



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

(11) PI 1005445-6 B1



(22) Data do Depósito: 18/05/2010

(45) Data de Concessão: 12/01/2021

(54) Título: SISTEMA DE SINTONIZAÇÃO DE ÁUDIO COM EFICIÊNCIA DE ENERGIA AUTOMATIZADA, MÉTODO DE DESEMPENHAR A SINTONIZAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ENERGIA AUTOMATIZADA DE UM SISTEMA DE ÁUDIO, E MEIO DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR PARA ARMAZENAR CÓDIGO EXECUTÁVEL NA FORMA DE INSTRUÇÕES

(51) Int.Cl.: H04S 7/00.

(30) Prioridade Unionista: 18/05/2009 US 61/179,239.

(73) Titular(es): HARMAN INTERNATIONAL INDUSTRIES, INCORPORATED.

(72) Inventor(es): RYAN J. MIHELICH; STEVEN E. HOSHAW.

(86) Pedido PCT: PCT US2010035213 de 18/05/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/135294 de 25/11/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 18/05/2011

(57) Resumo: SISTEMA DE ÁUDIO COM EFICIÊNCIA OTIMIZADA. A presente invenção refere-se a um sistema de sintonização de áudio automatizado que pode otimizar um sistema de áudio para a eficiência de energia quando desempenha a sintonização automatizada do sistema de áudio para otimizar o desempenho acústico. O sistema pode estabelecer qualquer quantidade de fatores de medição de eficiência de energia diferentes para fornecer um equilíbrio entre o desempenho acústico e a eficiência de energia durante a operação. Os fatores de medição de eficiência de energia podem variar da representação de otimização de eficiência de energia com otimização restrita de desempenho acústico ao desempenho acústico otimizado com relação minimizada para a eficiência de energia. Para cada um dos fatores de medição de eficiência, o sistema pode gerar parâmetros operacionais, tais como parâmetros de filtro, para alcançar uma resposta acústica alvo, enquanto mantém um determinado nível de eficiência de energia.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
"SISTEMA DE SINTONIZAÇÃO DE ÁUDIO COM EFICIÊNCIA DE ENERGIA AUTOMATIZADA, MÉTODO DE DESEMPENHAR A SINTONIZAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ENERGIA AUTOMATIZADA DE UM SISTEMA DE ÁUDIO, E MEIO DE ARMAZENAMENTO LEGÍVEL POR COMPUTADOR PARA ARMAZENAR CÓDIGO EXECUTÁVEL NA FORMA DE INSTRUÇÕES".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

REIVINDICAÇÃO DE PRIORIDADE

[0001] Este pedido reivindica prioridade ao Pedido de Patente Provisório U.S. Nº 61/179.239, depositado em 18 de maio de 2009, intitulado "Efficiency Optimized Audio System", de Ryan J. Mihelich e Steve Hoshaw, o qual é incorporado ao presente por meio de referência.

CAMPO DA TÉCNICA

[0002] A presente invenção refere-se aos sistemas de áudio, e mais particularmente, aos sistemas e métodos para otimizar a eficiência de um sistema de áudio.

TÉCNICA RELACIONADA

[0003] Os sistemas multimídia, tais como sistemas de cinema em casa, sistemas de áudio em casa, sistemas de vídeo/áudio veiculares, são bem conhecidos. Tais sistemas incluem, tipicamente, múltiplos componentes que incluem um processador de som que aciona os alto-falantes com sinais de áudio amplificados. Os sistemas multimídia podem ser instalados em uma quantidade quase ilimitada de configurações com diversos componentes. Além disso, tais sistemas multimídia podem ser instalados em espaços de escuta de tamanhos, formatos e configurações quase ilimitados. Os componentes de um sistema multimídia, a configuração dos componentes e do espaço de escuta, no qual o sistema está instalado, todos eles podem ter impacto

significativo no som do áudio produzido.

[0004] Uma vez instalado em um espaço de escuta, um sistema pode ser sintonizado para produzir um campo de som desejado no espaço. A sintonização pode incluir ajustar a equalização, o atraso, e/ou a filtragem para compensar o equipamento e/ou o espaço de escuta. Tal sintonização é, tipicamente, desempenhada, de maneira mútua, ao usar a análise subjetiva do som que emana dos alto-falantes.

[0005] Uma vez sintonizado, um sistema de áudio terá um determinado comportamento de consumo de energia. Dependendo das características da solução de sintonização que inclui a filtragem, um sistema de áudio sintonizado pode consumir diferentes quantidades de energia ao distribuir energia de diferentes modos para os diversos alto-falantes que são apresentados no sistema. O resultado do consumo de energia pode depender das decisões da pessoa quem sintonizou o sistema e/ou os parâmetros que foram inseridos no software de sintonização do sistema de áudio automatizado.

[0006] O documento US 2004/0091123 A1 refere-se a um sistema de áudio para uso, em particular, em automóveis. O sistema de áudio descrito é um sistema de modo duplo. Em um primeiro modo, o sistema de áudio é configurado para reprodução enquanto as portas estão fechadas e, em um segundo modo, o sistema está configurado para reprodução enquanto uma porta é aberta.

[0007] O documento US 2007/0098190 A1 refere-se a um aparelho portátil de reprodução de áudio e, especificamente, a um método para controlar uma potência de saída de um amplificador digital capaz de determinar automaticamente uma impedância de um fone de ouvido conectado ao dispositivo de áudio portátil.

[0008] Existe uma necessidade por um sistema de sintonização

automatizado que influencia o consumo de energia na geração de determinações de sintonização. Também existe uma necessidade por um modo de fornecer ao usuário a informação com relação ao consumo de energia relativo às configurações alternativas do desempenho do sistema de áudio.

SUMÁRIO

[0009] Em vista do exposto acima, um sistema de sintonização de áudio automatizado é fornecido para otimizar um sistema de áudio quanto à eficiência de energia. Um sistema exemplificativo inclui um arquivo de configuração configurado para armazenar definições de configuração específicas para o sistema de áudio para um sistema de áudio ser sintonizado para operar em um ou mais modos de eficiência de energia. Um processador é configurado para operar o sistema de áudio em um dos modos de eficiência de energia baseados em um fator de medição de eficiência de energia associado a cada um dos respectivos modos. Qualquer de um ou mais instrumentos incluídos no sistema pode gerar parâmetros operacionais para o sistema de áudio em associação a cada um dos fatores de medição de eficiência de energia. Por exemplo, um instrumento de passagem (*crossover*) é configurado para gerar pelo menos uma definição de passagem com eficiência otimizada para um grupo selecionado de canais amplificados para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia. Quando indicadas pelo fator de medição de eficiência de energia, as definições de passagem podem ser otimizadas para minimizar o consumo de energia quando se opera no modo de eficiência de energia enquanto ainda otimiza o desempenho acústico do sistema de áudio.

[00010] O sistema de sintonização de áudio automatizado pode sintonizar o sistema de áudio com parâmetros operacionais de diferentes conjuntos incluídos para o desempenho acústico em

diferentes níveis de eficiência de energia. Além de sintonizar o sistema para incluir diferentes definições de passagem, a sintonização para gerar os parâmetros operacionais com um instrumento de equalização e um instrumento de gerenciamento de graves também pode ser desempenhada para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia. Usando-se os dados de impedância do alto-falante, o sistema pode determinar o consumo de energia de um amplificador de áudio incluído no sistema de áudio quando diferentes parâmetros operacionais são aplicados. Dessa maneira, dependendo do fator de medição de eficiência de energia, o sistema pode gerar os parâmetros operacionais visando a otimização de consumo de energia ou visando o desempenho acústico. Uma vez que qualquer número de conjuntos de parâmetros operacionais pode ser gerado para um número de fatores de medição de eficiência de energia respectivos, um sistema de áudio pode ter inúmeros modos de eficiência de energia diferentes.

[00011] Durante a operação, a seleção do fator de medição de eficiência de energia (o modo de eficiência de energia) pode ser baseada na seleção do usuário, ou em fatores operacionais. Por exemplo, em um veículo híbrido, os níveis progressivamente mais elevados de eficiência de energia podem ser exigidos à medida que uma bateria incluída no veículo híbrido se torna exaurida.

[00012] Aqueles versados na técnica irão observar que as características mencionadas acima e aquelas para serem ainda explicadas abaixo podem ser usadas não apenas nas respectivas combinações indicadas, mas também em outras combinações ou isoladas, sem deixar o escopo da invenção. Outros dispositivos, aparelhos, sistemas, métodos, características e vantagens da invenção serão ou se tornarão evidentes para uma pessoa versada na técnica ao examinar as seguintes figuras e a descrição detalhada. Pretende-se que todos os sistemas, métodos, características e

vantagens adicionais sejam incluídos desta descrição, estejam dentro do escopo da invenção, e estejam protegidos pelas reivindicações em anexo.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[00013] A invenção pode ser melhor compreendida com referência aos desenhos e à descrição a seguir. Os componentes nas figuras não estão, necessariamente, em escala, sendo o foco na ilustração dos princípios da invenção.

[00014] A figura 1 é um diagrama esquemático de um espaço de escuta exemplificativo que inclui um sistema de áudio.

[00015] A figura 2 é um diagrama de bloco de uma parte do sistema de áudio da figura 1 que inclui uma fonte de áudio, um processador de sinal de áudio, e alto-falantes.

[00016] A figura 3 é um diagrama esquemático de um espaço de escuta, do sistema de áudio da figura 1, e um exemplo de um sistema de sintonização de áudio automatizado.

[00017] A figura 4 é um diagrama de bloco de um sistema de sintonização de áudio automatizado.

[00018] A figura 5 é um diagrama de resposta de impulso que ilustra a média espacial.

[00019] A figura 6 é um diagrama de bloco de um instrumento de equalização de canal amplificado exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00020] A figura 7 é um diagrama de bloco de um instrumento de atraso exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00021] A figura 8 é um diagrama de resposta de impulso que ilustra o atraso de tempo.

[00022] A figura 9 é um diagrama de bloco de um instrumento de ganho exemplificativo que pode ser incluído no sistema de

sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00023] A figura 10 é um diagrama de bloco de um instrumento de passagem exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00024] A figura 11 é um diagrama de bloco de um exemplo de uma cadeia de filtros paramétricos de corte e de passagem que podem ser gerados com o sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00025] A figura 12 é um diagrama de bloco de um exemplo de uma pluralidade de filtros paramétricos de passagem, e filtros arbitrários não paramétricos que podem ser gerados com o sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00026] A figura 13 é um diagrama de bloco de um exemplo de uma pluralidade de filtros arbitrários que podem ser gerados com o sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00027] A figura 14 é um diagrama de bloco de um instrumento de otimização de graves exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00028] A figura 15 é um diagrama de bloco de um instrumento de otimização do sistema exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00029] A figura 16 é uma resposta acústica alvo e dados *in-situ* exemplificativos.

[00030] A figura 17 é um diagrama de bloco de um instrumento de otimização não linear exemplificativo que pode ser incluído no sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00031] A figura 18 é um diagrama de fluxo de processo que ilustra a operação exemplificativa do sistema de sintonização de áudio automatizado da figura 4.

[00032] A figura 19 é uma segunda parte do diagrama de fluxo de

processo da figura 18.

[00033] A figura 20 é uma terceira parte do diagrama de fluxo de processo da figura 18.

[00034] A figura 21 é uma quarta parte do diagrama de fluxo de processo da figura 18.

[00035] A figura 22 é um exemplo de curvas de resposta para os alto-falantes.

[00036] A figura 23 é um diagrama esquemático que mostra exemplos de dispositivos de interface do usuário que podem ser usados em um sistema de sintonização de áudio.

DESCRIÇÃO

DESCRIÇÃO GERAL

[00037] Um sistema de sintonização de áudio automatizado pode ser configurado com a informação de configuração específica para o sistema de áudio relacionado a um sistema de áudio a ser sintonizado. Além disso, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode incluir uma matriz de resposta. As respostas de áudio de uma pluralidade de alto-falantes incluídos no sistema de áudio podem ser capturadas com um ou mais microfones e armazenadas na matriz de resposta. As respostas de áudio medidas podem incluir pequenas respostas *in-situ*, tais como a partir do lado interno de um veículo, e/ou respostas de áudio de laboratório. As respostas de áudio medidas podem incluir pequenas respostas de sinal (lineares), assim como grandes respostas de sinal (não lineares).

[00038] Além disso, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode incluir uma matriz de impedância elétrica. As impedâncias elétricas, tais como curvas de impedância ou valores de impedância medidos do fabricante, de uma pluralidade de alto-falantes incluídos no sistema de áudio podem ser armazenadas em uma matriz de impedância.

[00039] O sistema de sintonização automatizado pode incluir um ou mais instrumentos capazes de gerar parâmetros operacionais para o uso no sistema de áudio. Uma resposta acústica alvo, os dados *in-situ* e/ou a informação de configuração específica para o sistema de áudio podem ser usados na geração de pelo menos alguns dos parâmetros operacionais. Os parâmetros operacionais, tais como parâmetros de filtro e definições de equalização podem ser transferidos por download no sistema de áudio para configurar o desempenho operacional do sistema de áudio.

[00040] A geração de parâmetros operacionais com o sistema de sintonização de áudio automatizado pode ser com um ou mais de um instrumento de equalização, um instrumento de atraso, um instrumento de ganho, um instrumento de passagem, um instrumento de otimização de graves e um instrumento de otimização do sistema. Os conjuntos de parâmetros operacionais podem ser gerados pelos instrumentos para cada um de inúmeros modos de eficiência de energia com base nos respectivos fatores de medição de eficiência de energia. Os fatores de medição de eficiência de energia podem fornecer equilíbrio entre minimizar o consumo de energia e maximizar o desempenho acústico. Assim, os fatores de medição de eficiência de energia podem ser considerados uma redução no consumo de energia que é desempenhada em consideração ao desempenho acústico. Em outras palavras, independente da eficiência de energia sem um fator de medição de eficiência de energia aplicado, o consumo de energia pode ser reduzido no sistema de áudio com base na aplicação de um fator de medição de eficiência de energia, contanto que o desempenho acústico não esteja muito comprometido para o nível de redução em energia que é alcançado. Ao desempenhar um equilíbrio entre o desempenho acústico e o consumo de energia com base no fator de medição de eficiência de energia, a eficiência de energia pode ser

otimizada enquanto ainda mantém um nível otimizado de desempenho de áudio. Assim, quando um sacrifício em desempenho de áudio devido às reduções em consumo de energia excede um determinado limiar, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode anteceder mais reduções em consumo de energia a favor do desempenho acústico. Além disso, ou alternativamente, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode desempenhar inúmeras iterações diferentes de diversas alterações nos parâmetros operacionais a fim de alcançar as reduções no consumo de energia enquanto, ao mesmo tempo, minimiza qualquer efeito prejudicial ou desempenho de áudio reduzido.

[00041] Além disso, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode incluir um simulador de aplicação de definições. O simulador de aplicações de definição pode gerar simulações baseadas na aplicação de um ou mais dos parâmetros operacionais e/ou da informação de configuração específica para o sistema de áudio para as respostas de áudio e impedâncias elétricas medidas. Os instrumentos podem usar uma ou mais das simulações ou as respostas de áudio medidas, e impedâncias elétricas e a informação de configuração específica para o sistema para gerar os parâmetros operacionais para cada um dos respectivos fatores de medição de eficiência de energia.

[00042] O instrumento de equalização pode gerar parâmetros operacionais na forma de definições de equalização de canal para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia. As definições de equalização de canal podem ser transferidas por download e aplicadas aos canais de áudio amplificados no sistema de áudio. Os canais de áudio amplificados podem, cada um, acionar um ou mais alto-falantes. As definições de equalização de canal podem compensar as anomalias ou características indesejáveis no

desempenho operacional dos alto-falantes em seu ambiente acústico. Para otimizar a eficiência de energia, as definições de equalização de canal podem reduzir a saída de sinal de áudio para um alto-falante em uma faixa de frequência onde uma grande quantidade de energia é exigida para se alcançar uma saída audível. Além disso, ou alternativamente, as definições de equalização de canal podem aumentar a saída de sinal de áudio para o alto-falante em uma faixa de frequência onde uma ressonância mecânica ou acústica está presente em um respectivo alto-falante. Os instrumentos de atraso e de ganho podem gerar respectivas definições de atraso e de ganho para cada um dos canais de áudio amplificados com base nas posições de escuta em um espaço de escuta onde o sistema de áudio está instalado e em operação.

[00043] O instrumento de passagem pode determinar os parâmetros operacionais na forma de uma definição de passagem para um grupo dos canais de áudio amplificados que são configurados para acionar os respectivos alto-falantes que operam em diferentes faixas de frequência. A saída audível combinada dos respectivos alto-falantes acionados pelo grupo de canais de áudio amplificados pode ser otimizada pelo instrumento de passagem usando-se as definições de passagem. O instrumento de passagem também pode alterar ou ajustar a frequência de passagem de um ou mais dos alto-falantes no sistema para minimizar o consumo de energia. O instrumento de otimização de graves pode otimizar a saída audível de um determinado grupo de alto-falantes de baixa frequência ao gerar os parâmetros operacionais que fornecem os ajustes de fase para cada um dos respectivos canais de saída amplificados que acionam os alto-falantes em um grupo de alto-falantes que operam em uma faixa de frequência sobreposta. O instrumento de otimização de graves pode alterar o ajuste na resposta de fase de um ou mais dos alto-falantes no

sistema para minimizar o consumo de energia. O instrumento de otimização do sistema pode gerar os parâmetros operacionais na forma de definições de equalização de grupo para grupos de canais de saída amplificados. As definições de equalização de grupo podem ser aplicadas a um ou mais dos canais de entrada do sistema de áudio, ou um ou mais dos canais espacialmente direcionados do sistema de áudio para que os grupos dos canais de saída amplificados sejam equalizados. As definições de equalização de grupo podem ser geradas para otimizar o consumo de energia e o desempenho acústico como uma função dos fatores de medição de eficiência.

[00044] O instrumento de otimização não linear pode determinar os parâmetros operacionais que incluem definições não lineares para formar limitadores, compressores, recortes e outros processos não lineares que são aplicados ao sistema de áudio para o desempenho acústico, proteção, redução de energia, gerenciamento de distorção e/ou outras razões. Uma grande saída de sinal de áudio com grandeza do sistema de áudio, tal como quando o volume está em altos níveis e a amplificação dos sinais de áudio está relativamente alta, pode ser otimizada no instrumento de otimização não linear para minimizar a distorção. Além disso, as definições não lineares podem ser geradas com base no consumo de energia otimizado e no desempenho acústico como uma função dos fatores de medição de eficiência.

[00045] Em um sistema de sintonização de áudio exemplificativo, as definições de sintonização de áudio que oferecem alta qualidade de som podem ser geradas e classificadas pelo consumo de energia. Em casos onde a qualidade de som ótima consome significativamente mais energia do que outras as soluções, pode ser desejável continuar a fornecer ao usuário final a opção de ouvir esses resultados. As outras soluções que consomem menos energia, mas possuem desempenho inferior também podem ser fornecidas ao usuário como

um modo de economizar energia (combustível e/ou eletricidade).

[00046] A impedância elétrica de dispositivos no sistema pode ser incluída como parte dos dados acústicos de laboratório armazenados que são incorporados ao sistema de sintonização de áudio. Os detalhes do amplificador de áudio e dos alto-falantes incluídos no sistema de áudio podem ser usados para computar os resultados do consumo de energia e para otimizar os parâmetros operacionais do sistema para o desempenho acústico em diferentes níveis de eficiência de energia. Alternativamente, a impedância de dispositivos no sistema pode ser determinada com base nos parâmetros medidos. Tais parâmetros medidos podem incluir voltagem e corrente. Outros parâmetros de entrada incorporados no sistema podem incluir voltagem de pico e corrente disponíveis a partir do amplificador, assim como a energia duradoura que o amplificador pode distribuir.

[00047] A impedância elétrica, voltagem, corrente e energia também podem ser usadas pelo sistema de sintonização automatizado junto com os parâmetros de sintonização de sistema de áudio para gerar uma métrica de eficiência de energia eletroacústica para cada iteração de uma simulação de operação do sistema de áudio a ser sintonizado. Os resultados da iteração podem ser classificados em ordem de qualidade de som e eficiência e podem ser associados a um fator de medição de eficiência de energia correspondente. As métricas podem ser usadas por determinadas soluções apropriadas para o uso em um produto final como modos de eficiência de energia.

[00048] O sistema de sintonização de áudio automatizado pode ser operado para gerar os parâmetros operacionais que são transferidos por download e armazenados no sistema de áudio antes da operação do sistema de áudio. Alternativamente, ou, além disso, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode operar em conjunto com a operação do sistema de áudio para produzir som audível. Dessa

maneira, o modo de eficiência de energia pode incluir parâmetros operacionais estáticos fornecidos ao sistema de áudio antes da operação, e/ou parâmetros operacionais dinâmicos fornecidos ao sistema de áudio durante a operação. Com relação aos parâmetros operacionais dinâmicos fornecidos automaticamente durante a operação, o sistema de sintonização de áudio automatizado pode operar para otimizar a eficiência de energia no modo de eficiência de energia ao ajustar, dinamicamente, os parâmetros operacionais com base nas condições existentes no sistema de áudio, tais como as condições de operação do sistema de áudio atuais. Por exemplo, os parâmetros operacionais atualizados podem ser fornecidos a partir do sistema de sintonização de áudio automatizado para o sistema de áudio, à medida que a impedância dos alto-falantes se altera (tal como devido ao aquecimento e resfriamento), à medida que o nível de amplificação dos canais de áudio se altera (tal como o nível do volume) ou quaisquer outras condições alteráveis no sistema de áudio. Além disso, as alterações externas, tais como o nível da energia que abastece o sistema de áudio, o gênero do conteúdo de áudio que é processado pelo sistema de áudio, os ruídos externos de fundo, ou quaisquer outros parâmetros externos relacionados à operação do sistema de áudio podem ser influenciadas pelo sistema de sintonização de áudio automatizado para gerar, automaticamente, os parâmetros operacionais estáticos ou dinâmicos para o sistema de áudio.

[00049] Durante a operação, um medidor de consumo de energia em tempo real pode ser adicionado a uma interface do usuário para distribuir a informação ao usuário quanto ao consumo de energia instantâneo ou duradouro do sistema de áudio. A informação pode ser relatada em watts ou, alternativamente, em uma métrica de uso de combustível para veículos.

[00050] Uma interface do usuário pode ser adicionada para permitir que usuário selecione a partir de inúmeras soluções de sintonização diferentes, tais como modos de eficiência de energia. Cada um dos modos de eficiência de energia pode corresponder a um dos fatores de medição de eficiência de energia. Cada fator de medição de eficiência de energia pode ter um nível diferente de consumo de energia como uma função de desempenho acústico do sistema de áudio.

[00051] A informação quanto ao nível da bateria em tempo real pode ser usada para selecionar automaticamente uma solução de sintonização de áudio de consumo de energia inferior (um modo de eficiência de energia diferente) quando uma bateria, célula de combustível, ou outra fonte de energia que fornece energia ao sistema de áudio alcança determinados níveis de energia degradados. O usuário pode ser notificado quanto a isso e pode ter a opção de oprimir a alteração ou prevenir para que ela nunca ocorra.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE SINTONIZAÇÃO DE ÁUDIO EXEMPLIFICATIVO

[00052] A figura 1 ilustra um sistema de áudio exemplificativo 100 em um espaço de escuta exemplificativo. Na figura 1, o espaço de escuta exemplificativo é retratado como uma sala. Em outros exemplos, o espaço de escuta pode estar em um veículo, ou em qualquer outro espaço onde um sistema de áudio possa ser operado. O sistema de áudio 100 pode ser qualquer sistema capaz de fornecer o conteúdo de áudio. Na figura 1, o sistema de áudio 100 inclui um reproduutor de mídia 102, tal como um disco compacto, reproduutor de disco de vídeo, etc., no entanto, o sistema de áudio 100 pode incluir qualquer outra forma de dispositivos relacionados ao áudio, tais como um sistema de vídeo, um rádio, um reproduutor de fita cassete, um dispositivo de comunicação com e sem fio, um sistema de navegação,

um computador pessoal, ou qualquer outra funcionalidade ou dispositivo que possa estar presente em qualquer forma de sistema multimídia. O sistema de áudio 100 também inclui um processador de sinal 104 e uma pluralidade de alto-falantes 106 que forma um sistema de alto-falante.

[00053] O processador de sinal 104 pode ser qualquer dispositivo de computação capaz de processar sinais de áudio e/ou vídeo, tal como um processador de computador, um processador de sinal digital, etc. O processador de sinal 104 pode operar em associada com uma memória para executar as instruções armazenadas na memória. As instruções podem fornecer a funcionalidade do sistema multimídia 100. A memória pode estar em qualquer forma de um ou mais dispositivos de armazenamento de dados, tais como memória volátil, memória não volátil, memória eletrônica, memória magnética, memória óptica, etc. Os alto-falantes 106 podem estar na forma de dispositivo capaz de traduzir os sinais de áudio elétricos em som audível.

[00054] Durante a operação, os sinais de áudio podem ser gerados pelo reprodutor de mídia 102, processados pelo processador de sinal 104, e usados para acionar um ou mais dos alto-falantes 106. O sistema de alto-falante pode consistir em uma coleção heterogênea de transdutores de áudio. Cada transdutor pode receber um sinal de saída de áudio amplificado independente e possivelmente único a partir do processador de sinal 104. Dessa maneira, o sistema de áudio 100 pode operar para produzir o som mono, estéreo ou ambiente usando qualquer quantidade de alto-falantes 106.

[00055] Um transdutor de áudio ideal iria reproduzir som em toda uma faixa de audição humana, com intensidade sonora igual, e mínima distorção nos níveis de escuta elevados. Infelizmente, um único transdutor de acordo com todos os critérios é difícil, se não impossível, de produzir. Assim, um típico alto-falante 106 pode utilizar

dois ou mais transdutores, cada um otimizado para reproduzir, exatamente, o som em uma faixa de frequência específica. Os sinais de áudio com os componentes de frequência espectral fora de uma faixa operante do transdutor podem soar desagradáveis e/ou podem danificar o transdutor.

[00056] O processador de sinal 104 pode ser configurado para restringir o conteúdo espectral fornecido em sinais de áudio que acionam cada transdutor. O conteúdo espectral pode ser restrito àquelas frequências que estão na faixa de reprodução ótima do alto-falante 106 que é acionado por um respectivo sinal de saída de áudio amplificado. Às vezes, mesmo na faixa de reprodução ótima de um alto-falante 106, um transdutor pode ter anomalias indesejáveis em sua habilidade de reproduzir sons em determinadas frequências. Assim, uma outra função do processador de sinal 104 pode ser a de fornecer a compensação para as anomalias espectrais em um projeto do transdutor em particular.

[00057] O processador de sinal 104 pode ser configurado para restringir o conteúdo espectral fornecido em sinais de áudio que acionam cada transdutor. O conteúdo espectral pode ser restrito para minimizar a energia exigida para acionar o alto-falante para os níveis de saída e largura de banda especificados.

[00058] Uma outra função do processador de sinal 104 pode ser a de moldar um espectro de reprodução de cada sinal de áudio fornecido para cada transdutor. O espectro de reprodução pode ser compensado com a colorização espectral para ser responsável pela acústica na sala no espaço de escuta onde o transdutor é operado. A acústica da sala pode ser afetada, por exemplo, pelas paredes e outras superfícies da sala que refletem e/ou absorvem o som que emana de cada transdutor. As paredes podem ser construídas de materiais com diferentes propriedades acústicas. Pode haver portas,

janelas ou aberturas em algumas paredes, mas não outras. A mobília e as plantas também podem refletir e absorver o som. Portanto, tanto a construção do espaço de escuta quanto o posicionamento dos alto-falantes 106 no espaço de escuta podem afetar as características espectral e temporal do som produzido pelo sistema de áudio 100. Além disso, o trajeto acústico de um transdutor para um ouvinte pode diferir para cada transdutor e cada posição de assento no espaço de escuta. Os múltiplos tempos de chegada do som podem inibir a habilidade de um ouvinte de localizar, precisamente, um som, isto é, visualizar uma posição única e precisa da qual um som se origina. Além disso, as reflexões de som podem adicionar mais ambiguidade ao processo de localização do som. O processador de sinal 104 também pode fornecer o atraso dos sinais enviados para cada transdutor de modo que um ouvinte no espaço de escuta experimente a degradação mínima na localização do som.

[00059] A figura 2 é um diagrama de bloco exemplificativo que retrata uma fonte de áudio 202, um ou mais alto-falantes 204, e um processador de sinal de áudio 206. A fonte de áudio 202 pode incluir um reproduzidor de disco compacto, um sintonizador de rádio, um sistema de navegação, um telefone celular, uma unidade principal, ou qualquer outro dispositivo capaz de gerar sinais de áudio de entrada digitais ou analógicos representativos de som de áudio. Em um exemplo, a fonte de áudio 202 pode fornecer os sinais de entrada de áudio digitais representativos de sinais de entrada de áudio estéreo da esquerda e da direita nos canais de entrada de áudio da esquerda e da direita. Em um outro exemplo, os sinais de entrada de áudio podem ser qualquer quantidade de canais de sinais de entrada de áudio, tais como seis canais de áudio em som ambiente Dolby 6.1™.

[00060] Os alto-falantes 204 podem ser qualquer forma de um ou mais transdutores capazes de converter sinais elétricos em som

audível. Os alto-falantes 204 podem ser configurados e localizados para operar individualmente ou em grupos, e podem estar em qualquer faixa de frequência. Os alto-falantes podem ser acionados coletiva ou individualmente por canais de saída amplificados, ou canais de áudio amplificados, fornecidos pelo processador de sinal de áudio 206.

[00061] O processador de sinal de áudio 206 pode ser um ou mais dispositivos capazes de desempenhar a lógica para processar os sinais de áudio fornecidos nos canais de áudio a partir da fonte de áudio 202. Tais dispositivos podem incluir processadores de sinal digital (DSP), microprocessadores, arranjos de portas programáveis em campo (FPGA), ou qualquer(qualquer) outro(s) dispositivo(s) capaz(es) de executar instruções. Além disso, o processador de sinal de áudio 206 pode incluir outros componentes de processamento de sinal, tais como filtros, conversores do analógico para o digital (A/D), conversores do digital para o analógico (D/A), amplificadores de sinal, decodificadores, atraso ou quaisquer outros mecanismos de processamento de áudio. Os componentes de processamento de sinal podem ser baseados em hardware, baseados em software, ou alguma combinação deles. Ademais, o processador de sinal de áudio 206 pode incluir a memória, tal como um ou mais dispositivos de memória volátil e/ou não volátil, configurada para armazenar instruções e/ou dados. As instruções podem ser executáveis no processador de sinal de áudio 206 para processar sinais de áudio. Os dados podem ser parâmetros usados/atualizados durante o processamento, parâmetros gerados /atualizados durante o processamento, variáveis inseridas pelo usuário, e/ou qualquer outra informação relacionada ao processamento de sinais de áudio.

[00062] Na figura 2, o processador de sinal de áudio 206 pode incluir um bloco de equalização global 210. O bloco de equalização global 210 inclui uma pluralidade de filtros (EQ_1 - EQ_j) que podem ser

usados para equalizar os sinais de áudio de entrada em uma respectiva pluralidade de canais de áudio de entrada. Cada um dos filtros (EQ_1 - EQ_j) pode incluir um filtro, ou um banco de filtros, que inclui definições que definem a funcionalidade de processamento de sinal operacional do(s) respectivo(s) filtro(s). A quantidade de filtros (J) pode ser variada com base na quantidade de canais de áudio de entrada. O bloco de equalização global 210 pode ser usado para ajustar as anomalias ou quaisquer outras propriedades dos sinais de áudio de entrada como uma primeira etapa no processamento de sinais de áudio de entrada com o processador de sinal de áudio 206. Por exemplo, as alterações espectrais globais nos sinais de áudio de entrada podem ser desempenhadas com o bloco de equalização global 210. Alternativamente, onde tal ajuste dos sinais de áudio de entrada não é desejável, o bloco de equalização global 210 pode ser omitido.

