



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

(11) BR 112014018674-0 B1



(22) Data do Depósito: 30/01/2012

(45) Data de Concessão: 12/01/2021

(54) Título: CARACTERIZAR CONTEÚDOS DE CONDUÍTES, ESPECIFICAMENTE OS CONDUÍTES DE FLUXO MULTIFÁSICO

(51) Int.Cl.: G01F 1/684.

(73) Titular(es): EQUINOR ENERGY AS.

(72) Inventor(es): LENE AMUNDSEN; WILLIAM GEORGE CLARK; RAINER JOSEF HOFFMANN; RUBEN SCHULKES.

(86) Pedido PCT: PCT EP2012051432 de 30/01/2012

(87) Publicação PCT: WO 2013/113356 de 08/08/2013

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/07/2014

(57) Resumo: CARACTERIZAR CONTEÚDOS DE CONDUÍTES, ESPECIFICAMENTE OS CONDUÍTES DE FLUXO MULTIFÁSICO. Um método e mecanismo para determinar conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido são descritos. O conduíte poderá ser pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede. A porção da parede poderá ser resfriada. Após o referido resfriamento, a temperatura em pelo menos um sensor de temperatura localizado adjacente à porção da parede poderá ser medida. Uma característica dos referidos conteúdos é determinada com base na referida temperatura medida em cada sensor de temperatura.

CARACTERIZAR CONTEÚDOS DE CONDUÍTES, ESPECIFICAMENTE OS CONDUÍTES DE FLUXO MULTIFÁSICO

CAMPO TÉCNICO

[001] A invenção refere-se à área da determinação dos conteúdos de conduítes. Em realizações específicas, a invenção refere-se a determinar uma característica dos conteúdos de um conduíte contendo um fluido a partir de um fluxo multifásico proveniente de um poço.

HISTÓRICO

[002] Os fluidos podem ser transportados usando conduítes, convenientemente como um fluxo multifásico, nos quais mais de um fluido esteja presente ao mesmo tempo. Na produção de petróleo e gás, os fluidos de um poço podem ser transportados em um fluxo multifásico. Isto é vantajoso devido ao fato de que, quando mais de um fluido é transportado, somente um oleoduto se faz necessário. Isso é especificamente vantajoso nos ambientes que são difíceis de se atingir, tais como, leitos de mar e climas adversos, uma vez que o uso de somente um oleoduto reduz muito os custos de capital. Ainda a jusante, o fluxo multifásico é recebido através de um separador que separa os fluidos do fluxo multifásico antes de serem conduzidos progressivamente para processamento adicional em um produto de petróleo.

[003] Os diferentes fluidos de um fluxo multifásico possuem diferentes características de fluxo, regidas por suas viscosidades e densidades diferentes. Isso torna difícil caracterizar o fluxo multifásico. É importante ser capaz de caracterizar isso uma vez que as características de fluxo descrevem as condições de fluxo. Por sua vez, isso é importante para o controle de processos. Por exemplo, no equipamento de tubo, pode-se desejar evitar acúmulo excessivo de líquido. No equipamento de separador, pode-se desejar evitar a contaminação da saída do separador (p.ex., água em óleo ou óleo em água). As características do fluxo também podem indicar se o entupimento do fluxo, ou a corrosão e erosão do oleoduto, e de outros equipamentos também é provável. O entupimento pode ocorrer pela formação de depósitos ceráceos dentro de um oleoduto ou separador. Com a finalidade de transportar fluidos em um fluxo multifásico de modo seguro, e com controle adequado portanto, é imperativo ter um bom conhecimento sobre as características de fluxo. Uma das características de fluxo mais importantes é a distribuição de fases (por vezes denominado regime de fluxo).

[004] As características de fluxo são tipicamente determinadas usando equações empíricas que foram testadas usando experimentos laboratoriais. Entretanto, essas equações são limitadas uma vez que não podem considerar todas as variáveis que podem estar presentes em um sistema de fluxo multifásico de trabalho, tal como, inclinação do equipamento, variações na taxa de fluxo e etc. Além do mais, uma vez que as plataformas de teste usadas para verificar as equações empíricas possuem diâmetros significativamente menores do que o equipamento efetivamente usado na produção, a validade dos modelos para o equipamento de produção em escala total é desconhecida.

[005] O fluxo multifásico também pode ser previsto teoricamente usando modelos e equações, porém esses sofrem limitações semelhantes para usar modelos empíricos.

[006] Outras técnicas para determinar características de fluxo envolvem usar as taxas de fluxo ou usar fontes de calor e sondas associadas.

SUMÁRIO

[007] Os inventores perceberam que existem desvantagens no uso de equações empíricas para estimar as características de fluxo. As técnicas de taxa de fluxo podem ser inexatas ou invasivas e, portanto, caras e inoportunas. Além disso, percebe-se que podem existir desvantagens ao aplicar calor ao equipamento, especificamente onde tal equipamento possa ter limitações de tolerância de temperatura.

[008] De acordo com um primeiro aspecto, é fornecido um método para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido. O conduíte é pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede. A porção da parede é resfriada. Após a referida porção da parede ser resfriada, a temperatura é medida em pelo menos um sensor de temperatura localizado adjacente à porção da parede. Uma característica dos conteúdos do conduíte é determinada com base na referida temperatura medida em ou cada sensor de temperatura.

[009] O primeiro aspecto pode opcionalmente incluir em qualquer combinação apropriada e com relação a qualquer aspecto, recursos ou etapas adicionais conforme definidos nas reivindicações aqui anexadas.

[0010] De acordo com um segundo aspecto, há aparelhos disponíveis para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido. O conduíte é pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede. O aparelho é fornecido com pelo menos um sensor de temperatura adaptado para ser ajustado

adjacente à porção da parede, e dotado de um meio de resfriamento para resfriar a referida porção da parede. Um processador é fornecido para medir a temperatura a partir de ou cada sensor de temperatura. O processador é adaptado para determinar uma característica dos referidos conteúdos com base na referida temperatura medida a partir de cada sensor de temperatura.

[0011] O segundo aspecto pode opcionalmente incluir recursos adicionais, em qualquer combinação apropriada e com relação a qualquer aspecto, conforme definido nas reivindicações aqui anexadas.

[0012] De acordo com um terceiro aspecto, é fornecido um dispositivo computacional para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido. O conduíte é pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede. O dispositivo computacional compreende um dispositivo de entrada/saída para receber, a partir de pelo menos um sensor de temperatura adjacente à porção da parede, dados indicativos de uma temperatura dos conteúdos do conduíte em proximidade a cada sensor de temperatura em resposta ao resfriamento da porção da parede. O dispositivo computacional também contém um processador dedicado para determinar uma característica dos conteúdos com base na temperatura medida em ou cada sensor de temperatura.

[0013] O terceiro aspecto pode incluir recursos adicionais em qualquer combinação apropriada e com relação a qualquer aspecto, conforme definido nas reivindicações aqui anexadas.

[0014] De acordo com um quarto aspecto, é fornecido um programa de computador, abrangendo códigos legíveis por computador que, quando executados em um dispositivo computacional, farão com que o dispositivo computacional se comporte como um dispositivo computacional segundo a descrição do terceiro aspecto acima.

[0015] De acordo com um quinto aspecto, é fornecido um produto de programa computacional abrangendo um meio computacional de leitura e um programa de computador conforme descrito acima no quarto aspecto, caracterizado pelo fato de que o programa de computador é armazenado no meio computacional de leitura.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0016] A Figura 1 é uma vista lateral de um separador e de uma câmara de resfriamento, de acordo com uma realização física da invenção;

[0017] A Figura 2 é uma extremidade do separador vista em corte, de acordo com uma realização física da invenção;

[0018] A Figura 3 ilustra esquematicamente, em um diagrama de bloco, um sistema para caracterizar regimes de multifluxo de acordo com uma realização física da invenção;

[0019] A Figura 4 é um gráfico mostrando uma resposta de temperatura de exemplo a um pulso de água fria fornecida ao equipamento de produção, para dois sensores, ao medir o fluxo multifásico estratificado;

[0020] A Figura 5 é um gráfico mostrando uma constante de tempo de exemplo para uma pluralidade de sensores em fluxo multifásico estratificado em um oleoduto;

[0021] A Figura 6 é um modelo de elemento finito do processo de resfriamento, de acordo com uma realização física da invenção;

[0022] A Figura 7 é um fluxograma mostrando as etapas, de acordo com uma realização física da invenção;

[0023] A Figura 8 é uma extremidade de um separador na vista em corte, com uma câmara de resfriamento interna de acordo com outra realização física da invenção;

[0024] A Figura 9 é a representação em perspectiva de um separador com a haste transversa definindo uma câmara de resfriamento no local, de acordo com outra realização física da invenção; e

[0025] A Figura 10 é uma vista lateral em corte de uma seção de oleoduto com uma câmara de resfriamento mostrando uma camada do depósito ceráceo, de acordo com outra realização física da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[0026] Com referência à Figura 1, é ilustrado o equipamento de produção 1 com uma câmara de resfriamento 2 disposta adjacente a uma parede do equipamento de produção 1. O equipamento de produção 1 neste exemplo é um separador tubular, embora a câmara de resfriamento 2 possa ser usada com qualquer tipo de equipamento de produção, p.ex., disposto em torno ou adjacente a sua parede. A câmara de resfriamento está disposta para receber um fluido através da mesma para resfriar o equipamento de produção, ou parte do mesmo. A câmara de resfriamento pode ter diferentes formas. Considera-se aqui que a câmara poderia ser um canal, duto ou espaço anular fornecendo um fluido adjacente a uma superfície, por exemplo, uma superfície externa da parede, do equipamento de produção 1.

