calor 78. O fluxo de vapor de metano aquecido pode em seguida sair do economizador de metano principal 73 através do conduto 164 antes de ser roteado para a porta de estágio baixo do compressor de metano 71.

O compressor de metano 71 pode compreender um ou mais estágios de compressão e pode ser pelo menos parcialmente acionado através de um acionador de turbina a gás 71a. De maneira similar a turbina a gás propano 31a e turbina a gás etileno 51a, um fluxo de ar parcialmente comprimido retirado de um estágio baixo de turbina a gás metano 71a pode ser roteado para o sistema de resfriamento inter-estágio 600 representado na Figura 4b através do conduto H antes de ser retornado para a turbina a gás metano 71a através do conduto I, como mostrado na Figura 4a. Em uma modalidade, o compressor de metano 71 compreende três estágios de compressão em um único módulo. Em outra modalidade, os módulos de compressão podem ser separados, mas podem ser acoplados mecanicamente ao acionador de turbina de gás 71a. Como mostrado na Figura 4a, o fluxo de

metano refrigerante comprimido que sai do compressor de metano 71 pode ser descarregado para dentro do conduto 166, depois do que o fluxo pode ser resfriado através de troca indireta de calor com um fluido externo (por exemplo, água ou ar) no resfriador de metano 72. O fluxo de metano refrigerante resfriado que sai do resfriador de metano 72 pode em seguida entrar no conduto 112, depois do que o fluxo de metano refrigerante pode ser adicionalmente resfriado no ciclo de refrigeração de propano 30, como descrito em detalhes anteriormente.

Em consequência de ser resfriado no ciclo de refrigeração de propano 30, o fluxo de metano refrigerante pode ser descarregado para dentro do conduto 130 e ser subsequentemente roteado para o economizador de metano principal 73, onde o fluxo pode ser adicionalmente resfriado através de meios de troca indireta de calor 79. O fluxo sub-resfriado resultante sai do economizador de metano principal 73 através do conduto 168 e pode em seguida ser combinado com o fluxo com os pesados extraídos que sai da zona de remoção de pesados 95 através do conduto 126, como discutido anteriormente.

Passando agora para a zona de remoção de pesados 95, pelo menos uma parte do fluxo predominantemente de metano retirado do conjunto resfriador de etileno de estágio baixo opcional 54 através do conduto 124 pode subsequentemente ser introduzido dentro da primeira coluna de destilação 96. Como mostrado na Figura 2, pelo menos uma parte de um fluxo suspenso predominantemente de vapor retirado da primeira coluna de destilação 96 pode subsequentemente ser roteado para o segundo condensador de conjunto resfriador de

etileno de estágio baixo 55, onde o fluxo pode ser adicionalmente resfriado através de meios de troca indireta de calor 65, como discutido em detalhes previamente. Um fluxo do fundo rico em pesados predominantemente líquido retirado da primeira coluna de destilação 96 através do conduto 170 pode ser introduzido na segunda coluna de destilação 97. O fluxo do fundo predominantemente líquido que sai da segunda coluna de destilação através do conduto 171, que geralmente compreende NGL, pode ser roteado para fora da zona de remoção de pesados 95 para subsequente armazenamento, processamento e/ou uso futuro. O fluxo suspenso predominantemente de vapor retirado da segunda coluna de destilação 97 pode ser roteado através do conduto 140 para uma ou mais localizações dentro da planta de LNG. Em uma modalidade, o fluxo pode ser introduzido dentro da porta de sucção de estágio alto do compressor de metano 71. Em outra modalidade, o fluxo pode ser roteado para armazenamento ou sujeito a processamento adicional e/ou uso.

Passando agora para a Figura 4b, uma modalidade de um sistema de resfriamento inter-estágio 600 é ilustrada como geralmente compreendendo um trocador de calor primário 602 e um trocador de calor secundário 604. Passando para a operação do sistema de resfriamento inter-estágio 600 ilustrado na Figura 4b, um fluxo de ar de combustão não comprimido pode ser introduzido no trocador de calor primário 602, onde o fluxo pode ser resfriado em um meio de troca indireta de calor 608 através de troca indireta de calor com um fluxo resfriado de refrigerante primário que entra no trocador de calor 602 através do conduto 654. O

fluxo de ar resfriado resultante no conduto 650 pode ser roteado para as turbinas de gás 31a, 51a, 71a dos respectivos compressores de propano, etileno e metano 31, 51, 71 através dos condutos A, B, C como ilustrado na 5 Figura 4a.

Como discutido brevemente com respeito à Figura 4a, os fluxos de ar parcialmente comprimidos retirados dos estágios de compressão baixa das respectivas turbinas a gás 31a, 51a e 71a podem ser roteados para aquecer as entradas 10 de fluido do trocador de calor primário 602, como mostrado na Figura 4b. No trocador de calor primário 602, os fluxos de ar parcialmente comprimidos nos condutos D, F, H podem ser resfriados através dos respectivos meios de troca indireta de calor 606a a 606c para deste modo fornecer, 15 fluxos de ar parcialmente comprimidos resfriados nos condutos E, G, I. Como mostrado na Figura 4b, pelo menos uma parte destes fluxos de ar comprimidos resfriados podem subsequentemente ser roteados para um estágio de compressão mais alto de turbinas de gás 31a, 51a e 71a, como discutido 20 previamente com respeito à Figura 4a.

Novamente com referência a Figura 4b, o fluxo primário de refrigerante no conduto 656 pode ser introduzido no trocador de calor secundário 604, onde o fluxo pode ser resfriado em meios de troca indireta de 25 calor 612 através de troca indireta de calor com um fluxo de refrigerante secundário que entra no trocador de calor secundário 604 através do conduto 658. O fluxo aquecido resultante do refrigerante secundário pode ser roteado para outra localização para subsequente processamento, 30 armazenamento, uso e/ou descarte, enquanto o fluxo de

refrigerante primário resfriado pode ser reintroduzido no trocador de calor primário 602 através do conduto 654 para resfriar um ou mais fluxos de ar como discutido anteriormente.

5 Passando agora para as Figuras 5a e 5b, é ilustrada uma planta de LNG configurada de acordo com outra modalidade da presente invenção. A configuração da planta de LNG ilustrada nas Figuras 5a e 5b é similar a configuração de LNG descrita previamente com respeito às
10 Figuras 4a e 4b, acima, com numerais semelhantes designando componentes semelhantes. Agora será descrito em detalhes como a operação da planta de LNG retratada na Figura 5a, difere da operação da modalidade previamente descrita com respeito à Figura 4a.