[00063] O processador de sinal de áudio 206 também pode incluir um bloco de processamento espacial 212. O bloco de processamento espacial 212 pode receber os sinais de áudio de entrada globalmente equalizados ou não equalizados. O bloco de processamento espacial 212 pode fornecer o processamento e/ou propagação dos sinais de áudio de entrada em vista das localizações do alto-falante designadas, tais como através da decodificação da matriz dos sinais de áudio de entrada equalizados. Qualquer quantidade de sinais de entrada de áudio espaciais nos respectivos canais direcionados pode ser gerada pelo bloco de processamento espacial 212. Dessa maneira, o bloco de processamento espacial 212 pode fazer o up mix, tal como a partir de dois canais para sete canais, ou fazer o down mix, tal como a partir de seis canais para cinco canais. Os sinais de entrada de áudio espaciais podem ser mixados com o bloco de processamento espacial 212 por qualquer combinação, variação, redução, e/ou réplica dos canais de

entrada de áudio. Um bloco de processamento espacial 212 exemplificativo é o sistema Logic7™ da Lexicon™. Alternativamente, onde o processamento espacial dos sinais de áudio de entrada não é desejado, o bloco de processamento espacial 212 pode ser omitido.

[00064] O bloco de processamento espacial 212 pode ser configurado para gerar uma pluralidade de canais direcionados. No exemplo do processamento de sinal Logic 7, um canal frontal esquerdo, um canal frontal direito, um canal central, um canal do lado esquerdo, um canal do lado direito, um canal traseiro esquerdo, e um canal traseiro direito podem constituir os canais direcionados, sendo que cada um inclui um respectivo sinal de entrada de áudio espacial. Em outros exemplos, tais como com o processamento de sinal Dolby 6.1, um canal frontal esquerdo, um canal frontal direito, um canal central, um canal traseiro esquerdo, e um canal traseiro direito podem constituir os canais direcionados produzidos. Os canais direcionados também podem incluir um canal de baixa frequência designado para os alto-falantes de baixa frequência, tais como um "subwoofer". Os canais direcionados podem não ser canais de saída amplificados, uma vez que eles podem ser mixados, filtrados, amplificados, etc. para formar os canais de saída amplificados. Alternativamente, os canais direcionados podem ser canais de saída amplificados usados para acionar os alto-falantes 204.

[00065] Os sinais de áudio de entrada pré-equalizados ou não e espacialmente processados ou não podem ser recebidos por um segundo módulo de equalização que pode ser referido como um bloco de equalização de canal direcionado 214. O bloco de equalização de canal direcionado 214 pode incluir a pluralidade de filtros (EQ_1 - EQ_K) que podem ser usados para equalizar os sinais de áudio de entrada em uma respectiva pluralidade de canais direcionados. Cada um dos filtros (EQ_1 - EQ_K) pode incluir um filtro, ou um banco de filtros, que

inclui definições que definem a funcionalidade de processamento operacional do(s) respectivo(s) filtro(s). A quantidade de filtros (K) pode ser variada com base na quantidade de canais de áudio de entrada, ou na quantidade de canais de entrada de áudio espaciais dependendo do fato de se o bloco de processamento espacial 212 está presente. Por exemplo, quando o bloco de processamento espacial 212 está operando com o processamento de sinal Logic 7™, pode haver sete filtros (K) operáveis em sete canais direcionados, e quando os sinais de entrada de áudio são um par estéreo esquerdo e direito, e o bloco de processamento espacial 212 é omitido, pode haver dois filtros (K) operáveis em dois canais.

[00066] O processador de sinal de áudio 206 também pode incluir um bloco de gerenciamento de graves 216. O bloco de gerenciamento de graves 216 pode gerenciar uma parte de baixa frequência de um ou mais sinais de saída de áudio fornecidos em respectivos canais de saída amplificados. A parte de baixa frequência dos sinais de saída de áudio selecionados pode ser roteada novamente para outros canais de saída amplificados. O novo roteamento das partes de baixa frequência dos sinais de saída de áudio pode ser baseado no(s) respectivo(s) alto-falante(s) 204 que é(são) acionado(s) pelos canais de saída amplificados. A energia de baixa frequência que pode, de outro modo, estar incluída nos sinais de saída de áudio pode ser roteada novamente com o bloco de gerenciamento de graves 216 a partir de canais de saída amplificados que incluem os sinais de saída de áudio que acionam os alto-falantes 204 que não são designados para a reprodução de energia audível de baixa frequência ou para reproduzir a energia muito ineficiente. O bloco de gerenciamento de graves 216 pode rotear de novo tal energia de baixa frequência para enviar os sinais de áudio em canais de saída amplificados que são capazes de reproduzir a audível de baixa frequência. Alternativamente, onde tal

gerenciamento de graves não é desejado, o bloco de equalização de canal direcionado 214 e o bloco de gerenciamento de graves 216 podem ser omitidos.

[00067] Os sinais de áudio pré-equalizados ou não, espacialmente processados ou não, espacialmente equalizados ou não e com os graves gerenciados ou não, podem ser fornecidos para um bloco de equalização com graves gerenciados 218 incluído no processador de sinal de áudio 206. O bloco de equalização com graves gerenciados 218 pode incluir uma pluralidade de filtros (EQ_1 - EQ_M) que pode ser usada para equalizar e/ou ajustar por fase os sinais de áudio em uma respectiva pluralidade de canais de saída amplificados para otimizar a saída audível através dos respectivos alto-falantes 204. Cada um dos filtros (EQ_1 - EQ_M) pode incluir um filtro, ou um banco de filtros, que inclui definições que definem a funcionalidade de processamento de sinal operacional do(s) respectivo(s) filtro(s). A quantidade de filtros (M) pode ser variada com base na quantidade de canais de áudio recebida pelo bloco de equalização com graves gerenciados 218.

[00068] A sintonização da fase para permitir que um ou mais alto-falantes 204 acionados com um canal de saída amplificado interaja em um ambiente de escuta em particular com um ou mais outros alto-falantes 204 acionados por um outro canal de saída amplificado pode ser desempenhada com o bloco de equalização com graves gerenciados 218. Por exemplo, os filtros (EQ_1 - EQ_M) que correspondem a um canal de saída amplificado que aciona um grupo de alto-falantes representativos de um canal direcionado frontal esquerdo e os filtros (EQ_1 - EQ_M) que correspondem a um "subwoofer" podem ser sintonizados para ajustar a fase do componente de baixa frequência dos respectivos sinais de saída de áudio de modo que a saída audível do canal direcionado frontal esquerdo, e a saída audível do "subwoofer" possam ser introduzidas no espaço de escuta para

resultar em um som audível favorável e/ou desejável.

[00069] O processador de sinal de áudio 206 também pode incluir um bloco de passagem 220. Os canais de saída amplificados que possuem múltiplos alto-falantes 204 que se combinam para formar a largura de banda total de um som audível podem incluir passagens para dividir o sinal de saída de áudio de largura de banda total em múltiplos sinais de banda mais estreitos. Uma passagem pode incluir um conjunto de filtros que pode dividir sinais em inúmeros componentes de frequência discretos, tais como um componente de alta frequência e um componente de baixa frequência, em uma(s) frequência(s) de divisão chamada(s) frequência de passagem. Uma respectiva definição de passagem pode ser configurada para cada de um ou mais canais de saída amplificados selecionados para definir uma ou mais frequência(s) de passagem para cada canal selecionado.

[00070] A(s) frequência(s) de passagem pode(m) ser caracterizada(s) pelo efeito acústico da frequência de passagem quando um alto-falante 204 é acionado com o respectivo sinal de áudio de saída no respectivo canal de saída amplificado. Dessa maneira, a frequência de passagem não é, tipicamente, caracterizada pela resposta elétrica do alto-falante 204. Por exemplo, uma passagem acústica de 1 kHz apropriada pode exigir um filtro passa-baixa de 900 Hz e um filtro de passa-alto de 1.200 Hz em uma aplicação onde o resultado é uma resposta direta por toda a largura de banda. Assim, o bloco de passagem 220 inclui uma pluralidade de filtros que são configuráveis com os parâmetros de filtro para obter as definições de passagem(ns) desejadas. Como tal, a saída do bloco de passagem 220 é o sinal de saída de áudio nos canais de saída amplificados que foram seletivamente divididos em duas ou mais faixas de frequência dependendo dos alto-falantes 204 que são acionados com os respectivos sinais de saída de áudio.

[00071] A(s) frequência(s) de passagem pode(m) ser otimizada(s) não apenas para o resultado acústico ótimo, mas também para o resultado de energia minimizada. Um fator de medição pode ser introduzido para instruir o algoritmo na importância relativa quanto à resposta acústica e ao consumo de energia.

[00072] Um bloco de equalização de canal 222 também pode ser incluído no módulo de processamento de sinal de áudio 206. O bloco de equalização de canal 222 pode incluir uma pluralidade de filtros (EQ_1 - EQ_N) que podem ser usados para equalizar os sinais de saída de áudio recebidos a partir do bloco de passagem 220 como canais de áudio amplificados. Cada um dos filtros (EQ_1 - EQ_N) pode incluir um filtro, ou um banco de filtros, que inclui definições que definem a funcionalidade de processamento de sinal operacional do(s) respectivo(s) filtro(s). A quantidade de filtros (N) pode ser variada com base na quantidade de canais de saída amplificados.

[00073] Os filtros (EQ_1 - EQ_N) podem ser configurados no bloco de equalização de canal 222 para ajustar os sinais de áudio a fim de ajustar as características indesejáveis de resposta do transdutor. Dessa maneira, pode-se levar em consideração as características operacionais e/ou parâmetros operacionais de um ou mais alto-falantes 204 acionados por um canal de saída amplificado com os filtros no bloco de equalização de canal 222. Onde a compensação das características operacionais e/ou parâmetros operacionais dos alto-falantes 204 não é desejada, o bloco de equalização de canal 222 pode ser omitido.

[00074] O fluxo de sinal na figura 2 é um exemplo do que pode ser encontrado em um sistema de áudio. As variações mais simples ou mais complexas também são possíveis. Neste exemplo em geral, pode haver uma fonte de canal de entrada (J), canais direcionados processados (K), saída de graves gerenciados (M) e canais de saída

amplificados totais (N). Dessa maneira, o ajuste da equalização dos sinais de áudio pode ser desempenhado em cada etapa na cadeia de sinais. Isso pode ajudar a minimizar a quantidade de filtros usada no sistema geral, uma vez que, em geral, $N > M > K > J$. As alterações espectrais gerais em todo o espectro de frequência poderiam ser aplicadas com o bloco de equalização global 210. Além disso, a equalização pode ser aplicada nos canais direcionados com o bloco de equalização de canal direcionado 214. Assim, a equalização no bloco de equalização global 210 e no bloco de equalização de canal direcionado 214 pode ser aplicada nos grupos dos canais de áudio amplificados. A equalização com o bloco de equalização com graves gerenciados 218 e o bloco de equalização de canal 222, por outro lado, é aplicada nos canais de áudio amplificados individuais.

[00075] A equalização que ocorre antes do bloco processador espacial 212 e do bloco gerenciador de graves 216 pode constituir a filtragem de fase linear se a equalização diferente for aplicada em qualquer canal de entrada de áudio, ou qualquer grupo de canais de saída amplificados. A filtragem de fase linear pode ser usada para preservar a fase dos sinais de áudio que são processados pelo bloco processador espacial 212 e pelo bloco gerenciador de graves 216. Alternativamente, o bloco processador espacial 212 e/ou o bloco gerenciador de graves 216 pode incluir a correção de fase que pode ocorrer durante o processamento nos respectivos módulos.

[00076] O processador de sinal de áudio 206 também pode incluir um bloco de atraso 224. O bloco de atraso 224 pode ser usado para atrasar a quantidade de tempo que um sinal de áudio leva para ser processado através do processador de sinal de áudio 206 e para acionar os alto-falantes 204. O bloco de atraso 224 pode ser configurado para aplicar uma quantidade variável de atraso em cada um dos sinais de saída de áudio em um respectivo canal de saída

amplificado. O bloco de atraso 224 pode incluir uma pluralidade de blocos de atraso (T_1 - T_N) que corresponde à quantidade de canais de saída amplificados. Cada um dos blocos de atraso (T_1 - T_N) pode incluir os parâmetros configuráveis para selecionar a quantidade de atraso a ser aplicada a um respectivo canal de saída amplificado.

[00077] Em um exemplo, cada um dos blocos de atraso pode ser um simples bloco de atraso com repetição isolada (*tap-delay*) digital com base na seguinte equação:

$$y[t] = x[t - n] \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

onde

[00078] x é a entrada para um bloco de atraso no tempo t , y é a saída do bloco de atraso no tempo t , e n é o número de amostras de atraso. O parâmetro n é um parâmetro de desenho e pode ser único para cada alto-falante 204, ou grupo de alto-falantes 204 em um canal de saída amplificado. A latência de um canal de saída amplificado pode ser o produto de n e um período-amostra. O bloco de filtro pode ser um ou mais filtros de resposta de impulso infinita (IIR), filtros de resposta de impulso finita (FIR), ou uma combinação de ambos. O processamento de filtro pelo bloco de atraso 224 também pode incorporar múltiplos bancos de filtro processados em diferentes taxas-amostra. Onde não se deseja nenhum atraso, o bloco de atraso 224 pode ser omitido.

[00079] Um bloco de otimização de ganho 226 também pode ser incluído no processador de sinal de áudio 206. O bloco de otimização de ganho 226 pode incluir uma pluralidade de blocos de ganho (G_1 - G_N) para cada respectivo canal de saída amplificado. Os blocos de ganho (G_1 - G_N) podem ser configurados com uma definição de ganho que é aplicada para cada um dos respectivos canais de saída amplificados (Quantidade N) para ajustar a saída audível de um ou mais alto-falantes 204 que são acionados por um respectivo canal. Por exemplo,

o nível médio de saída dos alto-falantes 204 em um espaço de escuta em diferentes canais de saída amplificados pode ser ajustado com o bloco de otimização de ganho 226 de modo que os níveis de som audível que emanam dos alto-falantes 204 sejam percebidos para estarem aproximadamente os mesmos nas posições de escuta no espaço de escuta. Quando a otimização de ganho não é desejada, tal como em uma situação onde os níveis de som nas posições de escuta são percebidos para serem aproximadamente os mesmos sem o ajuste de ganho individual dos canais de saída amplificados, o bloco de otimização de ganho 226 pode ser omitido.

[00080] O processador de sinal de áudio 206 também pode incluir um bloco de processamento não linear 228. O bloco de processamento não linear 228 pode incluir uma pluralidade de blocos de processamento não linear (NL_1 - NL_N) que correspondem à quantidade (N) de canais de saída amplificados. Os blocos de processamento não linear (NL_1 - NL_N) 228 podem ser configurados com definições de limite baseadas nas faixas operacionais dos alto-falantes 204, para gerenciar os níveis de distorção, consumo de energia, ou qualquer(qualquer) outra(s) limitação(ões) do sistema que garanta limitar a grandeza dos sinais de saída de áudio nos canais de saída amplificados. Uma função do bloco de processamento não linear 228 pode ser a de restringir a voltagem de saída dos sinais de saída de áudio. Por exemplo, o bloco de processamento não linear 228 pode fornecer um limite rígido onde o sinal de saída de áudio não é permitido que exceda algum nível definido pelo usuário. O bloco de processamento não linear 228 também pode restringir a energia de saída dos sinais de saída de áudio para algum nível definido pelo usuário. Além disso, o bloco de processamento não linear 228 pode usar regras predeterminadas para gerenciar, dinamicamente, os níveis do sinal de saída de áudio. Na ausência de uma vontade de limitar os

sinais de saída de áudio, o bloco de processamento não linear 228 pode ser omitido.

[00081] O sistema de sintonização de áudio pode operar em um modo de eficiência quando o consumo de energia deve ser monitorado ou em um modo de não eficiência quando o consumo de energia não for um problema. Em uma implementação exemplificativa, o sistema de áudio pode permitir que o usuário defina níveis de eficiência desejados no desempenho do sistema. A eficiência pode ser definida para uma prioridade alta, ou para um nível de consumo de energia desejado. O sistema pode fornecer ao usuário a opção de definir um requisito de eficiência relativa, ou um requisito mais direto. Um requisito de eficiência relativa instrui o sistema de áudio a limitar o consumo de energia com relação ao ambiente. Por exemplo, o sistema de áudio pode operar em um automóvel e seu consumo de energia pode ser limitado com relação a outros sistemas que partem da mesma fonte de energia. Um requisito mais direto pode envolver limites de energia que o sistema de áudio implementa como parte das verificações de otimização de desempenho quando se determina as definições de configuração ótimas. Em um outro exemplo, a otimização da eficiência é automaticamente determinada e os limites de energia podem ser automaticamente impostos no sistema de áudio.

[00082] Na figura 2, os módulos podem operar e ter parâmetros operacionais correspondentes em uma quantidade de modos de eficiência de energia diferentes. Os módulos no processador de sinal de áudio 206 que podem ser operados em diferentes modos de eficiência incluem o bloco de equalização global 210, o bloco de equalização de canal direcionado 214, o bloco de gerenciamento de graves 216, o bloco de equalização com graves gerenciados 218, o bloco de passagem 220, o bloco de equalização de canal 222, e o bloco de otimização de ganho 226. Uma vez que cada um desses

blocos possui definições operacionais que afetam a quantidade de produção de energia em um ou mais canais de áudio, o ajuste dos respectivos parâmetros operacionais desses blocos pode alterar os requerimentos de energia gerais do sistema de áudio. Assim, um ou mais desses blocos podem incluir diferentes conjuntos de parâmetros operacionais para coincidirem com diferentes níveis de eficiência de energia desejada e desempenho acústico desejado. Apesar de que, em alguns casos, o desempenho acústico pode não ser afetado (ou marginalmente afetado) pelos ajustes no consumo de energia, em outros casos, existe uma troca entre a otimização para o consumo de energia e a otimização para o desempenho acústico ou qualidade de som de áudio. Assim, o sistema de áudio pode ser equipado com qualquer quantidade de modos de eficiência de energia que forneçam equilíbrio que se difere entre a eficiência de energia e o desempenho acústico.

[00083] Na figura 2, os módulos do processador de sinal de áudio 206 são ilustrados em uma configuração específica; no entanto, qualquer outra configuração pode ser usada em outros exemplos. Por exemplo, qualquer um dos blocos de equalização de canal 222, dos blocos de atraso 224, dos blocos de ganho 226, e dos blocos de processamento não linear 228 pode ser configurado para receber a saída do bloco de passagem 220. Apesar de não ilustrado, o processador de sinal de áudio 206 também pode amplificar os sinais de áudio durante o processamento com energia suficiente para acionar cada transdutor. Além disso, apesar de diversos blocos serem ilustrados como blocos separados, a funcionalidade dos blocos ilustrados pode ser combinada ou expandida em múltiplos blocos em outros exemplos.

[00084] A equalização com os blocos de equalização, ou seja, o bloco de equalização global 210, o bloco de equalização de canal de

direcionamento 214, o bloco de equalização com graves gerenciados 218, e o bloco de equalização de canal 222 pode ser desenvolvida usando-se a equalização paramétrica, ou equalização não paramétrica.

[00085] A equalização paramétrica é parametrizada de tal modo que os humanos podem, intuitivamente, ajustar os parâmetros dos filtros resultantes incluídos nos blocos de equalização. No entanto, por causa da parametrização, a flexibilidade na configuração de filtros é reduzida. A equalização paramétrica é uma forma de equalização que pode utilizar as relações específicas de coeficientes de um filtro. Por exemplo, um filtro biquadrático pode ser um filtro implementado como uma razão de dois polígonos de segunda ordem. A relação específica entre os coeficientes pode usar a quantidade de coeficientes disponível, tal como os seis coeficientes de um filtro biquadrático, para implementar uma quantidade de parâmetros predeterminados. Os parâmetros predeterminados, tais como uma frequência central, uma largura de banda e um ganho de filtro, podem ser implementados enquanto mantêm um predeterminado fora de ganho de banda, tal como fora de ganho de banda de um.

[00086] A equalização não paramétrica são os parâmetros de filtro gerados por computador que usam, diretamente, os coeficientes de filtro digitais. A equalização não paramétrica pode ser implementada em pelo menos dois, filtros de resposta de impulso finita (FIR) e de resposta de impulso infinita (IIR). Tais coeficientes digitais podem não ser intuitivamente ajustáveis por humanos, mas a flexibilidade na configuração dos filtros é aumentada, permitindo que os formatos de filtros mais complicados sejam implementados de maneira eficiente.

[00087] A equalização não paramétrica pode usar a flexibilidade total dos coeficientes de um filtro, tal como os seis coeficientes de um filtro biquadrático, para derivar um filtro que é mais compatível com o

formato de resposta necessário para corrigir uma dada grandeza de resposta de frequência ou anomalia de fase. Se um formato de filtro mais complexo for desejado, uma razão de ordem maior de polígonos pode ser usada. Em um exemplo, a razão de ordem maior de polígonos pode ser, mais tarde, ser quebrada (fatoriada) em filtros biquadráticos. O desenho não paramétrico desses filtros pode ser conseguido por meio de diversos métodos que incluem: o Método de Prony, iteração de Steiglitz-McBride, o método de "eigen" filtro ou quaisquer outros métodos que produzam coeficientes de filtro que melhor se ajustem para uma resposta de frequência arbitrária (função de transferência). Esses filtros podem incluir uma característica de passagem total onde apenas a fase é modificada e a grandeza é a unidade em todas as frequências.

[00088] A figura 3 retrata um sistema de áudio exemplificativo 302 e um sistema de sintonização de áudio automatizado 304 incluídos em um espaço de escuta 306. Apesar de o espaço de escuta ilustrado ser uma sala, o espaço de escuta poderia ser um veículo, uma área ao ar livre, ou qualquer outra localização onde um sistema de áudio poderia ser instalado e operado. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode ser usado para a determinação automatizada dos parâmetros do projeto para sintonizar uma implementação específica de um sistema de áudio. Dessa maneira, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 inclui um mecanismo automatizado para definir os parâmetros do projeto no sistema de áudio 302.

[00089] O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 também pode incluir modos de operação que sintonizam, ou configuram o sistema 304, para operar de acordo com um contexto para a operação. Um contexto de operação pode se referir ao ambiente de escuta para os ouvintes em diferentes posições na área

de escuta, ou a qualquer aspecto de operação na qual o usuário pode querer ter o controle. Em implementações exemplificativas, o sistema de áudio automatizado 304 inclui pelo menos um modo de eficiência no qual o consumo de energia pelo sistema de áudio 302 é monitorado e também pode ser sintonizado para minimizar o consumo de energia. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode implementar a operação em diferentes modos usando o processador de sinal 312. O sistema de áudio automatizado 304 pode incluir um processador para fins gerais configurado para desempenhar funções que não requerem, especialmente, o processamento de sinal, o qual inclui definir os modos do sistema e controlar a operação de acordo com os modos.

[00090] O sistema de áudio 302 pode incluir qualquer quantidade de alto-falantes, processadores de sinal, fontes de áudio, etc. para criar qualquer forma de áudio, vídeo, ou qualquer tipo de sistema multimídia que gere som audível. Além disso, o sistema de áudio 302 também pode ser configurado ou instalado em qualquer configuração desejada, e a configuração na figura 3 é apenas uma das muitas configurações possíveis. Na figura 3, para fins ilustrativos, o sistema de áudio 302 é, geralmente, retratado como incluindo um gerador de sinal 310, um processador de sinal 312, e alto-falantes 314, no entanto, qualquer quantidade de dispositivos de geração de sinal e dispositivos de processamento de sinal, assim como quaisquer outros dispositivos relacionados podem ser incluídos, e/ou interfaceados, no sistema de áudio 302.

[00091] O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode ser um sistema independente separado, ou pode ser incluído como parte do sistema de áudio 302. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode incluir qualquer forma de dispositivo lógico, tal como um processador, capaz de executar instruções, receber entradas

e fornecer uma interface do usuário. Em um exemplo, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode ser implementado como um computador, tal como um computador pessoal, que é configurado para se comunicar com o sistema de áudio 302. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode incluir a memória, tal como um ou mais dispositivos de memória volátil e/ou não volátil, configurados para armazenar instruções e/ou dados. As instruções podem ser executadas no sistema de sintonização de áudio automatizado 304 para desempenhar a sintonização automatizada de um sistema de áudio. O código executável também pode fornecer a funcionalidade, a interface do usuário, etc., do sistema de sintonização de áudio automatizado 304. Os dados podem ser parâmetros usados/atualizados durante o processamento, parâmetros gerados/atualizados durante o processamento, variáveis inseridas pelo usuário, e/ou qualquer outra informação relacionada ao processamento de sinais de áudio.

[00092] O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode permitir a criação, manipulação e armazenamento automatizados de parâmetros do projeto usados na personalização do sistema de áudio 302. Além disso, a configuração personalizada do sistema de áudio 302 pode ser criada, manipulada e armazenada de um modo automatizado com o sistema de sintonização de áudio automatizado 304. Ademais, a manipulação manual dos parâmetros do projeto e da configuração do sistema de áudio 302 também pode ser desempenhada por um usuário do sistema de sintonização de áudio automatizado 304.

[00093] O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 também pode incluir a capacidade de entrada/saída (I/O). A capacidade de I/O pode incluir a comunicação de dados com fio e/ou sem fio em série ou em paralelo com qualquer forma de protocolo de

comunicação analógica ou digital. A capacidade de I/O pode incluir uma interface de comunicação de parâmetros 316 para a comunicação de parâmetros do projeto e configurações entre o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 e o processador de sinal 312. A interface de comunicação de parâmetros 316 pode permitir a transferência por download de parâmetros do projeto e configurações para o processador de sinal 312. Além disso, a transferência por upload para o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 dos parâmetros do projeto e configuração que são atualmente usados pelo processador de sinal pode ocorrer na interface de comunicação de parâmetros 316.

[00094] A capacidade de I/O do sistema de sintonização de áudio automatizado 304 também pode incluir pelo menos uma interface de sensor de áudio 318, cada uma acoplada com um sensor de áudio 320, tal como um microfone. Além disso, a capacidade de I/O do sistema de sintonização automatizado 304 pode incluir uma interface de dados de geração de forma de onda 322, e uma interface de sinal de referência 324. A interface de sensor de áudio 318 pode fornecer a capacidade do sistema de sintonização de áudio automatizado 304 de receber como sinais de entrada um ou mais sinais de entrada de áudio sentidos no espaço de escuta 306. Na figura 3, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 recebe cinco sinais de áudio de cinco posições de escuta diferentes no espaço de escuta. Em outros exemplos, menor ou maior quantidade de sinais de áudio e/ou de posições de escuta pode ser usada. Por exemplo, no caso de um veículo, pode haver quatro posições de escuta, e quatro sensores de áudio 320 podem ser usados em cada posição de escuta. Alternativamente, um único sensor de áudio 320 pode ser usado, e movido dentre todas as posições de escuta. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode usar os sinais de áudio para medir o

som real, ou *in-situ*, experimentado em cada uma das posições de escuta.

[00095] O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode gerar sinais de teste diretamente, extrair sinais de teste de um dispositivo de armazenamento, ou controlar um gerador de sinal externo para criar formas de onda de teste. Na figura 3, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode transmitir os sinais de controle de formas de onda na interface de dados de geração de forma de onda 322 para o gerador de sinal 310. Com base nos sinais de controle de formas de onda, o gerador de sinal 310 pode enviar uma forma de onda de teste para o processador de sinal 312 como um sinal de entrada de áudio. Um sinal de referência de forma de onda de teste produzido pelo gerador de sinal 310 também pode ser enviado para o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 através da interface de sinal de referência 324. A forma de onda de teste pode ser uma ou mais frequências que possuem uma grandeza e largura de banda para exercitar e/ou testar por completo a operação do sistema de áudio 302. Em outros exemplos, o sistema de áudio 302 pode gerar uma forma de onda de teste a partir de um disco compacto, uma memória, ou qualquer outra mídia de armazenamento. Nestes exemplos, a forma de onda de teste pode fornecer ao sistema de sintonização de áudio automatizado 304 na interface de geração de forma de onda 322.

[00096] Em um exemplo, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode iniciar ou direcionar a iniciação de uma forma de onda de referência. A forma de onda de referência pode ser processada pelo processador de sinal 312 como um sinal de entrada de áudio e ser enviada nos canais de saída amplificados como um sinal de saída de áudio para acionar os alto-falantes 314. Os alto-falantes 314 podem enviar um som audível representativo da forma de

onda de referência. O som audível pode ser sentido pelos sensores de áudio 320, e fornecido ao sistema de sintonização de áudio automatizado 304 como sinais de áudio de entrada na interface de sensor de áudio 318. Cada um dos canais de saída amplificados que acionam os alto-falantes 314 pode ser acionado, e o som audível gerado pelos alto-falantes 314 que são acionados pode ser sentido pelos sensores de áudio 320.

[00097] Em um exemplo, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 é implementado em um computador pessoal (PC) que inclui uma placa de som. A placa de som pode ser usada como parte da capacidade de I/O do sistema de sintonização de áudio automatizado 304 de receber os sinais de áudio de entrada a partir dos sensores de áudio 320 na interface de sensor de áudio 318. Além disso, a placa de som pode operar como um gerador de sinal para gerar uma forma de onda de teste que é transmitida para o processador de sinal 312 como um sinal de entrada de áudio na interface de geração de forma de onda 322. Assim, pode-se omitir o gerador de sinal 310. A placa de som também pode receber a forma de onda de teste como um sinal de referência na interface de sinal de referência 324. A placa de som pode ser controlada pelo PC, e fornecer toda a informação de entrada para o sistema de sintonização de áudio automatizado 304. Com base na I/O recebida/enviada da placa de som, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode transferir por download/upload os parâmetros do projeto para /a partir do processador de sinal 312 através da interface de parâmetros 316.

[00098] Usando-se o(s) sinal(is) de entrada de áudio e o sinal de referência, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode, automaticamente, determinar os parâmetros do projeto a serem implementados no processador de sinal 312. O sistema de

sintonização de áudio automatizado 304 também pode incluir uma interface do usuário que permite a visualização, manipulação e edição dos parâmetros do projeto. A interface do usuário pode incluir um visor, e um dispositivo de entrada, tal como um teclado, um mouse e ou uma tela sensível ao toque. Além disso, as regras baseadas em lógica e outros controles do projeto podem ser implementados e/ou alteradas com a interface do usuário do sistema de sintonização de áudio automatizado 304. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode incluir uma ou mais telas de interface do usuário gráfica, ou alguma outra forma de visor que permita a visualização, manipulação e alterações nos parâmetros do projeto e configuração.

[00099] Em geral, a operação automatizada exemplificativa pelo sistema de sintonização de áudio automatizado 304 para determinar os parâmetros do projeto para um sistema de áudio específico instalado em um espaço de escuta pode ser precedida ao entrar na configuração do sistema de áudio de interesse e parâmetros do projeto no sistema de sintonização de áudio automatizado 304. Seguindo-se a entrada da informação de configuração e parâmetros do projeto, o sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode transferir por download a informação de configuração para o processador de sinal 312. O sistema de sintonização de áudio automatizado 304 pode, então, desempenhar a sintonização automatizada em uma série de etapas automatizadas, conforme descrito, para determinar os parâmetros do projeto.

