

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

(21) **PI0610881-4 A2**

(22) Data de Depósito: 06/06/2006  
(43) Data da Publicação: 03/08/2010  
(RPI 2065)



(51) *Int.Cl.:*  
F16L 59/14

(54) Título: **MÉTODO DE PREPARAR UM CONJUNTO TUBO-EM-TUBO ISOLADO E CONJUNTO DE TUBO-EM-TUBO ISOLADO**

(30) Prioridade Unionista: 21/01/2006 US 11/337.050,  
06/06/2005 US 60/687.672, 06/06/2005 US 60/687.672, 21/01/2006  
US 11/337.050

(73) Titular(es): CABOT CORPORATION

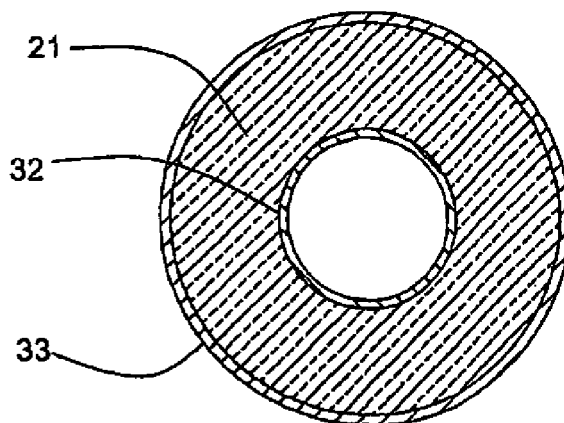
(72) Inventor(es): AARON H. JOHNSON, ANDRIES DU PLESSIS,  
HOBART C. KALKSTEIN, JOHN L. DINON, NIRMALYA MAITY,  
RAVIJIT PAINTAL

(74) Procurador(es): Orlando de Souza

(86) Pedido Internacional: PCT US2006021864 de 06/06/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/133155 de 14/12/2006

(57) Resumo: A invenção fornece um conjunto de tubo-em-tubo isolado compreendendo (a) pelo menos um tubo interno; (b) um tubo externo disposto em volta de pelo menos um tubo interno de modo a criar um espaço anular entre os tubos interno e externo; (c) um material poroso, resiliente, compressível disposto no espaço anular, e (d) um remanescente de um recipiente que previamente foi posicionado no espaço anular e previamente manteve o material compressível em um volume menor que o volume do material compressível no espaço anular. A invenção também fornece um método de produzir tal um conjunto de tubo-em-tubo isolado.



Ret 020080016798  
Pi 0610881-4

1/62

MÉTODO DE PREPARAR UM CONJUNTO TUBO-EM-TUBO ISOLADO E  
CONJUNTO DE TUBO-EM-TUBO ISOLADO

PEDIDOS ANTERIORES

Esse pedido reivindica a prioridade do pedido  
5 provisório U.S 60/687.672 depositado em 6 de junho de 2005  
e pedido de patente U.S 11/337.050 depositado em 21 de  
janeiro de 2006.

CAMPO DA INVENÇÃO

Essa invenção se refere a um conjunto de tubo-em-tubo  
10 termicamente isolante e um método de preparar o mesmo.

FUNDAMENTO DA INVENÇÃO

Na extração de hidrocarbonetos em águas profundas (por  
exemplo, óleo, gás ou suas misturas), óleo bruto ou gás é  
extraído debaixo do fundo do mar e transferido via um  
15 sistema de tubos para a superfície da água. É criticamente  
importante manter a temperatura do óleo ou gás fluindo  
através do tubo, o qual tipicamente é extraído em  
temperaturas elevadas (por exemplo, 60 a 300°C), em  
temperaturas acima de cerca de 40°C para evitar a  
20 precipitação de materiais sólidos e hidratos os quais podem  
levar ao tamponamento do tubo e interferir com produção.  
Como a temperatura da água em grandes profundidades é  
levemente acima da temperatura de congelamento (por  
exemplo, cerca de 4°C), providência deve ser tomada para  
25 isolar os tubos. Ainda, se fluxo de óleo ou gás deve ser  
quebrado para manutenção do poço ou por causa das condições  
rigorosas do tempo que afetam plataformas de superfície e  
interrompendo operações de bombeamento, é importante manter  
as temperaturas de brutos e gases residuais dentro do tubo  
30 e outros componentes do sistema do tubo (por exemplo,

árvores de natal ou árvores submarinas, colunas de ascensão, e o semelhante) acima, temperaturas de precipitação para os brutos e gases particulares sendo extraídos de modo a minimizar ou completamente evitar a  
5 despesa e necessidade de quebra a produção de desentupimento e/ou descarga do sistema de tubos antes de retomar a produção.

Para esse fim, muitos esforços têm sido feito para fornecer soluções eficazes e econômicas para o problema de  
10 isolar sistemas de tubos de gás e óleo submarinos. Um método particularmente bem aceito é fornecer um dito compreendendo um sistema de tubo-em-tubo segundo o qual um tubo interno é envolvido por um tubo externo servindo como um tubo de suporte, e segundo o qual o espaço anular  
15 definido pelo tubo interno e tubo externo contem um material isolante. Por exemplo, patente U.S 6.145.547 revela um conjunto tubo-em-tubo compreendendo uma placa auto-sustentável de material microporoso envolvendo um tubo de suporte interno e revestido por um tubo de suporte  
20 externo, segundo a qual uma passagem livre é fornecida para fluxo do gás longitudinal. O conjunto é mantido em pressão reduzida para isolamento térmico melhorado. Publicação do pedido de patente U.S 2004/0134556 A1 revela um sistema de isolamento térmico para corpos tubulares (por exemplo, um  
25 conjunto de tubo-em-tubo) compreendendo pelo menos dois painéis evacuados sobrepostos, cada dos quais é separadamente colocado em volta do tubo interno do conjunto de tubo-em-tubo, e segundo as quais as duas margens opostas que definem os vazios de cada dos pelos dois painéis são  
30 colocadas de modo a não coincidir e desse modo eliminar uma

passagem contínua para a transferência de calor entre os tubos internos e externos.

Similarmente, existe um grande interesse em tubos para transportar hidrocarbonetos liquefeitos (por exemplo, gás natural liquefeito, gás propano liquefeito). Nesse caso, isolamento térmico é requerido para manter a baixa temperatura do gás natural liquefeito (cerca de  $-163^{\circ}\text{C}$ ) para evitar vaporização do líquido devido à transferência de calor dos arredores mais quentes.

Adicionalmente, injeção de vapor é freqüentemente empregada para manter pressão no reservatório em campos de óleo e gás conforme os campos se tornam esgotados e desse modo para manter produção em uma taxa econômica. Em tal uma técnica, vapor deve ser transportado para o sítio de produção, o qual está freqüentemente distante do sítio de geração do vapor. Conseqüentemente, isolamento térmico dos tubos que carregam vapor é requerido para evitar condensação do vapor.

A transferência de fluidos quentes e fluidos criogênicos (por exemplo, gases industriais tais como oxigênio, nitrogênio, argônio e hidrogênio) em plantas industriais, sistemas HVAC, sistemas de aquecimento a vapor para empresas, municipalidade, ou campos universitários e prédios) e muitos outros meios também requerem isolamento. Em alguns desses casos, o tubo externo é uma cobertura simples que compreende um material tal como revestimento de alumínio ou tubo de PVC.

Entretanto, métodos existentes de isolar conjuntos de tubo-em-tubo permanecem deficientes em vários aspectos.

Painéis isolantes pré-formados e o semelhante, de

necessidade de reter vazios em isolamento quando colocados dentro dos conjuntos de tubo-em-tubo, ambos entre suas margens opostas e entre extremidades quando depositado extremidade a extremidade, permitindo a transferência de calor entre tubos internos e externos, o que reduz eficiência do isolamento e requer quantidades maiores de materiais isolantes. Manutenção de pressão reduzida dentro do espaço anular de alguns conjuntos tubo-em-tubo estabelece grandes demandas ao formar conjuntos a prova de vácuo e estabelece o desempenho do conjunto em risco deve o vácuo ser comprometido. Alguns materiais isolantes tal como espuma de poliuretano perdem eficiência de isolamento e/ou forma durante a vida útil. Outros materiais isolantes requerem o uso de um tubo externo de grande diâmetro para acomodar material isolante suficiente devido as capacidades de isolamento menos eficientes. Desse modo, permanece uma necessidade de métodos melhorados para preparar conjuntos de tubo-em-tubo isolantes.

#### BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção fornece um método de preparar um conjunto de tubo-em-tubo isolante, cujo método compreende (i) fornece um conjunto que compreende (a) pelo menos um tubo interno, (b) um tubo externo que é posicionado em volta de pelo menos um tubo interno de modo a criar um espaço anular entre a superfície externa de pelo menos um tubo interno e a superfície interna do tubo externo, e (c) pelo menos um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor que o volume desimpedido do material compressível, e segundo o qual pelo

menos um recipiente é disposto em (pelo menos um de) o espaço anular (es), e (ii) alterar o pelo menos um recipiente para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível para aumentar o volume do material compressível para um segundo volume que é maior do que o primeiro volume, por meio disso formando um conjunto de tubo-em-tubo-in-tubo isolante.

A invenção também fornece um conjunto tubo-em-tubo isolante compreendendo (a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (b) um tubo externo com uma superfície interna que é disposto em volta de pelo menos um tubo interno, (c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa do pelo menos um tubo interno, (d) um material poroso, resiliente, compressível disposto no espaço anular, e (e) um remanescente de um recipiente que previamente foi posicionado no espaço anular e previamente manteve o material compressível em um volume menor que o volume do material compressível no espaço anular.

A invenção também fornece um conjunto tubo-em-tubo isolante compreendendo (a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (b) um primeiro tubo externo ou outros meios de restrição com uma superfície interna que é disposta em volta do pelo menos um tubo interno, (c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa do pelo menos um tubo interno, (d) pelo menos um tubo externo adicional que é envenenado em volta do primeiro tubo externo de modo a criar uma superfície anular adicional entre a superfície externa do primeiro tubo externo e a superfície interna de um tubo

externo adicional (e) um material poroso, resiliente, compressível disposto em um ou mais dos espaços anulares, e (f) um remanescente de um recipiente que foi previamente envenenado em um ou mais dos espaços anulares e previamente manteve o material compressível em um volume menor do que o volume do material compressível no espaço anular (s).

A invenção ainda fornece um conjunto tubo-em-tubo isolante compreendendo (a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (b) um tubo externo com uma superfície interna que é disposta em volta de pelo menos um tubo interno, (c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa do pelo menos um tubo interno, e (d) sílica nanoporosa disposta no espaço anular, e segundo a qual a sílica nanoporosa tem uma densidade entre 80 kg/m<sup>3</sup> e cerca de 140 kg/m<sup>3</sup> e uma condutividade térmica de cerca de 20 mW/m.K ou menos quando medida entre uma superfície a cerca de 0°C e uma superfície em cerca de 25°C.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS VÁRIAS VISTAS DOS DESENHOS

Figura 1 ilustra uma modalidade de um recipiente selado útil no contexto da invenção.

Figura 2 ilustra uma vista transversal de dois recipientes selados da modalidade da figura 1 posicionados de modo a circundar um membro tubular interno.

Figura 3 ilustra um conjunto tubo-em-tubo tendo um tubo interno 5, um tubo externo 6, e dois recipientes selados da modalidade da figura 1, compreendendo um material poroso, resiliente, e volumetricamente compressível colocado entre o espaço anular definido por um tubo interno e um tubo externo.

Figura 4 ilustra o conjunto tubo-em-tubo da figura 3 após equalização da pressão de dois recipientes selados.

Figura 5 é uma vista transversal esquemática de um aparelho de molde no início e no final de um processo de  
5 formação de um recipiente selado útil no contexto da invenção.

Figura 6 ilustra um conjunto tubo-em-tubo segundo a qual uma luva ou revestimento é usado para restringir o material poroso, resiliente e volumetricamente compressível  
10 tal que um espaço vazio existe entre a luva e o tubo externo.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A invenção fornece métodos de preparar um conjunto e sistema de tubo-em-tubo isolante, assim como um sistema de  
15 conjunto de tubo-em-tubo.

O método da invenção de preparar um conjunto de tubo-em-tubo isolante compreende (i) fornecer um conjunto que compreende (a) pelo menos um tubo interno, (b) pelo menos um tubo externo que é posicionado em volta de pelo menos um  
20 tubo interno de modo a criar um espaço anular entre a superfície externa de pelo menos um tubo interno e a superfície interna do tubo externo (e opcionalmente espaços anulares adicionais entre a superfície externa de um tubo externo e a superfície interna de um tubo externo  
25 adicional), e (c) pelo menos um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor que o  
30 volume não restringido do material compressível, e segundo

o qual pelo menos um primeiro recipiente é disposto no espaço anular (ou um ou mais dos espaços anulares no caso de mais que um tubo externo ser utilizado), e (ii) alternar o pelo menos um recipiente para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível para aumentar o volume do material compressível para um segundo volume que é maior do que o primeiro volume, por meio disso formando um conjunto de tubo-em-tubo isolante.

O conjunto compreendendo pelo menos um tubo interno, pelo menos um tubo externo, e pelo menos um recipiente pode ser fornecido executando qualquer seqüência adequada de etapas. Por exemplo, o recipiente (s) pode ser disposto adjacente a superfície (s) externa do tubo (s) interno e/ou a superfície interna do tubo externo antes do posicionamento do tubo (s) interno e o tubo externo para formar o espaço anular. Outras variações irão ser facilmente aparentes para o técnico versado dentro do contexto da invenção, e o tubo (s) interno e/ou o tubo (s) externo podem ser manipulados para alcançar o posicionamento desejado do tubo (s) interno e tubo (s) externo.

Desse modo, o método da invenção de preparar um conjunto de tubo-em-tubo isolante compreende (i) fornecer pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (ii) fornecer pelo menos um tubo externo com uma superfície interna que é posicionada em volta de pelo menos um tubo interno (ou tubo externo) de modo a criar um espaço anular entre a superfície externa do tubo interno e a superfície interna do tubo externo (e/ou a superfície externa de um tubo externo e a superfície interna de outro tubo externo),

(iii) fornecer pelo menos um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, e segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor do que o volume não restringido do material compressível, (iv) posicionar pelo menos um recipiente para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível para aumentar o volume do material compressível para um segundo volume que é maior do que o primeiro volume, por meio disso formando um conjunto de tubo-em-tubo isolante, segundo as quais etapas (i)-(iv) podem ser realizadas em qualquer ordem adequada. Por exemplo, etapas (i)-(iv) podem ser realizadas na ordem citada acima. Alternativamente, etapas (i)-(iv) podem ser realizadas como se segue: (i) fornecer pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (ii) fornecer um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, e segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor do que o volume não restringido do material compressível, (iii) posicionar pelo menos um recipiente próximo a superfície externa de pelo menos um tubo interno, (iv) fornecer um tubo externo com uma superfície interna que é posicionada em volta de pelo menos um tubo interno e pelo menos um recipiente de modo a criar um espaço anular entre a superfície externa de pelo menos um tubo interno e a superfície interna do tubo externo, segundo o qual pelo menos um recipiente é geralmente disposto no espaço anular. Também, etapas (i)-

(iv) podem ser realizadas como se segue: (i) fornecer um tubo externo com uma superfície interna, (ii) fornecer um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, e segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor do que o volume não restringido do material compressível, (iii) posicionar pelo menos um recipiente próximo a superfície interna de um tubo externo, (iv) fornecer pelo menos um tubo interno com uma superfície externa que é posicionada dentro do tubo externo de modo a criar um espaço anular entre a superfície externa de pelo menos um tubo interno e a superfície interna do tubo externo, segundo o qual pelo menos um recipiente é geralmente disposto no espaço anular. Variações no método acima segundo os quais tubos externos adicionais são usados estarão facilmente aparentes para aqueles versados na técnica.