[0027] Com referência à Figura 2, a disposição interna da câmara de resfriamento 2 e o equipamento de produção 1 poderão ser vistos em mais detalhes. O equipamento de produção 1 tem um conduíte 31 definido no local para receber um fluxo multifásico. O conduíte 31 é fornecido dentro da parede, e é definido por uma superfície de parede interna, enquanto a câmara de resfriamento 2 é fornecida em torno de uma parte externa da parede 31. Pode-se constatar que uma pluralidade dos sensores de temperatura 4, 5, 6, 7, 8 também está disposta em torno do equipamento de produção 1. Para garantir o bom contato entre os sensores de temperatura e a parede 30 do equipamento de produção 1, as ranhuras podem ser introduzidas em uma superfície externa da parede. Cada ranhura é usada para alojar um sensor de temperatura.

[0028] Com referência à Figura 3, é ilustrado um sistema para caracterizar o fluxo multifásico. Conforme pode ser visto, a câmara de resfriamento 2 é conectada a um mecanismo de fornecimento de fluido 20 usado para fornecer um fluxo de fluido frio, para resfriar o equipamento de produção, através da câmara de resfriamento. O mecanismo de fornecimento de fluido 20 também pode ser usado para fornecer um gás de purga à câmara de resfriamento para substituir o fluido frio. O mecanismo de fornecimento de fluido pode ser conectado a uma fonte de fluido e pode incluir as válvulas controláveis usadas para parar, iniciar e/ou controlar o fluxo do fluido frio, e opcionalmente o gás de purga, a partir de uma respectiva fonte para dentro e fora da câmara de resfriamento 2.

[0029] Os sensores de temperatura são conectados a um dispositivo computacional 9 usando um dispositivo de entrada/saída 10. O dispositivo de entrada/saída 10 é usado para enviar instruções e receber dados a partir dos sensores de temperatura. O processador 11 também é usado para analisar as medições obtidas a partir dos sensores de temperatura. Considera-se aqui que essas funções podem ser implantadas usando diferentes processadores, porém, para fins de clareza, somente um processador 11 é mostrado.

[0030] De modo semelhante, o mecanismo de fornecimento de fluido é conectado ao dispositivo computacional 9 usando o dispositivo de entrada/saída 10. O dispositivo de entrada/saída 10 é usado para enviar instruções ao mecanismo de fornecimento de fluido 20, por exemplo, para controlar uma válvula de fluxo, e para receber dados do mesmo, por exemplo, para fornecer informações de status da válvula ou semelhante. Um processador 11 é usado para gerar instruções a serem enviadas ao mecanismo de

fornecimento de fluido 20 para controlar o fluxo de fluido frio através da câmara e resfriamento do equipamento de produção.

[0031] Nesta realização do exemplo, um display 12 também é fornecido para permitir ao usuário ver os resultados da análise das informações a partir dos sensores de temperatura. Um meio computacional de leitura, na forma de uma memória 13 também é fornecido. A memória 13 pode ser usada para armazenar os dados coletados, instruções pré-programadas para o mecanismo de fornecimento de fluido 20 e sensores de temperatura, e um banco de dados 14 de respostas térmicas e números de Prandtl para uma variedade de fluidos e misturas de fluido sob diferentes condições. A memória 13 também pode ser usada para armazenar um programa 15 que inclui as instruções a serem executadas pelo processador.

[0032] Observe que a Figura 3 ilustra um controlador na forma de um dispositivo computacional 9 conectado a um único item de equipamento de produção 1. Considera-se aqui que um único dispositivo computacional 9 pode ser conectado a uma pluralidade de itens de equipamento de produção, ou para controlar uma pluralidade de câmaras de resfriamento dispostas em diferentes pontos em um ou mais itens de equipamento de produção com a finalidade de caracterizar o fluxo multifásico em diferentes itens de equipamento de produção ou em diferentes pontos no mesmo equipamento de produção.

[0033] Quando o equipamento de produção 1 contiver um fluido multifásico, e for exigido de algum modo caracterizar o fluxo do fluido multifásico, o processador 11 envia uma instrução ao mecanismo de fornecimento de fluido 20 para fornecer um pulso curto de fluido frio à parede do equipamento de produção ao fornecer à câmara de resfriamento 2 um fluido frio por um curto período de tempo. O tempo é selecionado para garantir que uma resposta de temperatura razoável possa ser obtida, que é com base no efeito de resfriamento fornecido pela câmara de resfriamento e mecanismo de fornecimento. Quando a câmara de resfriamento 2 recebe um fluido frio, ela inicia o resfriamento, e resfria então a parede do equipamento de produção 1. O calor dos fluidos dentro do equipamento de produção é conduzido através da parede e aquece o fluido contido dentro da câmara de resfriamento 2. O fluido, neste exemplo, compreende a saída a partir de um poço de subsuperfície.

[0034] Quando o fornecimento da câmara de resfriamento 2 com o fluido frio é parado, a temperatura das paredes do equipamento de produção 1 começa a aumentar

conforme o calor do fluido contido dentro do equipamento de produção 1 seja dissipado no fluido contido dentro da câmara de resfriamento 2. A taxa em que a temperatura aumenta é dependente, entre outras coisas, da natureza do fluido adjacente à parede do equipamento de produção 1, e especificamente do coeficiente de transferência de calor entre a parede interna do equipamento de produção 1 e o fluido adjacente à superfície de parede interna. Se a parede tiver uma camada cerácea depositada em sua superfície interna, isso também afeta o coeficiente de transferência de calor entre a parede e o fluido adjacente à parede.

[0035] A temperatura das paredes é medida usando os sensores de temperatura. O sinal de medição de interesse específico é a resposta transitória de temperatura após ser interrompido o fluxo do fluido frio. O tempo de medição para um pulso de fluido frio é determinado pela massa térmica que precisa ser aquecida. Com referência à Figura 2, isso inclui a parede de tubo de separador (com qualquer depósito), o fluido no anel definido pela câmara e a parede externa da câmara 2. A parede do equipamento de produção e parede da câmara pode ser formada a partir de um metal tal como o aço.

[0036] O tempo de medição pode ser otimizado ao se alterar a massa térmica. Por exemplo, reduzir a massa térmica reduz o tempo de medição. Um modo de reduzir a massa térmica é primeiramente inundar a câmara 2 com um líquido frio, tal como a água fria, até que a parede do separador tenha atingido uma temperatura fria estável (i.e., ao aplicar um pulso de água fria). Assim que a temperatura estável seja atingida, um gás de purga pressurizado, tal como, ar ou nitrogênio ou semelhante, é fornecido à câmara e usado para rapidamente lavar toda a água da câmara, de modo que somente o gás esteja presente durante o período de medição. A massa térmica é reduzida uma vez que efetivamente somente a parede do separador é aquecida, já que o gás no anel não tem quase nenhuma capacidade de aquecimento. Os pulsos do fluido frio podem então ser aplicados e as medições da resposta de temperatura feitas mais frequentemente.

[0037] Um benefício adicional da lavagem por gás é que a convecção de líquido dentro da câmara é evitada: Se o líquido for mantido no anel durante o processo de medição, e diferentes regiões forem aquecidas em diferentes taxas dependendo do local em torno do separador, isso poderia levar a variações na temperatura do líquido contido na câmara. Isso, por sua vez, iniciaria a convecção no líquido que poderia perturbar o

processo de medição. O processo de lavagem por gás pode, portanto, auxiliar a melhorar a capacidade de medição e qualidade de medição da resposta térmica.

[0038] Ao submeter a parede do equipamento de produção ao resfriamento por um pulso de fluido frio, o fluxo multifásico dentro do equipamento também experimentará algum resfriamento, pelo menos temporariamente, o que pode originar um depósito de cera em uma superfície interna do equipamento de produção ou na parede do conduíte, próximo à câmara de resfriamento. Tal depósito de cera afeta o comportamento de transferência de calor. De tempos em tempos, portanto, pode ser desejável que a câmara de resfriamento também seja lavada com um fluido quente para liberar os acúmulos de cera. O fornecimento do fluido quente pode ser realizado e controlado, usando o mecanismo de fornecimento de fluido e o dispositivo computacional, de forma semelhante ao fornecimento de um fluido frio e do gás de purga, conforme acima explicado.