15 Como mostrado na Figura 5a, fluxos de entrada de ar nos condutos A, B, C podem ser introduzidos nas entradas de ar de combustão das respectivas turbinas a gás 31a, 51a e 71a usadas para acionar pelo menos parcialmente os compressores de propano, etileno e metano 31, 51, 71.
20 Subsequentemente, os fluxos de ar parcialmente comprimido retirados dos estágios mais baixos das turbinas a gás 31a, 51a, 71a podem ser roteados para o sistema de resfriamento inter-estágio 700 representado na Figura 5b através dos respectivos condutos E, H, K antes de serem retornados para
25 as turbinas a gás 31a, 51a, 71a através dos respectivos condutos G, J, M como mostrado na Figura 5a. O sistema de resfriamento inter-estágio 700, ilustrado na Figura 5b, será discutido em detalhes brevemente.

Como ilustrado na Figura 5a, o fluxo de propano
30 comprimido descarregado a partir do compressor de propano

31 no conduto 300 pode subsequentemente ser passado através do resfriador de propano 32. O fluxo pelo menos parcialmente liquefeito resultante pode em seguida passar através do meio redutor de pressão 36 e, depois disso, o
5 fluxo no conduto 302 pode ser dividido em duas partes. A primeira parte, no conduto 304, pode ser introduzida no conjunto resfriador de propano de estágio alto 33 e pode ser usado para resfriar o fluxo de gás natural entrante na planta de LNG através do conduto 110, como discutido
10 anteriormente. A segunda parte do fluxo de refrigerante no conduto 302 pode ser roteada através do conduto D para o sistema de resfriamento inter-estágio 700, ilustrado na Figura 5b. Subsequentemente, os fluxos de refrigerante aquecidos nos condutos F, I, L a partir do sistema de
15 resfriamento inter-estágio 700 na Figura 5b podem respectivamente ser retornados para portas de sucção de estágio alto, estágio intermediário e estágio baixo do compressor de propano 31, como mostrado na Figura 5a.

Passando agora para a Figura 5b, outra modalidade de
20 sistema de resfriamento inter-estágio 700 é ilustrada como geralmente compreendendo primeiro, segundo e terceiro resfriadores inter-estágio 702, 704, 706. Em operação, um fluxo de ar de combustão no conduto 750a e um fluxo de ar parcialmente comprimido retirado de um estágio de baixa
25 compressão da turbina a gás propano 31a no conduto E pode ser introduzido dentro do primeiro resfriador inter-estágio 702. Como mostrado na Figura 5b, um fluxo de propano refrigerante resfriado retirado da descarga do compressor de propano 31 na Figura 5a pode ser introduzido no primeiro
30 resfriador inter-estágio 702 através do conduto D, como

mostrado na Figura 5b. No primeiro resfriador inter-estágio 702, o fluxo de ar de combustão e fluxo de ar parcialmente comprimido podem ser resfriados através de troca indireta de calor com o refrigerante vaporizado através dos respectivos meios de troca indireta de calor 706a e 706b. O
5 fluxo de ar de combustão resfriado e o fluxo de ar parcialmente comprimido resfriado resultantes podem ser retirados do primeiro resfriador inter-estágio 702 através dos respectivos condutos A e G.

10 Depois disso, os fluxos de ar resfriados podem ser respectivamente roteados para uma entrada de ar de combustão e um ou mais estágios de compressão de turbina a gás 31a, como ilustrado e discutido previamente com respeito à Figura 5a. Como mostrado na Figura 5b, um fluxo
15 de propano refrigerante vaporizado aquecido pode ser retirado da saída de refrigerante aquecido do primeiro resfriador inter-estágio 702 e pode subsequentemente ser roteado para a porta de sucção de estágio alto do compressor de propano através do conduto F, como mostrado
20 na Figura 5a, enquanto o propano refrigerante predominantemente líquido restante pode sair do primeiro resfriador inter-estágio 702 através do conduto 752, como ilustrado na Figura 5b.

Antes de entrar no segundo resfriador inter-estágio
25 704, o fluxo de propano refrigerante predominantemente líquido pode passar através de um meio de redução de pressão opcional, ilustrado aqui como válvula de expansão 710, onde a pressão do fluxo pode ser reduzida, evaporando ou expandindo uma parte do mesmo. O fluxo de refrigerante
30 resultante pode em seguida ser introduzido dentro de uma

entrada de refrigerante frio do segundo resfriador inter-
estágio 704. No segundo resfriador inter-estágio 704, um
fluxo de ar de combustão não comprimido no conduto 750b e
um fluxo de ar parcialmente comprimido retirado do estágio
5 de baixa compressão da turbina a gás etileno 51a no conduto
H podem ser resfriados através de troca indireta de calor
com o propano refrigerante vaporizado nos respectivos meios
de troca indireta de calor 708a e 708b. Um fluxo de propano
refrigerante vaporizado pode ser retirado do segundo
10 resfriador inter-estágio 704 através do conduto I e pode em
seguida ser introduzido na porta de sucção de estágio
intermediário do compressor de propano 31, como mostrado na
Figura 5a. O fluxo de ar de combustão resfriado resultante
retirado do segundo resfriador inter-estágio 704 através do
15 conduto B, como mostrado na Figura 5b, pode
subsequentemente ser roteado para uma entrada de ar de
combustão da turbina a gás 51a, enquanto o fluxo de ar
parcialmente comprimido resfriado retirado do resfriador
inter-estágio 704 através do conduto J pode ser introduzido
20 dentro de um estágio de maior compressão da turbina a gás
51a, como ilustrado na Figura 5a.

De acordo com uma modalidade representada na Figura
5b, o fluxo de propano predominantemente líquido
remanescente retirado do resfriador inter-estágio 704
25 através do conduto 754 pode opcionalmente passar através de
um meio de redução de pressão, ilustrado aqui como um
expansor 712. O fluxo de refrigerante resultante pode em
seguida ser introduzido em uma entrada de refrigerante
quente do terceiro resfriador inter-estágio 706, onde o
30 fluxo pode resfriar pelo menos parcialmente o fluxo de ar

de combustão não comprimido no conduto 750c e o fluxo de ar parcialmente comprimido retirado de um estágio de baixa compressão da turbina a gás metano 71a, ilustrada na Figura 5a, no conduto K através dos respectivos meios de troca indireta de calor 714a e 714b, como mostrado na Figura 5b. O fluxo de propano refrigerante predominantemente vaporizado resultante retirado do terceiro resfriador inter-estágio 706 através do conduto L pode subsequentemente ser roteado para a porta de sucção do estágio baixo do compressor de propano 31, como ilustrado na Figura 5a.