O conjunto de tubo-em-tubo isolante é tipicamente isolante para inibir transferência de energia térmica entre o tubo (s) interno e o meio envolvente (por exemplo, termicamente isolante). O material compressível pode ter qualquer condutividade térmica adequada, desejavelmente uma condutividade térmica de cerca de 20 mW/m.K ou menos (por exemplo, cerca de 12mW/m.K a cerca de 20 mW/m.K) quando medida entre uma superfície a cerca de 0°C e uma superfície a cerca de 25°C. A condutividade térmica pode ser medida, por exemplo, de acordo com ASTM C518. Está também dentro do escopo da invenção para o isolamento inibir a transferência de outras formas de energia, por exemplo, energia do som

entre o tubo (s) interno e o meio envolvente.

O tubo (s) interno e tubo (s) externo podem ser feitos de qualquer material adequado e podem ser feitos do mesmo ou diferente material. Para uso em transporte de óleo e gás submerso, os tubos são tipicamente feitos de metal ou ligas de metal, especialmente aço carbono, aço níquel ou aço inoxidável. Entretanto, em outras modalidades, materiais não metálicos são também adequados. Exemplos não limitantes de materiais para tubo não metálico adequados incluem elastômeros (incluindo sílicas), polímeros termorrígidos (incluindo epóxies e resinas), polímeros termoplásticos (incluindo polietileno, acrílico, policarbonato, polipropileno, poliamida, polivinilcloreto, poliestireno), espumas de polímero (incluindo espuma de poliuretano), compósitos de polímero (incluindo polímeros reforçados com fibra de carbono, fibra de vidro, polímeros com microesferas vítreas, polímeros com microesferas de polímero), e cerâmica. Em algumas modalidades, uma cobertura, material concêntricamente enrolado, ou revestimento podem ser usados como um tubo interno e/ou externo. Esses podem ser feitos de materiais imediatamente listados acima, polietileno de alta densidade (HDPE), alumínio, aço, aço galvanizado, ou outros materiais adequados e suas combinações. Aplicação de uma cobertura irá depender das propriedades específicas do material e amostras não limitantes incluem enrolar, extrudar, pulverizar, moldar ou termo-encolher.

Em algumas modalidades, o tubo (s) externo compreende (m) um material flexível capaz de submeter a deformação elástica sob aplicação de pressão. A pressão pode ser

aplicada à superfície externa do tubo externo, tal como quando o aparelho de tubo-em-tubo é submerso sob a água. A pressão pode também ser aplicada à superfície interna do tubo externo, por exemplo, quando o material compressível se expande contra o tubo externo de dentro do espaço anular do aparelho de tubo-em-tubo.

O tubo (s) interno pode compreender um material flexível também. Quando o tubo (s) interno e tubo externo compreendem materiais flexíveis, o conjunto de tubo-em-tubo irá propriamente ser flexível, o que vantajosamente permite o conjunto ser facilmente posicionado ou enrolado e/ou permite ajuste nos formatos não lineares, tal como em plantas industriais e o semelhante.

As espessuras da parede de pelo menos um tubo interno e tubo externo podem ser de qualquer valor adequado e tipicamente irão ser escolhidas para fornecer suficiente resistência para os tubos quando em operação. O tubo (s) interno tipicamente tem uma espessura de parede fornecendo suficiente resistência para conter a pressão gerada pelo fluxo de fluido, se líquido ou gás, o qual pode ser tão alto quanto 140 MPa (20.000 psi). O tubo externo pode ter qualquer resistência, por exemplo, espessura da parede, para aplicação intencionada. Por exemplo, em algumas aplicações em águas profundas, o tubo externo pode ter uma espessura de parede suficiente para substancialmente resistir a deformação do tubo enquanto sob alta pressão de água. Em aplicações subaquáticas mais rasas, ou para uso em pressão atmosférica (por exemplo, em terra seca), a espessura da parede do tubo externo pode ser relativamente fina. Já em outras aplicações, o tubo externo pode ser

elástico, que no caso a espessura da parede depende do material ou materiais particulares usados na fabricação do tubo externo e das pressões para quais o tubo externo está submetido. Como será discutido abaixo, o uso de materiais isolantes e métodos da invenção permite suporte mecânico melhorado para os tubos internos e externos. Isso pode permitir o uso de tubos externos e internos mais fundos do que são atualmente requeridos.

O tubo (s) interno e o tubo externo podem ter qualquer comprimento adequado. A escolha do comprimento pode ser ditada, pelo menos em parte, pelas limitações nas técnicas de fabricação, e pelas limitações impostas pelos métodos de transporte. O tubo externo tem uma superfície interna que é posicionada em volta do tubo (s) interno tendo uma superfície (s) externa. Alternativamente, o tubo interno tem uma superfície externa que é posicionada dentro do tubo externo tendo uma superfície interna. A colocação dos tubos com relação um a outro pode ser realizada por qualquer técnica adequada. Por exemplo, um dos tubos pode ser mantido estacionário enquanto o outro tubo é movido para o lugar. Quando o tubo externo compreende um material plástico (por exemplo, polímero termoplástico ou termorrígido), o tubo externo pode ser extrudado em volta do tubo (s) interno para formar o tubo externo enquanto simultaneamente coloca o tubo externo na posição em volta do tubo (s) interno. O espaço vazio entre a superfície (s) externa de um tubo (s) interno e a superfície interna do tubo externo, ou a superfície (s) externa de um tubo externo e a superfície interna de um tubo externo adicional, é definido aqui como o espaço anular. O espaço

anular pode ter qualquer pressão de gás adequado durante ou após preparação do conjunto de tubo-em-tubo isolante. Por exemplo, em algumas modalidades envolvendo recipientes selados e igualando a pressão no pelo menos um recipiente com a pressão do espaço anular para aumentar o volume do material compressível, a pressão do gás do espaço anular antes de alternar o pelo menos um recipiente é maior do que a pressão do gás reduzido dentro do pelo menos um recipiente. Tipicamente, a pressão do gás dentro do espaço anular está em pressão atmosférica durante e após realizar o método da invenção, embora, em algumas modalidades, a pressão do gás no espaço anular possa ser menor do que a pressão atmosférica, após realizar o método da invenção. Em outras modalidades, a pressão do gás dentro do espaço anular pode estar acima da pressão atmosférica durante e/ou após prática do método da invenção.

O espaço anular e o pelo menos um recipiente podem conter qualquer gás adequado. Tipicamente, o gás é ar. Entretanto, em algumas modalidades o gás pode ser um gás tendo uma condutividade térmica inferior a do ar. Exemplos de gases incluem argônio, kripton, dióxido de carbono, hidroclorocarbonos, hidrofluorocarbonos, hidroclorofluorocarbonos, perfluorohidrocarbonos, etano, propano, butano, pentano e suas misturas.

O recipiente compreende um material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, segundo o qual o primeiro volume do material compressível é menor do que o volume não restringido do material compressível. Quando o recipiente é

alterado para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível, o material compressível irá expandir para um segundo volume que é maior do que o primeiro volume.

Em uma primeira modalidade, o pelo menos um recipiente  
5 é colocado dentro de uma câmara de pressão e a pressão na câmara é reduzida abaixo da pressão atmosférica. O recipiente é selado para ser impermeável ao gás enquanto o recipiente é mantido na pressão reduzida na câmara. Uma vez o recipiente ter sido selado, ele é removido da câmara de  
10 pressão e a pressão fora do recipiente retorna para as condições atmosféricas enquanto a pressão dentro do recipiente é mantida no nível de pressão reduzida presente durante a selagem do recipiente. Certamente, quando a pressão do gás dentro do recipiente selado está abaixo da  
15 pressão atmosférica, o recipiente selado e seus conteúdos irão ser sujeitos a pressão diferencial entre pressão atmosférica fora do recipiente selado e a pressão do gás reduzido dentro do recipiente selado. O recipiente selado compreende um material poroso, resiliente, volumetricamente  
20 compressível. Como o recipiente é flexível e material compressível tem uma compressibilidade elástica, quando uma pressão externa (nesse caso pressão atmosférica) é aplicada ao recipiente selado e o material compressível, o volume do recipiente selado e o material compressível irá aumentar.  
25 Desse modo, nessa modalidade do método, o material compressível é restringido dentro do recipiente selado no primeiro volume pela ação de pressão atmosférica sob o recipiente selado.

Ao alterar o pelo menos um recipiente selado de modo a  
30 igualar a pressão no recipiente selado com a pressão dentro

do espaço anular, o material compressível irá expandir volumetricamente, desde que o recipiente permita expansão do material compressível. Por exemplo, o recipiente pode ser fisicamente quebrado (por exemplo, perfurado ou degradado) desse modo permitindo equalização da pressão e expansão do material compressível.

Em uma segunda modalidade, o material compressível é restringido no primeiro volume dentro de pelo menos um recipiente. Isto é, o próprio recipiente restringe o material compressível sem (ou, alternativamente, em adição a) ação de uma pressão diferencial entre a pressão dentro do recipiente a pressão fora do recipiente. O recipiente pode compreender um material uniforme, ou o recipiente pode ser ainda equipado com pelo menos um meio de restrição, segundo o qual o meio de restrição mantém o material compressível em um estado comprimido. O meio de restrição pode envolver pelo menos uma parte do recipiente e pode compreender, por exemplo, pelo menos uma cobertura ou faixa. A cobertura (s) ou faixa (s) pode compreender qualquer material adequado, e podem compreender o mesmo ou diferente material como o recipiente (s). Nessa modalidade da invenção, selagem do recipiente com um selo impermeável ao gás ou de outra forma é opcional.

O pelo menos um recipiente é posicionado para ser geralmente disposto no espaço anular. Desse modo, o recipiente (s) pode ser colocado diretamente no espaço anular após o tubo externo ser posicionado em volta do tubo (s) interno. O recipiente (s) pode ser colocado em posição com relação ao tubo (s) interno antes do tubo externo ser posicionado para envolver o tubo (s) interno tal que o

recipiente (s) estão no espaço anular sob sua formação. Finalmente, o recipiente (s) pode ser colocado em posição com relação ao tubo externo antes do tubo interno ser posicionado dentro do tubo externo tal que o recipiente (s) estão no espaço anular sob sua formação.

Por exemplo, o recipiente (s) pode ser colocado adjacente à superfície externa do tubo interno (s). O recipiente (s) pode ser mantido no lugar, se desejado, em qualquer maneira adequada. O recipiente (s) pode ser mantido no lugar com o uso de pelo menos um fecho aplicado à superfície externa do tubo (s) interno, a superfície externa do recipiente (s), ou ambas. Alternativamente, pelo menos um fecho pode ser usado para manter o recipiente (s) adjacente à superfície externa do tubo (s) interno. Se dois ou mais recipientes são empregados, os recipientes podem ser fixos um ao outro em qualquer maneira adequada (por exemplo, usando pelo menos um fecho).

O pelo menos um fecho pode ser qualquer fecho adequado. Exemplos não limitativos de fechos incluem composições adesivas, fitas adesivas, faixas, cliques, conjuntos de gancho e furo, e fechos de gancho e laço. Composições adesivas podem ser aplicadas a superfície externa do tubo (s) interno e/ou a superfície externa do recipiente (s) escovando, rolamento ou pulverizando. Fitas adesivas de dois lados podem ser usadas como fechos e podem ser aplicadas a ou o tubo (s) interno ou o recipiente (s). O próprio recipiente (s) pode compreender um material adesivo. O fecho pode compreender faixas incluindo faixas elásticas (por exemplo, borracha ou outras faixas elastoméricas), faixas não elásticas (por exemplo, metal,

polímero, faixas com alças), e faixas incluindo uma parte não elástica e uma parte elástica, segundo a qual a parte elástica pode compreender um elastômero ou um elástico (s). A faixa pode compreender uma cobertura circulando o recipiente (s) quando no lugar sobre o tubo (s) interno. 5 Certamente, as mesmas considerações se aplicam quando recipiente (s) são colocados juntos à superfície interna do tubo externo antes do posicionamento do tubo (s) interno.

Subseqüentemente, pelo menos um recipiente pode ser 10 alterado para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível para aumentar o volume do material compressível para um segundo volume que é maior do que o primeiro volume, por meio disso formando um conjunto de tubo-em-tubo isolante. Na primeira modalidade do método da 15 invenção, a alteração compreende equalização da pressão do gás no pelo menos um recipiente com a pressão do gás no espaço anular. Como observado acima, o material compressível dentro do recipiente (s) irá se expandir para um volume maior porque o efeito da pressão mais alta fora 20 do recipiente (s) é pelo menos parcialmente, e desejavelmente totalmente, neutralizada.

Na segunda modalidade da invenção, o pelo menos um recipiente é alterado para permitir um aumento no volume do material compressível e por meio disso formar um conjunto 25 de tubo-em-tubo isolante. A esse respeito, alteração se refere a qualquer operação que segue o material compressível para expandir. Exemplos de alterações adequadas incluem destruir a integridade do recipiente, transformando o recipiente inelástico em um recipiente 30 elástico, ou removendo ou alterando o meio de restrição

para o recipiente. Técnicas adequadas para alternar o recipiente (s) podem ser as mesmas técnicas para quebrar recipientes selados como apresentado aqui.

Após alteração do recipiente (s), o material compressível irá se expandir dentro do espaço anular, vantajosamente expandindo para substancialmente preencher o espaço anular e desse modo fornecer uma distribuição substancialmente uniforme de material compressível dentro do espaço anular. Subseqüentemente, o espaço anular preferivelmente é substancialmente livre de quaisquer vazios ou aberturas, especialmente tais vazios ou aberturas que degradam o desempenho térmico do sistema.

Opcionalmente, o método da invenção compreende uma outra etapa de selar pelo menos uma extremidade do conjunto de tubo-em-tubo. Todas extremidades do conjunto de tubo-em-tubo podem ser seladas de modo a totalmente fechar o espaço anular (enquanto permite protubo fluir dentro de um ou mais tubos internos). Qualquer método adequado pode ser usado para selar uma ou mais extremidades do conjunto de tubo-em-tubo, um número do qual são bem conhecidos na técnica. A esse respeito, conjuntos de tubo-em-tubo tendo três ou mais extremidades são também considerados estarem dentro do escopo da invenção, incluindo, por exemplo, configurações de tubo-em-tubo tendo uma configuração de "T" ou um "Y", cujas configurações têm três extremidades. Outras configurações, tal como circuito de expansão em "U", irão estar facilmente aparentes para a pessoa versada.