[0039] O coeficiente de transferência de calor depende do número de Prandtl, Pr , que reflete as propriedades térmicas do fluido. Os números de Prandtl para os fluidos transportados tipicamente (óleo, gás, água) diferem o suficiente para mostrar uma diferença significativa na resposta térmica medida.

[0040] O número de Prandtl é sem dimensão, uma vez que é uma razão da difusividade do momentum sobre a difusividade térmica, e pode ser definido por:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (1)$$

[0041] onde ν é a viscosidade cinemática, α é a difusividade térmica, μ é a viscosidade dinâmica, k é a condutividade térmica, c_p é o calor específico, e ρ é a densidade. Um Pr baixo normalmente indica que a transferência condutiva seja o mecanismo dominante de transferência de calor, e o calor difunde-se rapidamente, considerando que um Pr alto normalmente indica que a transferência de calor por convecção seja o mecanismo dominante de transferência de calor, e o calor difunde-se menos rapidamente.

[0042] Pode ser visto a partir da Figura 2 que, no fluxo multifásico, um fluido de alta densidade provavelmente estará adjacente aos sensores inferiores de temperatura 7, 8, considerando que um fluido de densidade inferior estará fluindo adjacente aos sensores superiores de temperatura 4, 5. Este tipo de fluxo é denominado fluxo

estratificado. A invenção pode ser aplicada a outros tipos de fluxo, porém o fluxo estratificado é usado como um exemplo.

[0043] A Figura 4 mostra uma resposta térmica de exemplo a partir do sensor de temperatura 4 e do sensor de temperatura 8, em um exemplo em que o equipamento de produção 1 esteja transportando óleo e água no fluxo estratificado; serão portanto diferentes. Isso pode ser uma resposta representativa para aplicação do fluido frio e resfriamento de uma porção da parede por um período de 10-30 segundos. Neste exemplo, devido às diferentes densidades dos dois fluidos, o sensor de temperatura 4 está adjacente ao óleo no equipamento de produção 1, e o sensor de temperatura 8 está adjacente à água no equipamento de produção 1. A temperatura no sensor 8 adjacente à água cai mais rapidamente, atinge um valor inferior, e aumenta mais rapidamente do que a temperatura no sensor 4 adjacente ao óleo. Essas informações podem ser usadas para auxiliar a caracterizar o fluxo multifásico, ou pelo menos para determinar quais fases estão presentes e em quais pontos no conduto.

[0044] Com a finalidade de melhorar a qualidade das medições, e melhorar a razão sinal-ruído, uma constante de tempo é extraída a partir da resposta de temperatura de cada sensor a partir da alteração na temperatura após o pulso frio. Um aumento logarítmico na temperatura ocorre brevemente após a temperatura mínima ter sido medida. Ao invés de medir o tempo que demora para atingir um determinado nível de temperatura, que somente usaria um ponto de medição de temperatura e que poderia, de modo geral, introduzir uma grande porção de incertezas (embora, nos casos específicos, um único valor de medição possa ser suficiente), a determinação da constante de tempo a partir do aumento logarítmico na temperatura utiliza uma grande série de pontos, e suaviza e atenua os erros correspondentes.

[0045] Se as fases esperadas no equipamento de produção já forem conhecidas (neste caso, óleo puro e água pura sem nenhuma dispersão), então o regime de fluxo poderá ser facilmente determinado. A constante de tempo pode ser usada para determinar um ou mais parâmetros do fluido, tais como o tipo de fluido em fluxo na proximidade do sensor de temperatura.

[0046] Com referência à Figura 5, uma constante de tempo de exemplo para cada sensor 4, 5, 6, 7, 8 é mostrada. Pode ser visto que a constante de tempo sobre um período significativo de tempo para cada sensor de temperatura 4, 5, 6 encontra-se aproximadamente a mesma, considerando que a constante de tempo para os sensores

de temperatura 7 e 8 são semelhantes entre si, porém diferentes das constantes de tempo dos sensores de temperatura 4, 5 e 6. Isso indica claramente um fluxo estratificado com uma fase de fluido no equipamento de produção 1 até pelo menos o nível em que o sensor de temperatura 7 está localizado, e outra fase de fluido no equipamento de produção 1 acima do nível em que o sensor de temperatura 7 está localizado.

[0047] A constante de tempo pode ser usada para caracterizar o fluxo de fluido, uma vez que é afetado por ambas as propriedades de fluido e pela velocidade do fluxo. Por exemplo, a constante de tempo pode ser medida para fluxos de única fase (para cada um dos fluidos usados sucessivamente) em diferentes velocidades de fluxo. Isso pode ser usado para gerar uma tabela de consulta das constantes de tempo como função do tipo de fluido e da velocidade de fluxo. Uma medição a partir de um fluxo multifásico pode ser subsequentemente consultada na tabela (a velocidade de fluxo deve ser medida em paralelo) para determinar a distribuição de fase. Isso pode ser feito manualmente ou usando um computador para fornecer uma indicação do fluxo de fluido.

[0048] Se um modelo confiável do fluxo de fluido dentro da geometria de medição estiver disponível, então o coeficiente de transferência de calor poderá ser calculado a partir do resultado de medição. O coeficiente de transferência de calor depende do número de Prandtl e número de Reynolds. O número de Reynolds é conhecido, e então o número de Prandtl pode ser determinado. O número de Prandtl pode ser então comparado aos números conhecidos de Prandtl dos fluidos esperados no equipamento de produção. Observe que as propriedades materiais tais como o número de Prandtl também são dependentes da temperatura bruta no equipamento de produção, então a temperatura precisa ser conhecida (medida ou simulada) e os parâmetros materiais precisam ser ajustados de acordo com a temperatura atual.

[0049] Se a distribuição de fase não for já conhecida, por exemplo, uma fase pode ser uma dispersão de óleo em água, e outra fase pode ser óleo, então a constante de tempo medida em cada sensor é comparada com uma constante de tempo previamente medida para um fluido conhecido que o equipamento de produção conteria provavelmente. A constante de tempo pode variar de acordo com a natureza do fluido, a taxa de fluxo do fluido e a temperatura do fluido.

[0050] Dessa forma, as características do fluido em proximidade a cada um dos sensores de temperatura podem ser determinadas e uma foto pode ser construída do local dentro do equipamento de produção 1 em que as fases podem ser encontradas. Considera-se aqui que fornecer mais sensores de temperatura localizados em diferentes pontos em torno do equipamento de produção 1 resultará em uma foto mais exata da distribuição de fase no fluxo de fluido multifásico dentro do equipamento de produção 1.

[0051] Com a finalidade de obter ainda mais informações para caracterizar o fluxo de fluido multifásico, é possível calcular o número de Prandtl do fluido usando a resposta de temperatura medida usando uma representação de Método de Elemento Finito (FEM) da geometria, conforme mostrado na Figura 6. Comparar o número de Prandtl calculado com os números de Prandtl previamente medidos dos diversos fluidos (p.ex., dispersões de óleo/água em diversos cortes de água) pode ser usado para fornecer uma foto ainda mais detalhada da distribuição de fase.

[0052] O modelo simplificado de FEM ilustrado na Figura 6 mostra a parede do equipamento de produção 1, e a câmara de resfriamento 2. O fluxo de fluido ocorre no lado oposto da parede do equipamento de produção 1 ao da câmara de resfriamento 2. A câmara de resfriamento 2 neste modelo é considerada como isolada a partir da temperatura ambiente, e U_{fluido} pode ser obtido para óleo, água ou uma mistura de fluidos. Observe que a Figura 6 ilustra uma geometria muito simples, e geometrias mais complexas podem ser modeladas. Por exemplo, pode ser modelada uma camada de depósitos de cera na parede do equipamento de produção.

[0053] Com referência agora à Figura 7, existe um fluxograma ilustrando as etapas de acordo com uma realização física da invenção. A seguinte numeração corresponde ao da Figura 7:

[0054] S1. Um pulso de fluido frio é aplicado a uma parede do equipamento de produção transportando o fluxo de fluido multifásico.

[0055] S2. A resposta térmica é medida em diversos sensores de temperatura dispostos em proximidade ao equipamento de produção. Uma constante de tempo é obtida para cada sensor usando o aumento na temperatura após um mínimo ser atingido.

[0056] S3. A resposta térmica em cada sensor de temperatura é usada para determinar os parâmetros de fluido, tal como, a natureza do fluido, em proximidade a

cada sensor de temperatura. Isso poderá exigir comparar a resposta térmica com as respostas térmicas previamente obtidas para fluidos conhecidos sob as condições conhecidas.