Em uma modalidade da presente invenção, os sistemas de produção de LNG ilustrados nas Figuras 1 a 3, 4a, 4b, 5a e 5b podem ser simulados em um computador com o uso de software de simulação de processo convencional a fim de gerar dados de simulação de processo em uma forma legível pelo homem. Em uma modalidade, os dados de simulação do processo podem ser na forma de uma saída de impressão de computador. Em outra modalidade, os dados de simulação do processo podem ser exibidos em uma tela, um monitor, ou outro dispositivo de visualização. Os dados de simulação podem então ser usados para projetar uma nova planta de LNG e/ou consertar ou expandir uma planta existente. Em outra modalidade, os resultados de simulação podem ser usados para otimizar a planta de LNG de acordo com um ou mais parâmetros operacionais. Exemplos de software adequado para produzir os resultados de simulação incluem o HYSIS™ ou Aspen Plus® da Aspen Technology, Inc. e o PRO/II® da Simulation Sciences Inc.

Faixas Numéricas

A presente descrição usa faixas numéricas para quantificar certos parâmetros relacionados à invenção. Deve ser entendido que quando faixas numéricas são fornecidas, tais faixas devem ser interpretadas como fornecendo um
5 suporte literal para as limitações da reivindicação que apenas enumeram o valor mais baixo da faixa bem como a limitação das reivindicações que enumeram apenas os valores superiores de uma faixa. Por exemplo, uma faixa numérica apresentada de 10 a 100 fornece suporte literal para uma
10 reivindicação que enumera "maior do que 10" (sem limites superiores) e uma reivindicação que enumera "menor do que 100" (sem limites inferiores).

Definições

Como usada neste documento, a expressão "turbina a
15 gás aeroderivativa" se refere a uma turbina a gás que tem um desenho baseado em um motor de aeronave que tenha sido adaptada para uso industrial.

Como usado neste documento, o termo "e/ou", quando usado em uma lista de dois ou mais itens, significa que um
20 um dos itens listados pode ser empregado por si próprio, ou uma combinação de dois ou mais dos itens listados pode ser empregada. Por exemplo, se uma composição é descrita como contendo os componentes A, B, e/ou C, a composição pode conter A sozinho, B sozinho, C sozinho, A e B em
25 combinação, A e C em combinação, B e C em combinação, ou A, B e C em combinação.

Como usada neste documento, a expressão "processo de refrigeração tipo cascata" se refere a um processo de refrigeração que emprega uma pluralidade de ciclos de
30 refrigeração, em que cada um emprega um componente

refrigerante puro diferente para resfriar sucessivamente o gás natural.

Como usada neste documento, a expressão "ciclo de refrigeração de circuito fechado" se refere a um ciclo de refrigeração em que substancialmente nenhum refrigerante entra ou sai do ciclo durante operação normal.

Como usados neste documento, os termos "compreender" e "compreende" são termos de transição sem limites fixados usados a partir de um objeto enumerado antes do termo para um ou mais elementos enumerados depois do termo. Onde o elemento ou elementos listados depois do termo de transição não são necessariamente os únicos elementos que compõem o objeto.

Como usados neste documento, os termos "contém" e "conter" têm o mesmo significado sem limites fixados que "compreender" e "compreende" fornecido anteriormente.

Como usados neste documento, os termos "economizador" ou "trocador de calor economizador" se referem a uma configuração que utiliza uma pluralidade de trocadores de calor que empregam meios de troca indireta de calor para transferir calor de forma eficiente entre fluxos do processo.

Como usada neste documento, a expressão "comunicação de fluxo fluido" entre dois componentes significa que pelo menos uma parte do fluido ou material do primeiro componente entra no, passa através, ou de outra forma entra em contato com o segundo componente.

Como usados neste documento, os termos "ter", "tem" e "têm" têm o mesmo significado sem limites fixados que "compreende" e "compreender", fornecido anteriormente.

Como usada neste documento, a expressão "hidrocarboneto pesado" e "pesados" se refere a um componente que seja menos volátil (ou seja, tenha um ponto de ebulição mais alto) do que metano.

5 Como usados neste documento, os termos "inclui", "incluindo" e "incluir" têm o mesmo significado sem limites fixados que "compreende" e "compreender", fornecido anteriormente.

10 Como usada neste documento, a expressão "pontos médios de ebulição à pressão padrão" se refere à temperatura na qual metade do peso de uma mistura de componentes físicos tenha sido vaporizada (ou seja, evaporada) a uma pressão padrão.

15 Como usada neste documento, a expressão "refrigerante misturado" se refere a um refrigerante que contém uma pluralidade de componentes diferentes, onde nenhum componente representa mais do que 65 por cento em mol do refrigerante.

20 Como usado neste documento, o termo "modular" se refere a uma turbina que tem segmentos intercambiáveis.

 Como usada neste documento, a expressão "gás natural" se refere a um fluxo que contém pelo menos 60 por cento em mol de metano, em que o saldo são inertes, etano, hidrocarbonetos mais altos, nitrogênio, dióxido de carbono,
25 e/ou uma quantidade menor de outros contaminantes tais como mercúrio, sulfeto de hidrogênio, e mercaptana.

 Como usados neste documento, os termos "líquidos de gás natural" ou "NGL" se referem a misturas de hidrocarbonetos cujos componentes são, por exemplo,
30 tipicamente mais pesados que metano. Alguns exemplos de

hidrocarbonetos componentes de fluxos de NGL incluem etano, propano, butano e isômeros de pentano, benzeno, tolueno e outros compostos aromáticos.

Como usada neste documento, a expressão "ciclo de refrigeração de circuito aberto" se refere a um ciclo de refrigeração em que pelo menos uma parte do refrigerante empregado durante a operação normal se origina do fluido que está sendo refrigerado pelo ciclo de refrigeração.

Como usados neste documento, os termos "predominantemente", "primariamente", "principalmente" e "na maior parte", quando usados para descrever a presença de um componente particular de um fluxo fluido, significam que o fluxo fluido compreende pelo menos 50 por cento em mol do componente enumerado. Por exemplo, um fluxo "predominantemente" de etano, ou um fluxo que compreende "na maior parte" metano cada um denota um fluxo que compreende pelo menos 50 por cento em mol de metano.

Como usada neste documento, a expressão "componente refrigerante puro" significa um refrigerante que não é um refrigerante misturado.