Tipicamente, a pressão dentro do espaço anular é substancialmente pressão atmosférica durante prática do método da invenção. Na primeira modalidade do método do

método da invenção, segundo o qual o recipiente (s) compreende um recipiente (s) selado em um primeiro volume sob uma pressão reduzida, vantajosamente a pressão diferencial entre a pressão de gás reduzido dentro do recipiente (s) selado e a pressão dentro do espaço anular irá ser maximizada e então permitir expansão máxima dos materiais compressíveis sob equalização da pressão dentro do recipiente (s) selado com a pressão dentro do espaço anular. Se o espaço anular é selado nas extremidades terminais do conjunto para fornecer um espaço anular totalmente fechado, a pressão dentro do espaço anular pode ser reduzida para abaixo da pressão atmosférica, preferivelmente após igualar a pressão dentro do recipiente (s) selado com a pressão dentro do espaço anular. A pressão dentro do espaço anular pode também ser mantida em pressão atmosférica ou aumentada para acima da pressão atmosférica após selar as extremidades terminais do conjunto.

O volume do recipiente (s) antes de alterar o recipiente (s) é menor que ou igual ao volume do espaço anular. Como resultado, o espaço anular permite o ajuste do recipiente (s) no espaço anular e permite pelo menos alguma expansão de material compressível dentro do espaço anular. Tipicamente, o volume do recipiente (s) antes de alterar o recipiente (s) é cerca de 99% ou menos (por exemplo, cerca de 95% ou menos, ou cerca de 90% ou menos, ou cerca de 85% ou menos) do volume do espaço anular. Preferivelmente, o volume do recipiente (s) antes de alterar o recipiente (s) é cerca de 70% ou mais (por exemplo, cerca de 80% ou mais, ou cerca de 85% ou mais) do volume do espaço anular. O volume do recipiente (s) é tipicamente escolhido baseado na

configuração do recipiente (s) e no grau para o qual o material compressível irá permanecer comprimido após alteração do recipiente (s).

A diferença entre o primeiro volume do material compressível sob restrição e o volume não restringido do material compressível é representativo da quantidade de compressão que o material compressível é submetido quando incluído dentro do recipiente (s). Tipicamente, o primeiro volume do material compressível sob restrição é cerca de 80% ou menos (por exemplo, cerca de 70% ou menos, ou cerca de 60% ou menos, ou mesmo cerca de 50% ou menos) do volume não restringido do material compressível.

Após alterar o recipiente (s) para reduzir o nível de restrição sobre o material compressível, o material compressível desejavelmente substancialmente preenche o espaço anular. Como observado acima, vantajosamente o material compressível irá se expandir dentro do espaço anular e irá preencher quaisquer vazios dentro do espaço anular, desse modo fornecendo uma distribuição substancialmente uniforme do material compressível dentro do espaço anular.

Em uma modalidade, o material compressível, após alterar o recipiente (s), tem substancialmente o volume não restringido do material compressível, cujo volume é substancialmente o volume do espaço anular.

Em outra modalidade, o material compressível, após alterar o recipiente (s), tem um volume não restringido que é cerca de 1% ou mais, preferivelmente cerca de 10% ou mais (por exemplo, cerca de 20% ou mais, ou cerca de 30% ou mais) maior que o volume do espaço anular. Em outras

palavras, o segundo volume do material compressível no espaço anular após alterar o recipiente (s) é pelo menos cerca de 9% (por exemplo, pelo menos cerca de 17%, ou pelo menos cerca de 23%) menor do que o volume não restringido do material compressível. Isto é, o material compressível desejavelmente poderia preencher demais o espaço anular após alternar o recipiente (s) se não para a restrição sobre o material compressível pelos tubos interno e externo. O excesso de preenchimento do espaço anular com o material compressível é desejável por causa da melhora nas características de isolamento do conjunto de tubo-em-tubo do preenchimento de vazios dentro do espaço anular com o material compressível e a compressão contínua por alguma extensão do material compressível após alterar o recipiente (s) o qual pode melhorar desempenho de isolamento. A força residual com o excesso de preenchimento do espaço anular ajuda na migração ou movimento do material compressível nos vazios dentro do espaço anular e desse modo melhora a uniformidade de distribuição do material compressível dentro do espaço anular. Ainda, conforme descrito abaixo, a força residual vantajosamente permite o uso do material comprimido para obter benefícios mecânicos como um meio de transferir força (s) longitudinal e/ou radial entre o tubo (s) interno e o tubo externo. Em particular, essa força residual cria um nível de fricção entre o tubo (s) interno e material compressível, e/ou o tubo externo e o material compressível, de modo a ajudar evitar movimento indesejado dos tubos dentro do conjunto de tubo-em-tubo. Material isolante poroso, resiliente, volumetricamente compressível e especialmente o material compressível preferido tal como

aerogel, mais particularmente aerogel Nanogel® (disponível de Cabot Corporation, Boston, MA) tem propriedades como elasticidade e conseqüentemente pode haver força residual no material que age em ambos os tubos interno e externo, especialmente onde o material não restringido substancialmente preenche (ou mesmo preenche demais) o espaço anular. Essa força residual é similar a força que um elástico exerce quando sob compressão, exceto no caso do material a força pode ser bi- ou tri ou mesmo omni-  
10 direcional em vez de uni-direcional. Essa força residual permite o material isolante formar uma "ligação" mecânica (através da fricção) entre o tubo (s) interno e um tubo externo ou entre o tubo (s) externo. A resistência dessa ligação irá depender da quantidade de material no espaço  
15 anular, a natureza do material e o material do tubo. Em outras palavras, quanto maior a percentagem do espaço anular preenchido com o material comprimido, maior o empacotamento do material não restringido e conseqüentemente, mais forte a "ligação". Essa "ligação",  
20 por sua vez, transfere tensões longitudinais e/ou radiais que o conjunto de tubo-em-tubo encara em ambas instalações (por exemplo, enrolando em volta de um rolo em um caso chamado "Reel-Lay", enrolando conforme o conjunto deposita-se no fundo do mar em um caso chamado "J-lay", dobrando de  
25 volta a parte traseira da balsa de lançamento de tubos em um caso chamado "S-lay") assim como em serviço (por exemplo, expansão e contração do tubo interno durante ciclos de aquecimento e resfriamento). Na ausência de um sistema isolante "ligado" tal como esse, as tensões  
30 longitudinais são tipicamente manuseadas por um anteparo o

qual mantem os tubos interno e externo juntos e as tensões radiais são algumas vezes manuseadas por centralizadores (também conhecidos como espaçadores), que mantem os tubos mais ou menos concentricamente alinhados. Desse modo, uma  
5 vantagem da invenção é que o próprio material isolante auxilia na transferência de tensão, o que permite o modelo de tubo-em-tubo usar menos e/ou mais finos anteparos e/ou espaçadores. Como anteparos e espaçadores são geralmente feitos de materiais que são significativamente isolantes  
10 mais fracos quando comparados com as propriedades isolantes da invenção, reduzindo o número e/ou largura desses anteparos e espaçadores sobre o comprimento do sistema irá melhorar desempenho térmico enquanto diminui custo e complexidade. Os níveis de transferência de tensão são  
15 menores quando comparados a outros materiais (por exemplo, metais, compósitos) tipicamente usados na construção de anteparo e espaçador. Entretanto, já que o material isolante completamente preencher todo o espaço anular nessa modalidade, a transferência da força pode ser compartilhada  
20 através de toda a área de superfície do tubo, em vez de em pedaços relativamente pequenos espaçados relativamente amplamente a parte. O uso de espuma de poliuretano em sistemas de tubo-em-tubo é comumente conhecido por aqueles que realizam a técnica. Alguns sistemas de tubo-em-tubo com  
25 espuma de poliuretano adesivamente ligam os tubos interno e externo para permitir a transferência de carga. Enquanto esse método pode ser aceitável, uma vez a força excessiva quebre a ligação adesiva, o valor da transferência de carga longitudinal (e, potencialmente transferência de carga  
30 radia) é perdido. A presente invenção, usando uma ligação

mecânica e não uma adesiva e por sua natureza "de revolta elástico", irá retornar de forma elástica a sua forma original mesmo após experimentar o tipo de compressão que poderia destruir as ligações adesivas de um sistema de  
5 espuma de poliuretano, e conseqüentemente continuar a mecanicamente ligar o sistema. Desse modo uma modalidade da invenção é um sistema de tubo-em-tubo isolante, compreendendo um tubo interno, um tubo externo e isolamento entre os mesmos, segundo o qual o isolamento fornece uma ou  
10 mais transferência de carga longitudinal ou radial entre o tubo interno e o tubo externo, e segundo o qual o isolamento não é adesivamente ligado ao tubo interno ou tubo externo.

Em uma modalidade preferida, (a) o primeiro volume do  
15 material compressível no recipiente(s) é cerca de 70% ou menos do volume do volume não restringido do material compressível, (b) o primeiro volume do material compressível no recipiente é menor do que o volume do espaço anular (por exemplo, cerca de 99% ou menos, ou cerca  
20 de 95% ou menos), e (c) o segundo volume do material compressível no espaço anular após alterar o recipiente (s) é maior do que ou igual a cerca de 1% (preferivelmente 10% a 33%) menor que o volume não restringido do material compressível.

25 Tipicamente, quando um conjunto tubo-em-tubo é colocado em operação e quando um fluido (por exemplo, um líquido ou um gás) é fluido através do tubo (s) interno, segundo o qual o fluido está em uma temperatura diferente daquela temperatura para a qual o tubo externo está  
30 sujeito, o tubo (s) interno se expande ou contrai com

relação ao tubo externo devido à temperatura diferencial aplica ao tubo (s) interno em relação ao tubo externo, dependendo se a temperatura do fluido é maior ou menor do que a temperatura externa. Essa expansão diferencial do

5 tubo (s) interno e o tubo externo produz forças longitudinais entre os tubos. Quando o tubo (s) interno e o tubo externo são unidos juntos, por exemplo, por meios de conexão, soldadura ou anteparos, as tensões (por exemplo, forças longitudinais) geradas pela expansão ou contração

10 diferencial do tubo (s) interno com relação ao tubo externo são concentradas nos pontos de junção (por exemplo, nos meios de conexão, soldaduras ou anteparos) ou em pontos fracos em um tubo, e irão resultar na deformação da estrutura, manifestada em uma curvatura sendo gerada na

15 estrutura, ou ruptura do tubo. Vantajosamente, o material compressível, quando sob a compressão devido ao excesso de preenchimento do espaço anular, fornece meios de transferir forças longitudinais entre tubo(s) interno e a tubo externo, desse modo reduzindo a tensão provocada nos meios

20 de conexão ou nas soldaduras entre os tubos e também "torção" acomodada (por exemplo, desvio de linearidade) do conjunto transferindo forças radiais. Desejavelmente, o material compressível compressível fornece os meios preliminares de transferir as forças longitudinais entre os

25 tubos interno e externo permitindo o acoplamento do movimento do tubo externo e do tubo(s) com relação um ao outro. Em adição à melhora das tensões provocadas pela expansão diferencial ou contração dos tubos interno e externo, vantajosamente o manuseio dos conjuntos de tubo-

30 em-tubo é simplificado pelo menos pela redução parcial da

necessidade fixar simultaneamente o tubo(s) interno e o tubo externo para evitar deslizamento não desejado do tubo(s) interno e do tubo externo com relação um ao outro, por exemplo, ao mover o conjunto (por exemplo, colocando o conjunto em operação).

O recipiente(s) pode ter qualquer forma adequada. Por exemplo, o recipiente(s) pode ter uma geometria cerca de retangular paralelepídica (por exemplo, uma forma de tijolo). O recipiente(s) também pode ter uma forma esférica ou cilíndrica. Em uma modalidade preferida, o recipiente(s) tem uma forma arcada alongada. Será entendido que uma forma arcada alongada compreende uma curva que tem geralmente uma geometria circular definida por uma seção transversal do recipiente arcado alongado, segundo o qual o ângulo definido pelas duas extremidades do arco e pelo ponto central do semicírculo assim definido pode ser qualquer valor diferente de zero entre zero e, no limite, 360 graus (por exemplo, um recipiente arcado alongado circular é contemplado também). Assim, em uma modalidade, o arco do recipiente arcado alongado compreende um ângulo como definido anteriormente de 180 graus (por exemplo, uma "meia concha"). Em uma outra modalidade, o arco do recipiente arcado alongado compreende um ângulo de menos de 360 graus (por exemplo, cerca 355 graus ou menos), em que o recipiente arcado alongado compreende geralmente uma forma de "C", segundo o qual o recipiente tem as bordas alongadas não contíguas que definem uma abertura entre as mesmas.

O recipiente(s) pode também ter as bordas alongadas conformadas para facilitar "encaixe" das bordas. Por exemplo, um par de bordas de encaixe alongadas pode ter

formas complementares de modo que a geometria de encaixe possa ser ter qualquer geometria de encaixe adequada, incluindo as faces paralelas simples. As bordas de encaixe podem ter uma configuração do "lingua-em-sulco" e variações da mesma. Outras geometrias adequadas estarão facilmente  
5     aparentes para o técnico versado.

A figura 1 ilustra uma modalidade de um recipiente que tem uma forma arcada alongada. O recipiente pode ser caracterizado por um recipiente 11, compreendendo um  
10     material flexível 12, com um raio externo 13, o raio interno 14, e o comprimento 15.

Quando uma pluralidade de recipientes é usada no contexto da invenção, desejavelmente os recipientes estarão posicionados com relação um ao outro tais que as aberturas  
15     definidas pelas bordas dos recipientes não serão coincidentes e por meio disso forneceram passagens de transferência de energia entre o tubo (s) interno e a tubo externo. Por meio de ilustração, quando uma pluralidade de recipientes arcados alongados é empregada no contexto da  
20     invenção e colocados extremidade a extremidade e co-extensivos com a superfície externa do tubo interno, as aberturas definidas pelas bordas alongadas adjacentes dos recipientes colocados ao longo de uma seção do tubo interno desejavelmente são alternados com relação às aberturas  
25     definidas pelas bordas alongadas adjacentes dos recipientes colocados ao longo de uma seção adjacente do tubo interno. Similarmente, se múltiplas camadas dos recipientes forem utilizadas no sentido radial entre o tubo(s) interno e o tubo externo, as bordas do recipiente(s) da uma camada são  
30     alternadas com relação às bordas do recipiente(s) de uma

camada adjacente. Nesta maneira, alguns canais potenciais que podem resultar do preenchimento incompleto das aberturas com o material compressível após alterar os recipientes desejavelmente não poderiam estender para mais do que o comprimento de algum um recipiente em qualquer direção dentro do espaço anular.