[0057] S4. Se nenhuma informação adicional for exigida, então o processo termina.

[0058] S5. Se informações adicionais forem exigidas, então o número de Prandtl do fluido em proximidade a cada sensor de temperatura é calculado usando FEM.

[0059] S6. O número de Prandtl calculado em cada sensor de temperatura é comparado aos números de Prandtl para fluidos conhecidos.

[0060] Com referência agora à Figura 8, é mostrado o equipamento de produção 1 com uma câmara de resfriamento 102 ajustada dentro do equipamento de produção 1. A câmara de resfriamento pode ser ajustada de modo removível. Neste exemplo, o equipamento de produção é um separador e a câmara de resfriamento 102 é definida por uma haste oca estendendo-se no plano da página, ao longo de um eixo longitudinal do separador. Um conduíte 131 é definido dentro do equipamento de produção, para receber um fluxo multifásico no mesmo, entre uma superfície interna da parede 30 do equipamento de produção e uma superfície de parede externa da parede 130 da câmara de resfriamento 102. Os sensores de temperatura 5, 6, 7, 8 são dispostos adjacentes a uma porção da parede 130 da câmara de resfriamento em torno de sua circunferência interna. Os sensores de temperatura são usados para medir uma resposta térmica ao submeter a porção da parede da câmara de resfriamento a um pulso do fluido frio. A resposta térmica pode, por exemplo, ser uma constante de tempo ou uma única medição de temperatura. Mais especificamente, em resposta à aplicação do pulso da água fria, os sensores medem uma queda e, após isso, um aumento na temperatura da porção da parede devido à presença dos fluidos quentes dentro do conduíte, da mesma forma que na realização acima descrita com referência à Figura 2, em que os sensores de temperatura são fornecidos na parede 30 do equipamento de produção. O pulso do fluido frio é fornecido à parede da câmara ao usar um mecanismo de fornecimento de fluido 20, e pode ser controlado usando um dispositivo computacional 9. Dessa forma, em um lado da parede 131, um conduíte é definido, por uma superfície externa da parede 130, para transportar o fluxo multifásico, enquanto um pulso do fluido frio é fornecido e sensores de temperatura são fornecidos adjacentes a uma superfície interna da parede 131 em outro lado oposto da parede

130. Considera-se aqui que a câmara terá entrada e saídas para o fornecimento do fluido (não mostrado).

[0061] Um benefício da disposição da Figura 8 é que a parede da câmara de resfriamento é mais fina do que a parede externa do separador, reduzindo a massa térmica. A resposta térmica é, portanto, mais rápida, reduzindo o tempo de medição necessário, e permitindo uma frequência superior de medição. Tipicamente, a parede é feita de um metal tal como o aço.

[0062] Considera-se aqui que uma haste interna, tal como aquela da Figura 8, poderia ser disposta dentro do equipamento de produção em diferentes orientações, por exemplo, verticalmente ou através de um eixo longitudinal do equipamento de produção, com os sensores de temperatura em diferentes posições para medir a resposta térmica a um pulso frio para caracterizar uma distribuição de fase. Tal exemplo é mostrado na Figura 9. Conforme pode ser visto, uma haste vertical internamente oca estende-se perpendicularmente à parede do equipamento de produção 1, ao conduto. A haste define uma câmara de resfriamento 302, e é fornecida com os sensores de temperatura 304, 305, 306, 308 espaçados entre si ao longo e acoplados à parede 330 para medir uma resposta de temperatura ao aplicar um pulso de fluido frio para resfriar a parede 330. Também se considera aqui que, em outras realizações, os sensores de temperatura poderiam ser colocados tanto em torno da parede 30 do equipamento de produção 1 quanto da parede 130 da câmara de resfriamento 102, para aumentar as informações de medição e a capacidade de caracterizar o fluxo. Na base da parte interna da haste da mesma, uma parede na extremidade age no sentido de conter o fluido na mesma, e facilita a orientação do fluido fornecido através da câmara.

[0063] Embora o uso de uma constante de tempo a partir da resposta de temperatura seja usado nas realizações acima descritas, pode ser possível, não obstante, derivar uma distribuição de fase de outros modos. Por exemplo, ao invés da constante de tempo, um valor de temperatura em determinado ponto no tempo, após a aplicação do pulso do fluido frio, ou segundo respostas modeladas para diferentes fluidos, poderá fornecer uma indicação do fluido em proximidade ao sensor. As respostas conhecidas ou modeladas poderiam ser armazenadas em um banco de dados e consultadas automaticamente.

[0064] Em algumas realizações, a espessura, presença e/ou tipo de conteúdo do conduíte na forma de uma camada cerácea, depositada na parte interna da parede de separador, podem ser determinados, já que o coeficiente de transferência de calor depende da espessura de tal camada. Com a finalidade de determinar se um depósito está presente, ou sua espessura, a resposta de temperatura pode ser comparada às respostas conhecidas ou modeladas para paredes com camadas ceráceas de diferentes espessuras. Alternativamente, a resposta de temperatura de um sensor no qual não se sabe se um depósito ceráceo está presente pode ser comparada com a resposta anterior de temperatura para o mesmo sensor, a partir da aplicação anterior de um pulso das diferenças de fluido frio nas respostas, este sendo usado para inferir se um depósito ceráceo encontra-se presente. Por exemplo, em um fluxo multifásico abrangendo um fluxo de óleo/gás estratificado, pode-se supor que determinado ponto (neste exemplo, no ponto mais inferior em um tubo ou separador) sempre estará no óleo. Todas as alterações vistas na resposta de temperatura a partir do sensor de temperatura nesse ponto mais inferior serão então devidas a um acúmulo ou remoção de depósito. Outro exemplo, no caso do fluxo de óleo/água estratificado, poderia usar de modo semelhante a resposta a partir do sensor de temperatura no ponto mais alto no tubo/separador, para detectar uma alteração ou presença de um depósito em proximidade ao sensor.

[0065] Embora tenhamos nos referido acima especificamente ao equipamento de produção na forma de um separador, a aplicação da invenção a outros tipos de equipamento de produção também pode ser vantajosa. Especificamente, é útil nas situações em que a cera tenha sido depositada devido ao fato do resfriamento obtido pela aplicação do pulso de fluido frio manter intacto o depósito de cera, de modo que a distribuição das fases dentro do equipamento pode ser mantida relativamente estável durante a medição da resposta térmica.

[0066] Em algumas realizações, um único sensor de temperatura pode ser usado para determinar uma característica de fluido multifásico. Tal realização é mostrada na Figura 10, onde é fornecido o equipamento de produção 1 na forma de uma seção do tubo, através do qual um fluxo multifásico é transportado. Isso também mostra uma camada cerácea 203 que foi depositada a partir de um fluxo multifásico na superfície interna do equipamento 1. Na seção mostrada, uma câmara de resfriamento 2 é fornecida em torno da parede do equipamento de produção. Um único sensor de temperatura 204 é

fornecido na parede do equipamento de produção para medir uma resposta térmica após submeter o equipamento 1 a um pulso de fluido frio dentro da câmara 2. A resposta térmica pode ser usada para determinar uma espessura do depósito ou uma distribuição de fase conforme acima explicado.

[0067] Quando um único sensor de temperatura for usado, isso fornecerá informações apenas dos parâmetros de fluido ou do depósito em proximidade a tal sensor específico. Isso poderá ser suficiente quando existir um depósito uniforme e/ou regime de fluxo uniforme.

[0068] A invenção permite aos equipamentos de produção multifásicos tal como oleodutos e separadores operar de modo mais seguro e mais efetivo, uma vez que o fluxo de fluido no equipamento de produção pode ser monitorado, e quaisquer problemas potenciais podem ser diagnosticados. É especificamente adequado para uso com equipamento quente, operando em temperaturas elevadas, onde o resfriamento do equipamento pode fornecer uma solução especificamente conveniente, econômica e segura. Por exemplo, pode permitir que as tolerâncias de temperatura do equipamento de produção sejam relaxadas ou permitir que uma resposta de temperatura seja obtida para caracterizar o fluxo com as tolerâncias existentes de equipamento e temperatura. A técnica é não intrusiva e portanto não prejudica a integridade do equipamento. Além do mais, pode ser facilmente aperfeiçoada ao equipamento de produção em data posterior, sem interromper as operações existentes. A invenção pode, portanto, ser usada para monitorar o fluxo multifásico dentro do equipamento de produção, tal como um oleoduto ou separador. Alguns tipos de fluxo podem ser destrutivos ou prejudiciais a um oleoduto, e monitorar o fluxo multifásico pode realçar quaisquer tipos de fluxo conhecidos como prejudiciais. Isso permite que medida corretiva seja tomada antes do fluxo tornar-se muito prejudicial.