Como usados neste documento, os termos "montante" e "jusante" se referem a posições relativas de vários componentes de uma planta de liquefação de gás natural ao longo do caminho do fluxo fluido em uma planta de LNG. Por exemplo, um componente A está localizado a jusante de outro componente B se o componente A está posicionado ao longo de um caminho de fluxo fluido que já tenha passado através do componente B. Igualmente, o componente A está localizado a montante do componente B se o componente A está localizado

em um caminho do fluxo fluido que ainda não tenha passado através do componente B.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para liquefazer um fluxo de gás natural, compreendendo:

(a) resfriar pelo menos uma parte do dito fluxo de gás natural (110) através de troca indireta de calor com um primeiro refrigerante (300) em um primeiro ciclo de refrigeração (30) para produzir um fluxo de gás natural resfriado (120);

(b) resfriar adicionalmente pelo menos uma parte do fluxo de gás natural resfriado (120) através de troca indireta de calor com um segundo refrigerante (236) em um segundo ciclo de refrigeração (50) para fornecer um fluxo de gás natural adicionalmente resfriado (132); e o referido processo **caracterizado** pelo fato de que compreende:

(c) comprimir parcialmente um fluxo de ar (A) com um estágio de baixa compressão para fornecer um fluxo de ar parcialmente comprimido (E);

(d) resfriar um fluxo de ar (A) e o fluxo de ar parcialmente comprimido (E) através de troca indireta de calor com um refrigerante primário (D/300) selecionado do grupo consistindo em: primeiro refrigerante (D/300), segundo refrigerante (236), e uma combinação do primeiro e segundo refrigerante, para fornecer um fluxo de ar de entrada resfriado (A) e um fluxo de ar parcialmente comprimido resfriado (G), em que o fluxo de ar parcialmente comprimido (E) é retirado de um estágio de compressão intermediário de uma turbina a gás (31a) usada para acionar pelo menos um compressor de refrigerante (31) associado com o primeiro ou o segundo ciclo de refrigeração (30 ou 50), ou ambos; e

(e) introduzir o fluxo de ar de entrada resfriado (A) em uma entrada da turbina a gás (31a).

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de resfriamento (b)

resulta em um fluxo de refrigerante primário aquecido; adicionalmente compreende resfriar pelo menos uma parte do fluxo de refrigerante primário aquecido através de troca indireta de calor com um fluxo de refrigerante secundário para deste modo fornecer um fluxo de refrigerante primário resfriado e usar pelo menos uma parte do fluxo de refrigerante primário resfriado para obter pelo menos uma parte do resfriamento da etapa (d).

3. Processo, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o fluxo de refrigerante secundário compreende ar.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo refrigerantes (D/300 e 236) são cada um compreendidos predominantemente de hidrocarbonetos.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro refrigerante (D/300) é compreendido predominantemente de propano, propileno, etano ou etileno.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro refrigerante (D/300) é compreendido predominantemente de propano.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o segundo refrigerante (236) é um refrigerante de hidrocarbonetos misturados.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o segundo refrigerante (236) é compreendido predominantemente de etano, etileno, metano ou nitrogênio.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de resfriamento (d) resfria o fluxo de ar parcialmente comprimido (E) para uma temperatura que é pelo menos 1°C mais fria do que a

temperatura de um fluxo de ar não comprimido (A) que é fornecido na entrada da turbina a gás (31a).

10. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o fluxo de ar parcialmente comprimido (E) e o fluxo de ar (A) são resfriados em um trocador de calor comum.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a turbina a gás (31a) é turbina a gás de duplo eixo ou triplo eixo.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro refrigerante (D/300) é compreendido predominantemente de propano, em que o segundo refrigerante (236) é um refrigerante de hidrocarbonetos misturados.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende resfriar pelo menos uma parte do fluxo de gás natural resfriado (132) adicionalmente em um terceiro ciclo de refrigeração, em que o terceiro ciclo de refrigeração compreende um ciclo de refrigeração de nitrogênio.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende resfriar pelo menos uma parte do fluxo de gás natural resfriado adicionalmente em um terceiro ciclo de refrigeração (70), em que o dito terceiro ciclo de refrigeração (70) compreende um ciclo de refrigeração de metano de circuito aberto.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende intervir na etapa (b), separando pelo menos uma parte do fluxo de gás natural resfriado em uma coluna de remoção de pesados para fornecer um produto suspenso predominantemente de metano e um produto do fundo rico em pesados, em que o fluxo de gás natural adicionalmente resfriado compreende

pelo menos uma parte do produto suspenso predominantemente de metano (103).

16. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo refrigerantes (D/300 e 236) são refrigerantes de componente puro, em que os primeiro e segundo refrigerantes têm composições diferentes.

17. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende introduzir o fluxo de ar parcialmente comprimido resfriado (G) em um estágio de alta compressão da turbina a gás (31a).

18. Processo para liquefazer um fluxo de gás natural, compreendendo:

(a) comprimir um primeiro fluxo de refrigerante (300) em um primeiro compressor de refrigerante (31) para fornecer um primeiro fluxo de refrigerante comprimido (302), em que o primeiro compressor de refrigerante (31) é pelo menos parcialmente acionado através de uma primeira turbina a gás (31a), o referido processo **caracterizado** pelo fato de que compreende:

(b) comprimir um primeiro fluxo de ar (A) com um estágio de baixa compressão para fornecer um fluxo de ar parcialmente Comprimido (E);

(c) resfriar o fluxo de ar parcialmente comprimido (E) através de troca indireta de calor com pelo menos uma parte do primeiro fluxo de refrigerante comprimido (302/D) para fornecer um primeiro fluxo de ar resfriado (A) e um fluxo de ar parcialmente comprimido resfriado (G); e

(d) introduzir pelo menos uma parte do primeiro fluxo de ar resfriado (A) para dentro da primeira turbina a gás.

19. Processo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende resfriar um segundo fluxo de ar através de troca indireta de calor com o primeiro refrigerante para fornecer um segundo

fluxo de ar resfriado e introduzir o segundo fluxo de ar resfriado para dentro da primeira turbina a gás (31a), em que o segundo fluxo de ar é um fluxo de ar não comprimido, em que o segundo fluxo de ar resfriado é introduzido dentro do estágio de baixa compressão da primeira turbina a gás.

20. Processo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende resfriar um segundo fluxo de ar através de troca indireta de calor com o primeiro refrigerante para fornecer um segundo fluxo de ar resfriado e introduzir o segundo fluxo de ar resfriado para dentro de uma segunda turbina a gás (51a) usada para propulsionar um segundo compressor de refrigerante (51) operável para comprimir um segundo sistema de refrigerante (50).

21. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo fluxos de refrigerante têm composições diferentes.

22. Processo, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo fluxos de refrigerante são compreendidos predominantemente de hidrocarbonetos.

23. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro fluxo de refrigerante compreende predominantemente propano, em que o segundo fluxo de refrigerante compreende predominantemente etileno, etano, nitrogênio ou metano.

24. Processo, de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende usar pelo menos uma parte dos primeiro e segundo fluxos de refrigerante para resfriar o fluxo de gás natural para fornecer um fluxo de gás natural resfriado e resfriar adicionalmente o fluxo de gás natural resfriado através de troca indireta de calor com um terceiro refrigerante predominantemente de metano.

25. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro refrigerante é compreendido predominantemente de propano, em que o segundo refrigerante é um refrigerante de hidrocarbonetos misturados.

26. Processo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de resfriamento (b) resfria o primeiro fluxo de ar por não mais do que 25 °C, em que nada da etapa de resfriamento (b) é obtido através de troca direta de calor.

27. Processo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que a primeira turbina a gás (31a) é uma turbina multi-eixos.

28. Processo, de acordo com a reivindicação 18, **caracterizado** pelo fato de que adicionalmente compreende introduzir o fluxo de ar parcialmente comprimido resfriado (G) em um estágio de alta compressão da turbina a gás.

29. Processo, de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado** pelo fato de que compreendendo ainda a introdução do fluxo de ar parcialmente comprimido (G) resfriado a um estágio de alta compressão da turbina a gás.

30. Planta de gás natural liquefeito (LNG), compreendendo:
um primeiro ciclo de refrigeração (30) que compreende um primeiro compressor de refrigerante (31), um primeiro conjunto resfriador de refrigerante (33), e uma primeira turbina a gás (31a), em que o primeiro compressor de refrigerante (31) é operável para produzir um primeiro fluxo de refrigerante comprimido (302) e o primeiro conjunto resfriador (33) é operável para resfriar um fluxo de gás natural (110) através de troca de calor indireta com o primeiro fluxo de refrigerante comprimido (302) para produzir um fluxo de gás natural resfriado (120), em que o primeiro compressor (31) é acionado pela primeira turbina a

gás (31a), em que a primeira turbina a gás (31a) é uma turbina a gás multi-eixo que compreende um primeiro estágio de baixa compressão (416) e um primeiro estágio de alta compressão (418), a referida planta **caracterizada** pelo fato de que compreende: uma primeira zona de troca de calor operável para resfriar um primeiro fluxo de ar parcialmente comprimido (E) retirado do primeiro estágio de baixa compressão (416) através de troca indireta de calor com um primeiro fluxo de refrigerante comprimido (302/D) para produzir um primeiro fluxo de ar resfriado (G), em que o primeiro estágio de alta compressão (418) é configurado para receber o dito primeiro fluxo de ar resfriado (G).

31. Planta, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizada** pelo fato de que adicionalmente compreende um segundo ciclo de refrigeração (50) que compreende um segundo compressor de refrigerante (51) operável para produzir um segundo fluxo de refrigerante comprimido (236) e um segundo conjunto resfriador (53) operável para resfriar o fluxo de gás natural através de troca de calor indireta com o segundo fluxo de refrigerante comprimido (236), em que o segundo compressor (51) é acionado por uma dita segunda turbina a gás multi-estágio, multi-eixo (51a), em que a segunda turbina a gás compreende um segundo estágio de baixa compressão e um segundo estágio de alta compressão, a primeira zona de troca de calor adicionalmente operável para resfriar um segundo fluxo de ar parcialmente comprimido retirado do segundo estágio de baixa compressão através de troca indireta de calor com o dito primeiro refrigerante para produzir um segundo fluxo de ar resfriado, em que o segundo estágio de alta compressão é operável para receber o segundo fluxo de ar resfriado.

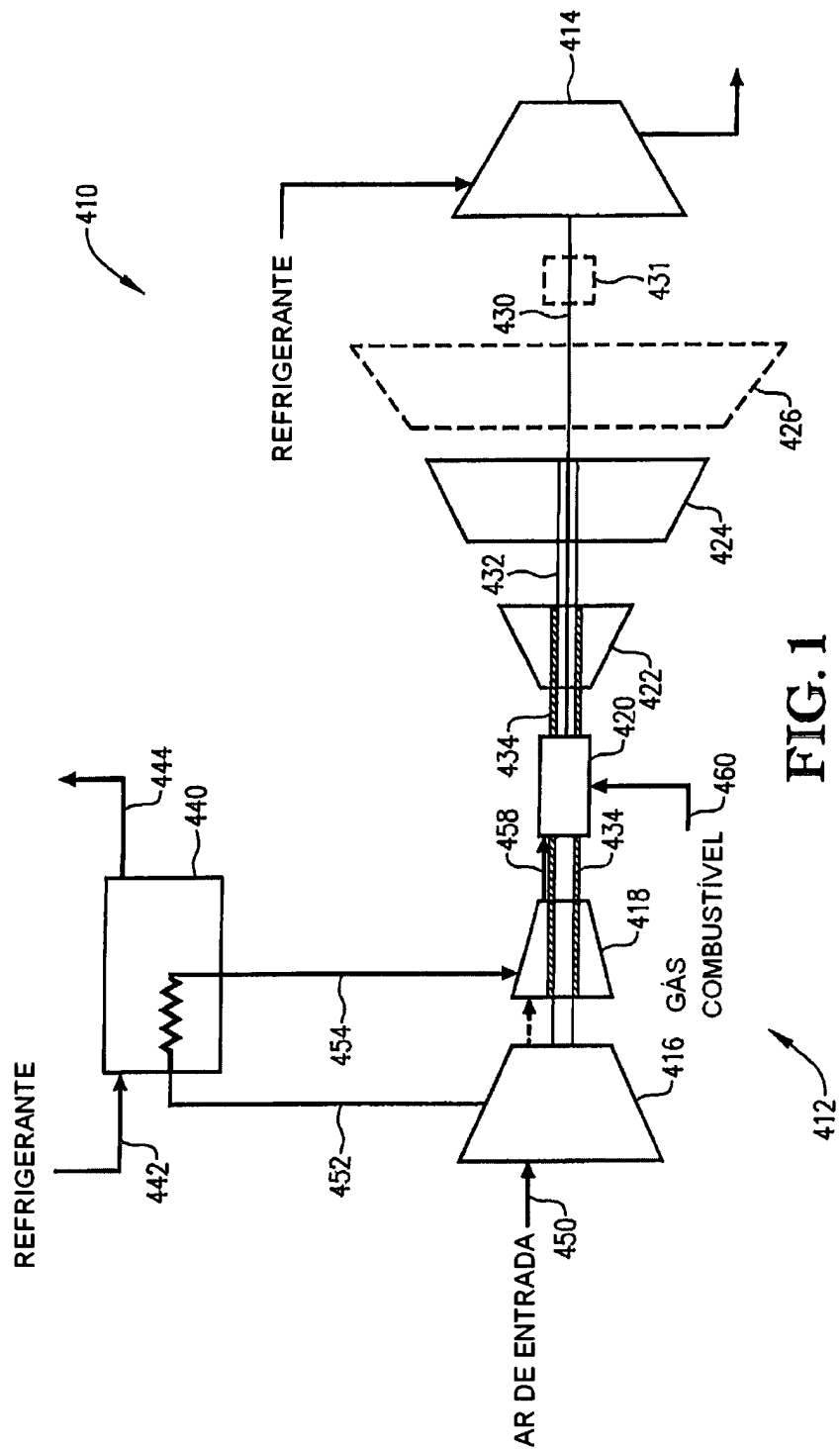
32. Planta, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizada** pelo fato de que o primeiro ciclo de refrigeração (30) compreende um ciclo de refrigeração de