[000100] A figura 4 é um diagrama de bloco de um sistema de sintonização de áudio automatizado exemplificativo 400. O sistema de sintonização de áudio automatizado 400 pode incluir um arquivo de configuração 402, uma interface de medição 404, uma matriz de função de transferência 406, um instrumento de média espacial 408,

um instrumento de equalização de canal amplificado 410, um instrumento de atraso 412, um instrumento de ganho 414, um instrumento de passagem 416, um instrumento de otimização de graves 418, um instrumento de otimização do sistema 420, um simulador de aplicação de definições 422, dados de laboratório 424, e instrumento de otimização não linear 430. Em outros exemplos, menos blocos ou blocos adicionais podem ser usados para descrever a funcionalidade do sistema de sintonização de áudio automatizado 400.

[000101] O arquivo de configuração 402 pode ser um arquivo armazenado na memória. Alternativa ou adicionalmente, o arquivo de configuração 402 pode ser implementado em uma interface gráfica do usuário como um receptor de informação inserida por um projetista de sistema de áudio. O arquivo de configuração 402 pode ser configurado por um projetista de sistema de áudio com a informação de configuração para especificar o sistema de áudio em particular a ser sintonizado, e os parâmetros do projeto relacionados ao processo de sintonização automatizada.

[000102] A operação automatizada do sistema de sintonização de áudio automatizado 400 para determinar os parâmetros do projeto para um sistema de áudio específico instalado em um espaço de escuta pode ser precedida pela inserção da configuração do sistema de áudio de interesse no arquivo de configuração 402. A informação de configuração e definições podem incluir, por exemplo, inúmeros transdutores, curvas de impedância dos transdutores, inúmeras localizações de escuta, inúmeros sinais de áudio de entrada, inúmeros sinais de áudio de saída, o processamento para obter os sinais de áudio de saída a partir dos sinais de áudio de entrada, (tais como os sinais estéreos para os sinais de ambiente) e/ou qualquer outra informação específica de sistema de áudio útil para desempenhar a configuração automatizada de parâmetros do projeto. Além disso, a

informação de configuração no arquivo de configuração 402 pode incluir os parâmetros do projeto, tais como restrições, fatores de medição, parâmetros de sintonização automatizados, variáveis determinadas, etc., que são determinados pelo projetista de sistema de áudio. Em uma implementação exemplificativa, o arquivo de configuração 402 inclui os valores de parâmetro de modo de eficiência, os quais incluem valores de alguns ou de todos os parâmetros configurados para a operação do modo de não eficiência além de quaisquer parâmetros configurados para a operação de modo de eficiência.

[000103] Por exemplo, um fator de medição pode ser determinado para cada localização de escuta com relação ao sistema de áudio instalado. O fator de medição pode ser determinado por um projetista de sistema de áudio com base em uma importância relativa de cada localização de escuta. Por exemplo, em um veículo, a localização de escuta do motorista pode ter o mais alto fator de medição. A localização de escuta do passageiro da frente pode ter o próximo mais alto fator de medição, e os passageiros de trás podem ter um fator de medição mais baixo. O fator de medição pode ser inserido em uma matriz de medição incluída no arquivo de configuração 402 que usa a interface do usuário. Ademais, a informação de configuração exemplificativa pode incluir a entrada de informação para o limitador e os blocos de ganho, ou qualquer outra informação relacionada a qualquer aspecto da sintonização automatizada de sistemas de áudio. Uma escuta exemplificativa de informação de configuração para um arquivo de configuração exemplificativo é incluída como Apêndice A. Em outros exemplos, o arquivo de configuração pode incluir a informação de configuração adicional ou menos informação de configuração.

[000104] Além da definição da arquitetura do sistema de áudio e da

configuração dos parâmetros do projeto, o mapeamento de canal dos canais de entrada, canais direcionados e canais de saída amplificados pode ser desempenhado com o arquivo de configuração 402. Além disso, qualquer outra informação de configuração pode ser fornecida no arquivo de configuração 402, conforme previamente e mais adiante discutido. Pode-se desempenhar a transferência por download a seguir da informação de configuração para o sistema de áudio a ser sintonizado através da interface de parâmetro 316 (figura 3), da configuração, da calibração e da medição com sensores de áudio 320 (figura 3) da saída de som audível pelo sistema de áudio a ser sintonizado.

[000105] A interface de medição 404 pode receber e/ou processar sinais de áudio de entrada fornecidos a partir do sistema de áudio que é sintonizado. A interface de medição 404 pode receber sinais dos sensores de áudio, os sinais de referência e os dados de geração de forma de onda previamente discutidos com referência à figura 3. Os sinais recebidos representativos de dados de resposta dos alto-falantes podem ser armazenados na matriz de função de transferência 406.

[000106] A matriz de função de transferência 406 pode ser uma matriz de resposta multidimensional que contém a informação relacionada à resposta. Em um exemplo, a matriz de função de transferência 406, ou matriz de resposta, pode ser uma matriz de resposta tridimensional que inclui inúmeros sensores de áudio, inúmeros canais de saída amplificados, e as funções de transferência descritivas da saída do sistema de áudio recebida por cada um dos sensores de áudio. As funções de transferência podem ser a resposta de impulso ou a resposta de frequência complexa medidas pelos sensores de áudio. Os dados de laboratório 424 podem ser funções de transferência para alto-falante medidas (dados de resposta de alto-

falante) para os alto-falantes no sistema de áudio a ser sintonizado. Os dados de resposta de alto-falante podem ter sido medidos e coletados no espaço de escuta que é um ambiente de laboratório, tal como uma câmara anecoica. Os dados de laboratório 424 podem ser armazenados na forma de uma matriz de resposta multidimensional que contém a informação relacionada à resposta. Em um exemplo, os dados de laboratório 424 podem ser uma matriz de resposta tridimensional semelhante à matriz de função de transferência 406.

[000107] O instrumento de média espacial 408 pode ser executado para comprimir a matriz de função de transferência 406 ao fazer a média de uma ou mais das dimensões na matriz de função de transferência 406. Por exemplo, na matriz de resposta tridimensional descrita, o instrumento de média espacial 408 pode ser executado para fazer a média dos sensores de áudio e comprimir a matriz de resposta em uma matriz de resposta bidimensional. A figura 5 ilustra um exemplo de média espacial para reduzir as respostas de impulso a partir de seis sinais de sensor de áudio 502 para uma única resposta média espacialmente 504 através de uma faixa de frequências. A média espacial pelo instrumento de média espacial 408 também pode incluir a aplicação dos fatores de medição. Os fatores de medição podem ser aplicados durante a geração das respostas médias espacialmente para medir, ou enfatizar, aquelas respostas identificadas das respostas de impulso que têm as médias espacialmente calculadas com base nos fatores de medição. A matriz de função de transferência comprimida pode ser gerada pelo instrumento de média espacial 408 e armazenada em uma memória 432 do simulador de aplicação de definições 422.

[000108] Na figura 4, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode ser executado para gerar as definições de equalização de canal para o bloco de equalização de canal 222 da

figura 2. As definições de equalização de canal geradas pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 podem corrigir a resposta de um alto-falante ou grupo de alto-falantes que está no mesmo canal de saída amplificado em um esforço de alcançar uma resposta acústica alvo. Esses alto-falantes podem ser individuais, passivamente cruzados, ou separada e ativamente cruzados. A resposta desses alto-falantes, independente do espaço de escuta, pode não ser ótima e pode exigir a correção de resposta.

[000109] A figura 6 é um diagrama de bloco de um instrumento de equalização de canal amplificado 410, dados *in-situ* 602, e dados de laboratório 424 exemplificativos. O instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode incluir um módulo *in-situ* predito 606, um módulo de correção estatística 608, um instrumento paramétrico 610, e um instrumento não paramétrico 612. Em outros exemplos, a funcionalidade do instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode ser descrita com menos blocos ou com blocos adicionais.

[000110] Os dados *in-situ* 602 podem ser representativos de funções de transferência para alto-falante medidas reais na forma de respostas de frequência complexas ou respostas de impulso para cada canal de áudio amplificado de um sistema de áudio a ser sintonizado. Os dados *in-situ* 602 podem incluir saída audível medida a partir do sistema de áudio quando o sistema de áudio é instalado no espaço de escuta em uma configuração desejada. Usando-se os sensores de áudio, os dados *in-situ* podem ser capturados e armazenados na matriz de função de transferência 406 (figura 4). Em um exemplo, os dados *in-situ* 602 são a matriz de função de transferência comprimida armazenada na memória 432. Alternativamente, conforme discutido mais adiante, os dados *in-situ* 602 podem ser uma simulação que inclui dados representativos dos dados de resposta com definições geradas e/ou determinadas aplicadas ao sistema de áudio. Os dados

de laboratório 424 podem ser funções de transferência para alto-falante (dados de resposta de alto-falante) medidas em um ambiente de laboratório para os alto-falantes no sistema de áudio a ser sintonizado.

[000111] A correção automatizada com o instrumento de equalização de canal amplificado 410 de cada um dos canais de saída amplificados em um esforço de alcançar uma resposta acústica alvo pode ser baseada nos dados *in-situ* 602 e/ou nos dados de laboratório 424. Assim, o uso pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 de dados *in-situ* 602, dados de laboratório 424 ou alguma combinação tanto dos dados *in-situ* 602 quanto dos dados de laboratório 424 é configurável por um projetista de sistema de áudio no arquivo de configuração 402 (figura 4).

[000112] A geração de definições de equalização de canal para corrigir a resposta dos alto-falantes com relação à resposta acústica alvo pode ser desempenhada com o instrumento paramétrico 610 ou com o instrumento não paramétrico 612, ou com uma combinação tanto do instrumento paramétrico 610 quanto do instrumento não paramétrico 612. Uma definição no arquivo de configuração 402 (figura 4) pode ser usada para designar se as definições de equalização de canal devem ser geradas com o instrumento paramétrico 610, o instrumento não paramétrico 612, ou alguma combinação de instrumento paramétrico 610 e instrumento não paramétrico 612. Por exemplo, o arquivo de configuração 402 (figura 2) pode designar a quantidade de filtros paramétricos, e a quantidade de filtros não paramétricos a ser incluída no bloco de equalização de canal 222 (figura 2).

[000113] Um sistema que consiste em alto-falantes só pode se desempenhar como os alto-falantes que constituem o sistema. O instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode usar a

informação sobre o desempenho de um alto-falante *in-situ*, ou em um ambiente de laboratório, para corrigir ou minimizar o efeito de irregularidades na resposta do alto-falante em vista da resposta acústica alvo.

[000114] As definições de equalização de canal geradas com base nos dados de laboratório 424 podem incluir o processamento com o módulo *in-situ* predito 606. Uma vez que o desempenho do alto-falante baseado em laboratório não é proveniente do espaço de escuta *in-situ* no qual o alto-falante será operado, o módulo *in-situ* predito 606 pode gerar uma resposta *in-situ* predita. A resposta *in-situ* predita pode ser baseada em parâmetros previamente definidos no arquivo de configuração 402. Por exemplo, um usuário ou projetista pode criar um modelo de computador do(s) alto-falante(s) no ambiente pretendido ou no espaço de escuta. O modelo de computador pode ser usado para prever a resposta de frequência que seria medida em cada localização de sensor. Este modelo de computador pode incluir aspectos importantes para o projeto do sistema de áudio. Em um exemplo, aqueles aspectos que são considerados não importantes podem ser omitidos. A informação de resposta de frequência predita de cada um do(s) alto-falante(s) pode ter a média espacialmente calculada através de sensores no módulo *in-situ* predito 606 como uma aproximação da resposta que é esperada no ambiente de escuta. O modelo de computador pode usar o método de elemento finito, o método de elemento de fronteira, traço de raios ou qualquer outro método de simular o desempenho acústico de um alto-falante ou conjunto de alto-falantes em um ambiente.

[000115] Com base na resposta *in-situ* predita, o instrumento paramétrico 610 e/ou o instrumento não paramétrico 612 podem gerar definições de equalização de canal para compensar as irregularidades corrigíveis nos alto-falantes com base na resposta acústica alvo. A

resposta *in-situ* real medida pode não ser usada, uma vez que a resposta *in-situ* pode ocultar a resposta atual do alto-falante. A resposta *in-situ* predita pode incluir apenas fatores que modificam o desempenho do(s) alto-falante(s) ao introduzir uma alteração na impedância de radiação acústica. Por exemplo, um fator(es) pode ser incluído na resposta *in-situ* no caso onde o alto-falante deve ser posicionado próximo a uma fronteira.

[000116] A fim de se obter resultados satisfatórios com a resposta *in-situ* predita gerada pelo instrumento paramétrico 610 e/ou pelo instrumento não paramétrico 612, os alto-falantes devem ser designados para dar desempenho anecoico ótimo antes de serem submetidos ao espaço de escuta. Em alguns espaços de escuta, a compensação pode ser desnecessária para o desempenho ótimo dos alto-falantes, e a geração das definições de equalização de canal pode não ser necessária. As definições de equalização de canal geradas pelo instrumento paramétrico 610 e/ou pelo instrumento não paramétrico 612 podem ser aplicadas no bloco de equalização de canal 222 (figura 2). Assim, as modificações de sinal devido às definições de equalização de canal podem afetar um único alto-falante ou um arranjo (passiva ou ativamente) filtrado de alto-falantes.

[000117] Além disso, a correção estatística pode ser aplicada à resposta *in-situ* predita pelo módulo de correção estatística 608 com base em análises dos dados de laboratório 424 (figura 4) e/ou de qualquer outra informação incluída no arquivo de configuração 402 (figura 4). O módulo de correção estatística 608 pode gerar a correção de uma resposta *in-situ* predita em uma base estatística usando-se dados armazenados no arquivo de configuração 402 que está relacionado aos alto-falantes usados no sistema de áudio. Por exemplo, uma ressonância devido ao rompimento do diafragma em um alto-falante pode ser dependente das características em particular das

propriedades do material do diafragma e das variações em tais propriedades de material. Além disso, as variações de fabricação de outros componentes e adesivos no alto-falante, e as variações devido às tolerâncias quanto ao desenho e processo durante a fabricação podem afetar o desempenho. A informação estatística obtida a partir do teste/verificação de qualidade de alto-falantes individuais pode ser armazenada nos dados de laboratório 424 (figura 4). Tal informação pode ser usada pelo módulo de correção estatística 608 para corrigir, adicionalmente, a resposta dos alto-falantes baseados nessas variações conhecidas nos componentes e nos processos de fabricação. A correção de resposta direcionada pode possibilitar a correção da resposta do alto-falante para justificar as alterações feitas quanto ao desenho e/ou processo de fabricação de um alto-falante.

[000118] Em um outro exemplo, a correção estatística da resposta *in-situ* predita de um alto-falante também pode ser desempenhada pelo módulo de correção estatística 608 com base no fim do teste de linha de montagem dos alto-falantes. Em algumas ocasiões, um sistema de áudio em um espaço de escuta, tal como um veículo, pode ser sintonizado com um dado conjunto de alto-falantes ótimos, ou com um conjunto desconhecido de alto-falantes que estão no espaço de escuta no momento da sintonização. Devido às variações estáticas nos alto-falantes, tal sintonização pode ser otimizada para o espaço de escuta em particular, mas não para outros alto-falantes do mesmo modelo no mesmo espaço de escuta. Por exemplo, em um conjunto em particular de alto-falantes em um veículo, pode ocorrer uma ressonância em 1 kHz com uma grandeza e largura de banda de filtro (Q) de três e um pico de 6dB. Em outros alto-falantes do mesmo modelo, a ocorrência da ressonância pode variar em 1/3 de oitava, Q pode variar de 2,5 a 3,5, e a grandeza de pico pode variar de 4 a 8 dB. Tal variação na ocorrência da ressonância pode ser fornecida como a

informação nos dados de laboratório 424 (figura 4) para uso pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 para corrigir, estatisticamente, a resposta *in-situ* -predita dos alto-falantes.

[000119] Os dados de resposta *in-situ* preditos ou os dados *in-situ* 602 podem ser usados ou pelo instrumento paramétrico 610 ou pelo instrumento não paramétrico 612. O instrumento paramétrico 610 pode ser executado para obter uma largura de banda de interesse a partir dos dados de resposta armazenados na matriz de função de transferência 406 (figura 4). Na largura de banda de interesse, o instrumento paramétrico 610 pode examinar a grandeza de uma resposta de frequência para picos. O instrumento paramétrico 610 pode identificar o pico com a maior grandeza e calcular os melhores parâmetros de ajuste de uma equalização paramétrica (por exemplo, frequência central, grandeza e Q) com relação a este pico. O melhor filtro de ajuste pode ser aplicado à resposta em uma simulação e o processo pode ser repetido pelo instrumento paramétrico 610 até que não haja nenhum pico maior do que uma grandeza de pico mínima especificada, tal como 2 dB, ou uma quantidade máxima especificada de filtros seja usada, tal como dois. A grandeza de pico mínima e a quantidade máxima de filtros podem ser especificadas por um projetista de sistema no arquivo de configuração 402 (figura 4).

[000120] O instrumento paramétrico 610 pode usar a média medida através dos sensores de áudio de um alto-falante em particular, ou conjunto de alto-falantes, para tratar ressonâncias e/ou outras anomalias de resposta com filtros, tais como filtros de corte paramétricos. Por exemplo, uma frequência central, grandeza e largura de banda de filtro (Q) dos filtros de corte paramétricos podem ser geradas. Os filtros de corte podem ser filtros de fase mínima que são projetados para fornecer uma resposta ótima no espaço de escuta ao tratar as anomalias de resposta de frequência que podem

ser criadas quando os alto-falantes são acionados.

[000121] O instrumento não paramétrico 612 pode usar a média medida através dos sensores de áudio de um alto-falante em particular, ou conjunto de alto-falantes, para tratar as ressonâncias e outras anomalias de resposta com filtros, tais como filtros biquadráticos. Os coeficientes dos filtros biquadráticos podem ser computados para fornecer um ajuste ótimo para a(s) anomalia(s) de resposta de frequência. Os filtros não parametricamente derivados podem fornecer um ajuste mais aproximadamente adequado quando comparados aos filtros paramétricos, uma vez que os filtros não paramétricos podem incluir formatos de resposta de frequência mais complexa do que os filtros de corte paramétricos tradicionais podem. A desvantagem desses filtros é que eles não são intuitivamente ajustáveis à medida que eles não possuem parâmetros, tais como frequência central, Q e grandeza.

[000122] O instrumento paramétrico 610 e/ou o instrumento não paramétrico 612 pode analisar a influencia que cada alto-falante exerce na resposta *in-situ* ou de laboratório, interações não complexas entre múltiplos alto-falantes que produzem a mesma faixa de frequência. Em muitos casos, o instrumento paramétrico 610 e/ou o instrumento não paramétrico 612 pode determinar que é desejável filtrar a resposta um tanto fora da largura de banda na qual o alto-falante opera. Este seria o caso se, por exemplo, uma ressonância ocorresse em meia oitava acima da frequência passa-baixa especificada de um dado alto-falante, à medida que esta ressonância poderia ser audível e poderia causar dificuldade com a conclusão de passagem. Em um outro exemplo, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode determinar que filtrar uma oitava abaixo da frequência passa-alto especificada de um alto-falante e uma oitava abaixo da frequência passa-baixa especificada do alto-falante pode

fornecer melhores resultados do que filtrar apenas para as bordas de banda.

[000123] A seleção da filtragem pelo instrumento paramétrico 610 e/ou pelo instrumento não paramétrico 612 pode ser restrita com a informação incluída no arquivo de configuração 402 ou baseada em um fator de medição de eficiência de energia. A restrição de parâmetros da otimização de filtro (não apenas de frequência) pode ser importante para o desempenho do instrumento de equalização de canal amplificado 410 em termos de otimização de consumo de energia, alocação de recurso e desempenho do sistema. Ao permitir que o instrumento paramétrico 610 e/ou o instrumento não paramétrico 612 selecione qualquer valor não restrito poderia fazer com que o instrumento de equalização de canal amplificado 410 gere um filtro indesejado, tal como um filtro com valores de ganho positivos muito altos que resultam em consumo de energia significativo, assim como na possibilidade de distorção ou problemas de estabilidade. Em um exemplo, o arquivo de configuração 402 pode incluir a informação para restringir o ganho gerado com o instrumento paramétrico 610 para uma determinada faixa, tal como dentro de -12 dB e +6 dB. Em um outro exemplo, uma escala móvel de limites de ganho pode ser imposta com base no fator de medição de eficiência de energia. Alternativa, ou adicionalmente, o arquivo de configuração 402 pode incluir, ou o fator de medição de eficiência de energia pode ser implementado para evocar, uma determinada faixa para restringir a geração da grandeza e da largura de banda de filtro (Q), tal como dentro de uma faixa de cerca de 0,5 a cerca de 5, por exemplo.

[000124] O ganho mínimo de um filtro também pode ser definido como um parâmetro adicional no arquivo de configuração 402. O ganho mínimo pode ser definido como um valor determinado, tal como 2 dB. Assim, qualquer filtro que tenha sido calculado pelo instrumento

paramétrico 610 e/ou pelo instrumento não paramétrico 612 com um ganho de menos que 2 dB pode ser removido e não transferido por download para o sistema de áudio que é sintonizado. Além disso, a geração de uma quantidade máxima de filtros pelo instrumento paramétrico 610 e/ou pelo instrumento não paramétrico 612 pode ser especificada no arquivo de configuração 402 para otimizar o desempenho do sistema. A definição de ganho mínimo pode permitir mais avanços no desempenho do sistema quando o instrumento paramétrico 610 e/ou o instrumento não paramétrico 612 geram a quantidade máxima de filtros especificada no arquivo de configuração 402 e, então, remove alguns dos filtros gerados com base na definição de ganho mínimo. Quando se considera a remoção de um filtro, os instrumentos paramétricos e/ou não paramétricos 610 e 612 podem considerar a definição de ganho mínimo do filtro em conjunto com o Q do filtro para determinar a importância psicoacústica daquele filtro no sistema de áudio. Tais considerações de remoção de um filtro podem ser baseadas em um limiar predeterminado, tal como uma razão da definição de ganho mínimo e do Q do filtro, uma faixa de valores aceitáveis de Q para uma dada definição de ganho do filtro, e/ou uma faixa de ganho aceitável para um dado Q do filtro. Por exemplo, se o Q do filtro for muito baixa, tal como 1, uma grandeza de 2 dB de ganho no filtro pode ter um efeito significativo no timbre do sistema de áudio, e o filtro não poderia ser apagado. O limiar predeterminado pode ser incluído no arquivo de configuração 402 (figura 4).

[000125] Os diferentes fatores de medição de eficiência de energia podem ser usados para criar um ou mais conjuntos de parâmetros operacionais na forma de definições de equalização de canal com base em uma resposta acústica alvo. As definições de equalização de canal podem estar na forma de filtros que possuem parâmetros do projeto de filtro. O instrumento de equalização de canal amplificado

410 pode usar os dados de impedância dos alto-falantes a partir do arquivo de configuração 402 para determinar o efeito de definições de equalização de canal no consumo de energia operacional dos respectivos alto-falantes. Com base no respectivo fator de medição de eficiência que é usado para criar as definições de equalização de canal, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode ajustar as definições de equalização para um ou mais dos canais. Assim, se um fator de medição de eficiência de energia estiver sendo usado, que favorece a minimização de consumo de energia, as definições de equalização de canal, tais como valores de ganho, podem ser reduzidas em alguma frequência e aumentadas em outras frequências a fim de minimizar o consumo de energia, enquanto ainda alcança uma resposta acústica alvo a partir do sistema de áudio. Em outros exemplos, Q, faixas de frequência que são equalizadas, ou quaisquer outros parâmetros operacionais relacionados à equalização podem ser ajustados pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 como uma função dos parâmetros de medição de eficiência de energia. O instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode equilibrar o desempenho acústico desejado do sistema de áudio para alcançar uma resposta acústica alvo com as limitações desejadas na energia consumida pelo amplificador para acionar os alto-falantes com base no fator de medição de eficiência de energia.

[000126] Por exemplo, se o fator de medição de eficiência de energia for um valor entre um e dez, com dez sendo a eficiência de energia máxima, em um valor de um, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode ignorar o consumo de energia e gerar definições de equalização de canal para otimizar o desempenho acústico dos alto-falantes. Em um fator de medição de eficiência de energia de dez, por outro lado, as alterações significativas nas definições de

equalização de canal que otimizam o desempenho acústico podem ocorrer a fim de minimizar o consumo de energia, enquanto ainda fornece os níveis aceitáveis de desempenho do sistema de áudio. De maneira semelhante, em um fator de medição de eficiência de energia de cinco, o instrumento de equalização de canal amplificado pode entrar em consenso entre o consumo de energia e o desempenho acústico.

[000127] O nível de consumo de energia pelo amplificador no acionamento de alto-falantes, e, portanto, a eficiência de energia pode ser determinada pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 com base na impedância dos alto-falantes. Em outros exemplos, qualquer outra perda de energia no sistema de áudio pode ser considerada. Os dados de impedância dos alto-falantes podem ser obtidos pelo instrumento de equalização de canal amplificado 410 a partir de curvas de impedância para cada um dos respectivos alto-falantes. As curvas de impedância podem ser armazenadas no arquivo de configuração 402. Alternativa, ou adicionalmente, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode calcular os dados de impedância para os alto-falantes. O cálculo dos dados de impedância pode ser baseado em valores medidos reais, tais como uma grandeza de corrente e voltagem que é fornecida, ou projetada para ser fornecida aos alto-falantes ($V=R*I$). Com base na voltagem e corrente incluídas no sinal de áudio que aciona um ou mais dos respectivos alto-falantes, e nos dados de impedância de um ou mais alto-falantes, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode ajustar as definições de equalização e determinar uma alteração correspondente no consumo de energia através de um ou mais alto-falantes. Usando-se essas técnicas, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode, iterativamente, ajustar as definições de equalização para se adequarem em um nível desejado de consumo de energia enquanto

ainda otimiza o desempenho acústico em vista da resposta acústica alvo e nas restrições impostas pelo fator de medição de eficiência de energia.

[000128] Na figura 4, as definições de equalização de canal geradas com o instrumento de equalização de canal amplificado 410 podem ser fornecidas para o simulador de aplicação de definições 422. O simulador de aplicação de definições 422 pode incluir a memória 432, na qual as definições de equalização podem ser armazenadas. O simulador de aplicação de definição 422 também pode ser executável para aplicar as definições de equalização de canal aos dados de resposta incluídos na matriz de função de transferência 406. Os dados de resposta que foram equalizados com as definições de equalização de canal também podem ser armazenados na memória 432 como uma simulação de canal de dados de resposta equalizados. Além disso, quaisquer outras definições geradas com o sistema de sintonização de áudio automatizado 400 podem ser aplicadas nos dados de resposta para simular a operação do sistema de áudio com as definições de equalização de canal geradas aplicadas. Ademais, as definições incluídas no arquivo de configuração 402 podem ser aplicadas nos dados de resposta com base em um planejamento de simulação para gerar uma simulação de equalização de canal.

[000129] O planejamento de simulação pode ser incluído no arquivo de configuração 402. O planejamento de simulação designa as definições geradas e predeterminadas usadas para gerar uma simulação em particular com o simulador de aplicação de definições 422. À medida que as definições são geradas pelos instrumentos no sistema de sintonização de áudio automatizado 400, o simulador de aplicação de definições 422 pode gerar as simulações identificadas no planejamento de simulação. Por exemplo, deseja-se o planejamento de simulação pode indicar uma simulação dos dados de resposta a

partir da matriz de função de transferência 406 com as definições de equalização aplicadas à mesma. Assim, no recebimento das definições de equalização, o simulador de aplicação de definições 422 pode aplicar as definições de equalização nos dados de resposta e armazenar a simulação resultante na memória 432.

[000130] A simulação dos dados de resposta equalizados pode estar disponível para o uso na geração de outras definições no sistema de sintonização de áudio automatizado 400. Tais simulações dos dados de resposta equalizados também podem ser desempenhadas para os parâmetros operacionais associados a cada um dos fatores de medição de eficiência. Quanto a isto, o arquivo de configuração 402 também pode incluir uma tabela de ordem que designa uma ordem, ou sequência, na qual diversas definições são geradas pelo sistema de sintonização de áudio automatizado 400. Uma sequência de geração pode ser designada na tabela de ordem. A sequência pode ser designada de modo que as definições geradas usadas nas simulações, nas quais se deseja basear a geração de um outro grupo de definições geradas, possam ser geradas e armazenadas pelo simulador de aplicação de definições 422. Em outras palavras, a tabela de ordem pode designar a ordem de geração de definições e simulações correspondentes de modo que as definições geradas baseadas na simulação com outras definições geradas estejam disponíveis. Por exemplo, a simulação dos dados de resposta de canal equalizado pode ser fornecida ao instrumento de atraso 412. Alternativamente, onde não se deseja as definições de equalização de canal, os dados de resposta podem ser fornecidos sem o ajuste ao instrumento de atraso 412. Ainda em um outro exemplo, qualquer outra simulação que inclua definições geradas e/ou definições determinadas, conforme direcionadas pelo projetista de sistema de áudio, pode ser fornecida ao instrumento de atraso 412.

[000131] O instrumento de atraso 412 pode ser executado para determinar e gerar um atraso ótimo para os alto-falantes selecionados. O instrumento de atraso 412 pode obter a resposta simulada de cada canal de entrada de áudio a partir de uma simulação armazenada na memória 432 do simulador de aplicação de definições 422, ou pode obter os dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406. Por meio de comparação de cada sinal de entrada de áudio com a forma de onda de referência, o instrumento de atraso 412 pode determinar e gerar as definições de atraso. Alternativamente, onde não se deseja as definições de atraso, o instrumento de atraso 412 pode ser omitido.

[000132] A figura 7 é um diagrama de bloco de um instrumento de atraso exemplificativo 412 e dados *in-situ* 702. O instrumento de atraso 412 inclui um módulo calculador de atraso 704. Os valores de atraso podem ser computados e gerados pelo módulo calculador de atraso 704 com base nos dados *in-situ* 702. Os dados *in-situ* 702 podem ser os dados de resposta incluídos na matriz de função de transferência 406. Alternativamente, os dados *in-situ* 702 podem ser os dados de simulação armazenados na memória 432. (figura 4).

[000133] Os valores de atraso podem ser gerados pelo módulo calculador de atraso 704 para aqueles selecionados dos canais de saída amplificados. O módulo calculador de atraso 704 pode localizar a borda de entrada dos sinais de entrada de áudio medidos e a borda de entrada da forma de onda de referência. A borda de entrada dos sinais de entrada de áudio medidos pode ser o ponto onde a resposta surge do patamar de ruído. Com base na diferença entre a borda de entrada da forma de onda de referência e na borda de entrada de sinais de entrada de áudio medidos, o módulo calculador de atraso 704 pode calcular o atraso real.

[000134] A figura 8 é uma resposta de impulso exemplificativa que

ilustra o teste para determinar o tempo de chegada de um som audível em um dispositivo de sensoriamento de áudio, tal como um microfone. Em um ponto de tempo (t1) 802, o qual é igual a zero segundo, o sinal audível é fornecido ao sistema de áudio para ser enviado por um alto-falante. Durante um período de atraso de tempo 804, o sinal audível recebido pelo dispositivo de sensoriamento de áudio é abaixo de um patamar de ruído 806. O patamar de ruído 806 pode ser um valor determinado incluído no arquivo de configuração 402 (figura 4). O som audível recebido emerge do patamar de ruído 806 em um ponto de tempo (t2) 808. O tempo entre o ponto de tempo (t1) 802 e o ponto de tempo (t2) 808 é determinado pelo módulo calculador de atraso 704 como o atraso real. Na figura 8, o patamar de ruído 806 do sistema é 60 dB abaixo do nível mínimo do impulso e o atraso de tempo é cerca de 4,2 ms.