[0069] Deve ser observado que o termo “fluido” com relação a um fluido de um fluxo multifásico, inclui os fluidos na forma de um gás ou líquido, ou de fluidos misturados tais como uma emulsão ou semelhante, por exemplo, uma emulsão de óleo em água. Também inclui os fluidos estratificados.

[0070] Diversas modificações podem ser feitas às realizações acima descritas sem desviar do escopo da presente invenção, conforme definido nas reivindicações anexas. Por exemplo, enquanto os exemplos acima fornecidos aplicam-se a um oleoduto e separador, a invenção pode ser usada para caracterizar os conteúdos de qualquer tipo

de conduíte do equipamento de produção para uso na produção de óleo e gás. Além disso, considera-se aqui que uma câmara de resfriamento como tal não necessariamente poderá ser exigida. Qualquer meio de resfriamento das porções de parede por períodos limitados de tempo poderá ser adequado.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido, o conduíte sendo pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede, e abrangendo o método:

- resfriar a referida porção da parede, em que o método é **caracterizado** pelo fato de que

- após resfriar a referida porção da parede, medir a resposta transitória de temperatura da porção de parede em pelo menos um sensor de temperatura, localizado adjacente à porção da parede; e

- determinar uma característica dos referidos conteúdos com base na referida resposta transitória de temperatura da porção de parede, em ou cada sensor de temperatura, a dita etapa de determinação compreendendo:

- determinar um parâmetro dos conteúdos do conduíte em proximidade a cada sensor de temperatura, usando a resposta transitória de temperatura da porção de parede medida em cada sensor de temperatura; e determinar uma característica dos conteúdos usando o parâmetro determinado de conteúdos.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a etapa de resfriamento da referida porção de parede inclui a aplicação de um pulso de fluido frio adjacente à porção da parede.

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que a referida etapa de medição usa uma pluralidade de sensores de temperatura localizados adjacentes à porção da parede, e o método inclui:

- medir uma resposta transitória de temperatura da porção de parede em cada um dos sensores de temperatura; usar as resposta transitória de temperatura medidas para determinar os parâmetros dos conteúdos do conduíte em proximidade a cada um dos sensores de temperatura; e

- usar os parâmetros determinados de conteúdo para determinar a característica dos conteúdos do conduíte.

4. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de estar incluindo:

- repetir a etapa de resfriamento da referida porção de parede; e

- medir a resposta transitória de temperatura da porção de parede em cada sensor de temperatura após a etapa de resfriamento da referida porção de parede;

no qual a referida determinação de uma característica dos conteúdos baseia-se tanto na resposta transitória de temperatura medida após a referida etapa de resfriamento da referida porção de parede quanto na resposta transitória de temperatura medida após a etapa de resfriamento da referida porção de parede ser repetida.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que incluir a determinação de uma constante de tempo obtida a partir de um aumento na temperatura da porção de parede medida em cada sensor de temperatura após o pulso do fluido frio ter sido fornecido.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que a constante de tempo é comparada às constantes de tempo previamente medidas para fluidos conhecidos com a finalidade de caracterizar os conteúdos.

7. Método de acordo com a reivindicação 5 ou 6, **caracterizado** pelo fato de que a constante de tempo é comparada às constantes de tempo para fluidos conhecidos em qualquer de uma pluralidade de diferentes temperaturas e fluindo em uma pluralidade de diferentes taxas.

8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que o conduíte contém qualquer de: um fluido de um poço; um fluido de um fluxo multifásico; um fluido multifásico; um fluido de produção de hidrocarboneto; e um depósito.

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que a referida característica dos conteúdos compreende qualquer uma dentre as seguintes: uma distribuição dos conteúdos; presença de depósito; espessura de depósito; e regime de fluxo.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda usar a resposta transitória de temperatura medida da porção de parede para determinar um número de Prandtl de um fluido do conduíte em proximidade a pelo menos um sensor de temperatura dentre a pluralidade dos sensores de temperatura.

11. Método de acordo com a reivindicação 10, ainda **caracterizado** por estar abrangendo comparar o número de Prandtl determinado com os números de Prandtl previamente medidos para fluidos conhecidos, com a finalidade de caracterizar ainda mais o conteúdo.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, **caracterizado** pelo fato de que o conduíte é parte de um separador.

13. Mecanismo para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido, o conduíte sendo pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede, o mecanismo **compreendendo**:

pelo menos um sensor de temperatura adaptado para ser ajustado adjacente à porção da parede;

meio de resfriamento para resfriar a referida porção da parede; em que o mecanismo é **caracterizado** por:

um processador para medir uma resposta transitória de temperatura da porção de parede a partir de cada sensor de temperatura;

em que o processador é adaptado para determinar uma característica dos referidos conteúdos com base na resposta transitória de temperatura da porção de parede medida a partir de cada sensor de temperatura, usando a resposta transitória de temperatura medida da porção de parede para determinar um parâmetro dos conteúdos do conduíte em proximidade ao ou cada sensor de temperatura, e usar o parâmetro determinado de conteúdos para determinar a característica dos conteúdos do conduíte.

14. Mecanismo de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** pelo fato de que o referido sensor de temperatura é um dentre os sensores de temperatura, e o processador é um processador para medir a resposta transitória de temperatura da porção de parede a partir de cada um dentre os sensores de temperatura e é ainda adaptado para usar a resposta transitória de temperatura medida para determinar os parâmetros dos referidos conteúdos em proximidade a cada um dos sensores de temperatura e usar os parâmetros determinados de conteúdos para determinar uma característica dos referidos conteúdos.

15. Mecanismo de acordo com a reivindicação 13 ou 14, **caracterizado** pelo fato de que a temperatura medida da porção de parede aumenta após o pulso de fluido frio ter sido fornecido e uma constante de tempo ser obtida a partir do referido aumento na resposta transitória de temperatura da porção de parede medida em cada sensor de temperatura, e o processador é adaptado para determinar a característica dos conteúdos com base na constante de tempo.

16. Mecanismo de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 15, **caracterizado** pelo fato de que o processador é adaptado ainda mais para controlar a operação de um meio de fornecimento de fluido para fornecer um fluido frio adjacente à porção da parede, para resfriar a porção da parede.

17. Mecanismo de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 16, **caracterizado** pelo fato de que o processador ainda compreende um banco de dados, o banco de dados armazenando as respostas térmicas previamente medidas dos fluidos conhecidos.

18. Mecanismo de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 17, **caracterizado** pelo fato de que o processador é ainda adaptado para calcular um número de Prandtl de um fluido em proximidade a cada um dos sensores de temperatura.

19. Dispositivo computacional para determinar os conteúdos de um conduíte contendo pelo menos um fluido, o conduíte sendo pelo menos parcialmente definido por pelo menos uma porção da parede, o dispositivo computacional compreendendo:

um dispositivo de entrada/saída para receber, a partir de pelo menos um sensor de temperatura adjacente à porção da parede, os dados indicativos de uma temperatura dos conteúdos do conduíte em proximidade a cada um dos sensores de temperatura, em resposta ao resfriamento da porção da parede; e em que o dispositivo computador é **caracterizado** por

um processador configurado para determinar uma característica dos conteúdos com base em uma resposta transitória de temperatura da porção de parede medida em cada sensor de temperatura.

20. Dispositivo computacional de acordo com a reivindicação 19, **caracterizado** pelo fato de que o processador está configurado para determinar um parâmetro dos conteúdos do conduíte em proximidade a cada um dos sensores de temperatura usando a respectiva resposta transitória de temperatura medida da porção de parede, e para determinar uma característica dos conteúdos do conduíte usando os parâmetros determinados de fluido.