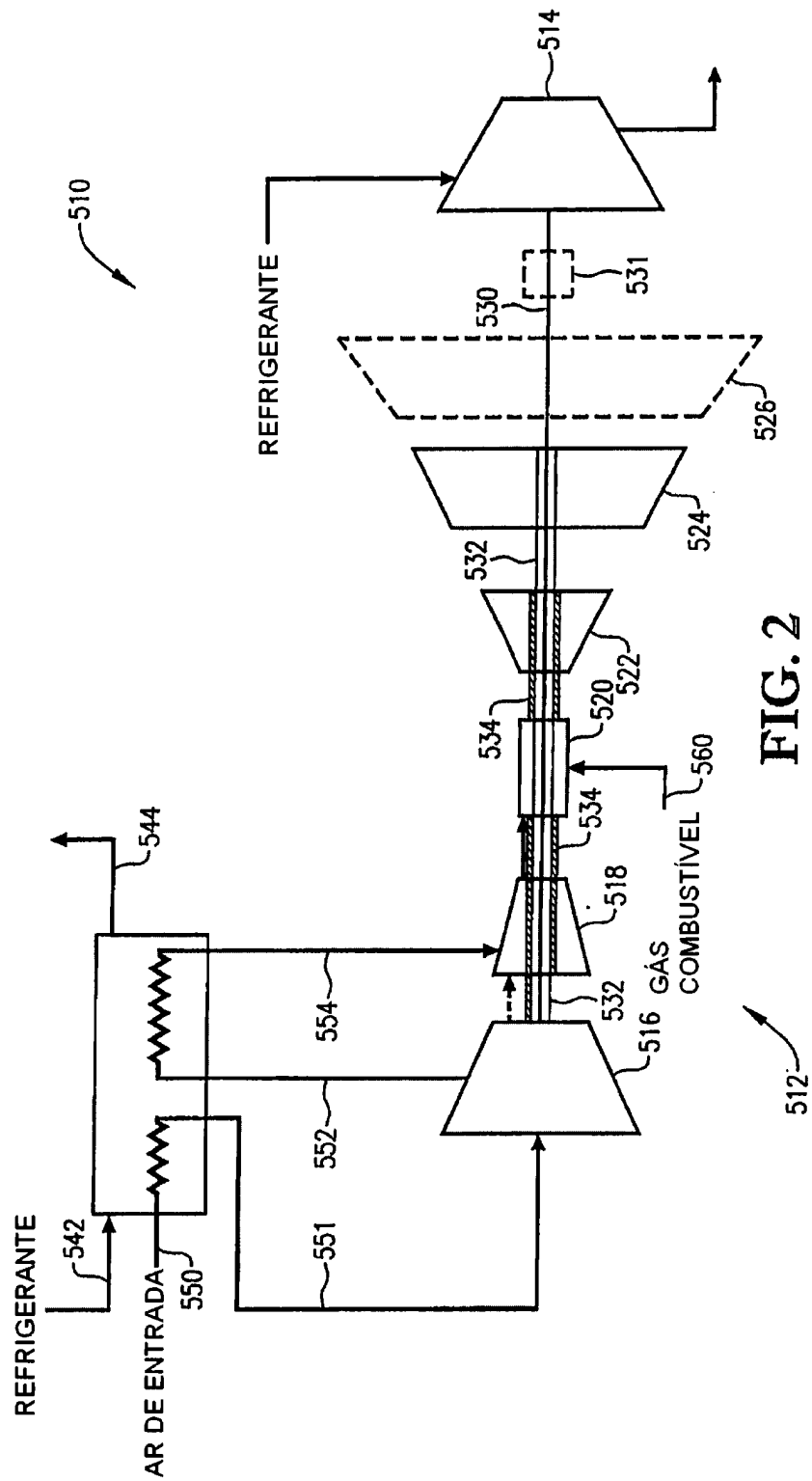
propano de circuito fechado, em que o segundo ciclo de refrigeração (50) compreende um ciclo de refrigerante misturado.

33. Planta, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizada** pelo fato de que o primeiro ciclo de refrigeração (30) compreende um ciclo de refrigeração de propano de circuito fechado, em que o segundo ciclo de refrigeração (50) compreende um ciclo de refrigeração de circuito fechado, em que o segundo refrigerante compreende predominantemente etano, etileno ou nitrogênio.

34. Planta, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizada** pelo fato de que a primeira zona de troca de calor compreende um único trocador de calor.

35. Planta, de acordo com a reivindicação 30, **caracterizada** pelo fato de que a primeira turbina a gás multieixos, multi-estágios (31a) é uma turbina a gás de triplo eixo.