[000135] O atraso real é a quantidade de tempo que o sinal de áudio leva para atravessar todos os eletrônicos, o alto-falante e o ar para alcançar o ponto de observação. O atraso de tempo real pode ser usado para o alinhamento apropriado de passagens e para o imageamento espacial ótimo de som audível produzido pelo sistema de áudio que é sintonizado. O atraso de tempo real diferente pode estar presente dependendo de qual localização de escuta em um espaço de escuta é medida com um dispositivo de sensoriamento de áudio. Um único dispositivo de sensoriamento pode ser usado pelo módulo calculador de atraso 704 para calcular o atraso real. Alternativamente, o módulo calculador de atraso 704 pode calcular a média do atraso de tempo real de dois ou mais dispositivos de sensoriamento de áudio localizados em diferentes localizações em um espaço de escuta, tal como ao redor da cabeça de um ouvinte.

[000136] Com base no atraso real calculado, o módulo calculador de atraso 704 pode atribuir medições aos valores de atraso para aqueles

selecionados dos canais de saída amplificados com base nos fatores de medição incluídos no arquivo de configuração 402 (figura 4). As definições de atraso resultantes geradas pelo módulo calculador de atraso 704 podem ser uma média medida dos valores de atraso para cada dispositivo de sensoriamento de áudio. Assim, o módulo calculador de atraso 704 pode calcular e gerar o atraso de chegada de sinais de saída de áudio em cada um dos canais de áudio amplificados para alcançar a uma ou mais localizações de escuta respectivas. O atraso adicional pode ser desejado em alguns canais de saída amplificados para fornecer a impressão espacial apropriada. Por exemplo, em um sistema de áudio de multicanais com alto-falantes de ambiente traseiros, o atraso adicional pode ser adicionado aos canais de saída amplificados que acionam os alto-falantes frontais de modo que o som audível direto proveniente dos alto-falantes de ambiente traseiro alcance um ouvinte mais próximo dos alto-falantes frontais ao mesmo tempo.

[000137] Na figura 4, as definições de atraso geradas com o instrumento de atraso 412 podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definições 422. O simulador de aplicação de definições 422 pode armazenar as definições de atraso na memória 432. Além disso, o simulador de aplicação de definições 422 pode gerar uma simulação usando as definições de atraso de acordo com o planejamento de simulação incluído no arquivo de configuração 402. Por exemplo, o planejamento de simulação pode indicar que uma simulação de atraso que aplica as definições de atraso nos dados de resposta equalizados é desejada. Neste exemplo, a simulação de dados de resposta equalizados pode ser extraída da memória 432 e as definições de atraso aplicadas a ela. Alternativamente, onde as definições de equalização não foram geradas e armazenadas na memória 432, as definições de atraso podem ser aplicadas aos dados

de resposta incluídos na matriz de função de transferência 406 de acordo com uma simulação de atraso indicada no planejamento de simulação. A simulação de atraso também pode ser armazenada na memória 432 para uso por outros instrumentos no sistema de sintonização de áudio automatizado. Por exemplo, a simulação de atraso pode ser fornecida ao instrumento de ganho 414.

[000138] O instrumento de ganho 414 pode ser executável para gerar as definições de ganho para os canais de saída amplificados. O instrumento de ganho 414, conforme indicado no arquivo de configuração 402, pode obter uma simulação a partir da memória 432, na qual se baseia a geração de definições de ganho. Alternativamente, para o arquivo de configuração 402, o instrumento de ganho 414 pode obter as respostas a partir da matriz de função de transferência 406 a fim de gerar as definições de ganho. O instrumento de ganho 414 pode otimizar, individualmente, a saída em cada um dos canais de saída amplificados. A saída dos canais de saída amplificados pode ser ajustada, de maneira seletiva, pelo instrumento de ganho 414 de acordo com a mediação especificada no arquivo de definições 402.

[000139] A figura 9 é um diagrama de bloco de um instrumento de ganho exemplificativo 414 e de dados *in-situ* 902. Os dados *in-situ* 902 podem ser dados de resposta da matriz de função de transferência 406 que tiveram a média espacialmente calculada pelo instrumento de média espacial 408. Alternativamente, os dados *in-situ* 902 podem ser uma simulação armazenada na memória 432 que inclui os dados de resposta média espacialmente com definições geradas ou determinadas aplicadas aos mesmos. Em um exemplo, os dados *in-situ* 902 são a simulação de equalização de canal que foi gerada pelo simulador de aplicação de definições 422 com base nas definições de equalização de canal armazenadas na memória 432.

[000140] O instrumento de ganho 414 inclui um módulo otimizador

de nível 904. O módulo otimizador de nível 904 pode ser executável para determinar e armazenar um nível médio de saída em uma largura de banda determinada de cada canal de saída amplificado baseado nos dados *in-situ* 902. Os níveis médios de saída armazenados podem ser comparados entre si, e ajustados para alcançar um nível desejado de sinal de saída de áudio em cada um dos canais de áudio amplificados.

[000141] O módulo otimizador de nível 904 pode gerar valores de deslocamento de tal modo que determinados canais de saída amplificados possuem mais ou menos ganho do que outros canais de saída amplificados. Esses valores podem ser inseridos em uma tabela incluída no arquivo de configuração 402 de modo que o instrumento de ganho possa compensar, diretamente, os valores de ganho computados. Por exemplo, um projetista de sistema de áudio pode desejar que os alto-falantes traseiros em um veículo com som ambiente precisem ter o nível de sinal aumentado quando comparados aos alto-falantes frontais devido ao nível de ruído do veículo quando se está dirigindo em uma estrada. Dessa maneira, o projetista de sistema de áudio pode inserir um valor determinado, tal como +3 dB, em uma tabela para os respectivos canais de saída amplificados. Em resposta, o módulo otimizador de nível 904, quando se gera a definição de ganho para aqueles canais de saída amplificados, pode adicionar um 3 dB adicional de ganho aos valores gerados.

[000142] O instrumento de ganho 414 também pode derivar os valores de ganho diferentes com base na aplicação de diferentes fatores de medição de eficiência de energia. Por exemplo, o ganho gerado e aplicado pelo instrumento de ganho 414 pode ser reduzido, de maneira correspondente, para os fatores de medição de eficiência de energia que indicam a ênfase aumentada na minimização de consumo de energia. O instrumento de ganho 414 pode utilizar dados

de impedância do alto-falante dos alto-falantes para verificar o impacto no consumo de energia de reduções no ganho aplicado aos canais de saída amplificados a fim de equilibrar o desempenho acústico com base na resposta acústica alvo e no consumo de energia. Assim, os parâmetros operacionais, tais como conjuntos de valores de ganho gerados e inseridos na tabela incluídos no arquivo de configuração 402, podem ser associados aos diferentes fatores de medição de eficiência de energia.

[000143] Na figura 4, as definições de ganho geradas com o instrumento de ganho 414 podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definições 422. O simulador de aplicação de definições 422 pode armazenar as definições de ganho na memória 432. Além disso, o simulador de aplicação de definições 422 pode, por exemplo, aplicar as definições de ganho nos dados de resposta equalizados ou não, atrasados ou não, para gerar uma simulação de ganho. Em outras simulações de ganho exemplificativas, quaisquer outras definições geradas com o sistema de sintonização de áudio automatizado 400, ou presentes no arquivo de configuração 402 podem ser aplicadas nos dados de resposta para simular a operação do sistema de áudio com as definições de ganho aplicadas nele. Uma simulação representativa dos dados de resposta, com os dados de resposta equalizados ou não e/ou atrasados (se presentes), ou quaisquer outras definições, aplicados a ela pode ser extraída da memória 432 e as definições de ganho aplicadas. Tais simulações também podem ser desempenhadas para os parâmetros operacionais associados a cada um dos fatores de medição de eficiência. Alternativamente, onde as definições de equalização não foram geradas e armazenadas na memória 432, as definições de ganho podem ser aplicadas aos dados de resposta incluídos na matriz de função de transferência 406 para gerar a simulação de ganho. A

simulação de ganho também pode ser armazenada na memória 432.

[000144] O instrumento de passagem 416 pode ser operável, de maneira cooperativa, com um ou mais outros instrumentos no sistema de sintonização de áudio automatizado 10. Alternativamente, o instrumento de passagem 416 pode ser um sistema de sintonização automatizado independente, ou ser operável com apenas um dos outros instrumentos selecionado, tal como o instrumento de equalização de canal amplificado 410 e/ou o instrumento de atraso 412. O instrumento de passagem 416 pode ser executado para gerar, seletivamente, as definições de passagem para os canais de saída do amplificador selecionados. As definições de passagem podem incluir as frequências de diferencial e de passagem ótimas para os filtros passa-alto e passa-baixo seletivamente aplicados a pelo menos dois dos canais de saída amplificados. O instrumento de passagem 416 pode gerar as definições de passagem para os grupos de canais de áudio amplificados que minimizam a energia total produzida pela saída combinada de alto-falantes operáveis nos respectivos canais de saída amplificados no grupo. Os alto-falantes podem ser operáveis em faixas de frequência pelo menos parcialmente diferentes. O instrumento de passagem 416 também pode gerar as definições de passagem que minimizam a saída total de energia pela saída combinada dos alto-falantes enquanto minimizam a energia elétrica que o amplificador de áudio deve distribuir para alcançar a saída acústica alvo. O instrumento de passagem 416 inclui um otimizador de passagem, o qual determina qualquer quantidade de conjuntos de parâmetros operacionais na forma de parâmetros de passagem que alcançam um mais alto nível de desempenho acústico com base no desempenho acústico alto à medida que é restrito pelos limites com relação ao nível de consumo de energia. Dependendo do fator de medição de eficiência de energia em efeito, o conjunto de parâmetro operacional

pode ser o conjunto de parâmetros de passagem que fornece o desempenho acústico otimizado (independente da energia total máxima da soma dos alto-falantes) ou ele pode ser o conjunto de parâmetros de passagem que fornecem a energia geral mais baixa exigida para que o amplificador alcance a resposta acústica alvo.

[000145] Por exemplo, as definições de passagem podem ser geradas com o instrumento de passagem 416 para um primeiro canal de saída amplificado que aciona um alto-falante com frequência relativamente alta, tal como um alto-falante de agudos (tweeter), e um segundo canal de saída amplificado que aciona um alto-falante com frequência relativamente baixa, tal como um "woofer". Neste exemplo, o instrumento de passagem 416 pode determinar um ponto de passagem que maximiza a resposta total combinada dos dois alto-falantes. Assim, o instrumento de passagem 416 pode gerar as definições de passagem que resultam na aplicação de um filtro passa-alto ótimo no primeiro canal de saída amplificado, e um filtro passa-baixo ótimo no segundo canal de saída amplificado com base na otimização da energia total gerada a partir da combinação de ambos os alto-falantes. As definições de passagem podem ajustar o filtro passa-alto ótimo e o filtro passa-baixo ótimo para limitar a entrada de energia total quando se deseja otimizar a eficiência. Em outros exemplos, as passagens para qualquer quantidade de canais de saída amplificados e alto-falantes correspondentes de diversas faixas de frequência podem ser geradas pelo instrumento de passagem 416.

[000146] Em um outro exemplo, quando o instrumento de passagem 416 é operável como um sistema de sintonização de áudio independente, a matriz de resposta, tal como a matriz de resposta *in-situ* e a de laboratório, pode ser omitida. Em vez disso, o instrumento de passagem 416 pode operar com um arquivo de configuração 402, um gerador de sinal 310 (figura 3) e um sensor de áudio 320 (figura 3).

Neste exemplo, uma forma de onda de referência pode ser gerada com o gerador de sinal 310 para acionar um primeiro canal de saída amplificado que aciona um alto-falante com frequência relativamente alta, tal como um alto-falante de agudos, e um segundo canal de saída amplificado que aciona um alto-falante com frequência relativamente baixa, tal como um "woofer". Uma resposta da combinação operante dos alto-falantes pode ser recebida pelo sensor de áudio 320. O instrumento de passagem 416 pode gerar uma definição de passagem com base na resposta sentida. A definição de passagem pode ser aplicada ao primeiro e ao segundo canais de saída amplificados. Este processo pode ser repetido e o ponto de passagem (definições de passagem) movido até que a energia total máxima de ambos os alto-falantes seja sentida com o sensor de áudio 320.

[000147] O instrumento de passagem 416 pode determinar as definições de passagem com base nos valores iniciais inseridos no arquivo de configuração 402. Os valores iniciais para os filtros limitantes de banda podem ser valores aproximados que fornecem a proteção do alto-falante, tal como os valores de filtro passa-alto do para um canal de saída amplificado e os valores de filtro passa-baixa do "subwoofer" para um outro canal de saída amplificado. Além disso, para não exceder os limites, tal como inúmeras frequências e inclinações (por exemplo, cinco frequências, e três inclinações) para serem usadas durante a otimização automatizada pelo instrumento de passagem 416 podem ser especificadas no arquivo de configuração 402. Ademais, os limites na quantidade de alteração permitida para um dado parâmetro do projeto podem ser especificados no arquivo de configuração 402. Usando-se os dados de resposta e a informação do arquivo de configuração 402, o instrumento de passagem 416 pode ser executado para gerar definições de passagem.

[000148] A figura 10 é um diagrama de bloco de um exemplo do

instrumento de passagem 416, dados de laboratório 424 (figura 4), e dados *in-situ* 1004. Os dados de laboratório 424 podem ser funções de transferência para alto-falante medidas (dados de resposta de alto-falante) que foram medidas e coletadas em um ambiente de laboratório para os alto-falantes no sistema de áudio a ser sintonizado. Em um outro exemplo, os dados de laboratório 424 podem ser omitidos. Os dados *in-situ* 1004 podem ser dados de resposta de medição, tal como os dados de resposta armazenados na matriz de função de transferência 406 (figura 4). Alternativamente, os dados *in-situ* 1004 podem ser uma simulação gerada pelo simulador de aplicação de definições 422 e armazenada na memória 432. Em um exemplo, uma simulação com as definições de atraso aplicadas é usada como os dados *in-situ* 1004. Uma vez que a fase dos dados de resposta pode ser usada para determinar as definições de passagem, os dados de resposta podem não ter a média espacialmente calculada.

[000149] O instrumento de passagem 416 pode incluir um instrumento paramétrico 1008 e um instrumento não paramétrico 1010. Dessa maneira, o instrumento de passagem 416 pode gerar, seletivamente, as definições de passagem para os canais de saída amplificados com o instrumento paramétrico 1008 ou o instrumento não paramétrico 1010, ou uma combinação tanto do instrumento paramétrico 1008 quanto do instrumento não paramétrico 1010. Em outros exemplos, o instrumento de passagem 416 pode incluir apenas o instrumento paramétrico 1008, ou o instrumento não paramétrico 1010. Um projetista de sistema de áudio pode designar no arquivo de configuração 402 (figura 4) se as definições de passagem devem ser geradas com o instrumento paramétrico 1008, o instrumento não paramétrico 1010, ou alguma combinação deles. Por exemplo, o projetista de sistema de áudio pode designar no arquivo de

configuração 402 (figura 4) a quantidade de filtros paramétricos, e a quantidade de filtros não paramétricos a ser incluída no bloco de passagem 220 (figura 2).

[000150] O instrumento paramétrico 1008 ou o instrumento não-paramétrico 1010 pode usar ou os dados de laboratório 424, e/ou os dados *in-situ* 1004 para gerar as definições de passagem. O uso dos dados de laboratório 424 ou dos dados *in-situ* 1004 pode ser designado por um projetista de sistema de áudio no arquivo de configuração 402 (figura 4). Seguindo-se a entrada de valores iniciais para os filtros limitadores de banda (onde necessários) e os limites especificados por usuário, o instrumento de passagem 416 pode ser executado para o processamento automatizado. Os valores iniciais e os limites podem ser inseridos no arquivo de configuração 402, e transferidos por download para o processador de sinal antes de coletar os dados de resposta.

[000151] O instrumento de passagem 416 também pode incluir um instrumento de otimização iterativa 1012 e um instrumento de otimização direta 1014. Em outros exemplos, o instrumento de passagem 416 pode incluir apenas o instrumento de otimização iterativa 1012 ou o instrumento de otimização direta 1014. O instrumento de otimização iterativa 1012 ou o instrumento de otimização direta 1014 pode ser executado para determinarem ou gerarem uma ou mais passagens ótimas para pelo menos dois canais de saída amplificados. A designação de qual instrumento de otimização será usada pode ser definida por um projetista de sistema de áudio com uma definição de instrumento de otimização no arquivo de configuração. Uma passagem ótima pode ser uma onde a resposta combinada dos alto-falantes em dois ou mais canais de saída amplificados submetida à passagem é cerca de -6 dB na frequência de passagem e a fase de cada alto-falante é quase igual naquela

frequência. Este tipo de passagem pode ser chamada de um filtro do tipo Linkwitz-Riley. A otimização de uma passagem pode exigir que a resposta de fase de cada um dos alto-falantes envolvidos tenha uma característica de fase específica. Em outras palavras, a fase de um alto-falante de passa-baixa e a fase de um alto-falante de passa-alta podem ser suficientemente iguais à soma fornecida.

[000152] O alinhamento de fase de diferentes alto-falantes em dois ou mais canais de áudio amplificados diferentes usando passagens pode ser alcançado com o instrumento de passagem 416 de múltiplas formas. Os métodos exemplificativos para gerar as passagens desejadas podem incluir a otimização de passagem iterativa e a otimização de passagem direta.

[000153] A otimização de passagem iterativa com o instrumento de otimização iterativa 1012 pode envolver o uso de um otimizador numérico para manipular os filtros passa-alta e passa-baixa especificados conforme aplicados em uma simulação para as medições acústicas medidas na faixa de restrições especificadas pelo projetista de sistema de áudio no arquivo de configuração 402. A resposta ótima pode ser aquela determinada pelo instrumento de otimização iterativa 1012 como a resposta com a melhor soma. A resposta ótima é caracterizada por uma solução onde a soma das grandezas dos sinais de áudio de entrada (domínio de tempo) que acionam pelo menos dois alto-falantes operantes em pelo menos dois canais de saída amplificados diferentes é igual à soma completa (domínio de frequência), que indica que a fase das respostas do alto-falante é suficientemente ótima na faixa de passagem.

[000154] Os resultados complexos podem ser computados pelo instrumento de otimização iterativa 1012 para a adição de qualquer quantidade de canais de áudio amplificados que possui filtros passa-alta/passa-baixa favoráveis que formam uma passagem. O

instrumento de otimização iterativa 1012 pode marcar os resultados pela saída geral e o quão bem os canais de saída do amplificador somam, assim como a variação do dispositivo de sensoriamento de áudio para o dispositivo de sensoriamento de áudio. Uma marcação "perfeita" pode produzir seis dB de adição das respostas na frequência de passagem enquanto mantêm os níveis de saída dos canais individuais fora da região de sobreposição em todas as localizações de sensoriamento de áudio. O conjunto completo de marcações pode ser medido pelos fatores de medição incluídos no arquivo de configuração 402 (figura 4). Além disso, o conjunto de marcações pode ser classificado por uma combinação linear de saída, adição e variação.

[000155] Para desempenhar a análise iterativa, o instrumento de otimização iterativa 1012 pode gerar um primeiro conjunto de parâmetros de filtro, ou definições de passagem. As definições de passagem geradas podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definição 422. O simulador de aplicação de definição 422 pode simular a aplicação das definições de passagem para dois ou mais alto-falantes em dois ou mais canais de saída de áudio respectivos da simulação anteriormente usada pelo instrumento de otimização iterativa 1012 para gerar as definições. Uma simulação da resposta total combinada dos alto-falantes correspondentes com as definições de passagem aplicadas pode ser fornecida de volta para o instrumento de otimização iterativa 1012 para gerar uma próxima iteração de definições de passagem. Este processo pode ser repetido iterativamente até que a soma das grandezas dos sinais de áudio de entrada, que é a mais próxima da soma complexa, seja encontrada.

[000156] O instrumento de otimização iterativa 1012 também pode retornar uma lista classificada de parâmetros de filtro. Na falta de outra opção, o conjunto de classificação mais alto de definições de passagem pode ser usado para cada um dos dois ou mais canais de

áudio amplificados respectivos. A lista classificada pode ser retida e marcada no arquivo de configuração 402 (figura 4). Em casos onde as definições de passagem de mais alta classificação não são ótimas com base nos testes de escuta subjetivos, as definições de passagem classificadas inferiores podem ser substituídas. Se a lista classificada de parâmetros filtrados por concluída sem as definições de passagem para amenizar a resposta de cada canal de saída amplificado individual, os parâmetros do projeto adicionais para os filtros podem ser aplicados em todos os canais de saída amplificados envolvidos para preservar as relações de fase. Alternativamente, um processo iterativo de definições de passagens de otimização adicionais após as definições de passagem determinadas pelo instrumento de otimização iterativa 1012 pode ser aplicado pelo instrumento de otimização iterativa 1012 para refinar mais os filtros.

[000157] Usando-se a otimização de passagem iterativa, o instrumento de otimização iterativa 1012 pode manipular a frequência de corte, inclinação e Q para os filtros passa-alta e passa-baixa gerados com o instrumento paramétrico 1008. Adicionalmente, o instrumento de otimização iterativa 1012 pode usar um modificador de atraso para modificar, levemente, o atraso de um ou mais dos alto-falantes que são cruzados, se necessário, para alcançar o alinhamento de fase ótimo. Conforme discutido anteriormente, os parâmetros de filtro fornecidos com o instrumento paramétrico 1008 podem ser restritos com determinados valores no arquivo de configuração 402 (figura 4) de tal modo que o instrumento de otimização iterativa 1012 manipule os valores dentro de uma faixa especificada.

[000158] Tais restrições podem ser necessárias para garantir a proteção de alguns alto-falantes, tal como os pequenos alto-falantes onde a frequência passa-alta e a inclinação precisam ser geradas para proteger o alto-falante dos danos mecânicos. Por exemplo, para uma

passagem desejada de 1 kHz, as restrições devem ser 1/3 de oitava acima e abaixo deste ponto. A inclinação pode ser restrita para ser 12 dB/oitava a 24 dB/oitava e Q pode ser restrita a 0,5 a 1,0. Outros parâmetros e/ou faixas de restrição também podem ser especificados dependendo do sistema de áudio a ser sintonizado. Em um outro exemplo, um filtro de 24 dB/oitava a 1 kHz com um $Q = 0,7$ pode ser exigido para proteger, adequadamente, um alto-falante de agudos. Também, as restrições podem ser especificadas por um projetista de sistema de áudio para permitir que o instrumento de otimização iterativa 1012 apenas aumente ou diminua os parâmetros, tais como as restrições para aumentar a frequência, aumentar a inclinação, ou diminuir o Q a partir dos valores gerados com o instrumento paramétrico 1008 para garantir que o alto-falante seja protegido.

[000159] Um método mais direto de otimização de passagem é calcular, diretamente, a função de transferência dos filtros para cada um dos dois ou mais canais de saída amplificados para filtrar, otimamente, o alto-falante para a passagem "ideal" com o instrumento de otimização direta 1014. As funções de transferência geradas com o instrumento de otimização direta 1014 podem ser sintetizadas usando-se o instrumento não-paramétrico 1010 que opera semelhante ao instrumento não-paramétrico 612 anteriormente descrito (figura 6) do instrumento de equalização de canal amplificado 410 (figura 4). Alternativamente, o instrumento de otimização direta 1014 pode usar o instrumento paramétrico 1008 para gerar as funções de transferência ótimas. As funções de transferência resultantes podem incluir a grandeza e a resposta de fase corretas para ser otimamente compatível com a resposta de um filtro tipo Linkwitz-Riley, Butterworth ou qualquer outro tipo de filtro desejado.

[000160] O instrumento de passagem 416 também pode incluir um módulo de otimização de eficiência de passagem 1015. O módulo de

otimização de eficiência de passagem 1015 pode determinar se as definições de passagem resultantes excedem ou estão de acordo com quaisquer limitações de energia, tais como, por exemplo, quaisquer limitações de energia definidas de acordo com o fator de medição de eficiência de energia. O módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 pode receber as definições de passagem otimizadas por desempenho a partir ou do instrumento de otimização direta 1014 ou do instrumento de otimização iterativa 1012. Além disso, o módulo de eficiência de passagem 1015 pode obter ou determinar os dados de impedância para os alto-falantes, tais como a curva de impedância predeterminada armazenada, ou informação de grandeza de voltagem e de grandeza de corrente reais. Uma vez que o consumo de energia dos alto-falantes é minimizado na ressonância, o ajuste dos parâmetros operacionais usados para criar as definições de passagem pode alterar a quantidade de energia consumida. O módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 pode ajustar a frequência de passagem ao ajustar os parâmetros operacionais, ou parâmetros do projeto de filtro, de filtros passa-alta e passa-baixa para identificar o consumo de energia em diferentes localizações de frequência de passagem com base nos dados de impedância do alto-falante. Uma vez que alguns alto-falantes são mais eficientes que outros, por exemplo, um "subwoofer" é tipicamente mais eficiente do que um alto-falante para frequências médias, ao simplesmente ajustar a frequência de passagem, o consumo de energia pelo amplificador pode ser minimizado.

[000161] Com base nas frequências de passagem identificadas, e na resposta acústica alvo, o módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 pode selecionar diferentes pontos de definição de frequência de passagem como uma função do fator de medição de eficiência de energia para alcançar o desempenho acústico alvo.

Dessa maneira, um conjunto de definições de passagem pode ser gerado, as quais são, cada uma, associada a um fator de medição de eficiência de energia para obter uma escala móvel de equilíbrio entre o consumo de energia e o desempenho acústico.

[000162] Além disso, ou alternativamente, o módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 pode adicionar as restrições aos parâmetros usados, ou determinar as estimativas de consumo de energia para as diversas definições de passagem geradas. Por exemplo, o módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 pode fornecer uma métrica de energia para cada um dos parâmetros de filtro classificados e informar ao usuário quanto à lista classificada para permitir que o usuário selecione um conjunto de parâmetros de filtro selecionados. A métrica de energia pode corresponder a um dos fatores de medição de eficiência de energia de tal modo que um conjunto de definições de passagem com eficiência otimizada possa ser classificado em ordem de eficiência e/ou desempenho.

[000163] A figura 11 é um exemplo de bloco de filtro que pode ser gerado pelo sistema de sintonização de áudio automatizado para a implementação em um sistema de áudio. O bloco de filtro é implementado como um primeiro banco de filtros 1100a com uma cadeia de processamento que inclui um filtro passa-alta 1102a, número N de filtros de corte 1104a, e um filtro passa-baixa 1106a. O bloco de filtro também pode incluir um segundo banco de filtros 1100b com uma cadeia de processamento que inclui um segundo filtro passa-alta 1102b, número N de filtros de corte 1104b, e um filtro passa-baixa 1106b. O segundo banco de filtros 1100b pode ser gerado para otimizar o sistema de áudio dentro de limitações de energia predeterminadas. O segundo banco de filtros 1100b pode ser um de um conjunto de bancos de filtro com eficiência otimizada gerados para fornecer a um usuário diferentes configurações que possuem

definições de eficiência de energia variantes (fatores de medição de eficiência) das quais se pode escolher. Os filtros podem ser gerados com o sistema de sintonização de áudio automatizado com base ou nos dados *in-situ*, ou nos dados de laboratório 424 (figura 4). Em implementações exemplificativas, apenas os filtros passa-alta e passa-baixa 1102 e 1106 podem ser gerados.

[000164] Na figura 11, os parâmetros do projeto de filtro para os filtros passa-alta e passa-baixa 1102a,b e 1106a,b incluem as frequências de corte (f_c) e a ordem (ou inclinação) de cada filtro. Os filtros passa-alta 1102a,b e os filtros passa-baixa 1106a,b podem ser gerados com o instrumento paramétrico 1008 e com o instrumento de otimização iterativa 1012 (figura 10) incluídos no instrumento de passagem 416. Quando o sistema de áudio está operando em um modo de eficiência de energia, os filtros passa-alta e os filtros passa-baixa podem ser modificados de acordo com as limitações de energia definidas pelo modo de eficiência de energia que usa o módulo de otimização de eficiência de passagem 1015 descrito acima, com referência à figura 10. Os filtros passa-alta 1102a,b e os filtros passa-baixa 1106a,b podem ser implementados no bloco de passagem 220 (figura 2) em um primeiro e em um segundo canais de saída de áudio de um sistema de áudio que é sintonizado. Os filtros passa-alta e passa-baixa 1102a,b e 1106a,b podem limitar os respectivos sinais de áudio no primeiro e no segundo canais de saída para uma determinada faixa de frequência, tal como a faixa de frequência ótima de um respectivo alto-falante que é acionado pelo respectivo canal de saída amplificado, conforme discutido anteriormente.

[000165] Os filtros de corte 1104a,b podem atenuar o sinal de entrada de áudio em uma determinada faixa de frequência. Os parâmetros do projeto de filtro para os filtros de corte 1104a,b podem, cada um, incluir um ganho de atenuação (ganho), uma frequência

central (f_0), e um fator de qualidade (Q). O número N de filtros de corte 1104a,b pode ser os filtros de equalização de canal gerados com o instrumento paramétrico 610 (figura 6) do instrumento de equalização de canal amplificado 410. Os filtros de corte 1104 podem ser implementados no bloco de equalização de canal 222 (figura 2) de um sistema de áudio. Os filtros de corte 1104a,b podem ser usados para compensar as imperfeições no alto-falante e compensar a acústica da sala, conforme discutido anteriormente.

[000166] Todos os filtros da figura 11 podem ser gerados com a equalização paramétrica automatizada, conforme exigido pelo projetista de sistema de áudio no arquivo de configuração 402 (figura 4). Assim, os filtros retratados na figura 11 representam uma cadeia de sinal otimamente posicionada e completamente paramétrica de filtros. Dessa maneira, os parâmetros do projeto de filtro podem ser intuitivamente ajustados por um projetista de sistema de áudio seguindo-se a geração. Além disso, qualquer quantidade de diferentes conjuntos de filtros pode ser gerada para corresponder a diferentes fatores de medição de eficiência.

[000167] A figura 12 é um outro bloco de filtro exemplificativo que pode ser gerado pelo sistema de sintonização de áudio automatizado para a implementação em um sistema de áudio. O bloco de filtro da figura 12 pode fornecer uma cadeia de processamento de filtro projetada de maneira mais flexível. Na figura 12, o bloco de filtro inclui uma primeira cadeia de filtro 1200a que inclui um filtro passa-alta 1202a, um filtro passa-baixa 1204a e uma pluralidade (N) de filtros arbitrários 1206a entre os filtros passa-alta e passa-baixa 1202a, 1204a. O bloco de filtro também inclui uma segunda cadeia de filtro 1200b que inclui um filtro passa-alta 1202b, um filtro passa-baixa 1204b e uma pluralidade (N) de filtros arbitrários 1206b entre os filtros passa-alta e passa-baixa 1202b, 1204b. A segunda cadeia de filtro

1200b pode ser gerada para otimizar o sistema de áudio dentro das limitações de energia predeterminadas. Os filtros passa-alta 1202a,b e os filtros passa-baixa 1204a,b podem ser configurados como uma passagem para limitar os sinais de áudio em respectivos canais de saída amplificados para uma faixa ótima para respectivos alto-falantes que são acionados pelo respectivo canal de áudio amplificado, no qual os respectivos sinais de áudio são fornecidos. Neste exemplo, os filtros passa-alta 1202a,b e o filtro passa-baixa 1204a,b são gerados como o instrumento paramétrico 1008 (figura 10) para incluir os parâmetros do projeto de filtro das frequências de corte (f_c) e a ordem (ou inclinação). Assim, os parâmetros do projeto de filtro para as definições de passagem são intuitivamente ajustáveis por um projetista de sistema de áudio.