21. Dispositivo computacional de acordo com a reivindicação 19 ou reivindicação 20, **caracterizado** pelo fato de que o processador encontra-se operacional para calcular, para cada sensor de temperatura, uma constante de tempo

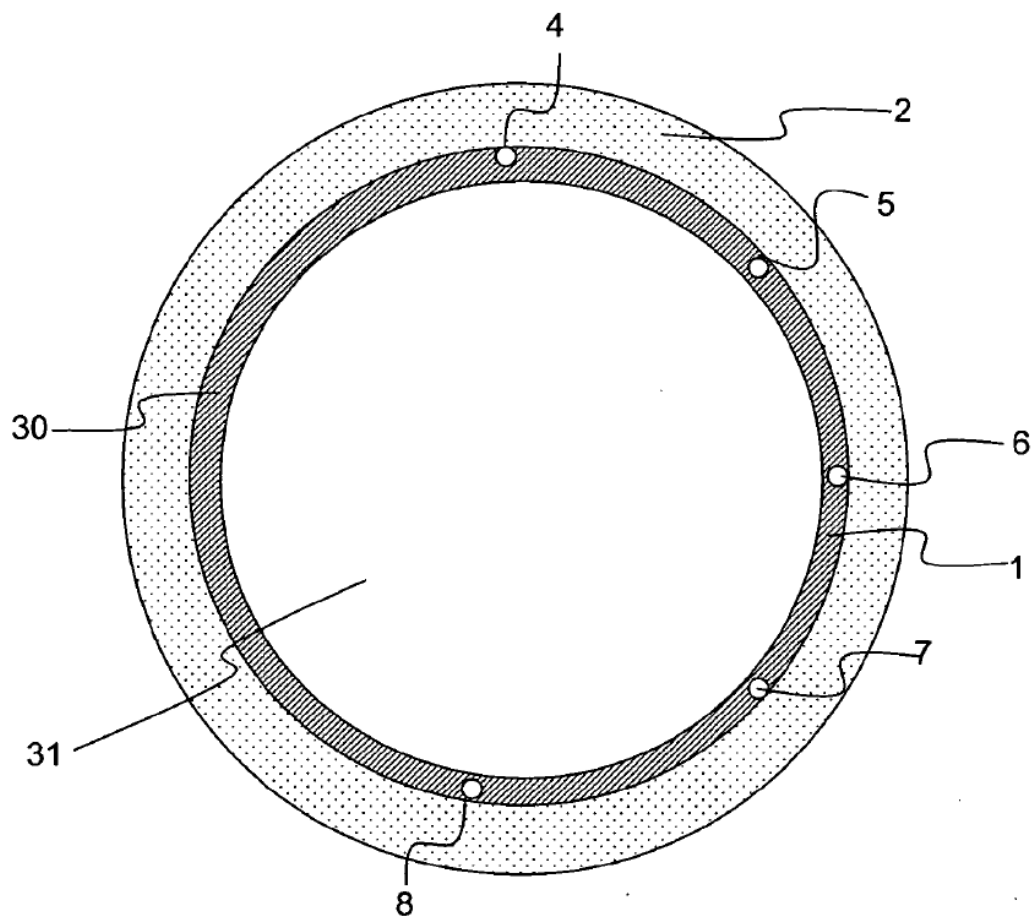
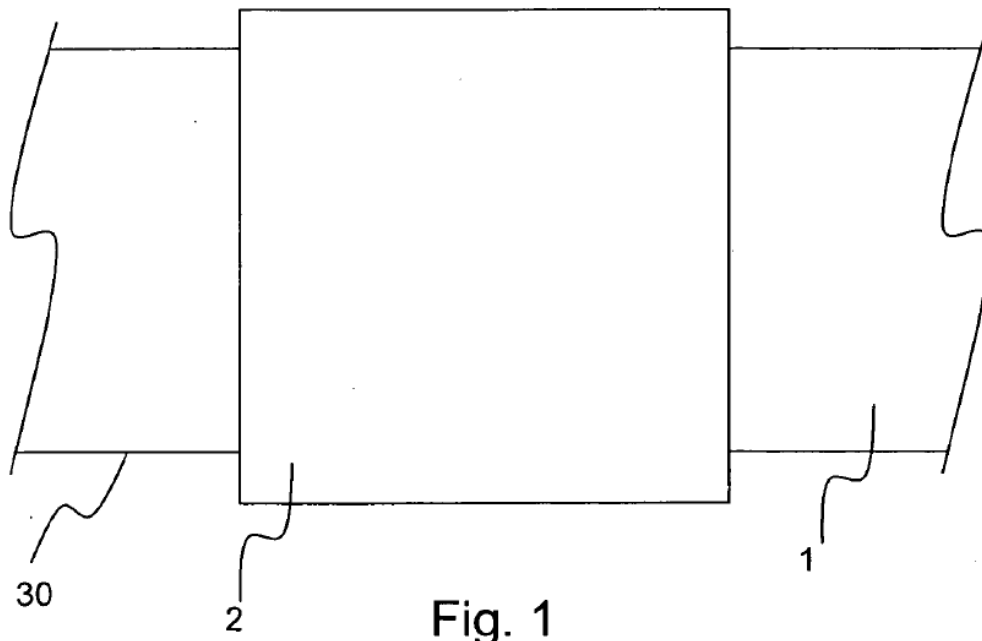
obtida a partir de uma alteração na temperatura medida da porção de parede após o pulso do fluido frio tiver sido fornecido.

22. Dispositivo computacional de acordo com a reivindicação 21, ainda **caracterizado** por estar abrangendo um banco de dados para armazenar constantes de tempo previamente medidas para conteúdos conhecidos a partir de um fluxo multifásico sob as condições conhecidas, o processador sendo ainda disposto para comparar cada constante de tempo medida com uma constante de tempo armazenada, com a finalidade de caracterizar o conteúdo.

23. Dispositivo computacional de acordo com qualquer uma das reivindicações 19 a 22, **caracterizado** pelo fato de que o processador é ainda adicionalmente configurado para determinar um número de Prandtl de um fluido em proximidade a pelo menos um dos sensores de temperatura.

24. Dispositivo computacional de acordo com a reivindicação 23, ainda **caracterizado** por estar abrangendo um banco de dados para armazenar números de Prandtl previamente medidos para fluidos conhecidos, o processador sendo ainda configurado para comparar o número de Prandtl determinado com os números de Prandtl armazenados, com a finalidade de caracterizar os conteúdos.

25. Dispositivo computacional de acordo com qualquer uma das reivindicações 19 a 24, **caracterizado** pelo fato de que o processador seja ainda configurado para controlar a operação de um meio de fornecimento de fluido, o meio de fornecimento de fluido sendo disposto para fornecer um fluido frio adjacente à porção da parede.