O material poroso, resiliente, volumetricamente compressível pode ser qualquer tal material adequado. O material compressível compreende desejavelmente poros. Os poros podem ser de qualquer tamanho adequado e desejavelmente são abertos. Preferivelmente, os poros terão um tamanho médio do poro (por exemplo, diâmetro médio do poro) de cerca de 25 microns ou menos (por exemplo, cerca de 15 microns ou menos, ou cerca de 10 microns ou menos, ou mesmo cerca de 1 micron ou menos). Por resiliente significa que o material compressível terá uma compressibilidade elástica, segundo a qual aplicação de uma pressão a uma quantidade em massa do material compressível resultará em uma redução do volume ocupado pelo material compressível, e segundo o qual após a liberação da pressão o volume do material compressível aumentará e desejavelmente retorna para substancialmente ao mesmo valor que antes da aplicação da pressão.

O material compressível pode compreender partículas porosas, segundo as quais as partículas porosas são resilientes e volumetricamente compressíveis, e pode compreender qualquer quantidade de partículas porosas como uma fração da quantidade total de material compressível. Em uma modalidade, o material compressível não compreenderá substancialmente nenhuma partícula porosa. Em outras

modalidades, o material compressível compreenderá pelo menos algumas partículas porosas (por exemplo, cerca de 5% ou mais) e pode consistir essencialmente em, ou mesmo consistir, as partículas porosas (por exemplo, cerca de 5 100%).

As partículas porosas podem ser quaisquer partículas porosas adequadas. As partículas porosas adequadas incluem partículas nanoporosas, especialmente partículas nanoporosas de sílica. As partículas de sílica nanoporosas 10 têm desejavelmente um tamanho do poro (por exemplo, diâmetro médio do poro) de cerca de 1 nm a cerca de 100 nm. O tamanho do poro é determinado por métodos bem conhecidos na técnica, tal como a porosimetria de intrusão de mercúrio, ou por microscopia. Exemplos não limitativos de 15 partículas nanoporosas de sílica incluem os aerogéis feitos por um processo de sol-gel, sílica nanoporosa feita por um processo de co-fumo, e uma sílica nanoporosa feita pela sílica de co-fumo com negro de fumo seguida pela pirólise do carbono. Preferivelmente, as partículas nanoporosas de 20 sílica são hidrofóbicas. As partículas de sílica nanoporosas podem se tornar hidrofóbicas por qualquer processo adequado, muitos dos quais são conhecidos bem na técnica.

Desejavelmente as partículas porosas são partículas de 25 aerogel. Aerogéis são caracterizados como géis tendo ar (por exemplo, um gás) como um meio de dispersão. Exemplos de aerogéis adequados incluem aerogéis de sílica e aerogéis orgânicos, com os aerogéis de sílica (tais aqueles disponíveis de Cabot Corporation, de Boston, MA sob o nome 30 de "Nanogel®") sendo preferido.

As partículas porosas podem ter qualquer granulometria adequada (por exemplo, granulometria média). Por exemplo, as partículas porosas podem ter uma granulometria média de cerca de 1  $\mu\text{m}$  a cerca de 5 milímetros (por exemplo, cerca de 5  $\mu\text{m}$  a cerca de 3 milímetros), onde a granulometria é definida como o diâmetro da menor esfera que inclui a partícula. As partículas porosas podem ter qualquer forma adequada da partícula, (por exemplo, irregular, esférica, etc.).

10 O material compressível pode compreender um material não particulado, contanto que o material compressível como um todo seja resiliente, volumetricamente compressível e opcionalmente poroso. Exemplos não limitativos do material resiliente, volumetricamente compressível não particulado  
15 incluem espuma, os materiais que compreendem fibras, e seus compósitos. Exemplos não limitativos de materiais compressíveis que compreendem fibras incluem os materiais compósitos que compreendem fibras e aerogéis (por exemplo, aerogéis reforçados com fibra) e, opcionalmente, pelo menos  
20 um ligante. As fibras podem ter qualquer estrutura adequada. Por exemplo, as fibras podem não ter estrutura (por exemplo, fibras não associadas). As fibras podem ter uma estrutura da matriz ou estrutura similar a uma esteira que pode ser padronizada ou irregular e aleatória. Os  
25 compósitos preferidos de materiais que compreendem fibras incluem os compósitos formados de aerogéis e fibras segundo as quais as fibras têm a forma de uma estrutura fibrosa elevada, batedura ou a forma que se assemelha a uma almofada de lã de aço. A estrutura fibrosa elevada é  
30 caracterizada em que sob aplicação de uma pressão, o volume

da estrutura fibrosa elevada será reduzido, e sob remoção da pressão, a estrutura fibrosa elevada irá ter um volume pelo menos maior do que o volume quando sob a pressão e desejavelmente para o volume inicial não restringido. Os  
5 exemplos dos materiais adequados para o uso na preparação da estrutura fibrosa elevada incluem a fibra de vidro, fibras poliméricas orgânicas, fibras de sílica, fibras de quartzo, fibras baseadas em resina orgânicas, fibras de carbono, e o semelhante. Embora o material tendo uma  
10 estrutura fibrosa elevada seja adequado para o uso no método da invenção propriamente, preferivelmente o material tendo uma estrutura fibrosa elevada ainda compreende um segundo material de célula aberta. Um exemplo preferido de um material de célula aberta para o uso no método da  
15 invenção é um aerogel. Quando um segundo material de célula aberta (por exemplo, um aerogel de sílica) é usado com um material que tem uma estrutura fibrosa elevada, o material compósito resultante é desejavelmente compressível e resiliente. Entretanto, quando usados conjuntamente com  
20 partículas porosas compressíveis, os requerimentos para compressibilidade e a elasticidade do material compressível não particulado são diminuídos, contanto que a combinação seja compressível e resiliente.

Um material poroso, resiliente, volumetricamente  
25 compressível não particulado preferido compreende um revestimento que compreende um material que tem uma estrutura fibrosa elevada e um aerogel de sílica dispersados no mesmo.

O material compressível pode ainda compreender um  
30 opacificador. A função de um opacificante é impedir ou

minimizar a transmissão infravermelha da energia térmica entre a tubo interno e a tubo externo pela absorção das ondas infravermelhas. Exemplos não limitativos de opacificador adequados incluem negro de fumo, o dióxido de titânio, o silicato de zircônio, e suas misturas. Enquanto qualquer carga adequada do opacificante pode ser usada, as cargas preferidas para o opacificante estão entre 1 % em volume e 50% em volume).

Como observado acima, na primeira modalidade do método da invenção, o recipiente(s) é (são) selado e compreende (m) material impermeável ao ar. O material impermeável ao ar pode ser qualquer material impermeável ao ar adequado. Geralmente, o material impermeável ao ar é escolhido por ter a impermeabilidade ao ar suficiente para manter uma pressão de ar reduzida por pelo menos diversos meses (por exemplo, pelo menos 3 meses) e por possuir a durabilidade mecânica suficiente para permitir o manuseio sem quebra acidental como pode ocorrer, por exemplo, durante o transporte e a manuseio, ou durante a instalação dentro do conjunto de tubo-em-tubo. O material impermeável ao ar é desejavelmente flexível. Em uma modalidade, o material impermeável ao ar é flexível, mas substancialmente não elástico. Em outras modalidades, o material impermeável ao ar pode ser elástico para permitir a expansão do material compressível enquanto mantém sua integridade. Preferivelmente, o material impermeável ao ar compreende uma película que compreende um metal, um polímero ou um copolímero (por exemplo, polietileno e náilon co-extrudados), um tecido, e suas combinações.

Na segunda modalidade do método da invenção, os

requerimentos para o recipiente(s) podem ser os mesmos que para a primeira modalidade do método com a exceção que o recipiente(s) não é (são) requerido ser impermeável ao ar. Nesta modalidade, o recipiente pode ser comprimido  
5 mecanicamente.

O recipiente(s) não tem (têm) nenhuma restrição particular na configuração do material impermeável ao ar. O material que compreende o recipiente(s) é dimensionado de modo a completamente incluir o material compressível sob o  
10 restrição, isto é, em seu primeiro volume. O material que compreende o recipiente(s) pode ser dimensionado de modo a completamente incluir o material compressível em seu segundo volume ou mesmo em seu volume não restringido. Após compressão do material compressível, o excesso de material  
15 pode simplesmente drapejar o recipiente (s) em uma maneira aleatória. O material pode ser fornecido com os plissados, ou dobras, de modo que sob compressão do recipiente(s), o material se dobre para baixo para permitir uma superfície externa mais lisa do que de outra maneira obtível sem  
20 plissados ou dobras.

O recipiente(s) pode ser parcialmente ou completamente circundado ou incluído dentro de uma luva. As funções da luva incluem, mas não são limitadas a auxiliar no posicionamento do recipiente(s), proteger o recipiente(s)  
25 dos danos mecânicos durante a realização do método da invenção, fornecendo propriedades isolantes adicionais ao conjunto de tubo-em-tubo, e o semelhante. A luva pode ser feita de qualquer material adequado. Amostras não limitativas de materiais da luva incluem alumínio, aço, aço  
30 galvanizado, aço inoxidável, elastômeros (incluindo,

sílicas), polímeros termorrígidos (incluindo epóxies e resinas), polímeros termoplásticos (incluindo polietileno, acrílico, policarbonato, polipropileno, poliamida, polivinilcloreto, poliestireno), espumas de polímero (incluindo espuma de poliuretano), e compósitos (incluindo polímeros reforçados com fibra de carbono, fibra de vidro). Em certas modalidades a luva compreende um material elástico para acomodar a expansão do recipiente(s) após a alteração sem os danos à luva. A luva pode também ser incluída pelo recipiente(s). Em tal uma modalidade, a luva é colocada em volta do material compressível antes da colocação do material que compreende o recipiente em volta da luva. Desse modo a invenção inclui modalidades segundo o qual o conjunto de tubo-em-tubo compreende pelo menos um tubo interno com uma superfície externa; um tubo externo com uma superfície interna que esteja disposta em volta de pelo menos um tubo interno; um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo menos um tubo interno; e pelo menos um recipiente que contém material compressível, poroso, resiliente, comprimido, dito recipiente sendo disposto no espaço anular e segundo o qual o recipiente é incluído parcialmente ou completamente dentro de uma luva. Em uma alternativa à modalidade acima descrita, uma luva pode ser colocada entre o recipiente e o material compressível.

Em uma outra modalidade, ilustrada em figura 6, a luva (ou o revestimento) 61 funciona como um agente de restrição na expansão do material comprimido 21, mesmo sob a alteração de um recipiente. Neste conjunto isolante, é preferido que exista um vazio no espaço anular 31 entre a

superfície externa da luva 61 e a superfície interna do tubo externo 33. Este vazio anular 31 pode ser preenchido com um gás, tal como o ar. O espaço vazio pode ser mantido através do uso de anteparos, ou espaçadores (de vários formas) 62. A presença do espaço vazio permite que os tubos interno e externo se movam independentemente um do outro, o que pode ser vantajoso em certos métodos da distribuição ou condições operacionais.

O recipiente(s) pode ser fornecido com um protetor(es) contra calor. A função do protetor(es) contra o calor é proteger o recipiente(s) do calor gerado por qualquer processo de soldagem que possa ser empregado durante a realização do método da invenção. O protetor(es) contra o calor pode ser o mesmo da luva, ou o protetor(es) contra o calor pode ser separado e distinto da luva. O protetor(es) contra o calor pode ser feito de qualquer material adequado, por exemplo, de um metal ou de um polímero termicamente estável. Em algumas modalidades, o protetor(es) contra o calor é (são) separado do recipiente. Em tais modalidades, o protetor(es) contra o calor pode ser de livre fluxo, ou o protetor(es) contra o calor pode ser ligado à superfície interna da tubo externo ou à superfície externa do tubo(s) interno do conjunto de tubo-em-tubo, por qualquer meio adequado, como por meio de fechos adequados ou soldaduras. Exemplos não limitativos dos fechos incluem composições adesivas, fitas adesivas, conjuntos do gancho-e-furo, e fechos do gancho-e-laço.

O recipiente(s) pode opcionalmente ter um revestimento compreendendo um agente lubrificante. O agente lubrificante serve para facilitar o conjunto do aparelho de

tubo-em-tubo, por exemplo, facilitando o posicionamento do recipiente(s) dentro do espaço anular.

Na primeira modalidade do método da invenção, e opcionalmente na segunda modalidade do método da invenção, o recipiente(s) é (são) selado, e o recipiente(s) selado é (são) fornecido com uma pressão reduzida no mesmo. A pressão reduzida pode ser qualquer pressão que seja menor do que a pressão atmosférica. Tipicamente, a pressão reduzida é cerca de 1 kPa ou mais (por exemplo, kPa cerca de 10 ou mais, ou kPa cerca de 20 ou mais). Preferivelmente, a pressão reduzida é cerca de 100 kPa ou menos (por exemplo, cerca de 75 kPa ou menos, ou cerca de 50 kPa ou menos).

A invenção é ainda ilustrada pelas figuras. 2, 3, e 4. A figura 2 ilustra uma modalidade que compreende dois recipientes semicirculares de "meia concha" que compreendem material flexível 12 envolvido por um material poroso, resiliente, volumetricamente compressível 21. Posicionado dentro de um aparelho de tubo-em-tubo como ilustrado na figura 3, os recipientes que compreendem o material compressível 21, incluído dentro do material do recipiente 12, são posicionados co-extensivamente dentro do espaço anular 31 definido pelo tubo interno 32 e envolvido pelo tubo externo 33. O recipiente pode preencher-se até 110 por cento do espaço anular. Após a alteração dos recipientes, como ilustrado na figura 4, o material compressível 21 expande-se para possível extensão de modo a preencher substancialmente o espaço anular definido pelo tubo interno 32 e pelo tubo externo 33.

O recipiente(s) pode ser preparado por qualquer

processo adequado. Um processo particularmente adequado para preparar a modalidade do recipiente arcado alongado descrita na figura 1 como um recipiente selado é ilustrado pela referência a figura 5. A figura 5 ilustra esquematicamente uma vista em seção transversal de um aparelho de molde para dar forma a um recipiente que compreende partículas nanoporosas de sílica. O aparelho de molde compreende o membro superior 51 do molde e membro inferior 52 do molde. Como mostrado na figura 5, um recipiente não selado de um material flexível impermeável ao ar 12 com material compressível 21 é colocado em contato com uma superfície 53 do membro externo 51 do molde e uma superfície 54 do membro interno 52 do molde. O membro externo do molde é movido a distância 55 de modo que a superfície 53 se move para a posição 56, enquanto um vácuo é aplicado através de uma conexão de fluido 57. Um meio de selagem 58 é então aplicado à conexão de fluido 57, e a conexão de fluido 57 é selada, ou deixando o meio de selagem 58 no lugar, ou selando a extremidade da conexão de fluido 57 além do meio de selagem 58, seguida pela remoção do meio de selagem 58, para produzir o recipiente selado arcado alongado 11. Em modalidades similares, o membro externo 51 do molde pode ser mantido estacionário enquanto o membro interno 52 do molde pode ser movido para uma posição mais próxima do membro externo 51 do molde, ou o membro externo 51 do molde e o membro interno 52 do molde podem ser movidos simultaneamente um em direção ao outro. Alternativamente, nem o membro interno 52 do molde nem o membro externo 51 do molde são movidos.