[000168] Os filtros arbitrários 1206a,b podem ser de qualquer forma de filtro, tal como um filtro biquadrático ou um de IIR digital de segunda ordem. Uma cascata de filtros de IIR de segunda ordem pode ser usada para compensar as imperfeições em um alto-falante e também para compensar a acústica da sala, conforme discutido anteriormente. Os parâmetros do projeto de filtro dos filtros arbitrários 1206a,b podem ser gerados com o instrumento não-paramétrico 612 que usa ou os dados *in-situ* 602 ou os dados de laboratório 424 (figura 4) como valores arbitrários que permitem mais flexibilidade, de maneira significativa, na moldagem de filtros, mas não são intuitivamente ajustáveis por um projetista de sistema de áudio.

[000169] A figura 13 é um outro bloco de filtro exemplificativo que pode ser gerado pelo sistema de sintonização de áudio automatizado para a implementação em um sistema de áudio. Na figura 13, uma cascata de filtros arbitrários é retratada que inclui um filtro passa-alta 1302, um filtro passa-baixa 1304 e uma pluralidade de filtros de equalização de canal 1306. O filtro passa-alta 1302 e o filtro passa-

baixa 1304 podem ser gerados com o instrumento não-paramétrico 1010 (figura 10) e usados no bloco de passagem 220 (figura 2) de um sistema de áudio. Os filtros de equalização de canal 1306 podem ser gerados com o instrumento não-paramétrico 612 (figura 6) e usados no bloco de equalização de canal 222 (figura 2) de um sistema de áudio. Uma vez que os parâmetros do projeto de filtro são arbitrários, o ajuste dos filtros por um projetista de sistema de áudio não seria intuitivo, no entanto, o formato dos filtros poderia ser melhor personalizados para o sistema de áudio específico que é sintonizado para satisfazer a resposta acústica alvo enquanto ainda se adequam ao requerimento de eficiência de energia dedicado por um fator de medição de eficiência de energia.

[000170] Na figura 4, o instrumento de otimização de graves 418 pode ser executado para otimizar a adição de ondas de som audíveis de baixa frequência no espaço de escuta. Todos os canais de saída amplificados que incluem os alto-falantes que são designados no arquivo de configuração 402 como sendo alto-falantes de baixa frequência "que produzem graves" podem ser sintonizados ao mesmo tempo com o instrumento de otimização de graves 418 para garantir que eles estão operando em fase ótima com relação uns aos outros. Os alto-falantes que produzem baixa frequência podem ser aqueles alto-falantes que operam abaixo de 400 Hz. Alternativamente, os alto-falantes que produzem baixa frequência podem ser aqueles alto-falantes que operam abaixo de 150 Hz, ou entre 0 Hz e 150 Hz. O instrumento de otimização de graves 418 pode ser um sistema de sintonização de sistema de áudio automatizado independente que inclui o arquivo de configuração 402 e uma matriz de resposta, tal como a matriz de função de transferência 406 e/ou os dados de laboratório 424. Alternativamente, o instrumento de otimização de graves 418 pode ser cooperativamente operativo com um ou mais dos

outros instrumentos, tais como com o instrumento de atraso 412 e/ou o instrumento de passagem 416.

[000171] O instrumento de otimização de graves 418 gera os parâmetros do projeto de filtro para pelo menos dois canais de áudio amplificados selecionados que resultam em respectivos filtros modificadores de fase. Um filtro modificador de fase pode ser designado a fornecer uma mudança de fase de uma quantidade igual à diferença na fase entre os alto-falantes que estão operando na mesma faixa de frequência. Os filtros modificadores de fase podem ser implementados de maneira separada no bloco de equalização com graves gerenciados 218 (figura 2) em dois ou mais canais de saída amplificados selecionados diferentes. Os filtros modificadores de fase podem se diferir para diferentes canais de saída amplificados selecionados dependendo da grandeza da modificação de fase que é desejada. Dessa maneira, um filtro modificador de fase implementado em um dos canais de saída amplificados selecionados pode fornecer uma modificação de fase que é significativamente maior com relação a um filtro modificador de fase implementado em um outro canal dos canais de saída amplificados selecionados.

[000172] O instrumento de otimização de graves 418 também pode calcular o consumo de energia durante o processo de otimização para os filtros modificadores de fase. O cálculo do consumo de energia pode ser baseado nos dados de impedância dos alto-falantes a serem acionados pelos sinais de áudio sujeitos à modificação de fase com os filtros modificadores de fase, e nos dados relacionados ao desempenho, tais como curvas de resposta complexas reais ou simuladas dos alto-falantes. A otimização pode ser medida com base em diferentes fatores de medição de eficiência de energia para desenvolver os parâmetros operacionais, tais como parâmetros do projeto de filtro para qualquer quantidade de diferentes conjuntos de

filtros modificadores de fase. Por exemplo, um primeiro conjunto de filtros modificadores de fase pode ter parâmetros do projeto de filtro que favorecem a menor solução de consumo de energia, um segundo conjunto de filtros modificadores de fase pode ter os parâmetros do projeto de filtro que favorecem a adição de fase ótima de som grave audível em uma ou mais posições de escuta, e qualquer quantidade de outros conjuntos de filtros modificadores de fase pode ter parâmetros do projeto de filtro que favorecem os pontos intermediários.

[000173] Apesar de a mudança de fase que usa os filtros de passagem total, por exemplo, não consumir, diretamente, a energia, a combinação construtiva de som audível emitido por múltiplos alto-falantes resulta em níveis de pressão sonora (SPL) aumentados em um espaço de escuta. Fora de fase, o som audível de diferentes alto-falantes respectivos, por outro lado, pode resultar em alguma quantidade de combinação destrutiva (cancelamento) de som audível emitido pelos múltiplos alto-falantes. Assim, dependendo da fase relativa dos sinais de áudio, o SPL em uma posição de escuta pode ser superior ou inferior. Se o cancelamento for minimizado, a produção de energia pelo amplificador para acionar os alto-falantes a fim de alcançar um nível desejado de SPL pode ser inferior. No entanto, a minimização de cancelamento pode não resultar no desempenho acústico otimizado com relação a uma resposta acústica alvo. Assim, o instrumento de otimização de graves 418 pode gerar conjuntos de filtros modificadores de fase associados com os respectivos fatores de medição de eficiência de energia para criar um equilíbrio entre o desempenho acústico para satisfazer uma resposta acústica alvo, e eficiência de energia.

[000174] A figura 14 é um diagrama de bloco que inclui o instrumento de otimização de graves 418, e os dados *in-situ* 1402. Os dados *in-situ*

1402 podem incluir os dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406. Alternativamente, os dados *in-situ* 1402 podem ser uma simulação que pode incluir os dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406 com definições geradas ou determinadas aplicadas a ela. Conforme discutido anteriormente, a simulação pode ser gerada com o simulador de aplicação de definições 422 com base em um planejamento de simulação, e armazenada na memória 432 (figura 4).

[000175] O instrumento de otimização de graves 418 pode incluir um instrumento paramétrico 1404 e um instrumento não-paramétrico 1406. Em outros exemplos, o instrumento de otimização de graves pode incluir apenas o instrumento paramétrico 1404 ou o instrumento não-paramétrico 1406. As definições de otimização de graves podem ser seletivamente geradas para os canais de saída amplificados com o instrumento paramétrico 1404 ou o instrumento não-paramétrico 1406, ou uma combinação tanto do instrumento paramétrico 1404 quanto do instrumento não-paramétrico 1406. As definições de otimização de graves geradas com o instrumento paramétrico 1404 podem estar na forma de parâmetros do projeto de filtro que sintetizam o filtro de passagem total paramétrico para cada um dos canais de saída amplificados selecionados. As definições de otimização de graves geradas com o instrumento não-paramétrico 1406, por outro lado, podem estar na forma de parâmetros do projeto de filtro que sintetizam um filtro de passagem total arbitrário, tal como um filtro de IIR ou de passagem total de FIR para cada um dos canais de saída amplificados selecionados.

[000176] O instrumento de otimização de graves 418 também pode incluir um instrumento de otimização de graves iterativa 1408, um instrumento de otimização de graves direta 1410, e um otimizador de eficiência de graves 1412. Em outros exemplos, o instrumento de

otimização de graves pode incluir apenas o instrumento de otimização de graves iterativa 1408 ou o instrumento de otimização de graves direta 1410, e o otimizador de eficiência de graves 1412. O instrumento de otimização de graves iterativa 1408 pode ser executável para computar, em cada iteração, as médias espaciais medidas através dos dispositivos de sensoramento de áudio da adição dos dispositivos de graves especificados. À medida que os parâmetros são iterativamente modificados, a grandeza relativa e a resposta de fase dos alto-falantes individuais ou de pares de alto-falantes em cada um dos respectivos canais de saída amplificados selecionados pode ser alterada, o que resulta na iteração da adição complexa.

[000177] O alvo para a otimização pelo instrumento de otimização de graves 418 pode ser alcançar a adição máxima dos sinais audíveis de baixa frequência a partir de diferentes alto-falantes dentro de uma faixa de frequência, na qual os sinais audíveis de diferentes alto-falantes se sobrepõem. O alvo pode ser a adição das grandezas (domínio de tempo) de cada alto-falante envolvido na otimização. A função de teste pode ser a adição complexa dos sinais audíveis a partir dos mesmos alto-falantes com base em uma simulação que inclui os dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406 (figura 4). Assim, as definições de otimização de graves podem ser iterativamente fornecidas ao simulador de aplicação de definições 422 (figura 4) para a aplicação simulada iterativa ao grupo selecionado de canais de saída de áudio amplificados e respectivos alto-falantes. A simulação resultante, com as definições de otimização de graves aplicadas, pode ser usada pelo instrumento de otimização de graves 418 para determinar a próxima iteração de definições de otimização de graves. Os fatores de medição também podem ser aplicados à simulação pelo instrumento de otimização de

graves direta 1410 para aplicar prioridade a uma ou mais posições de escuta no espaço de escuta. À medida que os dados de teste simulados se aproximam do alvo, a adição pode ser ótima. A otimização de graves pode terminar com a melhor solução possível nas restrições especificadas no arquivo de configuração 402 (figura 4).

[000178] Alternativamente, o instrumento de otimização de graves direta 1410 pode ser executado para computar e gerar as definições de otimização de graves. O instrumento de otimização de graves direta 1410 pode calcular e gerar, diretamente, a função de transferência de filtros que fornece a adição ótima dos sinais audíveis de baixa frequência a partir de diversos dispositivos produtores de graves no sistema de áudio indicados no arquivo de configuração 402. Os filtros gerados podem ser designados para terem as características de resposta de grandeza de passagem total, e fornecerem a mudança de fase para os sinais de áudio em respectivos canais de saída amplificados que podem fornecer a energia máxima, em média, através das localizações do sensor de áudio. Os fatores de medição também podem ser aplicados nas localizações do sensor de áudio pelo instrumento de otimização de graves direta 1410 para aplicar com prioridade em uma ou mais posições de escuta em um espaço de escuta.

[000179] Quando o sistema de áudio está operando em um modo de eficiência, as definições de otimização determinadas pelo sistema podem ser medidas com relação a uma solução que possui consumo de energia inferior contra o desempenho acústico ótimo. A configuração pode incluir ainda filtros de passagem total paramétricos e/ou não-paramétricos (filtros modificadores de fase). No entanto, o projeto específico desses filtros pode diferir quando otimizados quando a eficiência deve ser considerada. O otimizador de eficiência de graves 1412 recebe respostas acústicas e elétricas a partir dos dados *in-situ*

1402, e aplica os ajustes aos parâmetros do projeto de filtro gerados com o instrumento paramétrico 1404 e o instrumento não-paramétrico 1406 para produzir um equilíbrio ótimo de eficiência e desempenho acústico de um ou mais dispositivos produtores de graves "woofers" incluídos no sistema de áudio. Os filtros que produzem o maior desempenho acústico podem não ter o menor consumo de energia e uma solução pode existir, a qual possui o desempenho acústico levemente pior, mas o consumo de energia significativamente inferior (maior eficiência).

[000180] Além disso ou alternativamente, o otimizador de eficiência de graves 1412 pode ajustar o instrumento de otimização iterativa 1408 de tal modo que um alvo para a otimização pode ser um equilíbrio entre alcançar a adição máxima dos sinais audíveis de baixa frequência a partir de diferentes alto-falantes e otimizar o consumo de energia. O otimizador de eficiência de graves 1412 também pode fornecer o ajuste da geração do instrumento de otimização direta da função de transferência de filtros para fornecer o equilíbrio entre o consumo de energia e a adição ótima dos sinais audíveis de baixa frequência a partir de vários dispositivos produtores de graves no sistema de áudio.

[000181] Na figura 4, as definições de otimização de graves ótimas geradas com o instrumento de otimização de graves 418 podem ser identificadas para o simulador de aplicação de definições 422. Uma vez que o simulador de aplicação de definições 422 pode marcar todas as iterações das definições de otimização de graves na memória 432, as definições ótimas podem ser indicadas na memória 432. Além disso, o simulador de aplicação de definições 422 pode gerar uma ou mais simulações que incluem a aplicação das definições de otimização de graves nos dados de resposta, outras definições geradas e/ou definições determinadas conforme direcionadas pelo planejamento de

simulação armazenadas no arquivo de configuração 402. A(s) simulação(ões) de otimização de graves pode(m) ser armazenada(s) na memória 432, e pode(m), por exemplo, ser fornecida(s) ao instrumento de otimização do sistema 420.

[000182] O instrumento de otimização do sistema 420 pode usar uma simulação que inclui os dados de resposta, uma ou mais das definições geradas, e/ou as definições determinadas no arquivo de configuração 402 para gerar definições de equalização de grupo para otimizar os grupos dos canais de saída amplificados. As definições de equalização de grupo geradas pelo instrumento de otimização do sistema 420 podem ser usadas para configurar os filtros no bloco de equalização global 210 e/ou no bloco de equalização de canal direcionado 214 (figura 2).

[000183] A figura 15 é um diagrama de bloco de um instrumento de otimização do sistema 420, dados *in-situ* 1502, e dados-alvos 1504 exemplificativos. Os dados *in-situ* 1502 podem ser dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406. Alternativamente, os dados *in-situ* 1502 podem ser uma ou mais simulações que incluem os dados de resposta a partir da matriz de função de transferência 406 com definições geradas ou determinadas aplicadas a ela. Conforme discutido anteriormente, as simulações podem ser geradas com o simulador de aplicação de definições 422 com base em um planejamento de simulação, e armazenadas na memória 432 (figura 4).

[000184] Os dados-alvos 1504 podem ser uma grandeza de resposta de frequência que um canal ou grupo de canais em particular é direcionado para ter em um sentido médio espacial medido. Por exemplo, o canal de saída amplificado frontal esquerdo em um sistema de áudio pode conter três ou mais alto-falantes que são acionadas com um sinal de saída de áudio comum fornecido no canal de saída

amplificado frontal esquerdo. O sinal de saída de áudio comum pode ser um sinal de saída de áudio limitado por banda de frequência. Quando um sinal de áudio de entrada é aplicado ao sistema de áudio, ou seja, para energizar o canal de saída amplificado frontal esquerdo, alguma saída acústica é gerada. Com base na saída acústica, uma função de transferência pode ser medida com um sensor de áudio, tal como um microfone, em uma ou mais localizações no ambiente de escuta. A função de transferência medida pode ser medida e ter a métrica espacialmente calculada.

[000185] Os dados-alvos 1504 ou resposta desejada para esta função de transferência medida podem incluir uma curva-alvo, ou função-alvo. Um sistema de áudio pode ter uma ou muitas curvas-alvos, tais como, uma para cada grupo de alto-falante grande em um sistema. Por exemplo, em um sistema de som ambiente de áudio para veículo, grupos de canais que podem ter funções-alvos podem incluir som frontal esquerdo, central, frontal direito, esquerdo, direito, som ambiente esquerdo e som ambiente direito. Se um sistema de áudio contiver um alto-falante para fins especiais, tal como um alto-falante central traseiro, por exemplo, ele também pode ter uma função-alvo. Alternativamente, todas as funções-alvos em um sistema de áudio podem ser as mesmas.

[000186] As funções-alvos podem ser curvas predeterminadas que são armazenadas no arquivo de configuração 402 como dados-alvos 1504. As funções-alvos podem ser geradas com base na informação de laboratório, informação *in-situ*, análise estatística, desenho manual, ou qualquer outro mecanismo para fornecer uma resposta desejada de múltiplos canais de áudio amplificados. Dependendo de muitos fatores, os parâmetros que constituem uma curva de função-alvo podem ser diferentes. Por exemplo, um projetista de sistema de áudio pode desejar ou esperar uma quantidade adicional de graves em diferentes

ambientes de escuta. Em algumas aplicações, a(s) função(ões)-alvo(s) pode(m) não ser a pressão igual por oitava fracional, e também pode(m) ter algum outro formato de curva.

[000187] Uma resposta acústica alvo exemplificativa na forma de uma curva de função-alvo 1602 contra uma curva de resposta *in-situ* real 1604 é mostrada na figura 16. A curva de função-alvo 1602 é a resposta desejada na localização de escuta. A curva de resposta *in-situ* real 1604 pode representar uma resposta medida real, ou uma resposta simulada na localização de escuta. Em outras palavras, a curva de função-alvo 1602 representa o som audível desejado por um ouvinte posicionado na localização de escuta, e a resposta *in-situ* real representa o som audível real recebido pelo ouvinte na localização de escuta. A diferença entre o som audível desejado e o real pode ser ajustada pelo sistema para otimizar a qualidade do áudio e o consumo de energia.

[000188] Por exemplo; na figura 16, o instrumento de equalização de canal amplificado 410 pode atenuar ou estimular o sinal de áudio que usa filtros, conforme discutido anteriormente. Os ajustes de atenuação ou de estímulo podem ser baseados na curva de resposta *in-situ* real 1604 e serem aplicados nas frequências individuais ou faixas de frequências a fim de serem mais compatíveis com a curva de função-alvo 1602. Por exemplo, na figura 16, a seta 1606 representa uma faixa de frequências que pode ser estimulada com relação à curva de função-alvo 1604. Em um outro exemplo, a seta 1608 representa uma faixa de frequências que pode ser atenuada com relação à curva de função-alvo 1604. De maneira semelhante, o instrumento de ganho 414 pode aumentar o ganho geral da curva de resposta *in-situ* real 1604 para se alinhar, de maneira mais próxima, com a curva de função-alvo 1602. Os parâmetros que formam uma curva de função-alvo podem ser gerados de maneira paramétrica ou não-paramétrica.

As implementações paramétricas permitem que um projetista de sistema de áudio ou uma ferramenta automatizada ajuste os parâmetros, tais como as frequências e inclinações. As implementações não-paramétricas permitem que um projetista de sistema de áudio ou uma ferramenta automatizada "desenhe" os formatos de curva arbitrária.

[000189] O instrumento de otimização do sistema 420 pode comparar as partes de uma simulação conforme indicada no arquivo de configuração 402 (figura 4) com uma ou mais funções-alvos. O instrumento de otimização do sistema 420 pode identificar os grupos representativos de canais de saída amplificados a partir da simulação para a comparação com as respectivas funções-alvos. Com base nas diferenças na resposta de frequência complexa, ou grandeza, entre a simulação e a função-alvo, o instrumento de otimização do sistema pode gerar definições de equalização de grupo que podem ser definições de equalização globais e/ou definições de equalização de canal direcionadas (210 e 214 na figura 2).

[000190] Na figura 15, o instrumento de otimização do sistema 420 pode incluir um instrumento paramétrico 1506 e um instrumento não-paramétrico 1508. As definições de equalização globais e/ou definições de equalização de canal direcionadas podem ser seletivamente geradas para os sinais de áudio de entrada ou os canais direcionados, respectivamente, com o instrumento paramétrico 1506 ou com o instrumento não-paramétrico 1508, ou com uma combinação tanto do instrumento paramétrico 1506 quanto do instrumento não-paramétrico 1508. As definições de equalização globais e/ou definições de equalização de canal direcionadas geradas com o instrumento paramétrico 1506 podem estar na forma de parâmetros do projeto de filtro que sintetizam um filtro paramétrico, tal como um filtro de corte, passa-banda, e/ou de passagem total. As definições de

equalização globais e/ou definições de equalização de canal direcionadas geradas com o instrumento não-paramétrico 1508, por outro lado, podem estar na forma de parâmetros do projeto de filtro que sintetizam um filtro de IIR arbitrário ou de FIR, tal como um filtro de corte, passa-banda, ou de passagem total.

[000191] O instrumento de otimização do sistema 420 também pode incluir um instrumento de equalização iterativa 1510, e um instrumento de equalização direta 1512. O instrumento de equalização iterativa 1510 pode ser executável em cooperação com o instrumento paramétrico 1506 para avaliar, iterativamente, e classificar os parâmetros do projeto de filtro gerados com o instrumento paramétrico 1506. Os parâmetros do projeto de filtro de cada iteração podem ser fornecidos ao simulador de aplicação de definição 422 para a aplicação na simulação(s) anteriormente fornecida ao instrumento de otimização do sistema 420. Com base na comparação da simulação modificada com os parâmetros do projeto de filtro, com uma ou mais curvas-alvos incluídas nos dados-alvos 1504, os parâmetros do projeto de filtro adicionais podem ser gerados. As iterações podem continuar até que uma simulação gerada pelo simulador de aplicação de definições 422 seja identificada com o sistema instrumento de equalização iterativa 1510 que se adéqua de maneira mais próxima à curva-alvo.

[000192] O instrumento de equalização direta 1512 pode calcular uma função de transferência que filtraria a(s) simulação(ões) para produzir a(s) curva(s)-alvos. Com base na função de transferência calculada, ou o instrumento paramétrico 1506 ou o instrumento não-paramétrico 1508 pode ser executado para sintetizar um filtro com parâmetros do projeto de filtro para fornecer tal filtragem. O uso do instrumento de equalização iterativa 1510 ou do instrumento de equalização direta 1512 pode ser designado por um projetista de

sistema de áudio no arquivo de configuração 402 (figura 4).

[000193] Na figura 4, o instrumento de otimização do sistema 420 pode usar as curvas-alvos e uma resposta somada fornecidas com os dados *in-situ* para considerar uma resposta de baixa frequência do sistema de áudio. Em baixas frequências, tais como menos que 400 Hz, os modos em um espaço de escuta podem ser mais estimulados de maneira diferente por um alto-falante do que por dois ou mais alto-falantes que recebem o mesmo sinal de saída de áudio. A resposta resultante pode ser muito diferente quando se considera a resposta somada, contra uma resposta média, tal como uma média de uma resposta frontal esquerda e uma resposta frontal direita. O instrumento de otimização do sistema 420 pode direcionar essas situações ao usar, simultaneamente, múltiplos sinais de entrada de áudio a partir de uma simulação como uma base para gerar parâmetros do projeto de filtro com base na soma de dois ou mais sinais de entrada de áudio. O instrumento de otimização do sistema 420 pode limitar a análise para a região de baixa frequência dos sinais de entrada de áudio onde as definições de equalização podem ser aplicadas a uma irregularidade modal que pode ocorrer através de todas as posições de escuta.

[000194] O instrumento de otimização do sistema 420 também pode fornecer a determinação automatizada de parâmetros do projeto de filtro representativos de filtros de variância espacial. Os parâmetros do projeto de filtro representativos de filtros de variância espacial podem ser implementados no bloco de equalização de canal direcionado 214 (figura 2). O instrumento de otimização do sistema 420 pode determinar os parâmetros do projeto de filtro a partir de uma simulação que pode ter gerado ou determinado as definições aplicadas. Por exemplo, a simulação pode incluir a aplicação de definições de atraso, definições de equalização de canal, definições de passagem e/ou definições de altas frequências de variância espacial armazenadas no

arquivo de configuração 402.

[000195] Quando ativado, o instrumento de otimização do sistema 420 pode analisar a simulação e calcular a variância da resposta de frequência de cada canal de entrada de áudio através de todos os dispositivos de sensoriamento de áudio. Em regiões de frequência onde a variância é alta, o instrumento de otimização do sistema 420 pode gerar as definições de equalização de variância para maximizar o desempenho, semelhante àquelas descritas com referência à figura 16 através de todos os canais. Com base na variância calculada, o instrumento de otimização do sistema 420 pode determinar os parâmetros do projeto de filtro representativos de um ou mais filtros paramétricos e/ou filtros não-paramétricos. Os parâmetros do projeto determinados do(s) filtro(s) paramétrico(s) podem melhor se adequarem à frequência e Q da quantidade de frequências de variância espacial alta indicadas no arquivo de configuração 402. A grandeza do(s) filtro(s) paramétrico(s) determinados pode ser disseminada com um valor médio através dos dispositivos de sensoriamento de áudio naquela frequência pelo instrumento de otimização do sistema 420. Os ajustes adicionais na grandeza do(s) filtro(s) de corte paramétrico(s) podem ocorrer durante os testes de escuta subjetivos. O instrumento de otimização do sistema 420 também pode desempenhar a otimização de eficiência de filtro. Após a aplicação e otimização de todos os filtros em uma simulação, a quantidade geral de filtros pode ser alta, e os filtros podem ser utilizados de maneira ineficiente e/ou redundante. O instrumento de otimização do sistema 420 pode usar as técnicas de otimização de filtro para reduzir a contagem de filtro geral. Isso pode envolver adequar dois ou mais filtros para um filtro de ordem inferior e comparar as diferenças nas características dos dois ou mais filtros contra os filtros de ordem inferior. Se a diferença for menor do que uma

quantidade determinada, o filtro de ordem inferior pode ser aceito e usado no lugar dos dois ou mais filtros.

[000196] A otimização também pode envolver a busca por filtros que possuem pouca influencia no desempenho geral do sistema e a ação de apagar aqueles filtros. Por exemplo, onde as cascatas de filtros biquadráticos de fase mínima foram incluídas, a cascata de filtros também pode ter fase mínima. Dessa maneira, as técnicas de otimização de filtro podem ser usadas para minimizar a quantidade de filtros empregada. Em um outro exemplo, o instrumento de otimização do sistema 420 pode computar ou calcular a resposta de frequência complexa de toda a cadeia de filtros aplicada a cada canal de saída amplificado. O instrumento de otimização do sistema 420 pode então passar a resposta de frequência complexa calculada, com resolução de frequência apropriada, para filtrar o software do projeto, tal como o software de projeto de filtro FIR. A contagem de filtro geral pode ser reduzida ao filtrar um filtro de ordem inferior para múltiplos canais de saída amplificados. O filtro FIR também pode ser automaticamente convertido em um filtro IIR para reduzir a contagem de filtro. O filtro de ordem inferior pode ser aplicado no bloco de equalização global 210 e/ou no bloco de equalização de canal de direcionamento 214 na direção do instrumento de otimização do sistema 420.

[000197] O instrumento de otimização do sistema 420 também pode gerar um ganho máximo do sistema de áudio. O ganho máximo pode ser definido com base em um parâmetro especificado no arquivo de configuração 402, tal como um nível de distorção. Quando o parâmetro especificado for um nível de distorção, o nível de distorção pode ser medido em um nível de saída máximo simulado do amplificador de áudio ou em um nível inferior simulado. A distorção pode ser medida em uma simulação, na qual todos os filtros são aplicados e os ganhos são ajustados. A distorção pode ser regulada para um determinado

valor, tal como 10% de THD, com o nível gravado em cada frequência, na qual a distorção foi medida. O ganho máximo do sistema pode ser derivado a partir desta informação. O módulo de otimização do sistema 420 também pode definir ou ajustar as definições limitadoras no bloco de processamento não-linear 228 (figura 2) com base na informação de distorção.

[000198] O instrumento de otimização do sistema 420 também pode gerar definições de parâmetros operacionais para cada um de qualquer quantidade de diferentes fatores de medição de eficiência de energia. Usando-se os dados de impedância dos alto-falantes, os dados relacionados ao desempenho, tais como os dados *in-situ*, os parâmetros operacionais gerados por um ou mais dos outros instrumentos e uma resposta acústica alvo, o instrumento de otimização do sistema 420 pode gerar os parâmetros operacionais como uma função de cada um dos fatores de medição de eficiência de energia. A geração dos conjuntos de parâmetros operacionais também pode incluir a eliminação de filtros.

[000199] Na figura 4, o instrumento de otimização não-linear 430 pode usar as medições *in-situ* e as características do dispositivo para definir os parâmetros operacionais na forma de definições não-lineares de limites na característica não-linear do sistema, tal como, limitadores, compressores, recortes e outros processos não-lineares que são aplicados ao sistema de áudio para o desempenho acústico, proteção, redução de energia, gerenciamento de distorção e/ou outras razões. Usando-se a resposta acústica alvo, a resposta *in-situ*, e a informação de configuração específica para o sistema de áudio, o instrumento de otimização não-linear pode-se gerar as definições não-lineares. Além disso, usando-se os dados de impedância, o instrumento de otimização não-linear 430 pode-se ajustar as definições não-lineares para otimizar o consumo de energia. Por

exemplo, o tempo de ataque de limitadores pode ser aumentado para evitar as produções intensivas de energia com curta duração e grande grandeza de som audível a partir dos alto-falantes a fim de otimizar a eficiência da energia. Em um outro exemplo, um compressor pode ser desabilitado para otimizar a eficiência de energia.

[000200] A operação do instrumento de otimização não-linear 430 pode ocorrer depois de cada instrumento criar parâmetros operacionais para cada um dos modos de eficiência de energia. Alternativa, ou adicionalmente, a operação do instrumento de otimização não-linear 430 pode ocorrer ao seguir a conclusão de criação do(s) modo(s) de eficiência de energia por todos os instrumentos. Em qualquer um dos casos, o instrumento de otimização não-linear 430 operar para confirmar que os parâmetros operacionais desenvolvidos para o(s) modo(s) de eficiência de energia não resultam na distorção ou outro efeito prejudicial que possa ser direcionado com o processamento não-linear. Se tais condições forem identificadas, tal como por meio de análise dos dados *in-situ* e/ou simulações que usam os parâmetros operacionais desenvolvidos para o(s) modo(s) de eficiência de energia, o instrumento de otimização não-linear 430 pode desenvolver as definições apropriadas para se proteger contra tais condições. Além disso, ou alternativamente, o instrumento de otimização não-linear 430 pode fornecer tal informação aos outros instrumentos de tal modo que os parâmetros operacionais adicionais/revisados podem ser gerados, os quais fornecem o equilíbrio desejado entre o desempenho acústico e a eficiência de energia enquanto também minimizam as condições identificadas.