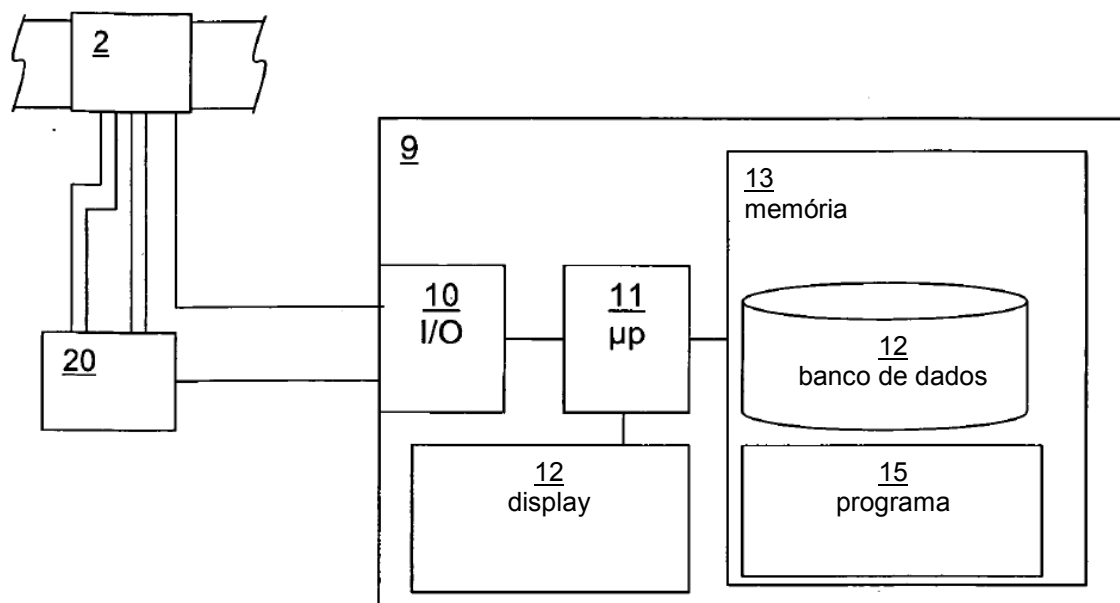


Fig. 3

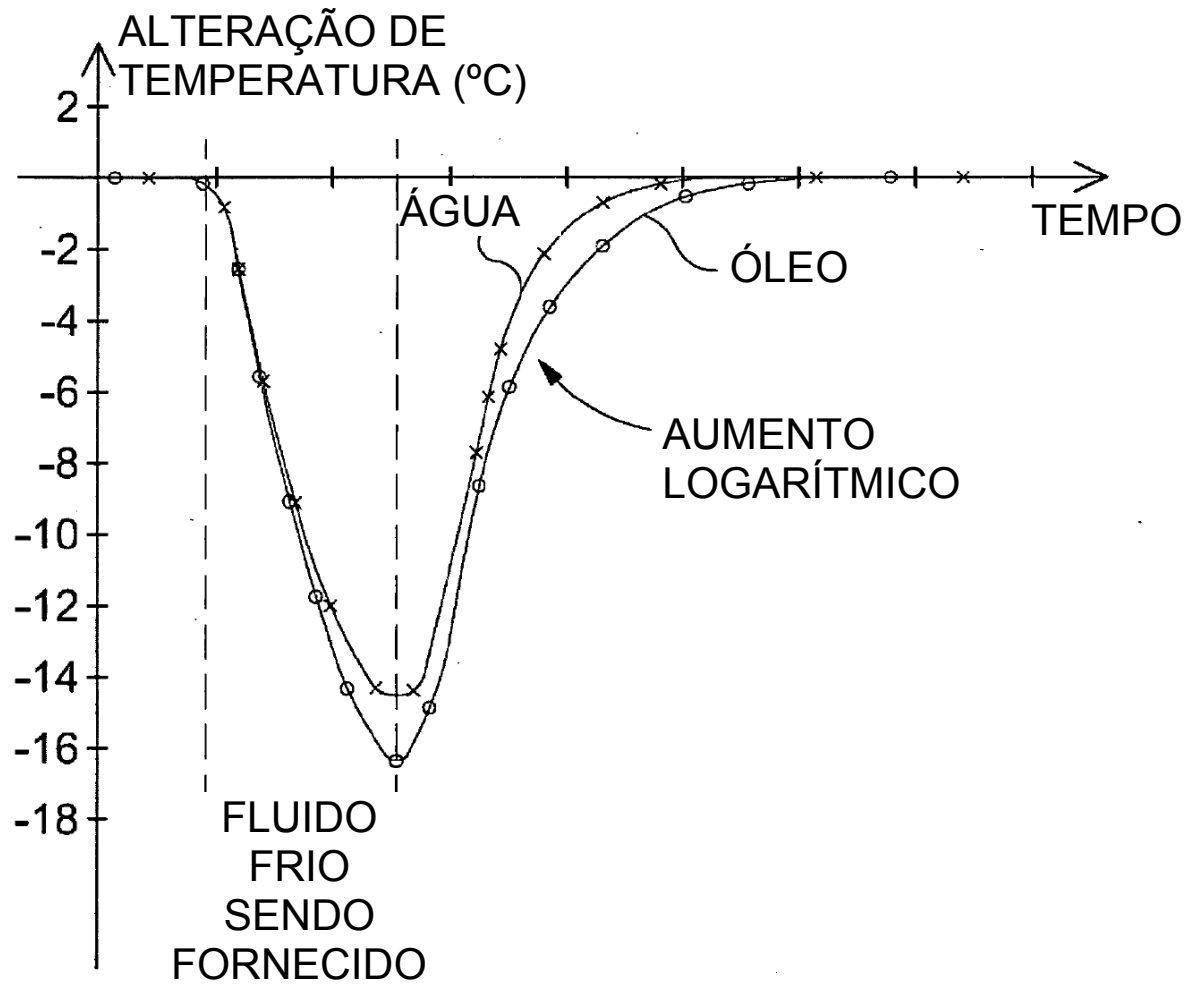


Fig. 4

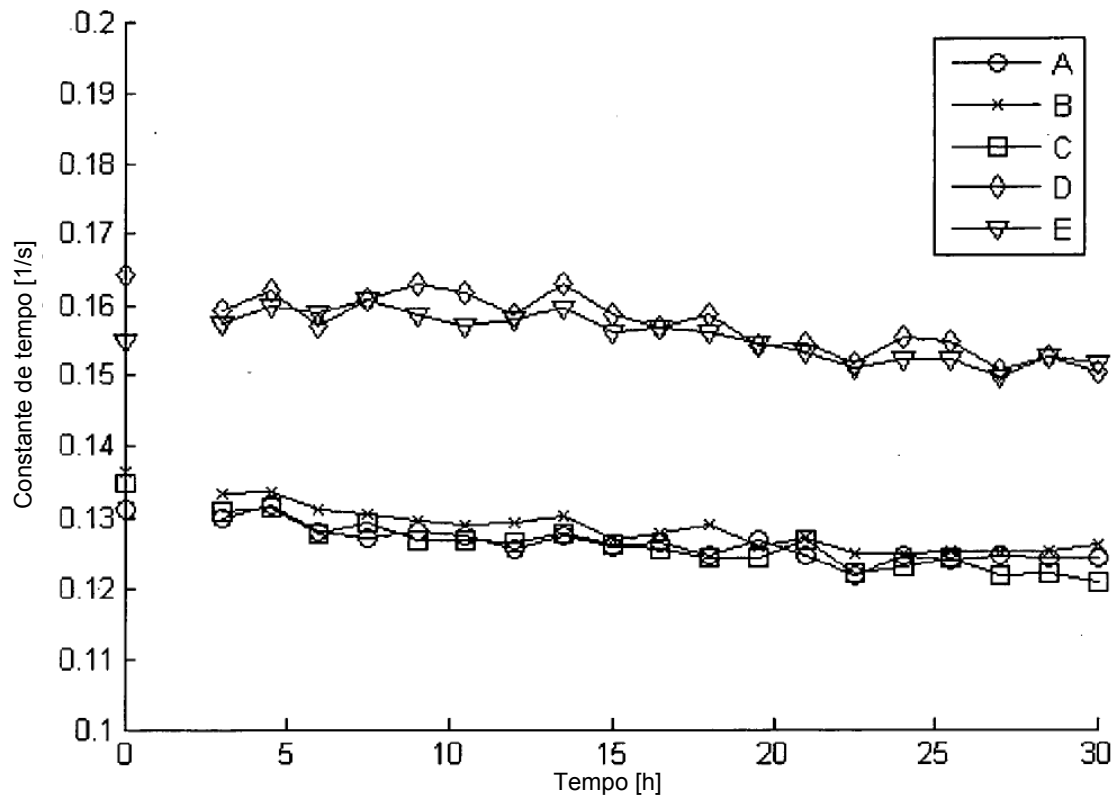


Fig. 5

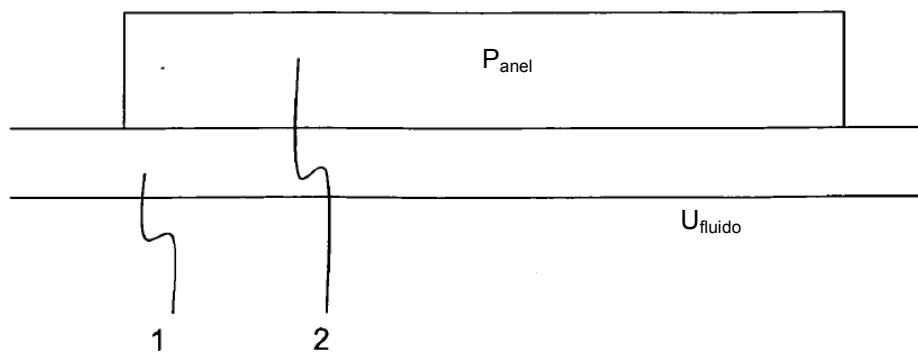


Fig. 6