Outras variações do processo acima são descritas

abaixo. Estes processos e o processo acima podem todos ser realizados in-situ durante o processo do conjunto de tubo-em-tubo

a. Empacotamento a vácuo por sucção em um recipiente flexível com molde usando sucção de único ou múltiplos pontos. Um recipiente hermético é colocado em um molde e conectado a uma bomba de vácuo e a pressão dentro do recipiente reduzida. Uma vez a pressão dentro do recipiente esteja no nível desejado, o recipiente é selado e a conexão é removida. O diferencial de pressão entre fora e dentro do recipiente comprime o material que é conformado pelo molde.

b. Compressão de um recipiente flexível dentro de um molde rígido. Um recipiente preenchido com as partículas é colocado em um molde com contornos rígidos, mas móveis. O recipiente é comprimido usando o gás, o líquido ou outros meios adequados de compressão, em uma forma desejada e o recipiente selado hermeticamente. O recipiente é removido então do molde por compressão mecânica.

c. Compressão de um recipiente flexível com molde flexível (por exemplo, uma bexiga). Um recipiente preenchido com as partículas é colocado em um molde com contornos flexíveis. O recipiente com partículas é comprimido em uma forma desejada aplicando uma pressão nos contornos flexíveis. O gás, o líquido ou outro meio adequado de compressão podem ser usados para aplicar a pressão ao recipiente. Quando a forma desejada do recipiente foi produzida, o recipiente é selado e removido do molde.

d. Compressão do recipiente flexível com o molde rígido e flexível. Compressão mecânica dos recipientes

usando uma combinação dos processos (b) e (c) usando um molde que tenha ambos os contornos rígidos móveis e contornos flexíveis.

e. Compressão rígida do molde do recipiente flexível após a empacotamento a vácuo. Um recipiente comprimido é produzido via vácuo como descrito aqui, então um molde rígido é usado para uma compressão do recipiente em uma forma desejada.

f. Compressão flexível do recipiente flexível após o empacotamento a vácuo. Um recipiente comprimido é produzido via vácuo como descrito aqui, então um molde flexível do contorno (por exemplo molde com bexigas) é usado aplicar pressão para comprimir o recipiente na forma final.

g. Compressão mecânica do molde rígido e/ou flexível do recipiente flexível concorrente com empacotamento a vácuo. Um recipiente comprimido é produzido usando um vácuo como descrito aqui, enquanto simultaneamente aplica compressão mecânica como apresentado no processo (b), (c) ou (d) acima.

h. Em uma outra modalidade, o recipiente(s) pode ser comprimido e/ou conformado pela passagem do recipiente(s) através de um sistema dos rolos em movimento que comprimem o recipiente(s) nas dimensões desejadas. No caso mais simples, o recipiente(s) tem uma geometria retangular paralelepídica (por exemplo, uma forma do tijolo). O recipiente(s) é passado então entre dois rolos cilíndricos paralelos que têm uma abertura entre os mesmo, segundo a qual a abertura é menor do que a espessura do recipiente(s), comprimindo desse modo o recipiente(s) para espessura desejada. O recipiente(s) pode estar em pressão

atmosférica ou em uma pressão reduzida. Alternativamente, a pressão dentro do recipiente(s) pode ser reduzida conforme o recipiente(s) é passado entre os rolos, de modo que após a passagem do recipiente(s) entre os rolos, o recipiente(s) está em uma pressão reduzida. Em outras modalidades, rolos múltiplos podem ser configurados para produzir uma forma no recipiente(s). Por exemplo, três pares de rolos colocados extremidade-a-extremidade e tendo um ângulo entre pares adjacentes dos rolos de 60° podem ser usados para conformar o recipiente(s) em uma forma aproximadamente semicircular. Outras modalidades estarão facilmente aparentes para o técnico versado.

i. Instalação da câmara em alta pressão. Um recipiente comprimido é produzido usando os processos a vácuo descritos aqui, o (a) ou o (b), então os recipientes são colocados em uma câmara onde a pressão então seja mantida acima da pressão atmosférica. A pressão adicional aumentará o nível da compressão dos pacotes.

j. Compressão do recipiente semi-rígido. Este método não requer um molde. Um recipiente rígido é preenchido com o material compressível e uma prensa mecânica é usada para pressionar o recipiente na forma desejada. Uma vez o recipiente esteja na forma desejada, uma restrição mecânica ou um selo hermético é aplicado para travar o recipiente naquela forma.

k. Compressão externa por pressão do ar de um recipiente semi-rígido. O recipiente é preenchido com o material compressível e o recipiente é colocado em uma câmara a vácuo. Uma vez a câmara ter sido evacuada, o recipiente é selado com um selo hermético e a pressão na

câmara é elevada para atmosférica. O diferencial de pressão entre fora e dentro do recipiente é usado para comprimir o recipiente. Alternativamente, o recipiente preenchido é conectado a um vácuo, e a pressão no recipiente é reduzida.

5 Uma vez a pressão esteja no nível desejado a porta de sucção está selada.

Quando o recipiente(s) está (estão) não selado (isto é, não hermético), o recipiente pode ser preparado por qualquer método adequado. Os métodos numerosos para  
10 recipientes preenchidos por compressão com um material compressível são bem conhecidos na técnica. Em uma modalidade, o processo apresentado aqui para preparar um recipiente selado arcado alongado pode ser adaptado preparando-se o recipiente (não)selado eliminando a  
15 aplicação do vácuo e incluindo pelo menos um revestimento ou correia envolta a qual é fixada na posição comprimida para reter o material compressível em um estado comprimido.

A alteração do recipiente(s) pode ser realizada por qualquer técnica adequada. Em uma modalidade, o  
20 recipiente(s) é (são) selado e tem uma válvula ou uma porta fechada que, quando aberta, permite a introdução de um gás no recipiente(s) para igualar a pressão dentro do recipiente(s) selado com a pressão dentro do espaço anular, enquanto que de outra forma mantendo a integridade do  
25 recipiente(s) selado.

Em uma outra modalidade, o recipiente(s) é (são) selado e é (são) quebrado de modo a destruir a integridade pelo menos de uma parte do recipiente(s) selado. Qualquer método adequado pode ser empregado para quebrar o  
30 recipiente(s). Quebra do recipiente(s) pode ser realizada

pelo aquecimento do recipiente(s). O recipiente(s) pode ser aquecido a uma temperatura suficiente para induzir uma transição de fase no material que compreende o recipiente(s) (por exemplo, transição de fusão ou transição vítrea) ou para induzir a decomposição do material que compreende o recipiente(s). O aquecimento pode ser realizado usando quaisquer meios adequados. Por exemplo, o recipiente(s) pode ser aquecido em consequência de uma operação de soldadura realizada tubo(s) interno ou externo do conjunto de tubo-em-tubo. Alternativamente, ou em adição a, o calor pode ser aplicado ao tubo(s) interno ou externo do conjunto de tubo-em-tubo independentemente de qualquer operação de soldadura e pode seletivamente ser aplicado a qualquer seção adequada do tubo(s) interno ou externo para induzir quebra do recipiente(s) em qualquer lugar ou lugares pré-selecionados ao longo do conjunto de tubo-em-tubo.

O aquecimento do recipiente(s) pode ser realizado pelo uso de um feixe de laser tendo alguma frequência fixa adequada ou tendo uma frequência que seja variada em uma maneira pré-determinada. O feixe de laser pode impingir diretamente pelo menos em uma parte de uma superfície do recipiente(s) para aquecer pelo menos uma parte do recipiente(s) e provocar quebra do recipiente(s). Quando o conjunto de tubo-em-tubo compreende uma pluralidade (por exemplo, dois ou mais) de recipientes, o feixe de laser pode ser movido através de pelo menos uma parte de uma superfície de cada recipiente. Alternativamente, o feixe de laser pode ser usado para provocar o aquecimento local de pelo menos uma parte de uma das superfícies que definem o

annulus segundo o qual a superfície aquecida aquece subseqüentemente o recipiente(s). A fonte de laser pode ser mantida fora do annulus ou pode ser colocada dentro ou movida através do annulus.

5       A superfície do recipiente(s) pode ser aquecida diretamente para provocar quebra do recipiente(s). Um conjunto que compreende uma linha de guia ou uma haste de guia tendo um membro de aquecimento conectado deslizadamente ao mesmo, cujo membro de aquecimento  
10       compreende meios de aquecimento, pode ser introduzido no annulus do aparelho de tubo-em-tubo. Os exemplos de meios adequados de aquecimento incluem, mas não são limitados a elementos de aquecimento eletricamente resistentes, chamadas abertas, e aos meios para liberar gases quentes para a  
15       superfície do recipiente(s). Em uso, o membro de aquecimento pode ser movido ao longo da haste de guia através do annulus de uma extremidade para a outra ao contatar a superfície do recipiente(s) para provocar sua quebra. A haste de guia e o membro de aquecimento  
20       opcionalmente então podem ser removidos do annulus para uso em outros conjuntos. O membro de aquecimento pode ser movido em uma taxa constante ou variável através do annulus. O membro de aquecimento pode ser fixado a uma haste ou a uma barra e movido através do annulus  
25       manualmente ou mecanicamente para efetuar quebra do recipiente(s). Alternativamente, o membro de aquecimento pode ser configurado para ter o mesmo ou substancialmente o mesmo comprimento que o conjunto de tubo-em-tubo de modo a fornecer simultaneamente o calor durante todo o annulus. Um  
30       exemplo de tal modalidade é um tubo aquecido, segundo o

qual o tubo é aquecido por meio de um líquido quente contido no mesmo. O líquido quente pode ser introduzido no tubo antes do uso, ou pode ser circulado através do tubo por meio de uma bomba. O tubo aquecido pode ser o próprio tubo(s) interno, segundo o qual um líquido quente é bombeado através do tubo(s) interno para aquecer o conjunto inteiro de tubo-em-tubo para uma temperatura suficiente e a um comprimento de tempo suficiente para provocar quebra do recipiente(s).

10 O aquecimento do recipiente(s) pode ser realizado por meio do aquecimento ultra-sônico. Um aparelho de aquecimento ultra-sônico pode ser introduzido no annulus e usado para aquecer pelo menos uma parte do recipiente(s) para efetuar quebra do mesmo. Quando o tubo externo e/ou  
15 interno compreende um metal, o aquecimento por indução do tubo(s) de metal pode ser usado para aquecer o recipiente(s) e efetuar quebra do mesmo.

O recipiente(s) pode ser fabricado com um elemento eletricamente resistente ligado à superfície externa ou  
20 interna do mesmo ou incorporado no material que compreende o recipiente(s). O elemento eletricamente resistente pode compreender um fio, uma placa, ou a configuração similar. Na passagem de uma corrente elétrica através do elemento eletricamente resistente, o elemento gerará o calor que  
25 conduz a quebra do recipiente(s). Quando o elemento eletricamente resistente é um fio, o fio pode ser configurado em uma superfície do recipiente(s) para quebrar o recipiente(s) em um padrão pré-determinado. Por exemplo, o fio pode ser enrolado em volta do recipiente(s) em uma  
30 maneira helicoidal para assegurar quebra do recipiente(s)

em uma maneira uniforme sobre a superfície externa do mesmo.

Em adição ao aquecimento local do recipiente(s), quebra do recipiente(s) pode ser realizada elevando a temperatura dentro do annulus e mantendo uma temperatura elevada por um comprimento de tempo adequado para assegurar quebra satisfatória do recipiente(s). Por exemplo, um fluxo de gás quente pode ser passado através do annulus para amolecer, fundir, ou degradar de outra maneira o recipiente(s).

Quebra do recipiente(s) pode ser realizada pelo uso de meios mecânicos. Por exemplo, um conjunto do corte que compreende pelo menos uma borda afiada pode ser posicionado dentro e opcionalmente ser movido através do annulus do conjunto de tubo-em-tubo de modo que pelo menos uma borda afiada rasgue ou corte o recipiente(s) para realizar quebra. Pelo menos uma borda afiada pode ser uma faca, um pino ou uma ponta, uma lâmina de serra ou corda ou fio com os materiais afiados (tal como vidro quebrado) fixado ao mesmo ou qualquer combinação do acima. O conjunto do corte pode deslizadamente ser conectado a uma haste de guia ou fio de guia, segundo o qual a haste ou o fio de guia são colocados dentro do annulus seguido pelo movimento do conjunto do corte ao longo da haste ou do fio de guia para quebra o recipiente(s) dessa maneira. O conjunto de corte também pode ser fixado a uma haste de guia, e quebra pode ser realizada movendo o conjunto de corte e a haste de guia através do annulus.

O recipiente(s) pode compreender meios para guiar um conjunto de aquecimento ou o conjunto de corte através do

annulus próximo de uma superfície do recipiente(s) para assegurar quebra do recipiente(s). Por exemplo, o recipiente(s) pode ter um tubo de guia ou uma virola ligada a uma superfície do mesmo na qual uma haste de guia pode ser introduzida. Um conjunto de aquecimento ou de corte pode então deslizadamente ser movido ao longo da haste de guia para efetuar quebra do recipiente(s). Quando um conjunto de aquecimento é empregado para quebra, o tubo de guia pode compreender um material termicamente condutor (por exemplo, um metal) para facilitar transferência do calor do conjunto de aquecimento a uma superfície do recipiente(s).

O recipiente(s) pode mecanicamente ser quebrado pela compressão sob a dobra do conjunto de tubo-em-tubo montado. Os conjuntos de tubo-em-tubo descritos aqui podem ser unidos extremidade-a-extremidade para formar uma tubo. Na prática, tubulações montadas são freqüentemente enrolados em carretéis para permitir o transporte de tubulações longas em navios de colocação de tubulações . O processo de enrolamento requer a curvatura das tubulações e dos segmentos individuais das mesmas. A curvatura pode resultar na compressão do recipiente(s) entre as tubulações externas e internas para quebra o recipiente(s).

Quando o recipiente(s) é (são) selado para ser impermeável ao gás e está (estão) em uma pressão de gás reduzida que é menor do que a pressão atmosférica, o recipiente(s) pode ser quebrado antes que instalação em uma maneira tal que a expansão do recipiente(s) ocorre em uma escala de tempo que permite a conclusão do conjunto de tubo-em-tubo antes que o recipiente(s) (seja) esteja

expandido inteiramente. Por exemplo, os furos de pequeno diâmetro podem ser introduzidos no recipiente(s) antes de terminar o conjunto de tubo-em-tubo. Alternativamente, os meios para quebra tal como uma válvula ou a abertura de selada de outra maneira podem ser incorporadas no próprio recipiente(s) (a si mesmos), cuja a válvula ou a abertura estão projetadas para admitir o gás no recipiente(s) em uma taxa controlada de modo a permitir suficiente tempo para a conclusão do conjunto de tubo-em-tubo antes que a total  
10 expansão do recipiente(s) ocorra.