[000201] O instrumento de otimização não-linear 430 pode variar as definições não-lineares com base em um nível de prioridade de considerações de eficiência de energia conforme indicado com o(s) fator(es) de medição de eficiência de energia. As definições não-

lineares podem ser geradas em conjuntos com o instrumento de otimização não-linear 430 com base nas considerações de consumo de energia. O consumo de energia pode ser determinado sob várias condições de operação pelo instrumento de otimização não-linear 430 com base nos dados de impedância dos alto-falantes, os parâmetros operacionais gerados por um ou mais dos outros instrumentos, e dados relacionados ao desempenho, tais como dados *in-situ*. As definições não-lineares pelo instrumento de otimização não-linear 430 para um respectivo fator de medição de eficiência de energia podem ser baseadas nos limites gerais de consumo de energia do sistema de áudio. Além disso, ou alternativamente, tais limites podem ser definidos com base nos fatores externos. No exemplo de um veículo híbrido, os fatores externos podem incluir a energia de bateria disponível, energia de bateria disponível projetada com base em uma entrada de destino para um sistema de navegação, outros sistemas auxiliares na operação, tais como aquecedores, luzes ou limpadores do pára-brisas, ou quaisquer outras considerações relacionados ao consumo de energia. Nas aplicações que não são para o veículo, os fatores externos podem, de maneira semelhante, incluir a fonte de energia disponível, qualidade do fornecimento de energia, níveis de voltagem nominais e semelhantes.

[000202] A figura 17 é um diagrama de bloco que ilustra a operação do instrumento de otimização não-linear 430. O instrumento de otimização não-linear 430 inclui um instrumento paramétrico 1704 e um limitador de energia 1706. O instrumento de otimização não-linear 430 pode receber a informação de medição *in-situ* a partir dos dados *in-situ* 1702. O instrumento paramétrico 1704 pode usar os dados de medição para calcular diversos parâmetros de desempenho, que incluem o consumo de energia de dispositivos de áudio ou grupos de dispositivos de áudio no sistema de áudio. Em um exemplo, um grupo

de dispositivos de áudio pode ser um amplificador e um ou mais alto-falantes. Os parâmetros de desempenho calculados com relação ao consumo de energia são fornecidos ao limitador de energia 1706, que determina se um canal ou um grupo de canais está operando em níveis de energia que excedem um limite predeterminado. O limitador de energia 1706 pode determinar um fator medido ou usar alguma outra técnica para configurar os filtros para ajustar os espectros de energia do canal ou do grupo de canais para manter o consumo de energia do respectivo canal ou grupo de canais no limite predeterminado ou abaixo dele.

[000203] A figura 18 é um diagrama de fluxo que descreve a operação exemplificativa do sistema de sintonização de áudio automatizado. No exemplo a seguir, as etapas automatizadas para ajustar os parâmetros e determinar os tipos de filtros a serem usados nos blocos incluídos no diagrama de fluxo de sinal da figura 2 serão descritas em uma ordem em particular. No entanto, conforme indicado anteriormente, para qualquer sistema de áudio em particular, alguns dos blocos descritos na figura 2 podem não ser implementados. Dessa maneira, pode-se omitir as partes do sistema de sintonização de áudio automatizado 400 que corresponde aos blocos não-implementados. Além disso, a ordem das etapas pode ser modificada a fim de gerar simulações para o uso em outras etapas com base na tabela de ordem e no planejamento de simulação com o simulador de aplicação de definição 422, conforme discutido anteriormente. Assim, a configuração exata do sistema de sintonização de áudio automatizado pode variar dependendo da implementação necessária para um dado sistema de áudio. Além disso, as etapas automatizadas desempenhadas pelo sistema de sintonização de áudio automatizado, apesar de descritas em uma ordem sequencial, não precisam ser executadas na ordem descrita, ou qualquer outra ordem em particular,

a menos que sejam de outro modo indicada. Ademais, algumas das etapas automatizadas podem ser desempenhadas em paralelo, em uma sequência diferente, ou podem ser omitidas por completo dependendo do sistema de áudio em particular a ser sintonizado.

[000204] Na figura 18, no bloco 1802, o projetista de sistema de áudio pode ativar a ocupação do arquivo de configuração com dados relacionados ao sistema de áudio a ser testado. Os dados podem incluir a arquitetura do sistema de áudio, mapeamento de canal, fatores de medição, dados de laboratório, restrições, tabela de ordem, planejamento de simulação, dados de impedância, e semelhantes. No bloco 1804, a informação do arquivo de configuração pode ser transferida por download para o sistema de áudio a ser testado para configurar, inicialmente, o sistema de áudio. No bloco 1806, os dados de resposta do sistema de áudio podem ser unidos e armazenados na matriz de função de transferência como dados *in-situ*. A junção e armazenamento dos dados de resposta podem incluir a configuração, calibração e medição com sensores de som de ondas de som audível produzidas pelos alto-falantes no sistema de áudio. O som audível pode ser gerado pelo sistema de áudio com base nos sinais de áudio de entrada, tal como dados de geração de forma de onda processados através do sistema de áudio e fornecidos como sinais de saída de áudio em canais de saída amplificados para acionar os alto-falantes.

[000205] Os dados de resposta podem ter a média espacialmente calculada e serem armazenados no bloco 1808. No bloco 1810, determina-se se a equalização de canal amplificado é indicada no arquivo de configuração. A equalização de canal amplificado, se necessário, pode precisar que seja desempenhado antes da geração de definições de ganho ou definições de passagem. Se a equalização de canal amplificado for indicada, no bloco 1812, o instrumento de equalização de canal amplificado pode usar o arquivo de configuração

e os dados de resposta média espacialmente para gerar as definições de equalização de canal. As definições de equalização de canal podem ser geradas com base nos dados *in-situ* ou dados de laboratório. Se os dados de laboratório forem usados, a predição *in-situ* e a correção estatística podem ser aplicadas nos dados de laboratório. Os dados de parâmetro de filtro podem ser gerados com base no instrumento paramétrico, no instrumento não-paramétrico, ou alguma combinação deles.

[000206] As definições de equalização de canal podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definição, e uma simulação de equalização de canal pode ser gerada e armazenada na memória no bloco 1814. A simulação de equalização de canal pode ser gerada ao aplicar as definições de equalização de canal nos dados de resposta com base no planejamento de simulação e quaisquer outros parâmetros determinados no arquivo de configuração. No bloco 1816 determina-se se um modo de eficiência de energia será usado no sistema de áudio para as definições de equalização. Se não, a operação prossegue para o bloco 1818. Se no bloco 1816 for determinado que um modo de eficiência de energia será usado, um fator de medição de eficiência de energia é recuperado no bloco 1817, e a operação retorna para o 1812 para gerar um conjunto de definições de equalização com base no fator de medição de eficiência de energia recuperado. As operações nos blocos 1812, 1814, 1816 e 1817 podem ser repetidas para cada fator de medição de eficiência de energia a ser usado no sistema de áudio e nas simulações correspondentes geradas. Uma vez que as definições de equalização e as simulações correspondentes foram geradas para todos os fatores de medição de eficiência de energia a serem usados no sistema de áudio, a operação prossegue para o bloco 1810.

[000207] Seguindo-se a geração das simulações de equalização de

canal no bloco 1814, ou se a equalização de canal amplificado não for indicada no arquivo de configuração no bloco 1810, determina-se se a geração automatizada de definições de atraso é indicada no arquivo de configuração no bloco 1818. As definições de atraso, se necessárias, podem ser necessárias antes da geração de definições de passagem e/ou definições de otimização de graves. Se as definições de atraso forem indicadas, uma simulação é obtida a partir da memória no bloco 1820. A simulação pode ser indicada no planejamento de simulação no arquivo de configuração. Em um exemplo, a simulação obtida pode ser a simulação de equalização de canal. O instrumento de atraso pode ser executado para usar a simulação para gerar definições de atraso no bloco 1822. As definições de atraso podem ser geradas para cada uma da simulação que corresponde a um conjunto de definições de equalização quando o sistema de áudio inclui fatores de medição de eficiência de energia.

[000208] As definições de atraso podem ser geradas com base na simulação e na matriz de medição para os canais de saída amplificados que podem ser armazenados no arquivo de configuração. Se uma posição de escuta no espaço de escuta for priorizada na matriz de medição, e nenhum atraso adicional dos canais de saída amplificados for especificado no arquivo de configuração, as definições de atraso podem ser geradas de modo que todo o som chegue à posição de escuta substancialmente de maneira simultânea. No bloco 1824, as definições de atraso podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definições, e uma simulação com as definições de atraso aplicadas pode ser gerada. A simulação de atraso pode ser a simulação de equalização de canal com as definições de atraso aplicadas a ela.

[000209] Na figura 19, seguindo-se a geração da(s) simulação(ões) de atraso no bloco 1824, ou se as definições de atraso não forem

indicadas no arquivo de configuração no bloco 1818, determina-se se a geração automatizada de definições de ganho é indicada no arquivo de configuração no bloco 1826. Se forem, uma simulação é obtida a partir da memória no bloco 1828. A simulação pode ser indicada no planejamento de simulação no arquivo de configuração. Em um exemplo, a simulação obtida pode ser a simulação de atraso. O instrumento de ganho pode ser executado para usar a simulação e gerar definições de ganho no bloco 1830.

[000210] As definições de ganho podem ser geradas com base na simulação e na matriz de medição para cada um dos canais de saída amplificados. Se uma posição de escuta no espaço de escuta for priorizada na matriz de medição, e nenhum ganho de canal de saída amplificado adicional for especificado, as definições de ganho podem ser geradas de modo que a grandeza de som percebido na posição de escuta priorizada é substancialmente uniforme. No bloco 1832, as definições de ganho podem ser fornecidas ao simulador de aplicação de definições, e uma simulação com as definições de ganho aplicadas pode ser gerada. A simulação de ganho pode ser a simulação de atraso com as definições de ganho aplicadas a ela. No bloco 1834 determina-se se um modo de eficiência de energia será usado no sistema de áudio para as definições de ganho. Se não, a operação prossegue para o bloco 1836. Se no bloco 1834 for determinado que um modo de eficiência de energia será usado, um fator de medição de eficiência de energia é recuperado no bloco 1835, e a operação retorna para o 1828 para recuperar a simulação de atraso que contém as definições de equalização correspondentes ao fator de medição de eficiência de energia recuperado. As operações blocos 1828, 1830, 1832, 1834 e 1835 podem ser repetidas para cada fator de medição de eficiência de energia a ser usado no sistema de áudio e nas simulações correspondentes que contém o ganho gerado. Uma vez

que as definições de ganho e as simulações correspondentes foram geradas para todos os fatores de medição de eficiência de energia a serem usados no sistema de áudio, a operação prossegue para o bloco 1836.

[000211] Depois da(s) simulação(ões) de ganho ser(em) gerada(s) no bloco 1834, ou se as definições de ganho não forem indicadas no arquivo de configuração no bloco 1828, determina-se se a geração automatizada das definições de passagem é indicada no arquivo de configuração no bloco 1836. Se for, no bloco 1838, uma simulação é obtida a partir da memória. A simulação pode não ter a média espacialmente calculada uma vez que a fase dos dados de resposta pode ser incluída na simulação. No bloco 1840, determina-se, com base na informação no arquivo de configuração, quais dos canais de saída amplificados são elegíveis para as definições de passagem.

[000212] As definições de passagem são seletivamente geradas para cada um dos canais de saída amplificados elegíveis no bloco 1842. Semelhante à equalização de canal amplificado, os dados *in-situ* ou dados de laboratório podem ser usados, e os parâmetros do projeto de filtro paramétrico ou não-paramétrico podem ser gerados. Além disso, a matriz de medição do arquivo de configuração pode ser usada durante a geração. No bloco 1846, as definições de passagem otimizadas podem ser determinadas ou por um instrumento de otimização direta operável apenas com o instrumento não-paramétrico, ou por um instrumento de otimização iterativa, que pode ser operável ou com o instrumento paramétrico ou com o não-paramétrico.

[000213] No bloco de decisão 1847, determina-se se o sistema será operado em um modo de eficiência com um ou mais fatores de medição de eficiência de energia. Se for, um fator de medição de eficiência de energia pode ser recuperado e aplicado na etapa 1849. O conjunto de definições de passagem que corresponde ao fator de

medição de eficiência de energia recuperado pode ser adicionado a uma lista de definições de passagem na etapa 1851. O bloco de decisão 1853 verifica para determinar se a lista está completa. Se não estiver completa, um outro fator de medição de eficiência de energia é obtido na etapa 1855 e a simulação correspondente é usada nas etapas 1838 a 1846 para calcular um outro conjunto de definições de passagem medidas para uma saída de energia reduzida. Por exemplo, uma lista de definições de passagem gerada com base no desempenho pode ser comparada com uma segunda lista de definições de passagem gerada com base nas definições de eficiência de energia que usam o(s) fator(es) de medição de eficiência como uma indicação do ponto até onde o usuário pode tolerar o desempenho inferior em favor de maior eficiência de energia. Uma lista resultante pode ser gerada como um acordo entre o desempenho e a energia que é baseada no fator de medição de eficiência. O fator de medição de eficiência pode ser usado de outros modos também. Se no bloco de decisão 1853, a lista estiver completa, uma lista de definições de passagem com diferentes produções de energia, ou taxas de eficiência de energia pode ser gerada. A lista pode incluir qualquer quantidade de configurações, ou simplesmente uma configuração de alta qualidade de áudio e uma configuração de alta eficiência. Uma ou mais simulações de passagem podem ser geradas na etapa 1848.

[000214] A figura 22 é um conjunto de curvas de desempenho exemplificativas para um alto-falante do tipo "woofer" e um para frequência média. Na figura 22a, uma curva de impedância de estimativa exemplificativa inclui uma primeira curva de impedância 2202 de um alto-falante do tipo "woofer" que identifica a ressonância à medida que ocorre em cerca de 400 Hz em uma grandeza de impedância de cerca de 84 ohms, e uma segunda curva de

impedância 2204 de um alto-falante para frequência média que identifica uma ressonância à medida que ocorre em cerca de 3 KHz em uma grandeza de impedância de cerca de 45 ohms. Na figura 22b um primeiro conjunto de curvas de resposta *in-situ* 2210 para o alto-falante do tipo "woofer" e um segundo conjunto de curvas de resposta *in-situ* 2212 para o alto-falante para frequência média ilustram a energia média em watts em uma faixa de frequência. Na figura 22c ilustra-se um gráfico do efeito no consumo de energia à medida que a frequência de passagem varia.

[000215] Na figura 22b, uma primeira curva de resposta *in-situ* 2214 do "woofer" e uma primeira curva de resposta *in-situ* 2216 do alto-falante de frequência média são retratadas em uma primeira frequência de passagem exemplificativa de 280 Hz. Uma segunda curva de resposta *in-situ* 2218 do "woofer" e uma segunda curva de resposta *in-situ* 2220 do alto-falante de frequência média são retratadas em uma segunda frequência de passagem exemplificativa de 560 Hz. Uma terceira curva de resposta *in-situ* 2222 do "woofer" e uma terceira curva de resposta *in-situ* 2224 do alto-falante de frequência média são retratadas em uma terceira frequência de passagem exemplificativa de 840 Hz. Comparando-se a figura 22a e 22b à figura 22c, o consumo de energia ótimo ocorre em cerca de 315 Hz, o que é relativamente próximo da ressonância 2204 do alto-falante do tipo "woofer". Conforme ilustrado na figura 22c, as definições de frequência de passagem abaixo de cerca de 200 Hz e acima de cerca de 400 Hz, neste exemplo, irão resultar em maior consumo de energia. No entanto, uma definição de passagem com maior consumo de energia pode representar ótimo desempenho acústico com base na resposta acústica alvo. Uma vez que o instrumento de passagem 416 desempenha o equilíbrio entre a otimização para o desempenho acústico e a otimização para a eficiência de energia, a definição de

passagem pode ser gerada pelo instrumento de passagem 416 como uma função do fator de medição de eficiência. Por exemplo, se a definição de passagem para o ótimo desempenho acústico foi em 500 Hz, o instrumento de passagem 416 pode gerar esta definição quando o fator de medição de eficiência for medido, de maneira expressiva, com relação ao desempenho acústico, enquanto 315 Hz pode ser escolhido quando a eficiência de energia for medida de maneira expressiva. De maneira semelhante, quando o desempenho acústico e a eficiência de energia forem medidos substancialmente de maneira semelhante, 400 Hz pode ser escolhido.

[000216] Na figura 20, depois de a simulação de passagem se gerada no bloco 1848, ou se as definições de passagem não forem indicadas no arquivo de configuração no bloco 1836, determina-se se a geração automatizada de definições de otimização de graves é indicada no arquivo de configuração no bloco 1852. Se for, no bloco 1854, uma simulação é obtida a partir da memória. A simulação pode não ter a média espacialmente calculada semelhante ao instrumento de passagem, uma vez que a fase dos dados de resposta pode ser incluída na simulação. No bloco 1856, determina-se, com base na informação no arquivo de configuração, qual dos canais de saída amplificado está acionando os alto-falantes operáveis nas frequências mais baixas.

[000217] As definições de otimização de graves podem ser seletivamente geradas para cada um dos canais de saída amplificados identificados no bloco 1858. As definições de otimização de graves podem ser geradas para corrigir a fase em um sentido medido de acordo com a matriz de medição, tal que todos os alto-falantes que produzem graves se somam otimamente. Os dados *in-situ* podem ser usados, e os parâmetros do projeto de filtro paramétrico e/ou não-paramétrico podem ser gerados. Além disso, a matriz de medição do

arquivo de configuração pode ser usada durante a geração. No bloco 1860, as definições de graves otimizadas podem ser determinadas ou por um instrumento de otimização direta operável apenas com o instrumento não-paramétrico, ou por um instrumento de otimização iterativa, o qual pode ser operável ou com o instrumento paramétrico ou com o não-paramétrico.

[000218] No bloco de decisão 1859, determina-se se o sistema está operando em modo de eficiência. Se estiver, um fator de medição de eficiência de energia pode ser recuperado e aplicado na etapa 1861. As definições de graves e o fator de medição de eficiência de energia recuperado correspondente são adicionados a uma lista de definições de graves na etapa 1863. No bloco de decisão 1865, a lista é verificada para determinar se ela está completa. Se a lista não estiver completa, um outro fator de medição de eficiência de energia e a simulação correspondente são obtidos na etapa 1867 e um outro conjunto de definições de graves medidas para a eficiência de energia é determinada na etapa 1858. Se a lista estiver completa no bloco de decisão 1865, uma ou mais simulações de graves são geradas na etapa 1862.

[000219] Se nenhuma otimização de graves for especificada para ser desempenhada (o caminho 'NÃO' no bloco de decisão 1852), ou se as definições de simulação de graves tiverem sido geradas na etapa 1862, os dados *in-situ* são medidos na etapa 1871. As medições *in-situ* são desempenhadas uma vez no início do processo para as outras funções do sistema. No entanto, a grande operação de sinal de grandeza que resulta em dados não-lineares, tal como na otimização de graves, pode ser medida novamente à medida que as alterações são feitas com relação aos parâmetros operacionais em um processo iterativo. A medição de dados não-lineares *in-situ* pode envolver medições acústicas nos mais altos níveis de saída de áudio que o

sistema poderia produzir para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia (se presentes). No bloco de decisão 1873, a distorção, desvio de posição, saída de energia e saída de corrente são determinados e verificados quanto aos níveis do limiar para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia (se presentes). Se os níveis forem maiores do que os limiares (o caminho 'NÃO' fora do bloco de decisão 1873), então, na etapa 1875, os parâmetros não-lineares são ajustados iterativamente para o desempenho ótimo para cada um dos fatores de medição de eficiência de energia (se presentes). Tal verificação de não-linearidade pode ocorrer depois que cada um dos instrumentos completa a otimização balanceada do desempenho acústico e da eficiência de energia com base no(s) fator(es) de medição de eficiência de energia. Além disso, ou alternativamente, tal verificação de não-linearidade pode ser desempenhada quando todos os instrumentos tiverem completado a otimização balanceada.

[000220] Seguindo-se a geração de otimização de graves no bloco 1862, ou se as definições de otimização de graves não forem indicadas no arquivo de configuração no bloco 1852, determina-se se a otimização automatizada do sistema é indicada no arquivo de configuração no bloco 1866 na figura 21. Se for, no bloco 1868, uma simulação é obtida a partir da memória. A simulação pode ter a média espacialmente calculada. No bloco 1870, determina-se, com base na informação no arquivo de configuração, quais grupos de canais de saída amplificados podem precisar mais equalização.

[000221] As definições de equalização de grupo podem ser seletivamente geradas para os grupos de determinados canais de saída amplificados no bloco 1872. A otimização do sistema pode incluir estabelecer um ganho e um limitador de sistema, e/ou reduzir a quantidade de filtros. As definições de equalização de grupo também

podem corrigir as anomalias de resposta devido à adição de passagem e otimização de graves nos grupos de canais, conforme desejado. No bloco 1874, os dados de rastreamento podem ser obtidos para revisar as variâncias nos filtros, conforme discutido anteriormente. A otimização das definições de equalização de grupo pode ocorrer no bloco 1876, conforme discutido anteriormente. No bloco 1878, a simulação de equalização de grupo pode ser gerada. No bloco 1880, determina-se se um modo de eficiência de energia será usado no sistema de áudio para as definições de equalização de grupo. Se não, a operação prossegue para o bloco 1884. Se, no bloco 1880, for determinado que um modo de eficiência de energia será usado, um fator de medição de eficiência de energia é recuperado no bloco 1882, e a operação retorna para o bloco 1868 para recuperar a simulação correspondente ao fator de medição de eficiência de energia recuperado. As operações nos blocos 1868 até 1882 podem ser repetidas para cada fator de medição de eficiência de energia a ser usado no sistema de áudio e simulações correspondentes. Uma vez que as definições de equalização de grupo e as simulações correspondentes tiverem sido geradas para todos os fatores de medição de eficiência de energia a serem usados no sistema de áudio, a operação prossegue para o bloco 1884 para transferir por upload os parâmetros operacionais para o sistema de áudio, e a operação termina no bloco 1886.

[000222] Após a conclusão das operações descritas acima, cada canal e/ou grupo de canais no sistema de áudio que foi otimizado pode incluir as características de resposta ótima de acordo com a matriz de medição. Uma frequência de sintonização máxima pode ser especificada de tal modo que a equalização *in-situ* é desempenhada apenas abaixo de uma frequência especificada. Esta frequência pode ser escolhida como a frequência de transição, e pode ser a frequência

onde a resposta *in-situ* medida é substancialmente a mesma que a resposta *in-situ* predicada. Acima desta frequência, a resposta pode ser corrigida usando-se apenas a correção de resposta *in-situ* predita. Além disso, os canais ou grupo de canais podem ser otimizados em termos de fornecer a operação mais eficiente em energia como uma função de cada um dos fatores de medição de eficiência de energia.

[000223] Em algumas implementações, pode-se fornecer ao usuário opções que permitem que o usuário escolha modos de operação que priorizem o consumo de menos energia. Um sistema de sintonização de áudio exemplificativo pode gerar um ou mais conjuntos de parâmetros de operação, conforme descritos acima, que ou são classificados ou são gerados para fornecer a operação eficiente em energia.

[000224] A figura 23 é um diagrama esquemático que mostra exemplos de dispositivos de interface do usuário que podem ser usados em um sistema de sintonização de áudio. A figura 23 mostra um exemplo de um sistema de áudio 2300 que fornece a sintonização automatizada conforme descrito acima com referência às figuras 1 a 20. O sistema de áudio 2300 pode gerar um ou mais conjuntos de parâmetros 2302 que incluem definições para a operação de eficiência otimizada do sistema de áudio 2300. Um conjunto que opera na eficiência de energia ótima pode ser gerado para a operação em um modo de eficiência, ou um conjunto diferente pode ser gerado para a operação na qualidade ótima de áudio para a operação em um modo de não-eficiência. Os conjuntos de múltiplos parâmetros 2302 podem ser gerados e classificados de acordo com a eficiência de energia. Por exemplo, o conjunto de parâmetros exemplificativo 2302 na figura 23 inclui parâmetros de configuração que são classificados em ordem de qualidade de áudio. Os mais altos parâmetros de áudio de qualidade, presumidamente, consomem mais energia. O próximo nível de

qualidade, "QTY 1," fornece pelo menos um nível baixo de eficiência de energia. O próximo nível de qualidade de áudio, "QTY 2," fornece um próximo nível de eficiência de energia. O próximo nível de qualidade de áudio, "QTY 3," fornece o mais alto nível de eficiência de energia. O ponto onde o sistema de áudio é mais eficiente pode ser ajustado de acordo com um modo de eficiência. O modo de eficiência pode fornecer uma definição para a alta eficiência, eficiência média ou baixa eficiência com relação ao consumo de energia exigido para o desempenho ótimo. Os níveis de eficiência de energia podem ser indicados em uma definição de arranjo de energia alvo, um exemplo da qual é descrito no Apêndice A. O arranjo de energia alvo pode ser usado para determinar os conjuntos de parâmetros fornecidos ao usuário como escolhas para a seleção.

[000225] Os conjuntos de parâmetros classificados 2302 fornecem ao usuário a opção de incluir as considerações de eficiência de energia na seleção da qualidade de som gerado pelo sistema de áudio. A seleção do usuário pode ser afetada ao usar os dispositivos de interface do usuário, exemplos dos quais são retratados na figura 23. A interface do usuário pode incluir um painel de entrada/saída 2304, pelo menos um botão 2306, e um medidor de energia 2308.

[000226] O painel de entrada/saída 2304 pode incluir um visor 2304a, tal como, por exemplo, LED, LCD, ou outros tipos de dispositivos que forneçam a exibição visual de texto ou imagens. O painel de entrada/saída 2304 também pode incluir a tela sensível a toque que possui botões feitos de imagens, os quais o usuário pode pressionar para selecionar as funções. O painel de entrada/saída 2304 também inclui uma entrada de rolagem 2304b para permitir que o usuário manuseie as diferentes seleções disponíveis ao usuário. Por exemplo, a entrada de rolagem 2304b pode ser botões de seta para cima e para baixo que o usuário pode pressionar para ir para cima ou

para baixo através da lista de opções. Em um outro exemplo, um botão giratório, um botão-cursor, ou qualquer outro dispositivo de entrada adequado pode ser usado, como uma imagem na tela sensível ao toque ou como um botão de hardware na interface do usuário. Em uma tela sensível ao toque, a entrada de rolagem 2304b também pode ser uma lista de opções na tela que o usuário pode mover através do toque. A seleção pode ser feita através de um toque da opção na tela. A lista de opções pode aparecer no visor 2304a. O visor 2304a pode mostrar um conjunto de parâmetros que o usuário pode escolher, ou diversas opções selecionáveis ao posicionar um cursor usando a entrada de rolagem 2304b. O usuário pode fazer uma seleção ao pressionar um botão seletor 2304c.

[000227] O pelo menos um botão 2306 pode ser usado para selecionar que o sistema opere em um modo de eficiência de energia. O sistema de áudio 2300 pode, então, sintonizar automaticamente o sistema, mas implementar uma configuração que tem o consumo de energia limitado.

[000228] O medidor de energia 2308 pode indicar o uso de energia através do sistema de áudio. O medidor de energia 2308 pode incluir uma escala de energia 2310, que indica o nível de consumo de energia indicado por um indicador de consumo 2312. O medidor de energia 2308 pode ser implementado ao usar qualquer tipo de medidor. O medidor de energia 2308 também pode ser parte de uma lista de medidores que indicam o consumo de energia de diferentes componentes em um sistema maior. Por exemplo, quando o sistema de áudio 2300 está sendo implementado em um veículo, a lista de medidores pode incluir os medidores que mostram o consumo de energia através do sistema de áudio, o ar condicionado, as luzes, e quaisquer outros componentes significativos que usam energia no veículo.

[000229] Será compreendido, e é observado pelas pessoas versadas na técnica, que um ou mais processos, subprocessos, ou etapas de processo descritos em conjunto com as figuras 1 a 23 podem ser desempenhados através de hardware e/ou software. Além disso, conforme usado no presente, os termos "instrumento" ou "instrumentos", "módulo" ou "módulos", ou "bloco" ou "blocos" podem incluir um ou mais componentes que incluem software, hardware, e/ou alguma combinação de hardware e software. Conforme descrito no presente, os instrumentos, módulos e blocos são definidos para incluir módulos de software, módulos de hardware ou alguma combinação deles que seja executável por um controlador ou processador. Os módulos de software podem incluir o software na forma de instruções armazenadas na memória, as quais são executáveis por um controlador ou processador. Os módulos de hardware podem incluir diversos dispositivos, componentes, circuitos, portas, placas de circuito, e semelhantes que são executáveis, direcionados, e/ou controlados para o desempenho por meio do controlador ou processador.

[000230] Se um processo for desempenhado através de software, o software pode residir na memória de software em um componente ou sistema de processamento eletrônico adequado, tal como um ou mais dos componentes ou módulos funcionais esquematicamente retratados nas figuras 1 a 23. O software na memória de software pode incluir uma listagem ordenada de instruções executáveis para implementar as funções lógicas (ou seja, "lógica" que pode ser implementada ou na forma digital, tal como o conjunto de circuitos digitais ou código de fonte, ou na forma analógica, tal como o conjunto de circuitos analógicos ou uma fonte analógica, tal como um sinal de som ou vídeo elétrico analógico), e pode ser embutido, seletivamente, em qualquer meio legível por computador para o uso através de

conexão ou em conexão com um sistema, aparelho ou dispositivo de execução de instrução, tal como um sistema baseado em computador, sistema que contém processador, ou outro sistema que pode, de maneira seletiva, buscar as instruções a partir do sistema, aparelho, ou dispositivo de execução de instrução e executar as instruções. No contexto desta revelação, um "meio legível por computador" é qualquer meio que possa conter, armazenar ou se comunicar com o programa para o uso através de conexão ou em conexão com o sistema, aparelho, ou dispositivo de execução de instrução. O meio legível por computador pode ser, seletivamente, por exemplo, mas não se limita a isso, um sistema, aparelho ou dispositivo eletrônico, magnético, óptico, eletromagnético, infravermelho, ou semicondutor. Os exemplos mais específicos, mas, contudo, uma lista não-exaustiva, de mídia legível por computador incluiriam o seguinte: um disquete para computador portátil (magnético), uma RAM (eletrônica), uma memória apenas de leitura "ROM" (eletrônica), uma memória apenas de leitura programável e apagável (EPROM ou Memória Rápida) (eletrônica) e um memória apenas de leitura em disco compacto portátil "CDROM" (óptica). Nota-se que o meio legível por computador pode ser até mesmo papel ou um outro meio adequado, no qual o programa é impresso, à medida que o programa pode ser eletronicamente capturado, através de, por exemplo, varredura óptica do papel ou de outro meio, então, compilado, interpretado ou, de outro modo, processado de uma maneira adequada, se necessário, e então, armazenado em uma memória de computador. No entanto, o meio legível por computador não abrange um fio ou outro meio de transmissão de sinal, e as instruções não abrangem um sinal no meio de transmissão de sinal.

[000231] Muito embora diversas implementações exemplificativas da invenção terem sido descritas, ficará evidente àqueles de habilidade

comum na técnica que muitas outras implementações exemplificativas são possíveis dentro do escopo da invenção. Dessa maneira, a invenção não é restrita, exceto em consideração às reivindicações anexas e suas equivalentes.

APÊNDICE A: INFORMAÇÃO DE CONFIGURAÇÃO DE ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO EXEMPLIFICATIVO

Parâmetros de Arquivo de Configuração do Sistema

- Taxa de Amostra de Medição: define a taxa de amostra dos dados na matriz de medição
- Taxa de Amostra DSP: define a taxa de amostra na qual o DSP opera.
- Contagem de Canal de Entrada (J): define a quantidade de canais de entrada para o sistema. (por exemplo, para estéreo, J=2).
- Contagem de Canal Espacialmente Processado (K): define a quantidade de saídas a partir do processador espacial, K. (por exemplo, para Logic7, K = 7)
- Rótulos de Canal Espacialmente Processado: define um rótulo para cada saída espacialmente processada. (por exemplo, frontal esquerdo, central, frontal direito ...)
- Contagem de Canal Gerenciado de Graves (M): define a quantidade de saídas a partir do gerenciador de graves
- Rótulos de Canal de Gerenciador de Graves: define um rótulo para cada canal de saída gerenciado de graves. (por exemplo, frontal esquerdo, central, frontal direito, "subwoofer" 1, "subwoofer"2,...)
- Contagem de Canal Amplificado (N): define a quantidade de canais amplificados no sistema
- Rótulos de Canal Amplificado: define um rótulo para cada um dos canais amplificados. (por exemplo, alto frontal esquerdo, médio frontal esquerdo, baixo frontal esquerdo, alto central, médio

central,...)