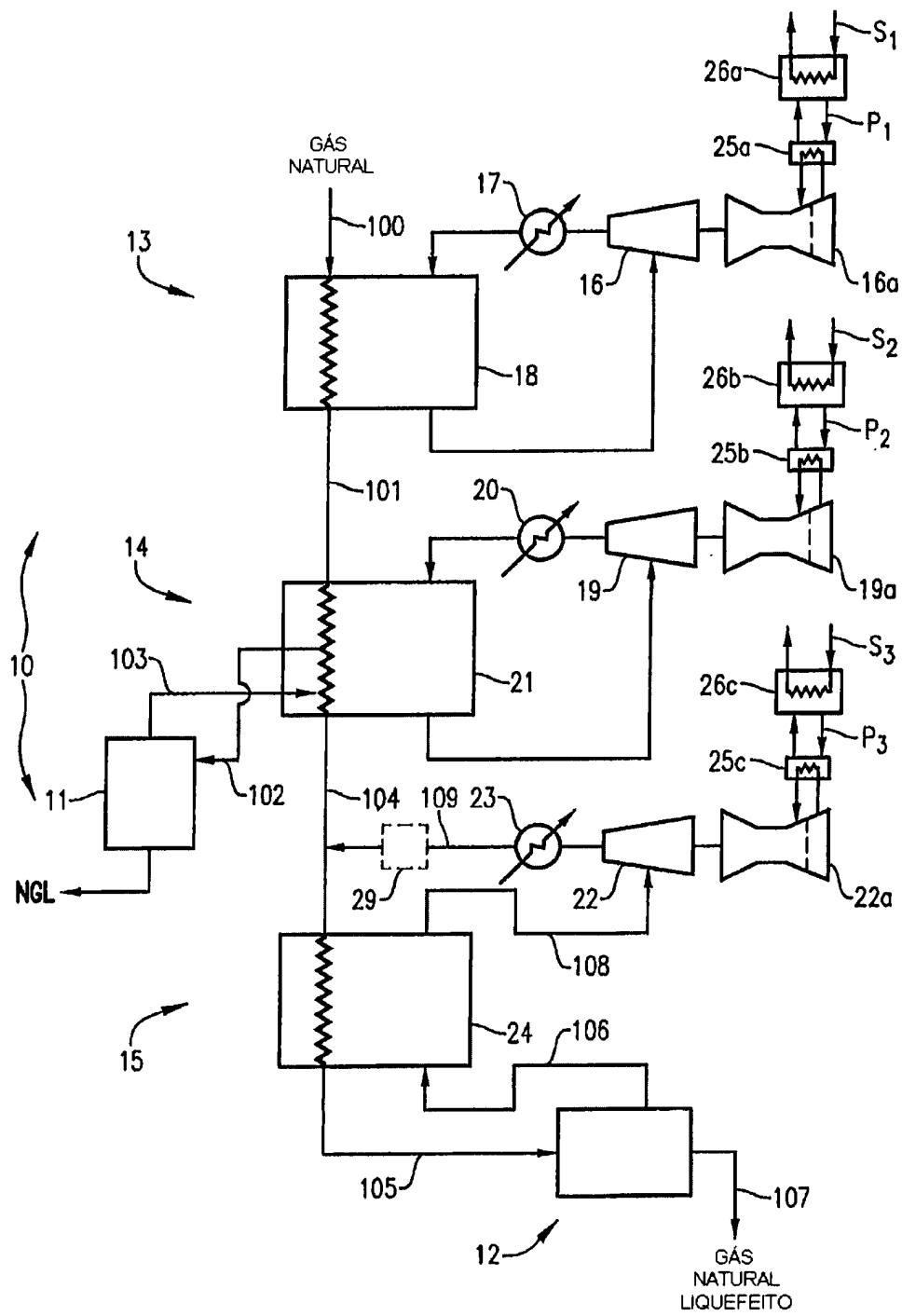
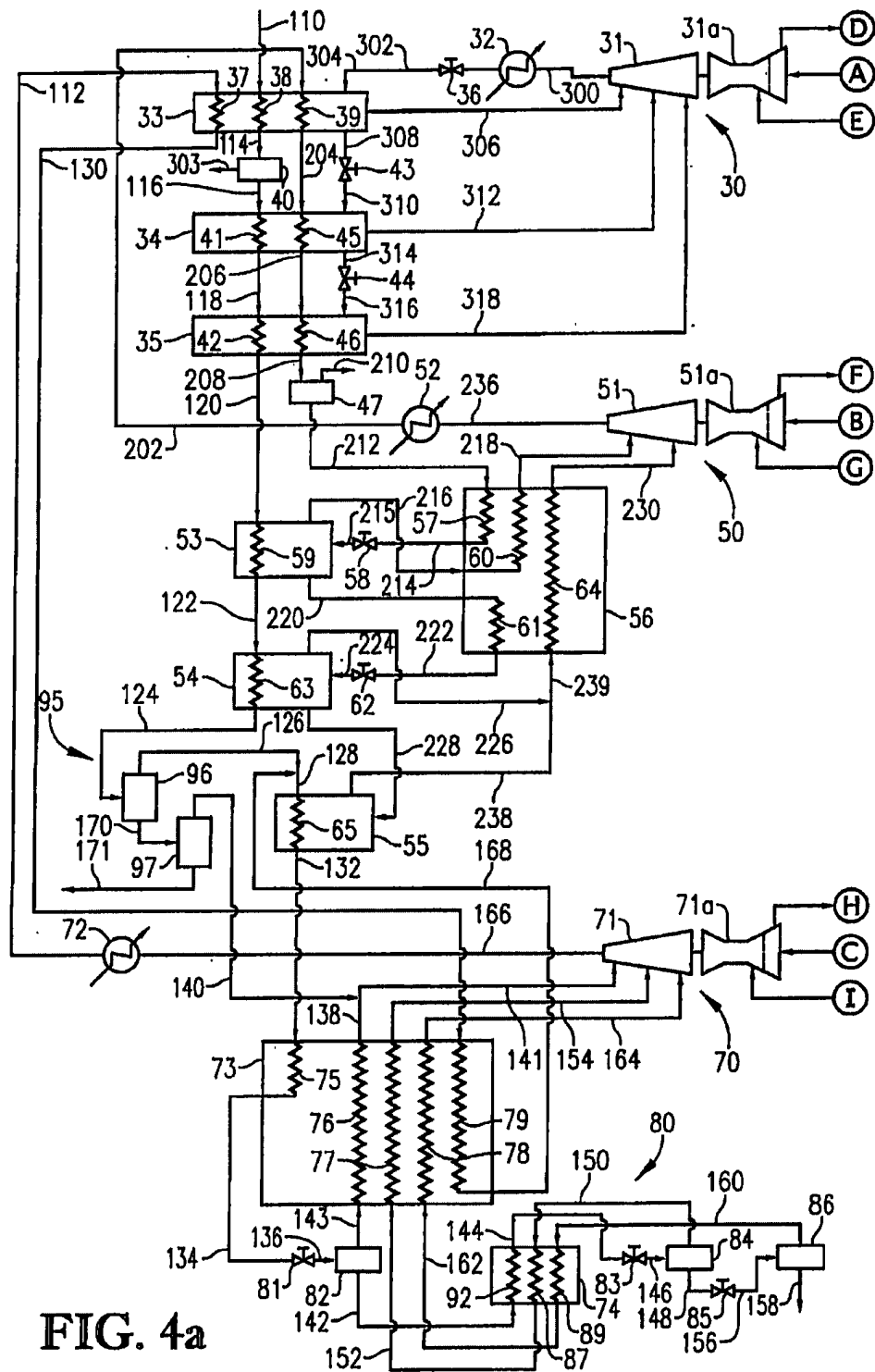