O recipiente(s) pode ser quebrado usando meios químicos. Um método compreende o uso de um dispositivo que libera um solvente ou um agente químico que se dissolve ou que reaja com o material que compreende o recipiente(s)  
15 para degradar a integridade do recipiente(s), provocando desse modo uma quebra do recipiente(s). O dispositivo pode ser fixado à superfície do recipiente por adesivo ou por outros meios adequados, e pode ser fixado antes, durante, ou após o conjunto do aparelho de tubo-em-tubo. O  
20 dispositivo também pode conter um reagente que reage exotermicamente com o material que compreende o recipiente(s), ou uma mistura dos reagentes que reagem com o material do recipiente(s) e/ou um com o outro, fornecendo desse modo o aquecimento localizado para a superfície do  
25 recipiente(s) e desse modo efetuar a quebra do mesmo. O dispositivo pode conter um material explosivo (por exemplo, uma capa explosiva ou um dispositivo similar) de modo que, quando detonada, a onda de choque resultante rompe mecanicamente o recipiente(s) e leva a quebra do mesmo. O  
30 dispositivo pode compreender um fio inflamável, tal como um

fusível, cujo fio pode ser fixo à superfície interna ou externa do recipiente(s). Sob ignição, o fio inflamável irá queimar através da superfície do recipiente(s) e quebra o mesmo.

5 Já em outras modalidades, o recipiente(s) não é (são) selado. A alteração do recipiente(s) (não selado) pode ser realizada como previamente apresentada aqui para o recipiente(s) selado com a exceção de qualquer requerimento para introduzir um gás para igualar a pressão no  
10 recipiente(s) selado, e ainda inclui alteração de quaisquer meios de restrição para reduzir o nível de restrição no material compressível. A alteração de meios de restrição pode ser a mesma como previamente apresentada aqui para quebra do recipiente(s) selado, e a adaptação dos métodos  
15 de quebra para a alteração dos meios de restrição estará facilmente aparente para o técnico versado.

O método da invenção opcionalmente ainda inclui etapas adicionais. Uma etapa adicional opcional compreende verificar a alteração do recipiente(s) e/ou meios de  
20 restrição. Os métodos adequados para verificar a alteração dos recipiente(s) e/ou meios de restrição incluem mas não são limitados aos métodos visuais, às técnicas de formação de imagem por ultra-som, e formação de imagem por raio X. Os métodos da verificação podem ser realizados durante a  
25 alteração do recipiente(s) e/ou meios de restrição para assegurar a alteração adequada, ou podem ser realizados após a alteração.

Uma outra etapa adicional opcional compreende posicionar o material isolante adicional no annulus antes  
30 da alteração do recipiente(s). O material isolante

adicional pode ser qualquer material isolante adequado e pode compreender um ou mais os materiais isolantes que podem ser os mesmos ou diferentes. Tipicamente, o material isolante adicional compreende um material compressível.

5 Preferivelmente, o material isolante adicional pode compreender um ou mais revestimentos que compreendem um material poroso, resiliente, volumetricamente compressível não particulado.

O material isolante adicional pode compreender uma  
10 película metálica ou metalizada. A película metálica ou metalizada serve para reduzir a transmissão da energia entre o tubo(s) interno e o tubo externo através da radiação. A película metálica ou metalizada pode ser qualquer tal película adequada. Os exemplos de películas  
15 metálicas ou metalizadas adequadas incluem a lâmina de alumínio, substratos revestidos de alumínio incluindo películas do polímero, tecidos, e o semelhante. A película metálica ou metalizada pode ser uma película separada, ou pode ser incorporada em um revestimento isolante, pode ser  
20 incorporada no recipiente(s) segundo o qual a película metálica ou metalizada pode residir na superfície externa ou a superfície interna ou o recipiente(s). A película metálica ou metalizada pode ser presa em qualquer superfície dentro do annulus usando qualquer fecho adequado  
25 como previamente apresentado aqui, ou pode ser colocada sem nenhum fecho (por exemplo, enrolando em qualquer superfície). O material que compreende o recipiente(s), certamente, pode ser uma película metálica ou metalizada também.

30 Em adição a compreender uma película metálica ou

metalizada, o material isolante adicional pode compreender qualquer película adequada. Exemplos não limitativos de películas adequadas incluem películas ou tecidos poliméricos e/ou tecidos. A esse respeito "película" se refere a uma folha fina de material isolante (por exemplo, películas formadas de fibras de polietileno de alta densidade tal como o material TYVEK), cuja folha pode ter qualquer configuração adequada e que pode compreender uma ou mais camada do mesmo ou de material diferente. A película também pode compreender um composto que compreende uma membrana permeável interposta entre uma camada interna e externa (por exemplo, material GORE-TEX® ou o outro material de politetrafluoroetileno). A película pode ser presa ou incorporada no aparelho de tubo-em-tubo em qualquer maneira adequada, por exemplo, como apresentado previamente aqui para a película metálica ou metalizada.

O material isolante adicional pode ser posicionado para o ajuste entre a superfície interna do tubo externo e o recipiente(s) ou entre a superfície externa do tubo(s) interno e o recipiente(s). O material isolante adicional desejável é arranjado de modo que quaisquer bordas estejam alternadas com relação às bordas do recipiente(s) de modo a não fornecer passagens de transferência de energia entre o tubo(s) interno e o tubo externo. O material isolante adicional pode ser incorporado no recipiente ou o recipiente pode ser constituído do material isolante.

O tubo(s) interno pode ser disposto em qualquer maneira adequada dentro do tubo externo, e o tubo(s) interno e o tubo externo podem ter qualquer forma de seção transversal adequada. Por exemplo, o tubo(s) interno e o

tubo externo podem ambos ser circulares na seção transversal. Se o aparelho de tubo-em-tubo compreende um único tubo interno, o tubo interno pode ser disposto concentricamente dentro do tubo externo, disposto  
5 assimetricamente dentro do tubo interno, ou livre para assumir qualquer disposição dentro do tubo interno. Se o aparelho de tubo-em-tubo compreende uma pluralidade de tubos internos, os tubos internos similarmente podem ser colocados dentro do tubo externo em qualquer posição  
10 adequada. Os fios e os cabos podem também ser dispostos dentro do tubo externo.

Em algumas modalidades o tubo externo pode ser construído e/ou colocado diretamente no recipiente que contem o material compressível que foi fixado ao tubo(s)  
15 interno. Nestas modalidades, a abertura entre o recipiente que contem o material compressível e o tubo externo pode ser eliminada (tal que há um contato direto entre a superfície interna do tubo externo e o recipiente de material compressível) ou quase eliminada. Isto permite que  
20 o material compressível esteja em um nível mais elevado de compressão mesmo depois que o recipiente é alterado (por exemplo, o selo é quebrado). Em alguns casos, ter o material em um nível mais elevado de compressão é desejável ou porque pode permitir o desempenho térmico e/ou mecânico  
25 melhorado da camada da isolante. Além disso, o ato de construir o tubo externo pode funcionar para quebrar o recipiente. O método específico de construção do tubo dependerá das propriedades específicas do material requeridas do tubo externo e exemplos não limitativos de  
30 métodos da construção incluem enrolar, extrudar,

pulverizar, moldar, ou termo-encolher o tubo externo diretamente no recipiente. Exemplos não limitativos de material do tubo externo são elastômeros (incluindo, silicones), polímeros termorrígidos (incluindo Epóxies),  
5 polímeros termoplásticos (incluindo polietileno, acrílico, policarbonato, polipropileno, poliamida, o polivinilcloreto, o poliestireno), espumas de polímero (incluindo espuma de poliuretano), e compósitos (incluindo polímeros reforçados com fibra de carbono, e fibra de  
10 vidro). Em uma modalidade do acima, uma tubo isolante no conjunto de tubo compreende pelo menos um tubo interno com uma superfície externa; pelo menos um recipiente que contém material poroso, resiliente, compressível comprimido, segundo o qual o recipiente é ligado ao tubo(s) interno e  
15 segundo o qual um tubo externo que tem sido aplicado sobre o recipiente(s) de modo que a superfície interna do tubo externo e a superfície externa do recipiente(s) estejam parcialmente ou completamente em contato direto. O recipiente(s) pode também ser parcialmente ou completamente  
20 incluído dentro de uma luva antes que o tubo externo seja aplicado.

Adicionalmente, embora o tubo externo seja referido aqui como um único tubo, o aparelho de tubo-em-tubo pode compreender uma pluralidade de tubos externos (por exemplo,  
25 uma estrutura de tubo-em-tubo-in-pipe). Por exemplo, o aparelho de tubo-em-tubo pode compreender pelo menos um tubo interno disposto dentro de um primeiro tubo externo, e um segundo tubo externo disposto em volta do primeiro tubo externo. Um material poroso, resiliente, volumetricamente  
30 compressível, ou qualquer material adequado, ou nenhum

material podem ser dispostos no espaço anular definido pela superfície externa do primeiro tubo externo e pela superfície interna do segundo tubo externo. Mais particularmente, as modalidades são contempladas segundo o qual tal material poroso, resiliente, volumetricamente compressível ocupa pelo menos um dos espaços anulares entre a superfície externa do tubo interna e a superfície interna de um primeiro tubo externo; e entre a superfície externa do primeiro tubo externo e a superfície interna do segundo tubo externo, e assim por diante. Tal material pode ou não pode ser restringido por um recipiente. É observado que nas modalidades onde um espaço anular não é ocupado pelo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, tal espaço anular pode ser preenchido com qualquer material adequado (incluindo mas não limitado a, material poroso, resiliente, volumetricamente compressível não comprimido, revestimentos que contêm tal material, revestimentos de aerogel, espuma de poliuretano, contas de vidro, fibras (em tecido, não tecido, frouxas ou de outras formas), materiais particulados ou não particulados, ou mesmo nenhum material.

Opionalmente, pelo menos um espaçador pode ser fornecido e posicionado de modo que o espaçador(es) resida geralmente em pelo menos um espaço anular. O espaçador(es) funciona para posicionar o tubo(s) interno dentro do espaço anular, e/ou para posicionar os tubos externos dentro dos espaços anulares adicionais se mais que um tubo externo for utilizado. Em uma modalidade, o espaçador(s) quando adequado terá uma forma de seção transversal circular ou elíptica com pelo menos a uma abertura para permitir a passagem através da mesma do tubo(s) interno e/ou externo.

Deve-se observar que o número dos espaçadores utilizados no conjunto isolante de tubo-em-tubo da invenção é ou pode ser menor do que o número que seria requerido de outra maneira em um conjunto de tubo-em-tubo que é produzido usando um outro método da técnica anterior.

O espaçador(s) contata opcionalmente pelo menos uma parte da superfície externa do tubo(s) interno (ou externo) e/ou pelo menos uma parte da superfície interna da pelo menos um tubo externo. Na modalidade onde o espaçador(s) contata a superfície externa do tubo(s) interno e a superfície interna do tubo externo, o espaçador(s) pode agir para transmitir uma pressão aplicada à superfície externa do tubo(s) externo para a superfície externa do tubo(s) interno (ou externo), e fornece desse modo a rigidez estrutural aumentada para o tubo(s) externo. Tal modalidade é particularmente útil quando o conjunto de tubo-em-tubo é usado em aplicações no fundo do mar.

Em uma outra modalidade, uma pluralidade de espaçadores, os anteparos e/ou os centralizadores são colocados em volta da parte externa do recipiente(s) e fixados a parte externa do recipiente(s) por qualquer dos meios adequados, cuja modalidade permiti vantajosamente a eliminação de uma etapa separada de fornecer os espaçadores e de posicionar os espaçadores dentro do espaço anular. Os espaçadores também podem facilitar o conjunto do aparelho de tubo-em-tubo protegendo o recipiente(s) da quebra acidental, ajudando no posicionamento dos tubos, e o semelhante. Os espaçadores podem ter qualquer configuração adequada. Por exemplo, os espaçadores podem ser nervuras não contíguas, ou aletas, tendo uma dimensão alongada que é

alinhada longitudinalmente com relação ao tubo externo e ao tubo(s) interno. Os espaçadores podem ser circulares ou semicirculares e pelo menos parcialmente envolver o recipiente(s). Os espaçadores podem ser feitos de qualquer material adequado e podem ter qualquer geometria de seção transversal adequada (por exemplo, redondo, plano, triangular, e o semelhante). Preferivelmente, os espaçadores compreenderão um material isolante.

Quando mais de um espaçador é usado em configurações atualmente praticadas de tubo-em-tubo, os espaçadores estão posicionados de acordo com os requerimentos do projeto. Em sistemas de enrolar em carretel, por exemplo, espaçadores são colocados tipicamente cerca de 2 m à parte. Como descrito acima, em uma modalidade da invenção, a força mecânica fornecida pelo material isolante permite o uso de poucos espaçadores que poderiam ser usados de outra maneira hoje, de modo que os espaçadores podem ser colocados em distâncias maiores, por exemplo, no exemplo de enrolar em carretel, cerca de 2 m (por exemplo, cerca de 4 m ou mais, ou cerca de 6 m ou mais, ou cerca de 10 m ou mais, ou mesmo cerca de 20 m ou mais) à parte. Em uma outra modalidade, o conjunto de tubo-em-tubo pode não ter nenhum espaçador. Porque os espaçadores fornecem geralmente menor grau de isolamento do que o material compressível da invenção, vantajosamente o uso de poucos espaçadores melhora a capacidade total de isolamento do conjunto de tubo-em-tubo em comparação ao uso de mais espaçadores, com a maior melhoria na capacidade de isolamento obtida com o uso de nenhum espaçador.

Quando o conjunto de tubo-em-tubo compreende pelo

menos um espaçador, o espaçador(s) pode ainda compreender meios para quebra ou a alteração do recipiente(s) pelos métodos de quebra e de alteração apresentados aqui. Por exemplo, o espaçador(s) pode compreender meios de aquecimento, meios mecânicos, ou meios químicos para quebra 5 alterar o recipiente(s) sob colocação do recipiente(s) dentro do annulus ou em qualquer tempo pré-determinado conseqüentemente.

A invenção ainda fornece um conjunto isolante de tubo-em-tubo que compreende (a) pelo menos um tubo interno com 10 uma superfície externa, (b) um tubo externo com uma superfície interna que está disposta em volta de pelo menos um tubo interno, (c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo 15 menos um tubo interno, (d) um material poroso, resiliente, compressível disposto no espaço anular, e (e) um remanescente de um recipiente que foi posicionado previamente no espaço anular e previamente mantido o material compressível um volume menor do que o volume do 20 material compressível no espaço anular. Os vários elementos do conjunto isolante de tubo-em-tubo são como descritos previamente aqui.

O remanescente (ou o resíduo de) de um recipiente que previamente manteve o material compressível pode 25 compreender o recipiente inteiro após a alteração, ou qualquer parte do recipiente após a alteração. Por exemplo, se a alteração compreende uma alteração destrutiva do recipiente, tal como a fusão ou irreversivelmente degrada pelo menos de uma parte do mesmo, pelo menos uma parte do 30 recipiente permanecerá no espaço anular conseqüentemente.