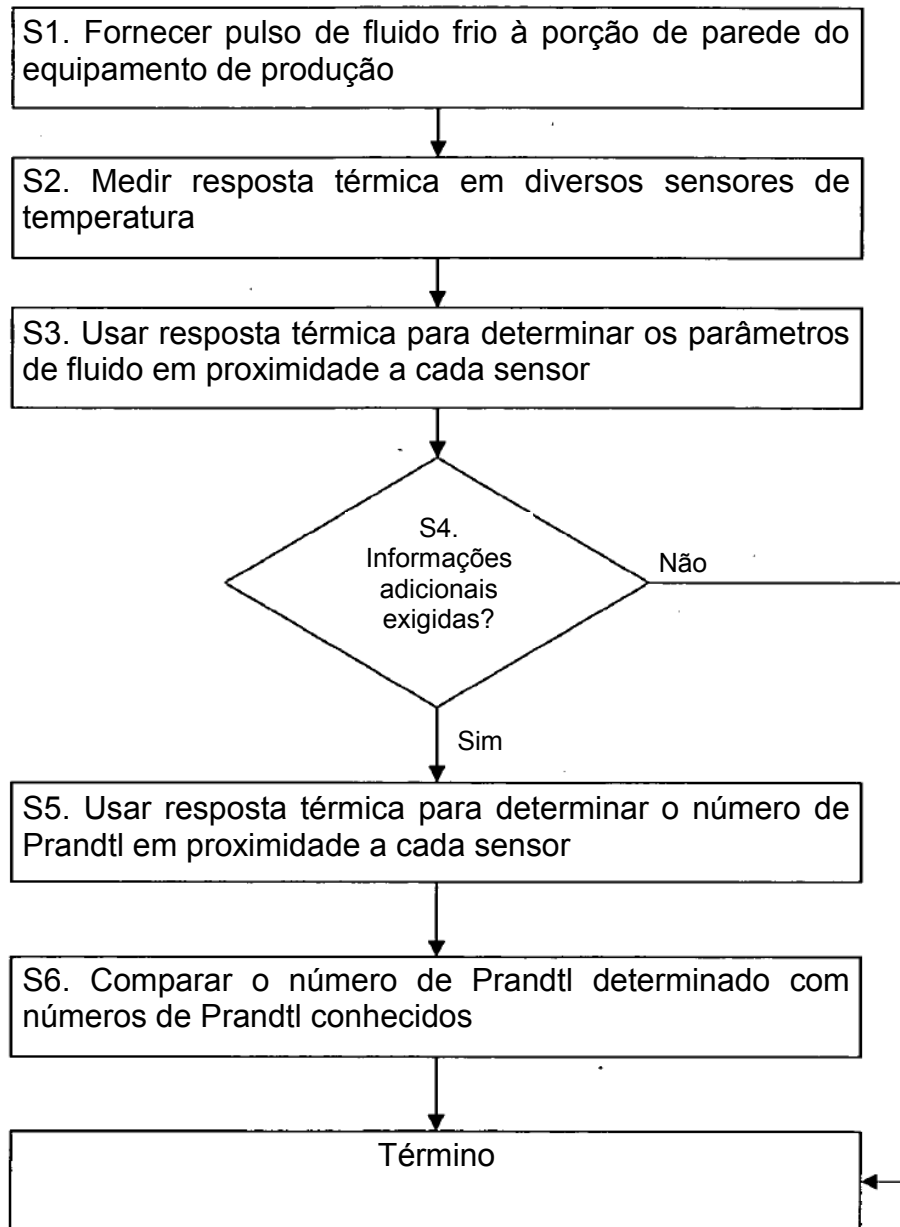


Fig. 7

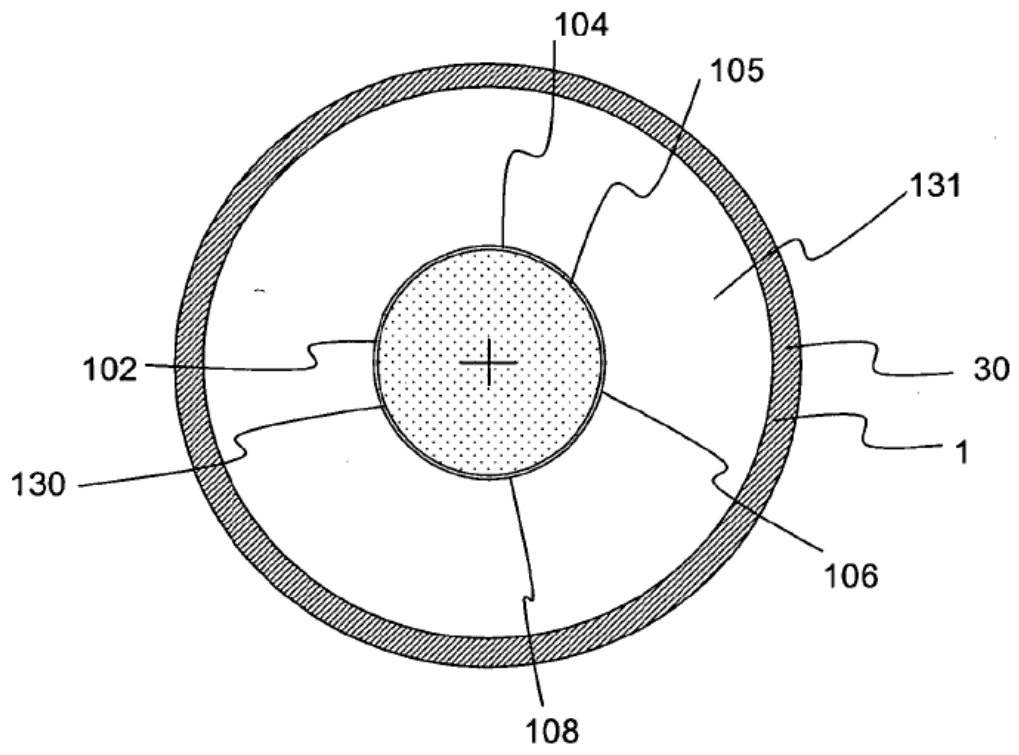


Fig. 8

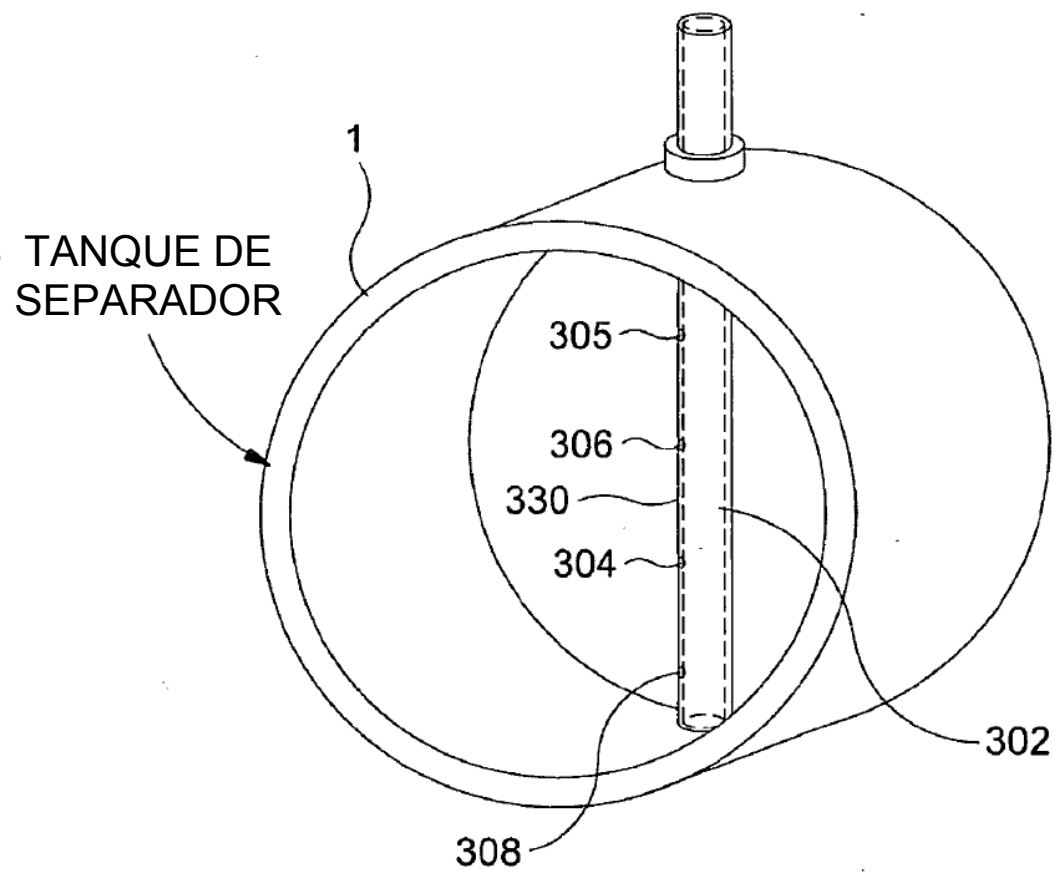


Fig. 9

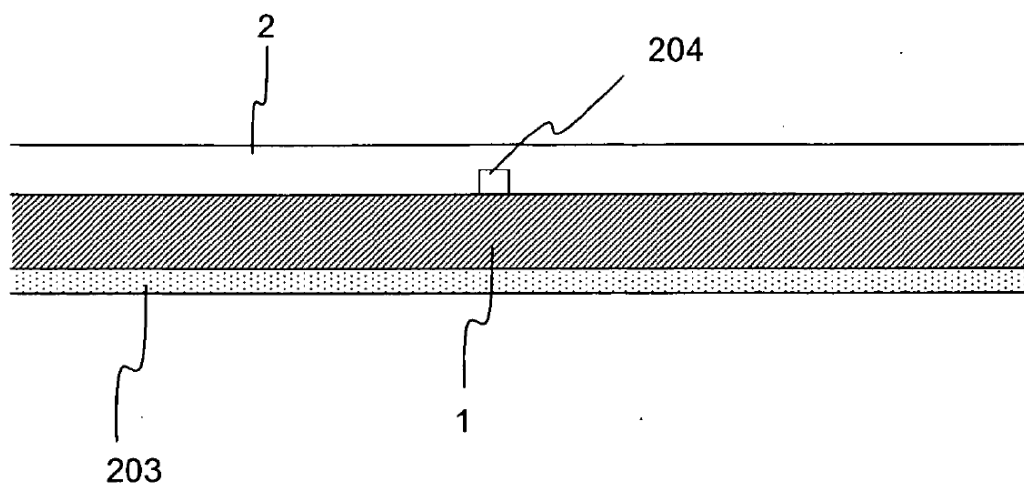


Fig. 10