FIG. 3



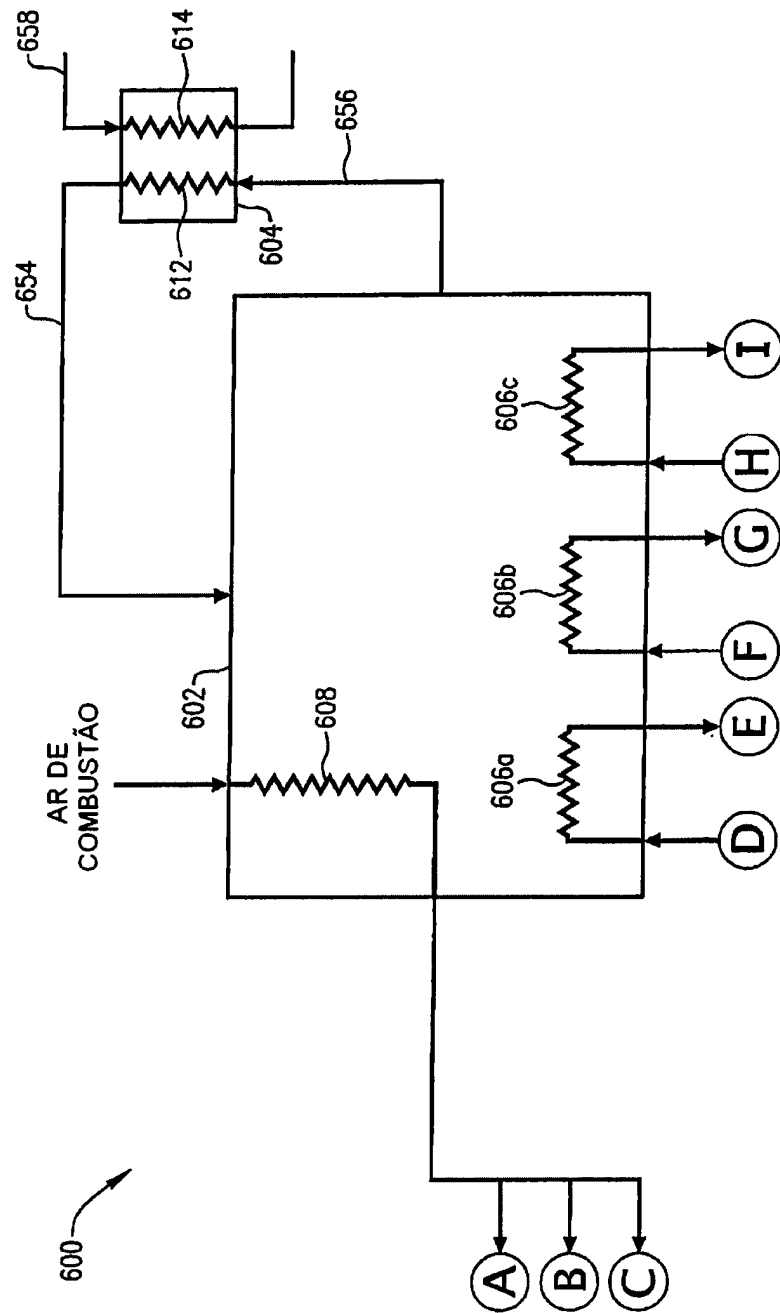


FIG. 4b

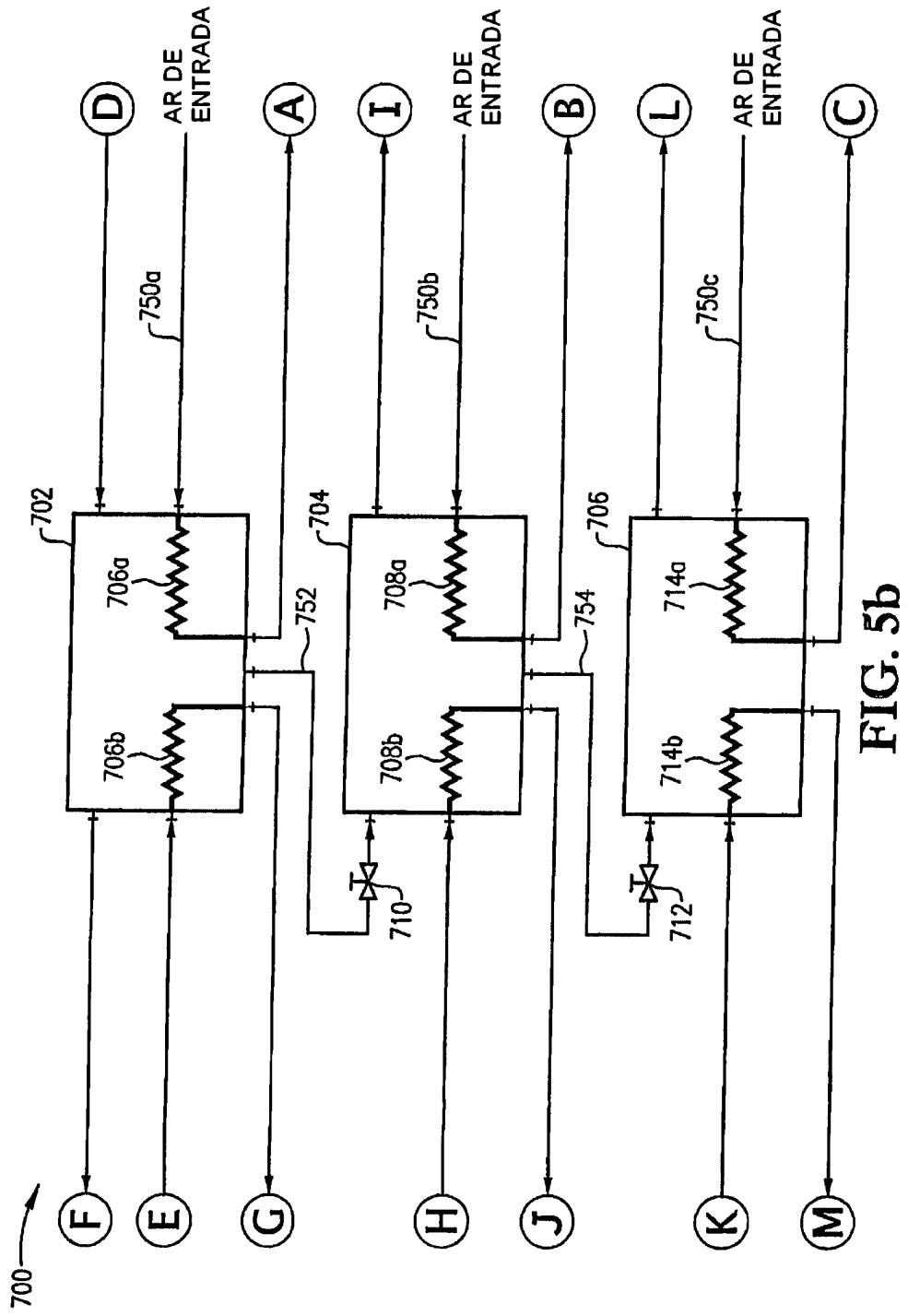


FIG. 5b