A invenção fornece adicionalmente um sistema isolante de tubo-em-tubo preparado de acordo com o método descrito descrito aqui. Em particular a invenção fornece um sistema isolante de tubo-em-tubo que compreende (a) dois conjuntos isolantes de tubo-em-tubo segundo o qual o comprimento de pelo menos um tubo interno é maior do que o comprimento do tubo externo, e segundo o qual as extremidades que se opõem do tubo(s) interno se estendem além das extremidades que se opõem do tubo externo, e segundo a qual uma extremidade do tubo(s) interno de um dos dois conjuntos isolantes de tubo-em-tubo é conectada seladamente a uma extremidade do tubo(s) interno dos outros dos dois conjuntos isolantes de tubo-em-tubo de modo que os tubos internos são contatados e em uma comunicação um com o outro para o fluxo do fluido através do mesmo, e (b) uma luva na forma de uma estrutura tubular tendo um furo o qual tem um tamanho para receber os conjuntos de tubo-em-tubo, segundo a qual uma extremidade da luva é conectada seladamente ao tubo externo de um dos dois conjuntos de tubo-em-tubo isolantes e na outra extremidade da luva é conectado seladamente ao tubo externo dos outros dos dois conjuntos isolantes de tubo-em-tubo. O sistema isolante de tubo-em-tubo opcionalmente compreende mais de um material isolante disposto no espaço entre a luva e os tubos internos dos dois conjuntos isolantes de tubo-em-tubo. Os vários elementos do conjunto isolante de tubo-em-tubo são como descritos previamente aqui.

A invenção ainda fornece um conjunto isolante de tubo-em-tubo que compreende (a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa, (b) um tubo externo com uma superfície interna que está disposta em volta de pelo menos

um tubo interno, (c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo menos um tubo interno, e (d) uma sílica nanoporosa disposta no espaço anular, segundo a qual a sílica nanoporosa tem  
5 uma densidade entre  $80 \text{ kg/m}^3$  e cerca de  $140 \text{ kg/m}^3$  e um condutividade térmica de cerca de  $20 \text{ mW/m.K}$  ou menos (por exemplo, cerca de  $12 \text{ mW/m.K}$  a cerca de  $20 \text{ mW/m.K}$ ) quando medida entre uma superfície a cerca de  $0^\circ\text{C}$  e uma superfície a cerca de  $25^\circ \text{C}$ . O conjunto isolante de tubo-em-tubo pode  
10 ser preparado pelos métodos apresentados previamente aqui, e a sílica nanoporosa pode ser como apresentada previamente aqui. A condutividade térmica pode ser medida, por exemplo, de acordo com ASTM C518.

Os conjuntos de tubo-em-tubo e os sistemas isolantes  
15 da invenção são adequados para o uso para transportar qualquer líquido segundo o qual o líquido é ou poderia estar em uma temperatura diferente do que o meio em volta. Para os propósitos deste pedido, do termo "fluido(s)" inclui gases e/ou líquidos. Os conjuntos e os sistemas da  
20 invenção são particularmente úteis em transportar hidrocarbonetos (por exemplo, óleo bruto e gás natural) do ponto de extração ao armazenamento ou em processar facilidades, assim como para transportar o gás natural liquefeito de ponto a ponto.

#### 25 EXEMPLO

Este exemplo ainda ilustra a invenção mas, certamente, não deve ser interpretado em qualquer forma limitante de seu escopo.

Quatro amostras diferentes de partículas de aerogel de  
30 sílica foram colocadas em uma célula Plexiglás que tem um

volume interno de 20 x 20 x 1 cm. Na amostra A (controle), as partículas de aerogel de sílica foram dispostas na célula sem nenhuma compressão. Nas amostras B, C, e D (invenção), quantidades aumentadas das partículas de aerogel de sílica foram dispostas na célula com quantidades aumentadas de compressão para se ajustar as partículas de aerogel de sílica dentro do volume interno da célula.

Para cada amostra, a compressão em percentual foi determinada do volume da partícula de aerogel de sílica antes da compressão ( $V_b$ ) e do volume após a compressão ( $V_a$  = volume da célula em trabalho = 400 cm<sup>3</sup>), isto é, o volume interno da célula, usando a seguinte equação: Compressão em percentual =  $[(V_b - V_a)/V_b] \times 100\%$ . A densidade em massa de cada amostra foi calculada dividindo o peso das partículas de aerogel de sílica para uma amostra particular pelo volume interno da célula.

A condutividade térmica de cada amostra foi determinada usando um protocolo paralelo Placa Quente de acordo com ASTM C518. A condutividade térmica, assim como a compressão em percentual e a densidade em massa, de cada uma das amostras são determinadas na tabela.

Tabela: Condutividade térmica versus compressão em percentual

| Amostra      | Compressão em percentual | Densidade em massa (kg/m <sup>3</sup> ) | Condutividade térmica (mW/m.k) |
|--------------|--------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| A (controle) | 0                        | 86                                      | 18,0                           |
| B (invenção) | 20                       | 103                                     | 15,7                           |
| C (invenção) | 33                       | 113                                     | 14,0                           |
| D (invenção) | 45                       | 124                                     | 14,2                           |

Como é aparente dos resultados determinados na tabela, a condutividade térmica exibida pelas partículas de aerogel desejavelmente diminuem conforme a compressão em percentual das partículas de aerogel aumentam para a faixa de pelo  
5 menos cerca de 30-40%. Em particular, as partículas de aerogel em compressão de 33% e de 45% exibiram cerca de uma redução de 22% na condutividade térmica em comparação com as partículas de aerogel sob nenhuma compressão.

Todas as referências, incluindo publicações, pedidos  
10 de patente, e patentes, citadas aqui são incorporados por meio deste por referência à mesma extensão como se cada referência fosse indicada individualmente e especificamente para ser incorporada por referência e fosse apresentada em sua totalidade.

15 O uso dos termos "um" e "uma" e "o" e referentes similares no contexto ao descrever a invenção (especialmente no contexto das modalidades precedentes) deve ser interpretado para cobrir o singular e o plural, a menos que indicado de outra maneira aqui ou contrariamente  
20 claramente pelo contexto. Os termos "que compreendem," "tendo," "incluindo," e "contendo" devem ser interpretados como termos de significado aberto (isto é, significando "incluindo, mas não limitado a,") a menos que de outra maneira observado. Apresentação das faixas de valores aqui  
25 é meramente intencionada para servir como um método estenográfico de consultar individualmente a cada valor separado que se enquadra dentro da escala, a menos que indicado de outra maneira aqui, e cada um valor separado é incorporado no pedido como se fosse apresentado  
30 individualmente aqui. Todos os métodos descritos aqui podem

ser realizados em qualquer ordem adequada a menos que indicado de outra maneira aqui ou contrariamente de outra maneira claramente pelo contexto. O uso de qualquer e de todos os exemplos, ou a língua exemplar (por exemplo, "tal  
5 como") fornecidos aqui, são intencionados para meramente iluminar melhor a invenção e não fornece uma limitação sobre o espaço da invenção a menos que especificado de outra maneira. Nenhuma linguagem no pedido não deve ser interpretada como indicativa de qualquer elemento não  
10 especificado como essencial à realização da invenção. As modalidades preferidas desta invenção são descritas aqui, incluindo melhor modo conhecido pelos inventores para realizar a invenção. As variações daquelas modalidades preferidas podem tornar-se aparentes para aqueles versados  
15 na técnica sob leitura da descrição anterior. Os inventores esperam que técnicos versados empreguem variações conforme adequadas, e os inventores pretendem para a invenção que seja realizada de outra maneira do que a descrita especificamente aqui. Conseqüentemente, esta invenção  
20 inclui todas as modificações e equivalentes da matéria em questão descrita aqui conforme permitida pela lei aplicável. Além disso, qualquer combinação dos elementos acima descritos em todas as variações possíveis dos mesmos é abrangida pela invenção a menos que indicado de outra  
25 maneira aqui ou contrariamente de outra maneira claramente pelo contexto.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de preparar um conjunto tubo-em-tubo isolado caracterizado pelo fato de que compreende:

(i) fornecer um conjunto que compreende:

5 (a) pelo menos um tubo interno,

(b) um tubo externo que está posicionado em volta de pelo menos um tubo interno para criar um espaço anular entre a superfície externa de pelo menos um tubo interno e a superfície interna do tubo externo, e

10 (c) pelo menos um recipiente compreendendo material poroso, resiliente, volumetricamente compressível, segundo o qual o material compressível é restringido dentro do recipiente e tem um primeiro volume, no qual o primeiro volume do material compressível é menor do que o volume não  
15 restringido do material compressível, e segundo o qual pelo menos um recipiente é disposto no espaço anular, e

(ii) alterar pelo menos um recipiente para reduzir a restrição sobre o material compressível para aumentar o volume do material compressível para um segundo volume que  
20 é maior do que o primeiro volume, formando desse modo um conjunto de tubo-em-tubo isolante.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende selar cada extremidade do conjunto tubo-em-tubo de modo a fechar  
25 totalmente o espaço anular.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material compressível no segundo volume, substancialmente preencher o espaço anular.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o material compressível no  
30

segundo volume está sob restrição, e segundo o qual o volume não restringido do material compressível dentro do espaço anular é maior do que o volume do espaço anular.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4,  
5 caracterizado pelo fato de que o volume não restringido do material compressível dentro do espaço anular é 1% ou maior do que o volume do espaço anular.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
10 caracterizado pelo fato de que o material compressível é um material hidrofóbico, um aerogel, um aerogel de sílica, uma sílica nanoporosa, ou um revestimento que compreende fibras.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
15 caracterizado pelo fato de que o material compressível compreende partículas tendo um tamanho de partícula médio de 0,1 mm a 5 mm.

8. Método, de acordo com a reivindicação 6,  
caracterizado pelo fato de que o revestimento possui uma estrutura fibrosa elevada.

20 9. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
caracterizado pelo fato de que o material compressível ainda compreende um opacificador selecionado do grupo que consiste de negro de fumo, dióxido de titânio, silicato de zircônio, e suas misturas.

25 10. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
caracterizado pelo fato de que o recipiente compreende uma película compreendida de um metal, um polímero, um copolímero, um tecido ou uma combinação dos mesmos.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1,  
30 caracterizado pelo fato de que alterar pelo menos um

recipiente compreende quebrar pelo menos um recipiente.

12. Método, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que a quebra de pelo menos um recipiente é executada pelo aquecimento, ruptura mecânica  
5 por aquecimento elétrico resistente, irradiação com um feixe incidente de radiação, aplicação de um diferencial de pressão, meios químicos, ou meios bioquímicos.

13. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende posicionar  
10 material isolante adicional no espaço anular antes de alterar pelo menos um recipiente.

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que o material isolante adicional compreende um material compressível.

15 15. Método, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que o material isolante adicional é um revestimento compreendendo um material tendo uma estrutura fibrosa elevada e um aerogel.

16. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material compressível é um  
20 meio para transferir uma ou mais de forças longitudinais ou radiais entre os tubos interno e externo.

17. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que um ou mais dos tubos interno  
25 e externo são formados de um material flexível.

18. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o recipiente é um recipiente  
arcado alongado e que o recipiente arcado alongado é  
coextensivo com a superfície exterior do tubo interno para  
30 uma extensão do tubo interno.

19. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de ainda compreender o fornecimento de um espaçador e posicionamento do espaçador no espaço anular.

5 20. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o número de espaçadores utilizados no conjunto tubo-em-tubo isolado é menor do que o número que seria normalmente requerido em um conjunto tubo-em-tubo produzido usando outro método.

10 21. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que nenhum espaçador está presente no espaço anular.

22. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o espaço anular, mediante a  
15 inclusão completa, está em uma pressão selecionado do grupo que consiste de pressão substancialmente atmosférica, abaixo da pressão atmosférica e maior do que a pressão atmosférica.

23. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o recipiente é um recipiente  
20 selado, o material compressível no pelo menos um recipiente no primeiro volume está sob uma pressão reduzida que é menor que a pressão atmosférica, o espaço anular tem uma pressão maior do que a pressão reduzida dentro de pelo  
25 menos um recipiente, e a alteração de pelo menos um recipiente compreende igualar a pressão em pelo menos um recipiente com a pressão do espaço anular para aumentar o volume do material compressível para o segundo volume.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, caracterizado pelo fato de que a pressão reduzida dentro de  
30

pelo menos um recipiente é de 0,1 KPa a 100 KPa.

25. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende a etapa de adicionar pelo menos um tubo externo adicional, e segundo o qual um espaço anular adicional está presente entre a superfície externa do tubo externo e a superfície interna do tubo externo adicional, e segundo o qual o espaço anular adicional é ocupado pelo material selecionado do grupo que consiste de: ar; material poroso resiliente, volumetricamente compressível; aerogel; revestimentos; fibras; revestimentos contendo aerogel; espuma de poliuretano ou contas de vidro.

26. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, caracterizado pelo fato de ser preparado conforme o método da reivindicação 1.

27. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, caracterizado pelo fato de compreender:

(a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa;

(b) um tubo externo com uma superfície interna que é disposta em volta de pelo menos um tubo interno;

(c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo menos um tubo interno;

(d) um material poroso, resiliente, compressível disposto no espaço anular; e

(e) um remanescente de um recipiente que previamente foi posicionado no espaço anular e previamente manteve o material compressível em um volume menor que o volume do material compressível no espaço anular.

28. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que cada extremidade do conjunto de tubo-em-tubo é selada de modo a fechar totalmente o espaço anular.

5 29. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível substancialmente preenche o espaço anular.

30. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível está sob restrição, e segundo o qual o volume não restringido do material compressível dentro do espaço anular é maior do que o volume do espaço anular.

31. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o volume não restringido do material compressível dentro do espaço anular é 1% ou maior do que o volume do espaço anular.

32. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível é um material hidrofóbico, um aerogel, um aerogel de sílica, uma sílica nanoporosa, ou um revestimento que compreende fibras.

33. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível compreende partículas tendo um tamanho de partícula médio de 0,1 mm a 5 mm.

34. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 32, caracterizado pelo fato de que o revestimento possui uma estrutura fibrosa elevada.

35. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material

compressível ainda compreende um opacificador selecionado do grupo que consiste de negro de fumo, dióxido de titânio, silicato de zircônio, e suas misturas.

36. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a  
5 reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o recipiente compreende uma película compreendida de um metal, um polímero, um tecido ou uma combinação dos mesmos.

37. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a  
10 reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o conjunto de tubo-em-tubo isolado ainda compreende material isolante adicional.

38. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material isolante adicional é um revestimento compreendendo um  
15 material tendo uma estrutura fibrosa elevada e um aerogel.

39. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível é um meio para transferir forças longitudinais entre os tubos interno e externo.

20 40. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que um ou mais dos tubos interno e externo são flexíveis.

41. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de ainda  
25 compreender um espaçador posicionado no espaço anular.

42. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que nenhum espaçador está presente no espaço anular.

43. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a  
30 reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o espaço

anular está em uma pressão selecionada do grupo que consiste de pressão substancialmente atmosférica, abaixo da pressão atmosférica ou maior do que a pressão atmosférica.

44. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 27, caracterizado pelo fato de que o material compressível tem uma condutividade térmica de 20 mW/m.K ou menos quando medida entre uma superfície a 0°C e uma superfície a 25°C.

45. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, caracterizado pelo fato de compreender:

(a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa;

(b) um tubo externo com uma superfície interna que é disposta em volta de pelo menos um tubo interno;

(c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo menos um tubo interno;

(d) sílica nanoporosa disposta no espaço anular;

segundo a qual a sílica nanoporosa tem uma densidade entre 80 kg/m<sup>3</sup> e 140 kg/m<sup>3</sup> e uma condutividade térmica de 20 mW/m.K ou menos quando medida entre uma superfície a 0°C e uma superfície a 25°C.

46. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que cada extremidade do conjunto tubo-em-tubo é selada de modo a fechar totalmente o espaço anular.

47. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que a sílica nanoporosa substancialmente preenche o espaço anular.

48. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a

reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que a sílica nanoporosa está sob restrição, e segundo o qual o volume não restringido da sílica nanoporosa dentro do espaço anular é maior do que o volume do espaço anular.

5        49. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que o volume não restringido da sílica nanoporosa dentro do espaço anular é 1% ou maior do que o volume do espaço anular.

10       50. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que a sílica nanoporosa é uma sílica nanoporosa hidrofóbica ou aerogel de sílica.

15       51. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que a sílica nanoporosa compreende partículas tendo um tamanho de partícula médio de 0,1 mm a 5 mm.

20       52. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um opacificador disposto no espaço anular, em que o opacificador é selecionado do grupo que consiste de negro de fumo, dióxido de titânio, silicato de zircônio, e suas misturas.

25       53. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que ainda compreende material isolante adicional disposto entre a superfície externa do tubo interno e a superfície interna do tubo externo.

30       54. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 53, caracterizado pelo fato de que o material isolante adicional é um revestimento compreendendo um

material tendo uma estrutura fibrosa elevada e um aerogel.

55. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que a sílica nanoporosa é um meio para transferir forças longitudinais  
5 entre os tubos interno e externo.

56. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que um ou mais dos tubos interno ou externo são flexíveis.

57. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a  
10 reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um espaçador posicionado no espaço anular.

58. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que nenhum espaçador está presente no espaço anular.

15 59. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 45, caracterizado pelo fato de que o espaço anular está em uma pressão selecionada do grupo que consiste de: pressão substancialmente atmosférica, abaixo da pressão atmosférica e maior que a pressão atmosférica.

20 60. Sistema de tubo-em-tubo isolado, caracterizado pelo fato de compreender:

(a) dois conjuntos de tubo-em-tubo isolado definidos na reivindicação 45, em que o comprimento de pelo menos um tubo interno é maior do que o comprimento do tubo externo,  
25 em que as extremidades opostas de pelo menos um tubo interno se estende além das extremidades opostas do tubo externo, e em que uma extremidade de pelo menos um tubo interno de um ou dos dois conjuntos de tubo-em-tubo isolado é conectada de forma selável à uma extremidade de pelo  
30 menos um tubo interno do outro de dois conjuntos de tubo-

em-tubo isolado, de modo que os tubos internos estejam ligados e em comunicação um com o outro para escoamento de fluido através dos mesmos; e

(b) um escravo na forma de uma estrutura tubular tendo  
5 um orifício que tem um tamanho para receber os conjuntos tubo-em-tubo, em que uma extremidade do escravo é conectada de forma selável ao tubo externo de um dos dois conjuntos de tubo-em-tubo isolado e a outra extremidade do escravo é conectada de forma selável ao tubo externo do outro dos  
10 dois conjuntos de tubo-em-tubo isolado.

61. Sistema de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 60, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um material isolante disposto no espaço entre o escravo e os tubos internos dos dois conjuntos de tubo-em-  
15 tubo isolado.

62. Conjunto de tubo-em-tubo isolado caracterizado pelo fato de que compreende:

(a) pelo menos um tubo interno com uma superfície externa;

20 (b) um tubo externo com uma superfície interna que é disposta em volta de pelo menos um tubo interno;

(c) um espaço anular entre a superfície interna do tubo externo e a superfície externa de pelo menos um tubo interno;

25 (d) um recipiente contendo material poroso, resiliente compressível comprimido, dito recipiente sendo disposto no espaço anular; e

(e) espaço vazio entre o recipiente (s) e a superfície interna do tubo externo.

30 63. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a

reivindicação 62, caracterizado pelo fato de que ainda compreende um centralizador ou espaçador.

64. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 62, caracterizado pelo fato de que o material  
5 compressível compreende aerogel.

65. Conjunto de tubo-em-tubo isolado, de acordo com a reivindicação 62, caracterizado pelo fato de que o dito recipiente ainda contém um remanescente de um recipiente que previamente foi posicionado no espaço anular e  
10 previamente manteve o material compressível em um volume menor do que o volume do material compressível no espaço anular.

66. Sistema de tubo-em-tubo isolado, caracterizado pelo fato de que compreende um tubo interno, um tubo  
15 externo e isolamento entre os mesmos, segundo o qual o isolamento fornece uma ou mais de carga longitudinal ou radial entre o tubo interno e o tubo externo, e segundo o qual o isolamento não é adesivamente ligado ao tubo interno ou tubo externo.

FIG. 1

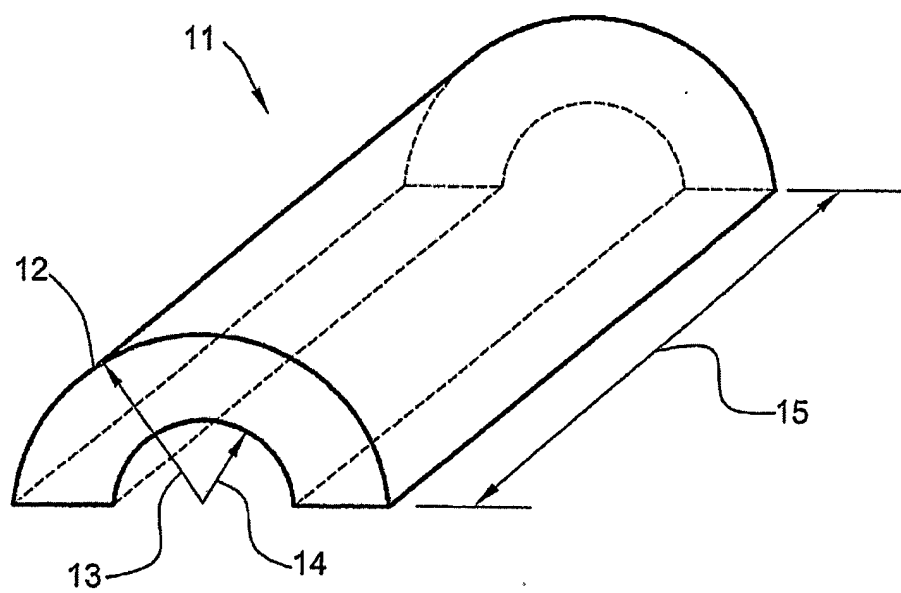


FIG. 2

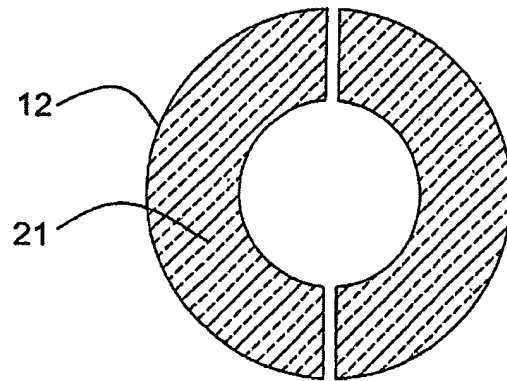


FIG. 3

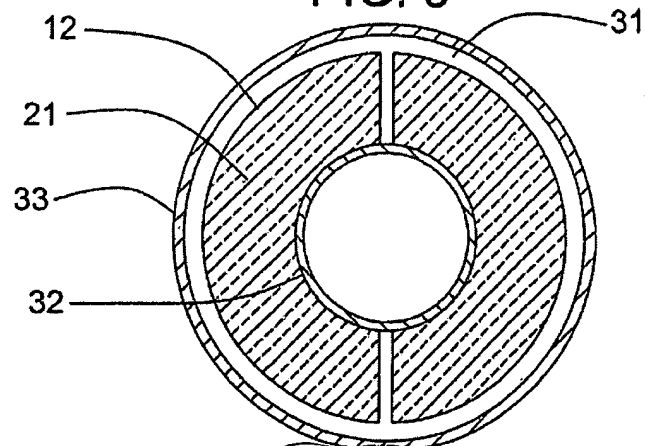


FIG. 4

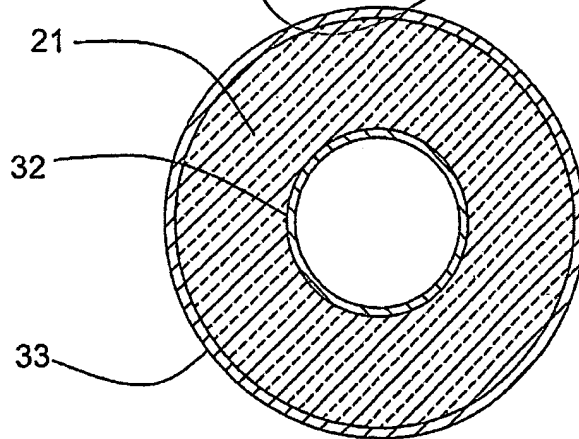


FIG. 5

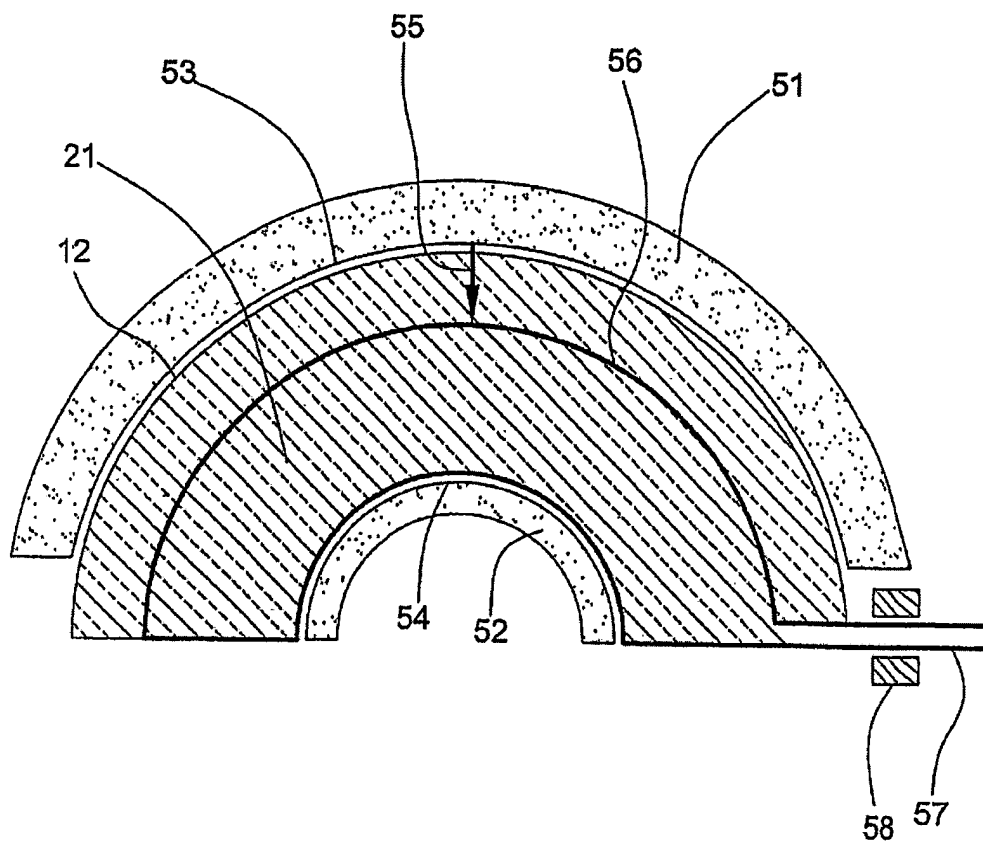
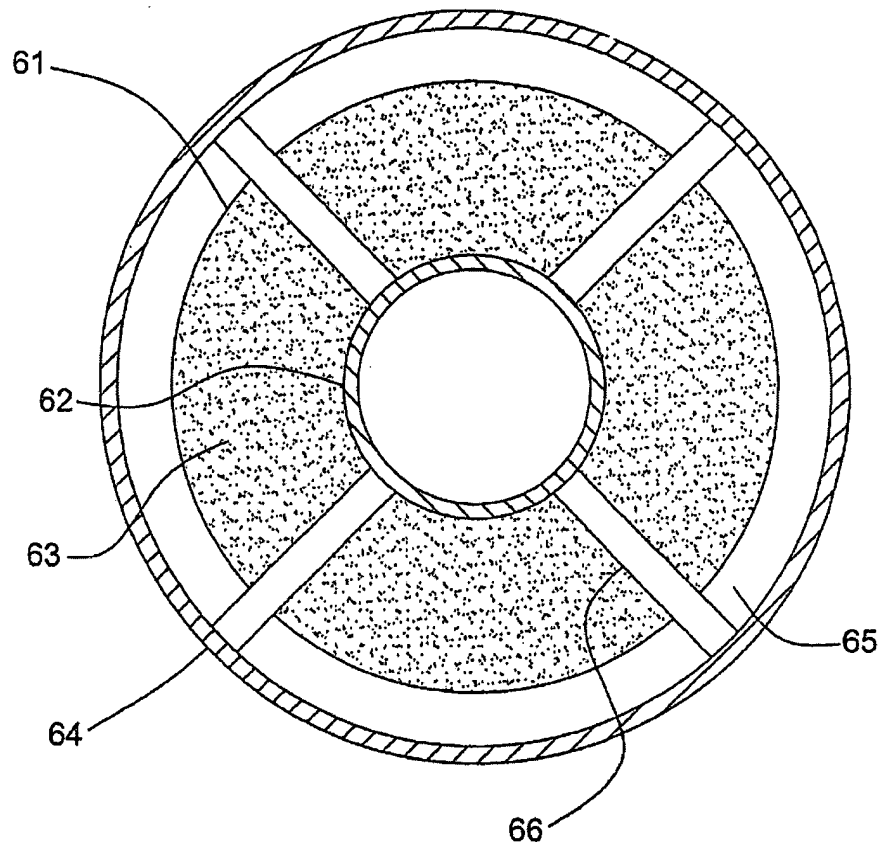


FIG. 6



MÉTODO DE PREPARAR UM CONJUNTO TUBO-EM-TUBO ISOLADO E  
CONJUNTO DE TUBO-EM-TUBO ISOLADO

A invenção fornece um conjunto de tubo-em-tubo isolado compreendendo (a) pelo menos um tubo interno; (b) um tubo  
5 externo disposto em volta de pelo menos um tubo interno de modo a criar um espaço anular entre os tubos interno e externo; (c) um material poroso, resiliente, compressível disposto no espaço anular, e (d) um remanescente de um  
10 recipiente que previamente foi posicionado no espaço anular e previamente manteve o material compressível em um volume menor que o volume do material compressível no espaço anular. A invenção também fornece um método de produzir tal um conjunto de tubo-em-tubo isolado.