- **Matriz de Mapeamento de Canal de Sistema:** define os canais amplificados que correspondem aos canais de saída do processador espacial físico. (por exemplo, central = [3,4] para um canal central físico que possui 2 canais amplificados, 3 e 4, associados a ele).

- **Matriz de Medição de Microfone:** define a prioridade de medição de cada microfone individual ou grupo de microfones.

- **Matriz de Agrupamento de Canal Amplificado:** define os canais amplificados que recebem os mesmos filtros e parâmetros de filtro. (por exemplo, frontal esquerdo e frontal direito)

- **Mapeamento de Matriz de Medição:** define os canais que são associados à matriz de resposta.

Parâmetros de Configuração EQ de Canal Amplificado

- **Contagem EQ Paramétrica:** define a quantidade máxima de EQs paramétricos aplicados a cada canal amplificado. o valor é zero se o EQ paramétrico não for aplicado a um canal em particular.

- **Limiares EQ Paramétricos:** define a faixa de parâmetro permissível para o EQ paramétrico com base no Q do filtro e/ou ganho de filtro.

- **Resolução de Frequência EQ Paramétrica:** define a resolução de frequência (em pontos por oitava) que o instrumento de EQ de canal amplificado usa para as computações de EQ paramétricas.

- **Suavização de Frequência EQ Paramétrica:** define a janela de suavização (em pontos) que o instrumento de EQ de canal amplificado usa para as computações de EQ paramétricas.

- **Resolução de Frequência EQ Não-Paramétrica:** define a resolução de frequência (em pontos por oitava) que o instrumento de EQ de canal amplificado usa para as computações de EQ não-

paramétricas.

- Suavização de Frequência EQ Não-Paramétrica: define a janela de suavização (em pontos) que o instrumento de EQ de canal amplificado usa para as computações de EQ não-paramétricas.

- Contagem de EQ Não-Paramétrica: define a quantidade de biquadráticos não-paramétricos que o instrumento de EQ de canal amplificado pode usar. O valor é zero se o EQ não-paramétrico não for aplicado a um canal em particular.

- Largura de Banda de EQ de Canal Amplificado: define a largura de banda a ser filtrada para cada canal amplificado ao especificar um corte de baixa frequência e de alta frequência.

- Restrições de EQ Paramétricas: define as definições máxima e mínima permissíveis para os filtros de EQ paramétricos. (por exemplo, Q máxima e mínima, frequência e grandeza)

- Restrições de EQ Não-Paramétricas: define o ganho máximo e o mínimo permissível para a cadeia de EQ não-paramétrica total em uma frequência específica. (Se as restrições forem violadas na computação, os filtros são recalculados para estarem de acordo com as restrições)

Parâmetros de Otimização de Passagem

- Matriz de Passagem: define quais canais terão filtros passa-alta e/ou passa-baixa aplicados a eles e o canal que terá a resposta acústica favorável. (por exemplo, alto frontal esquerdo e baixo frontal esquerdo)

- Matriz Lógica de Passagem Paramétrica: define se os filtros paramétricos de passagem são usados em um canal em particular.

- Matriz Lógica de Passagem Não-Paramétrica: define se os filtros não-paramétricos de passagem são usados em um canal em particular.

- **Contagem Biquadrática Máxima de Passagem Não-Paramétrica:** define a quantidade máxima de biquadráticos que o sistema pode usar para computar os filtros de passagem ótima para um dado canal.

- **Matriz de Parâmetro de Passagem Inicial:** define os parâmetros iniciais para a frequência e inclinação dos filtros passa-alta e passa-baixa que serão usados como passagens

- **Resolução de Frequência de Otimização de Passagem:** define a resolução de frequência (em pontos por oitava) que o instrumento de equalização de canal amplificado usa para as computações de otimização de passagem.

- **Suavização de Frequência de Otimização de Passagem:** define a janela de suavização (em pontos) que o instrumento de equalização de canal amplificado usa para as computações de otimização de passagem.

- **Matriz de Microfone de Otimização de Passagem:** define quais microfones devem ser usados para as computações de otimização de passagem para cada grupo de canais com passagens aplicadas.

- **Restrições de Otimização de Passagem Paramétrica:** definem os valores mínimo e máximo para a frequência de filtro, Q e inclinação.

- **Vetor Lógico de Polaridade:** define se o otimizador de passagem tem permissão para alterar a polaridade de um dado canal. (por exemplo, 0 para não permitido, 1 para permitido).

- **Vetor Lógico de Atraso:** define se o otimizador de passagem tem permissão para alterar o atraso de um dado canal na computação de parâmetros de passagem ótimos.

- **Matriz de Restrição de Atraso:** define a alteração no atraso que o otimizador de passagem pode usar para computar um conjunto

ótimo de parâmetros de passagem. Ativo apenas se o vetor lógico de atraso permitir.

Parâmetros de Otimização de Atraso

- Atraso em Excesso de Canal Amplificado: define qualquer atraso adicional (não coerente) para adicionar aos canais amplificados específicos (em segundos).

- Matriz de medição.

Parâmetros de Otimização de Ganho

- Ganho em Excesso de Canal Amplificado: define um ganho adicional para adicionar aos canais amplificados específicos.

- Matriz de medição.

Parâmetros de Otimização de Graves

- Matriz de Canal que Produz Graves: define quais canais são definidos como produtores de graves e devem, então, ter a otimização de graves aplicada.

- Vetor Lógico de Filtro de Fase: variáveis binárias para cada canal fora do gerenciador de graves que definem se a compensação de fase pode ser aplicada àquele canal.

- Contagem Biquadrática de Filtro de Fase: define a quantidade máxima de filtros de fase a ser aplicada a cada canal se permitido pelo Vetor Lógico de Filtro de Fase.

- Matriz de Microfone de Otimização de Graves: define quais microfones devem ser usados para as computações de otimização de graves para cada grupo de canais que produzem graves.

- Matriz de medição.

Parâmetros de Otimização Não-linear

- Arranjo de Energia Alvo: define o valor máximo de energia alvo para cada canal amplificado no sistema.

- Arranjo de Distorção Alvo: define a distorção máxima

permissível para cada canal amplificado no sistema.

Parâmetros de Função-alvo

- Função-alvo: define os parâmetros ou pontos de dados da função-alvo conforme aplicados a cada canal fora do processador espacial. (por exemplo, frontal esquerdo, central, frontal direito, traseiro esquerdo, traseiro direito).

Simulador de Aplicação de Definições

- Planejamento(s) de simulação: fornece a informação selecionável para incluir em cada simulação

- Tabela de Ordem: designa uma ordem, ou sequência na qual as definições são geradas.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada que compreende:

um processador (104);

pelo menos um instrumento (408, 410, 412, 414, 416, 418, 420) executável com o processador para obter dados de impedância de pelo menos dois dos alto-falantes (106), os pelo menos dois alto-falantes são configurados para serem acionados por um sistema de áudio (100) para produzir som audível;

o instrumento adicionalmente executável com o processador para obter os dados relacionados ao desempenho representativos de operação cooperativa dos pelo menos dois alto-falantes no sistema de áudio para produzir som audível, os dados relativos a desempenho sendo funções de transferência de alto-falante medidas ou simuladas representativas;

caracterizado pelo fato de que:

o instrumento adicionalmente executável com o processador para obter uma resposta acústica alvo e um fator de medição de eficiência de energia representativo de um grau desejado de eficiência de energia no sistema de áudio; e

o instrumento adicionalmente executável com o processador para gerar parâmetros operacionais com base na resposta acústica alvo, nos dados relacionados ao desempenho e nos dados de impedância;

os parâmetros operacionais gerados pelo instrumento para equilibrar o desempenho acústico otimizado e a eficiência de energia otimizada dos pelo menos dois alto-falantes com base no fator de medição de eficiência de energia.

2. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o instrumento é um instrumento de equalização (410), e os parâmetros operacionais incluem parâmetros do projeto de filtro, os parâmetros do projeto de filtro que são definidos pelo instrumento de equalização equilibram a equalização de som audível produzido pelos pelo menos dois alto-falantes e o consumo de energia dos pelo menos dois alto-falantes com base no fator de medição de eficiência de energia.

3. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o instrumento é um instrumento de passagem (416), e os parâmetros operacionais incluem parâmetros do projeto de filtro, sendo que os parâmetros do projeto de filtro são definições de passagens definidas pelo instrumento de passagem para uma frequência de passagem que equilibra o desempenho acústico de pelo menos um dos pelo menos dois alto-falantes e o consumo de energia de pelo menos um dos pelo menos dois alto-falantes com base no fator de medição de eficiência de energia.

4. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o instrumento é um instrumento de otimização de graves (418), e os parâmetros operacionais incluem os parâmetros do projeto de filtro que fornecem uma mudança de fase de sinais de áudio que acionam os pelo menos dois alto-falantes, um grau de mudança de fase é definido pelo instrumento de otimização de graves para equilibrar o desempenho acústico cooperativo dos pelo menos dois alto-falantes e o consumo de energia dos pelo menos dois alto-falantes com base no fator de medição de eficiência de energia.

5. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que o instrumento é adicionalmente executável para calcular os dados de impedância de cada um dos pelo menos dois alto-falantes com base em pelo menos duas de uma grandeza de corrente, uma grandeza de voltagem e uma grandeza de energia que são fornecidas aos pelo menos dois alto-falantes.

6. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o instrumento é adicionalmente executável para acessar uma curva de impedância predeterminada armazenada para cada um dos pelo menos dois alto-falantes para obter os dados de impedância.

7. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os dados relacionados ao desempenho compreendem dados in-situ que representam a operação cooperativa real dos pelo menos dois alto-falantes para produzir som audível em um espaço de escuta.

8. Sistema de sintonização de áudio com eficiência de energia automatizada, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os dados relacionados ao desempenho compreendem dados in-situ que representam a simulação de operação cooperativa dos pelo menos dois alto-falantes para produzir som audível em um espaço de escuta.

9. Método de desempenhar a sintonização de eficiência de energia automatizada de um sistema de áudio, que compreende:

obter dados de impedância de pelo menos dois alto-falantes (106) com um processador (104), os pelo menos dois alto-falantes são configurados para serem acionados por um sistema de áudio (100) para produzir som audível;

obter dados relacionados ao desempenho com o

processador, os dados relacionados ao desempenho são representativos de operação cooperativa dos pelo menos dois alto-falantes no sistema de áudio para produzir som audível, os dados relacionados a desempenho sendo funções de transferência de alto-falante medidas ou simuladas representativas;

caracterizado pelo fato de que:

com o processador que obtém uma resposta acústica alvo para o sistema de áudio e um fator de medição de eficiência de energia representativo de um grau de eficiência de energia exigido dos pelo menos dois alto-falantes no sistema de áudio;

gerar parâmetros operacionais para o uso no sistema de áudio com um instrumento (408, 410, 412, 414, 416, 418, 420) para otimizar o desempenho acústico dos pelo menos dois alto-falantes com base na resposta acústica alvo e nos dados relacionados ao desempenho e os dados de impedância; e

equilibrar a otimização de desempenho acústico e otimização de eficiência de energia com o instrumento através do ajuste dos parâmetros operacionais com base nos dados de impedância e no fator de medição de eficiência de energia.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que gerar parâmetros operacionais compreende gerar parâmetros do projeto de filtro para pelo menos um de um filtro de passagem total e um filtro de corte que são usados para filtrar um sinal de áudio, a partir do qual os pelo menos dois alto-falantes são acionados.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, caracterizado pelo fato de que equilibrar a otimização compreende ajustar uma definição de passagem de um sinal de áudio, a partir do qual os pelo menos dois alto-falantes são acionados para identificar o consumo de energia ótimo e o desempenho acústico ótimo dos pelo

menos dois alto-falantes de acordo com o fator de medição de eficiência de energia.

12. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 11, caracterizado pelo fato de que os pelo menos dois alto-falantes incluem um primeiro alto-falante capaz de gerar uma primeira onda de som quando acionado por um primeiro sinal de áudio, e um segundo alto-falante capaz de gerar uma segunda onda de som quando acionado por um segundo sinal de áudio, e onde equilibrar a otimização compreende minimizar uma grandeza do primeiro sinal de áudio e do segundo sinal de áudio ao otimizar a adição construtiva da primeira e da segunda ondas de som correspondentes em um espaço de escuta ao ajustar uma definição de fase do primeiro sinal de áudio com relação ao segundo sinal de áudio de acordo com o fator de medição de eficiência de energia.

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 12, caracterizado pelo fato de que equilibrar a otimização compreende gerar as definições de equalização para a aplicação nos respectivos sinais de áudio que acionam os pelo menos dois alto-falantes e ao ajustar as definições de equalização de acordo com o fator de medição de eficiência de energia para restringir, de maneira apropriada, o consumo de energia através dos pelo menos dois alto-falantes.

14. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 13, caracterizado pelo fato de que equilibrar a otimização compreende gerar definições de ganho para a aplicação nos sinais de áudio que acionam, respectivamente, os pelo menos dois alto-falantes para otimizar o desempenho acústico, e atenuar as definições de ganho de acordo com o fator de medição de eficiência de energia.

15. Método, de acordo com qualquer uma das

reivindicações 9 a 14, caracterizado pelo fato de que equilibrar a otimização compreende gerar as definições de equalização e as definições de passagem para a aplicação nos respectivos sinais de áudio que acionam os pelo menos dois alto-falantes, e primeiro, ajustar as definições de equalização seguidas pelas definições de passagem de acordo com o fator de medição de eficiência de energia para restringir, de maneira apropriada, o consumo de energia através dos pelo menos dois alto-falantes.

16. Meio de armazenamento legível por computador para armazenar código executável na forma de instruções, o meio de armazenamento legível por computador que compreende:

instruções executáveis por um processador (104) para obter dados de impedância de pelo menos dois alto-falantes (106), os pelo menos dois alto-falantes configurados para serem acionados por um sistema de áudio (100) para produzir som audível;

instruções executáveis pelo processador para obter dados relacionados ao desempenho representativos de operação cooperativa dos pelo menos dois alto-falantes no sistema de áudio para produzir som audível, os dados relacionados ao desempenho sendo funções de transferência de alto-falante medidas ou simuladas representativas;

caracterizado pelo fato de que compreende ainda:

instruções executáveis pelo processador para obter uma resposta acústica para o sistema de áudio e um representante de fator de medição de eficiência de energia de um grau de eficiência de energia exigido dos pelo menos dois alto-falantes no sistema de áudio;

instruções executáveis pelo processador para iniciar um instrumento (408, 410, 412, 414, 416, 418, 420) a gerar os parâmetros operacionais para o sistema de áudio otimizar o desempenho acústico dos pelo menos dois alto-falantes com base na comparação de dados relacionados ao desempenho com uma resposta acústica alvo, os

dados relacionados ao desempenho e os dados de impedância; e

instruções para equilibrar a otimização de desempenho acústico com a otimização de eficiência de energia dos pelo menos dois alto-falantes, sendo as otimizações equilibradas com base em um fator de medição de eficiência de energia, o fator de medição de eficiência de energia é representativo de um nível desejado de eficiência de energia do sistema de áudio.

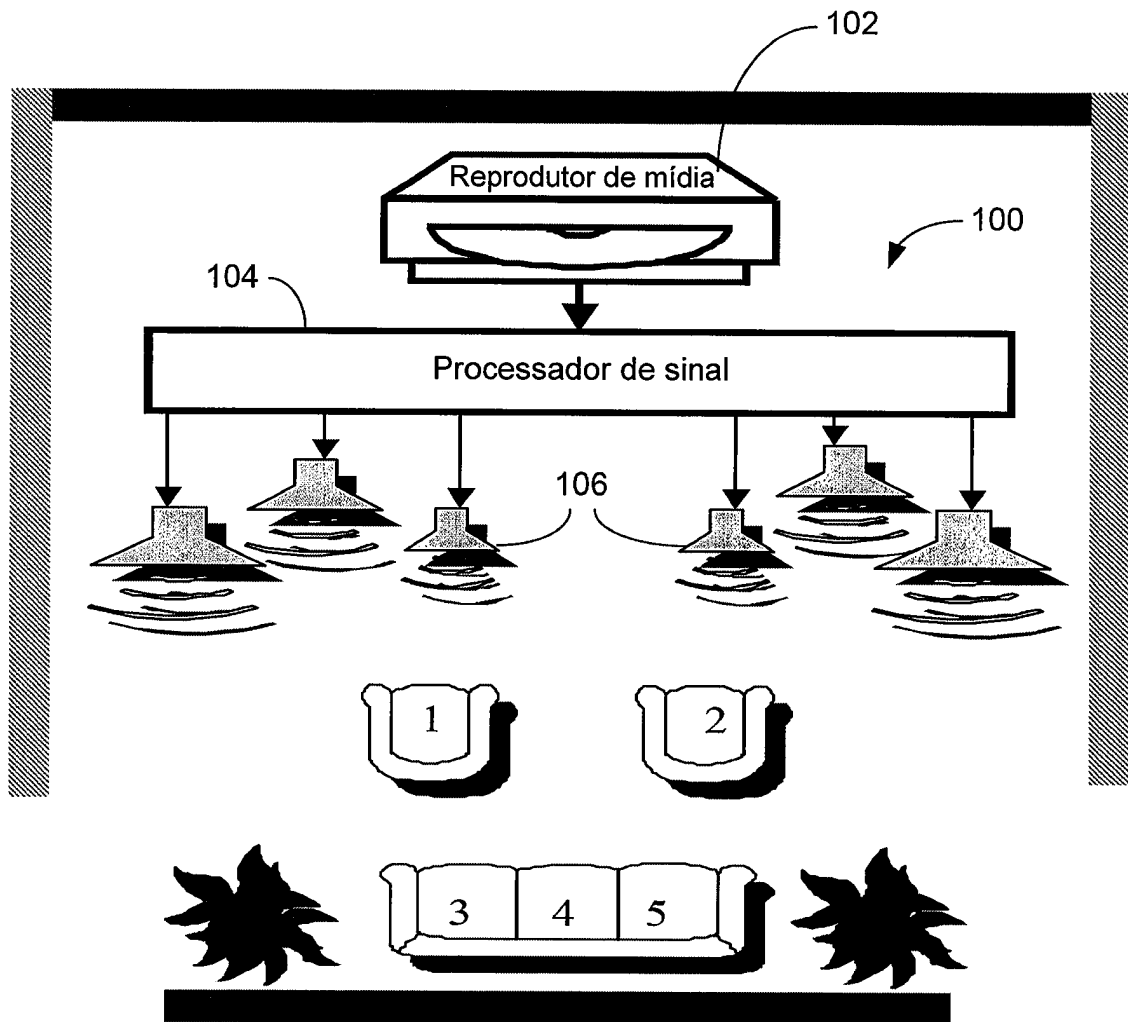


FIG. 1

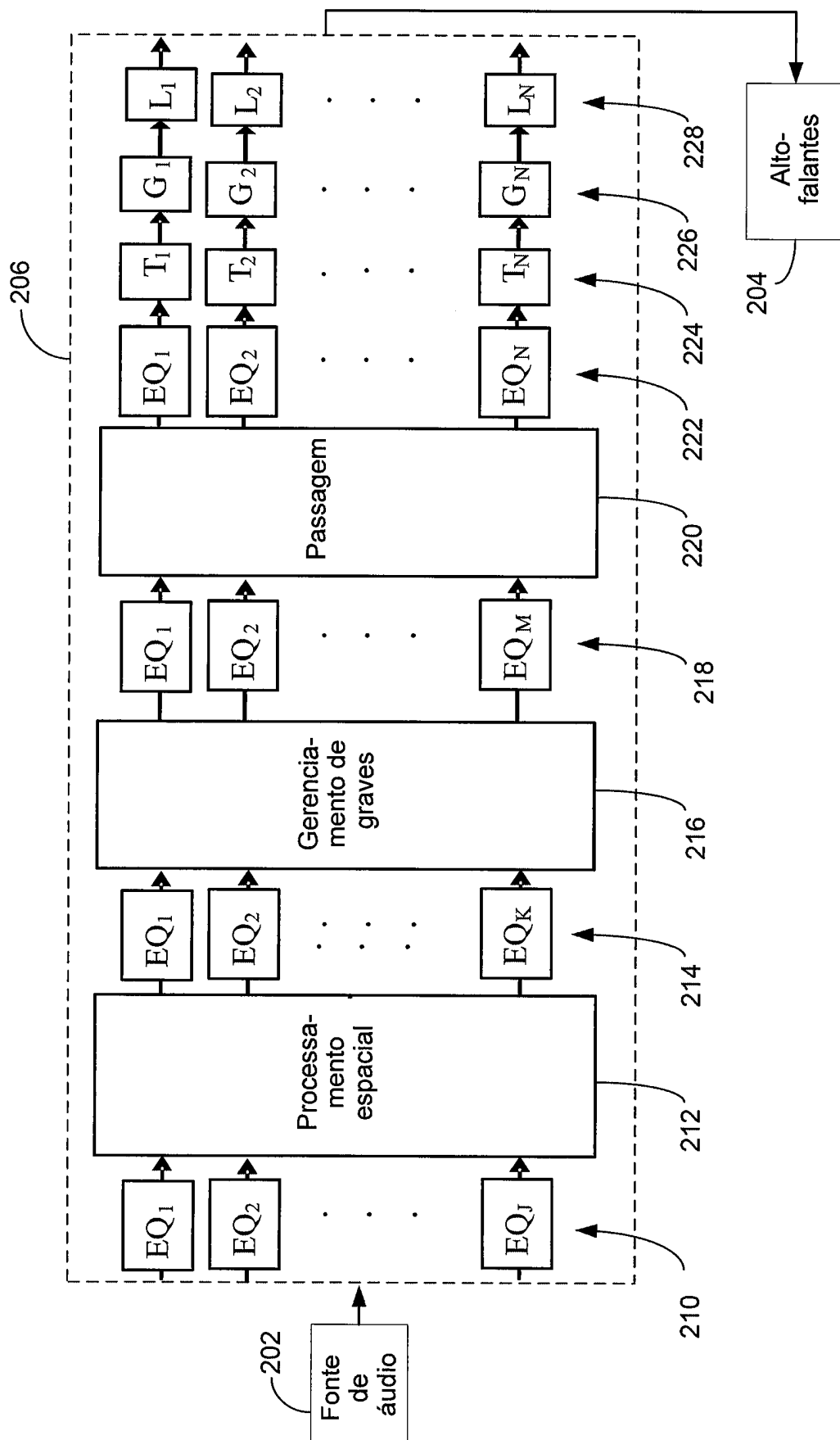


FIG. 2

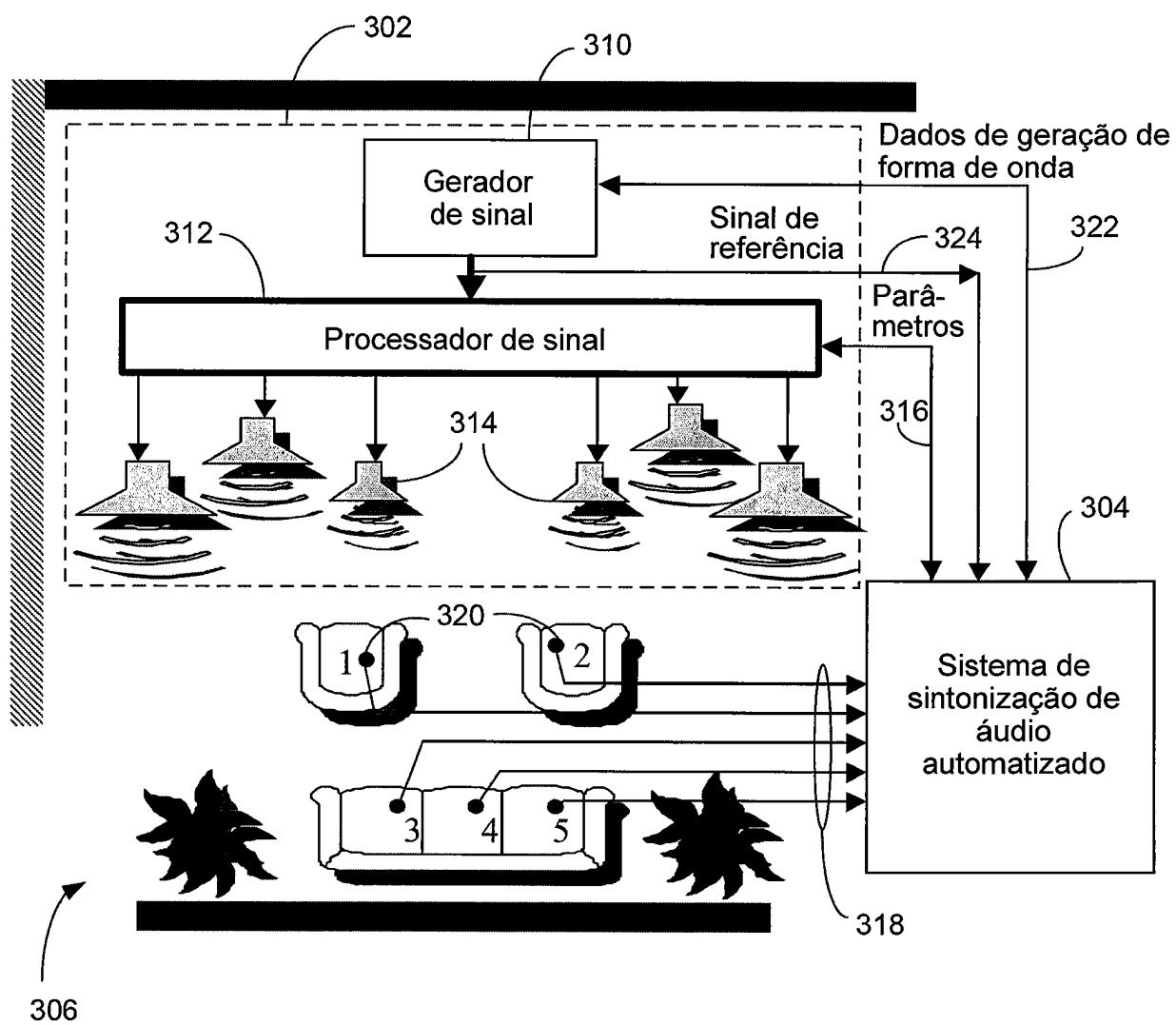


FIG. 3

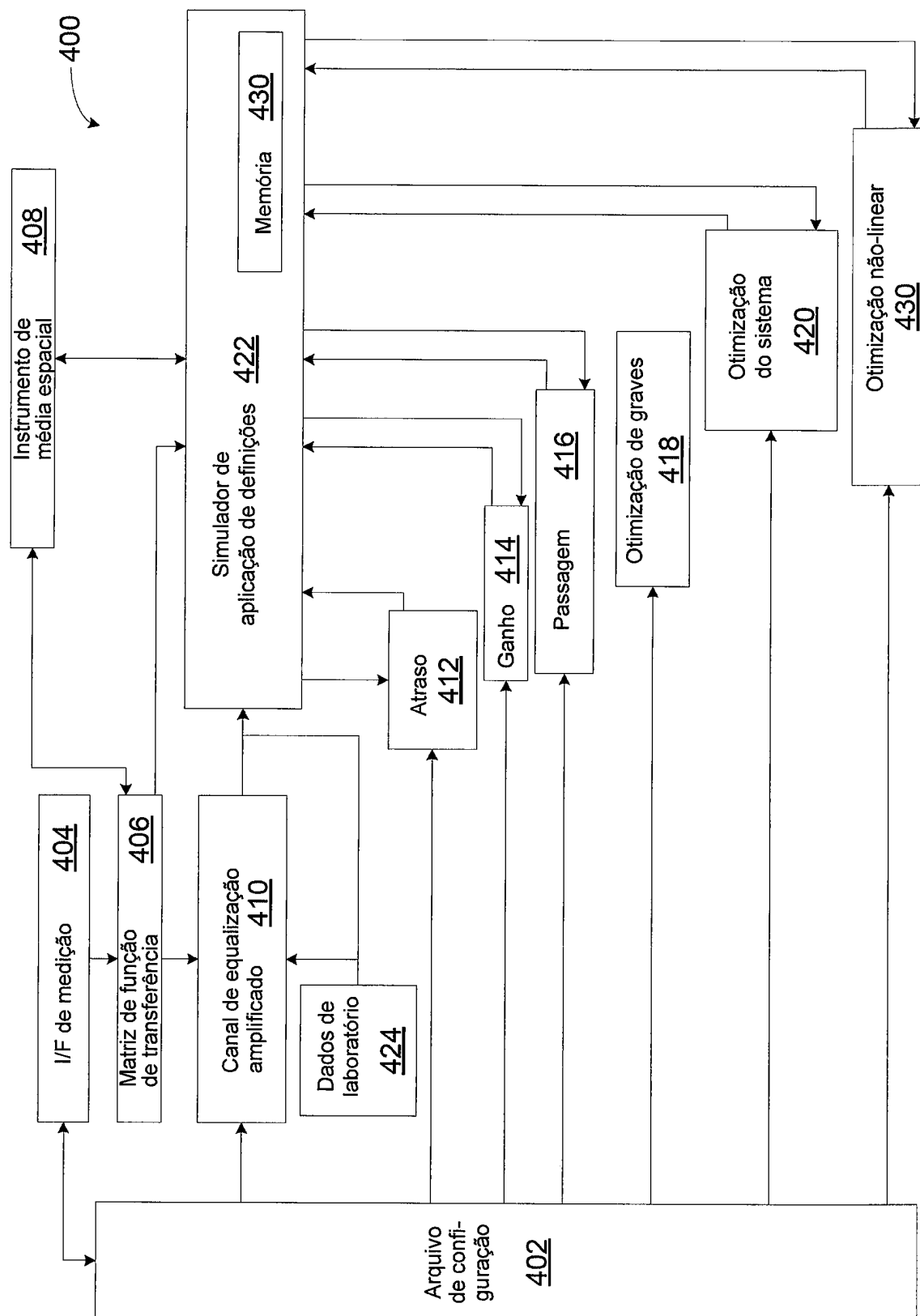


FIG. 4

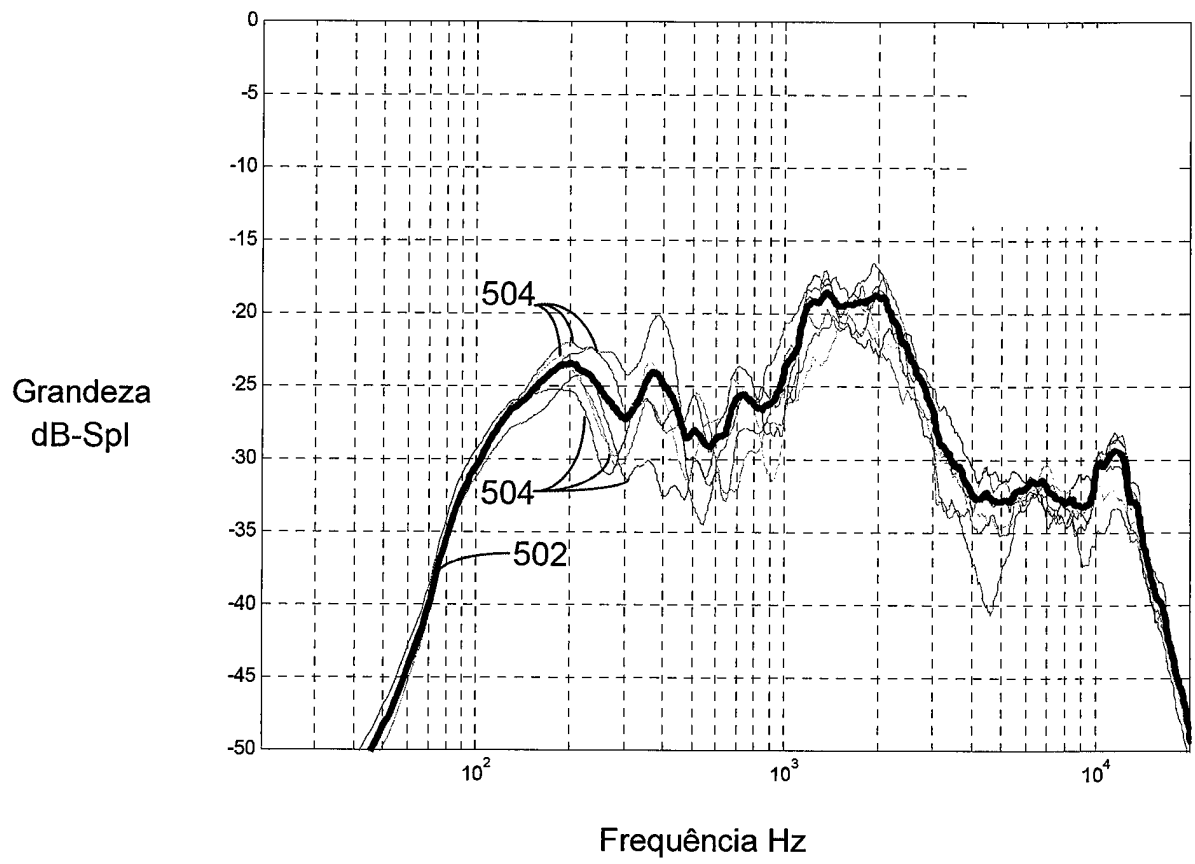


FIG. 5

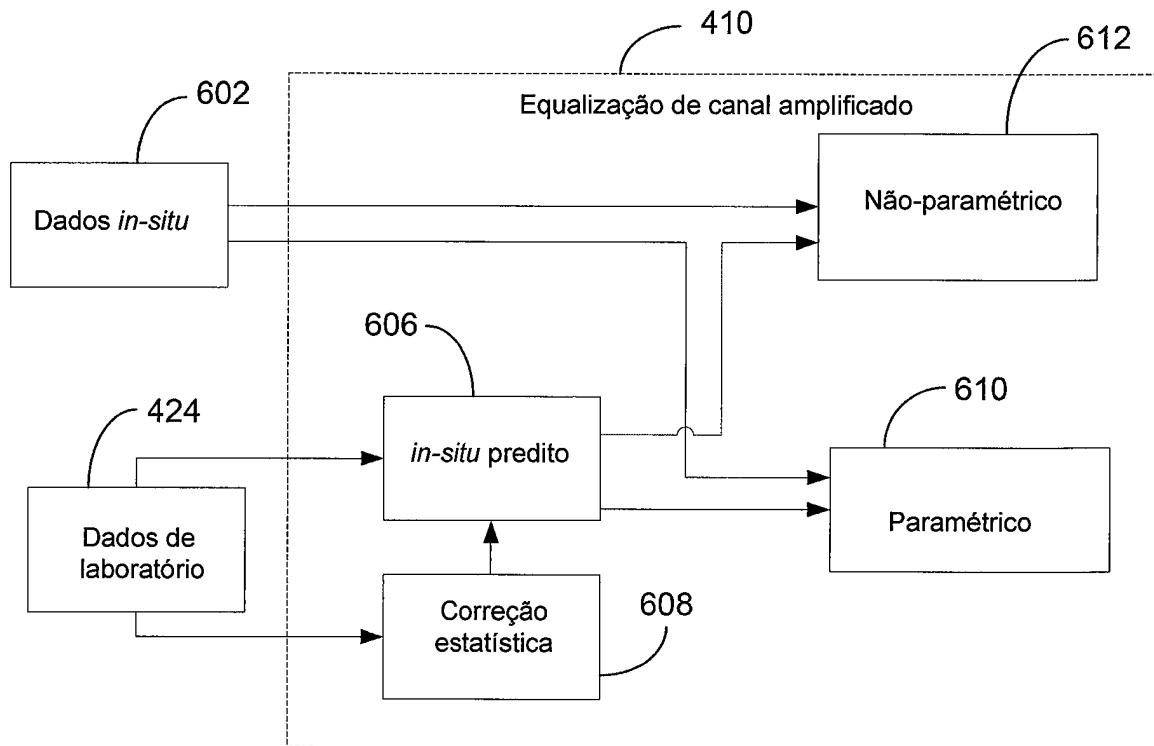


FIG. 6

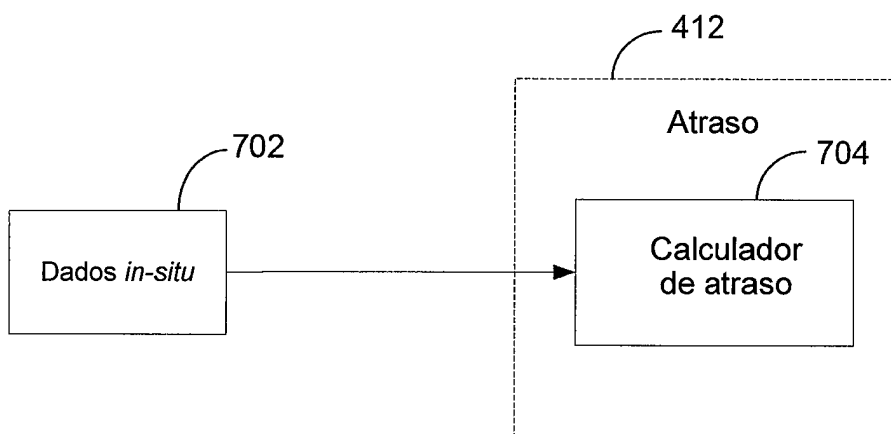


FIG. 7

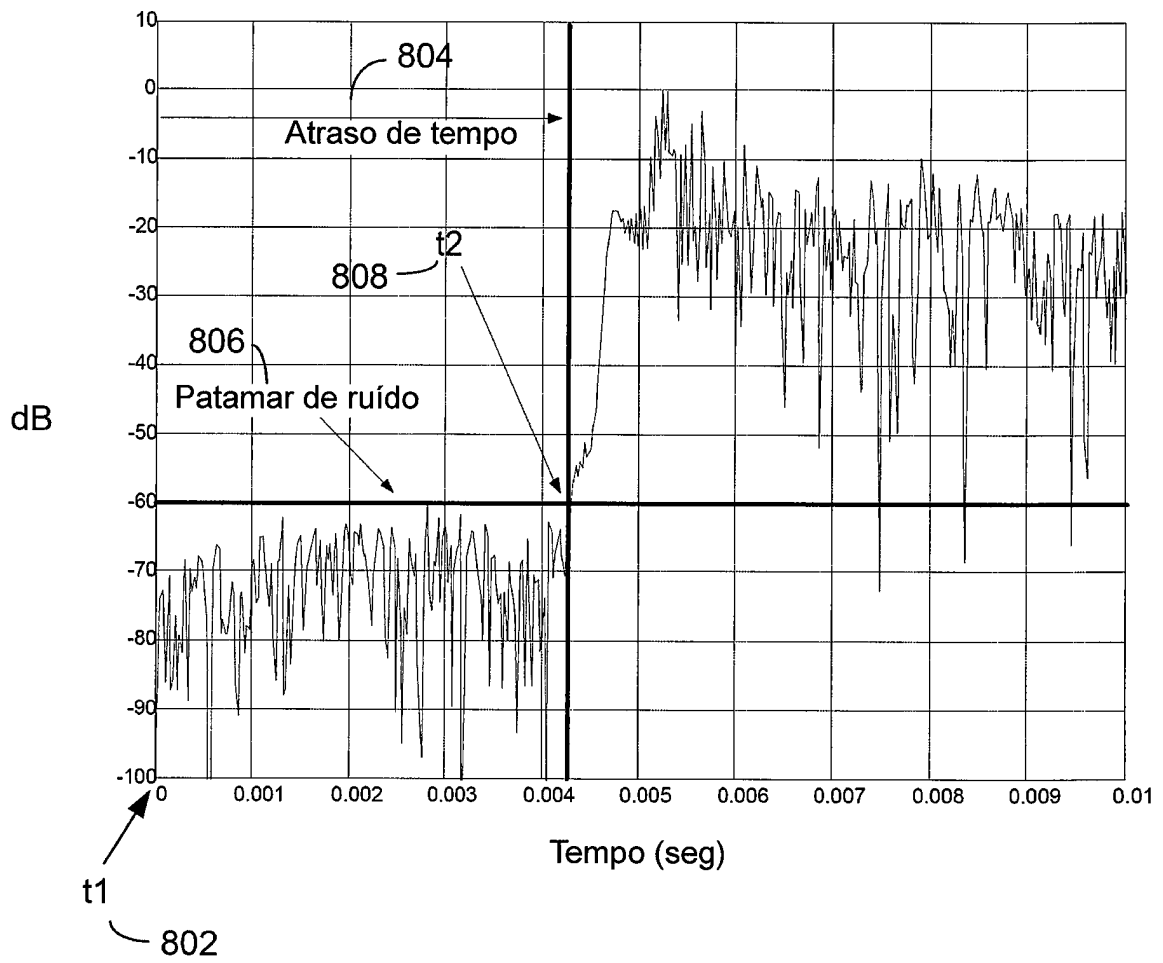


FIG. 8

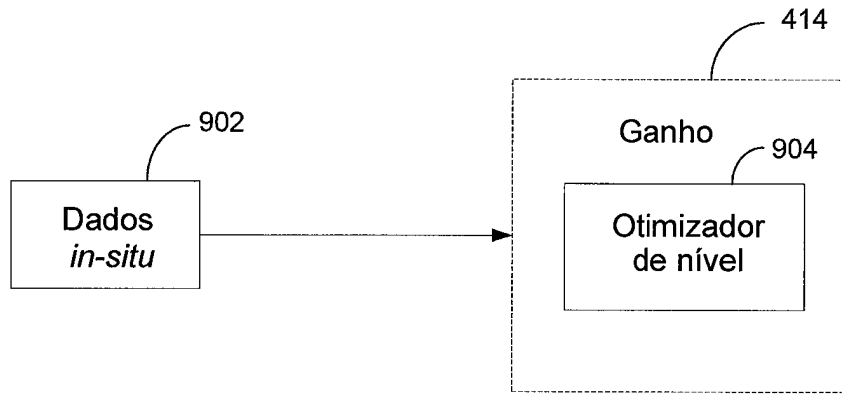


FIG. 9

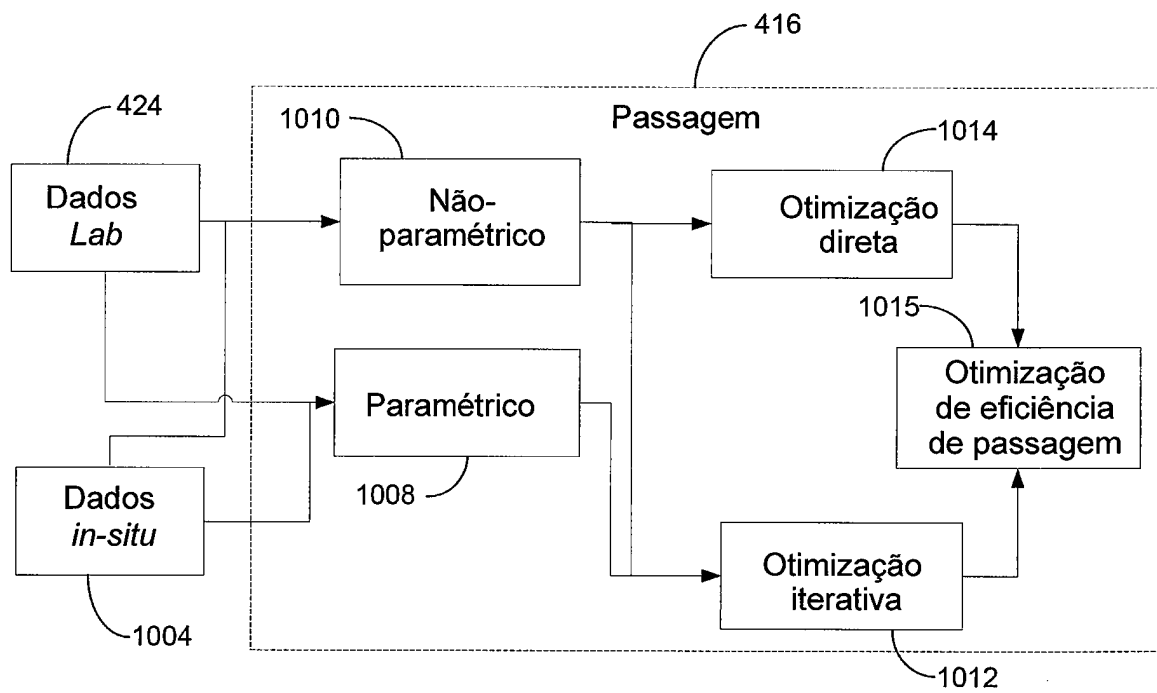


FIG. 10

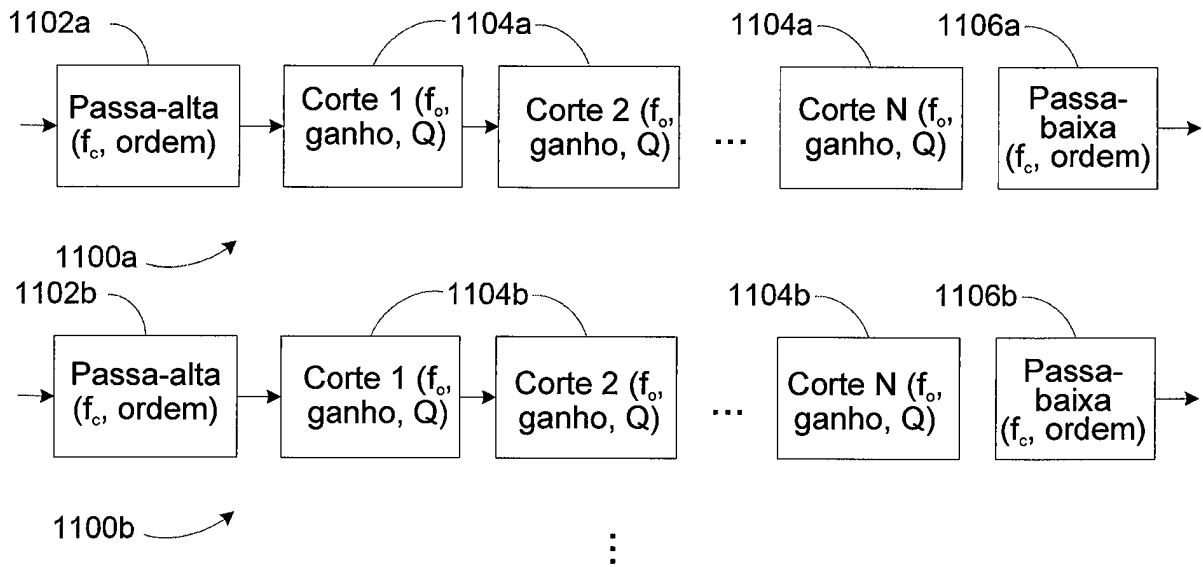


FIG. 11

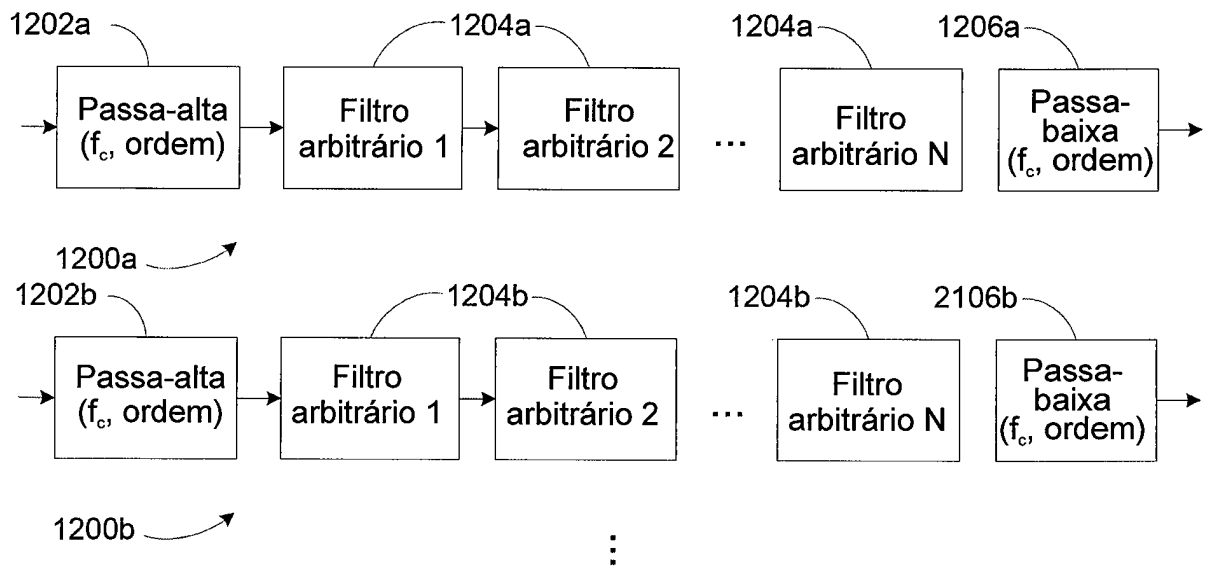


FIG. 12

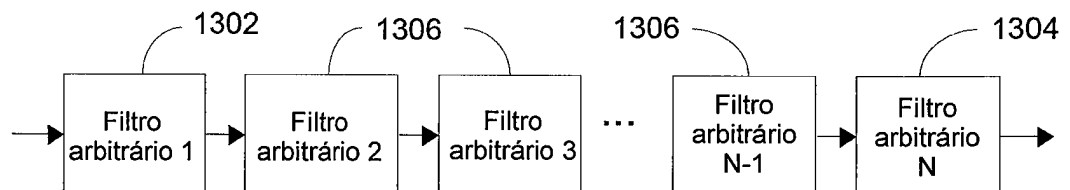


FIG. 13

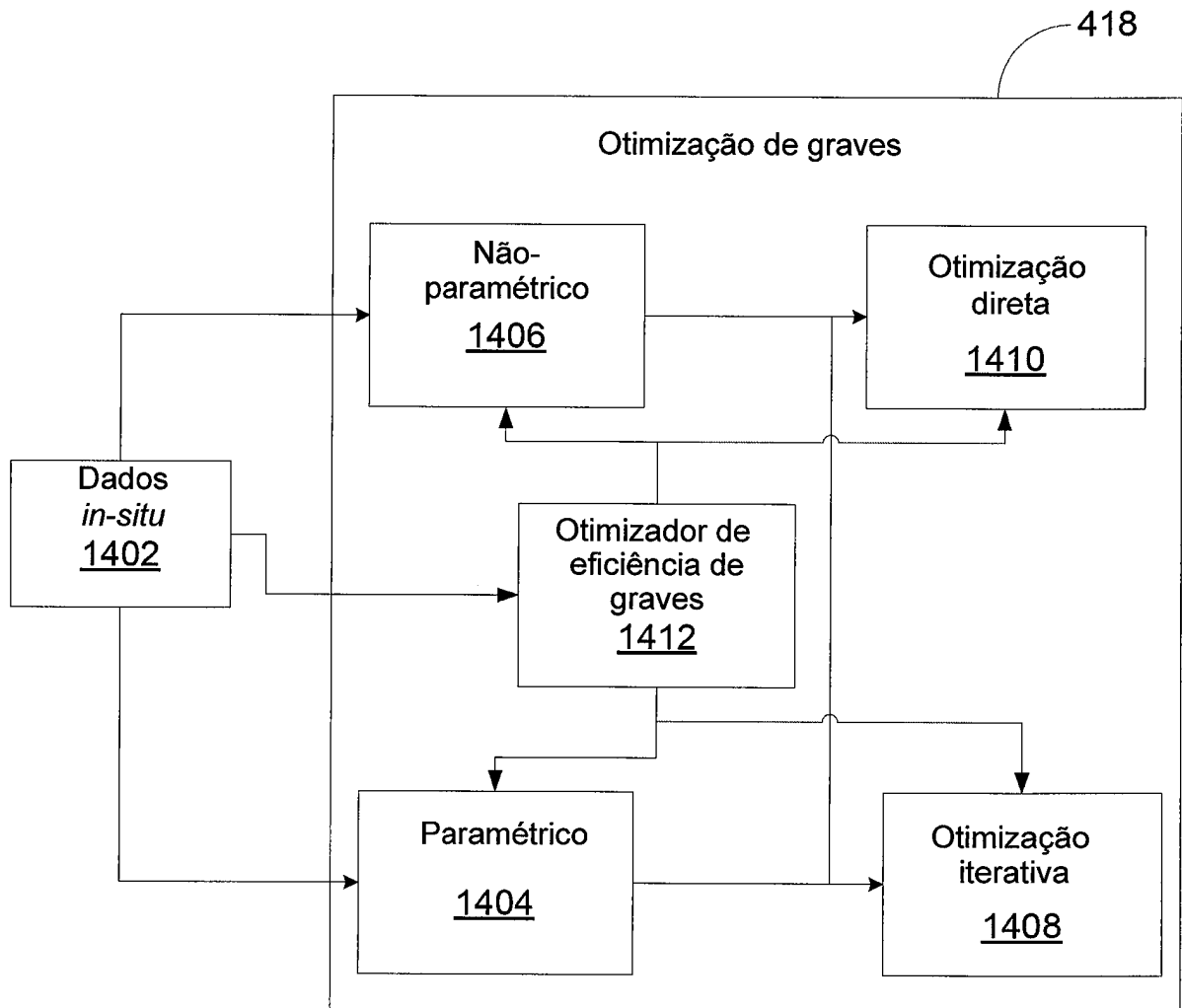


FIG. 14

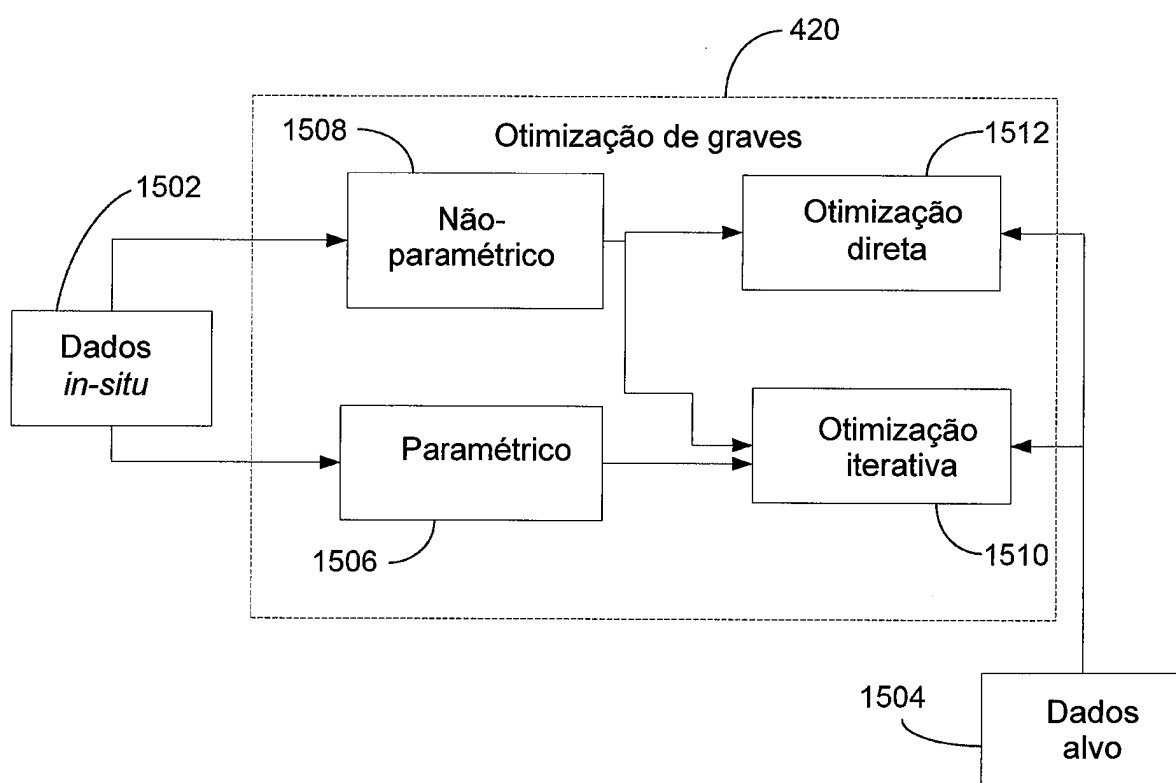


FIG. 15

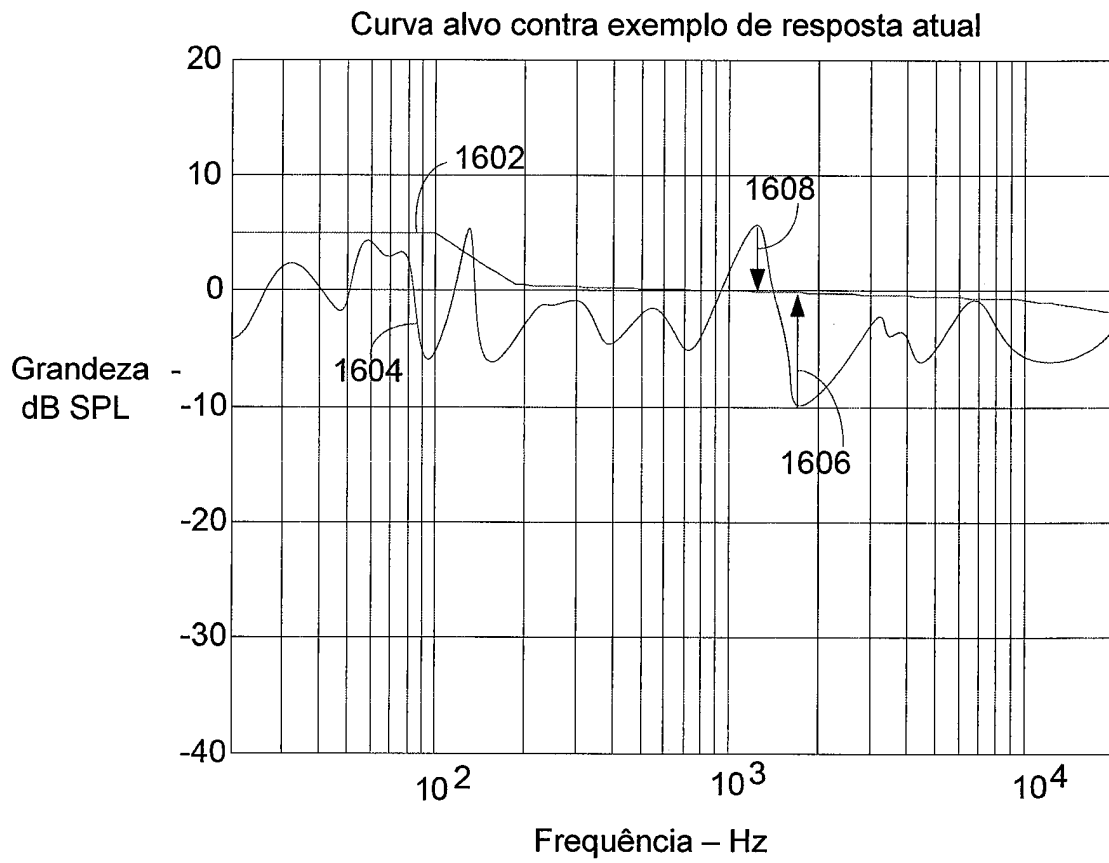


FIG. 16

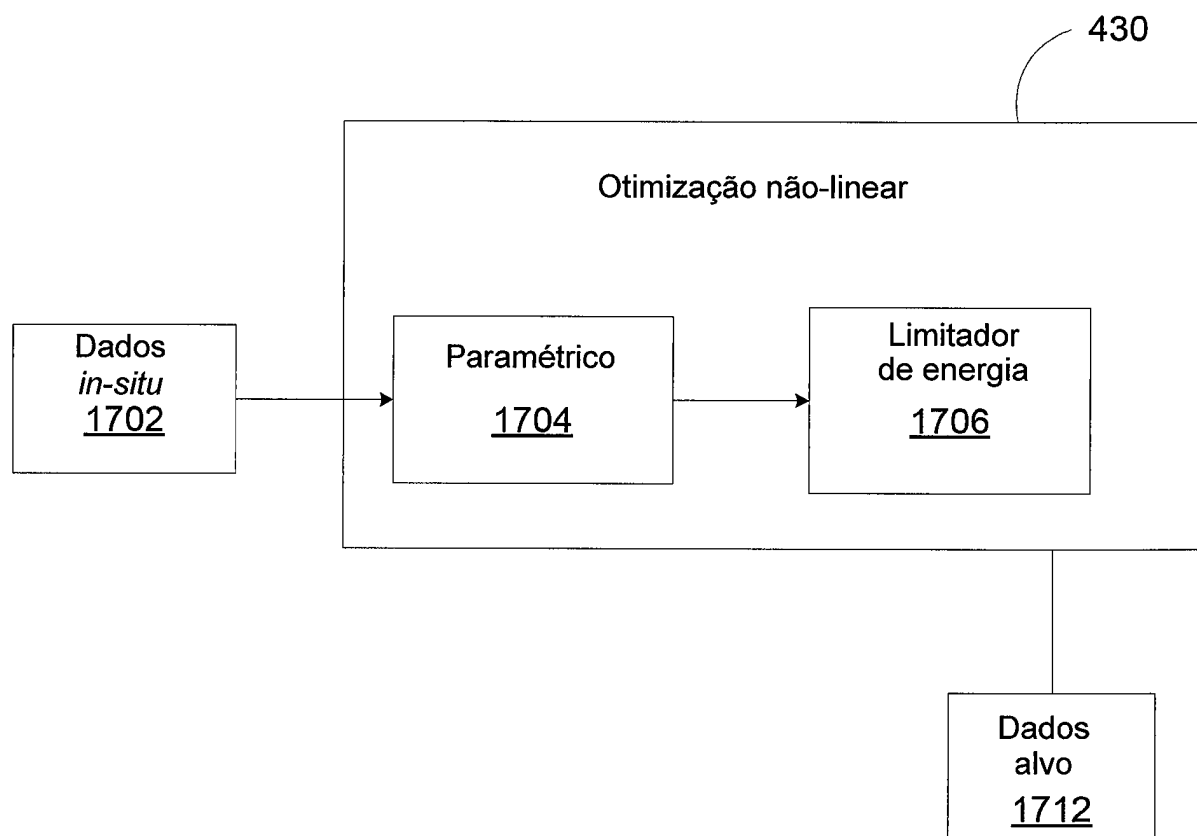


FIG. 17

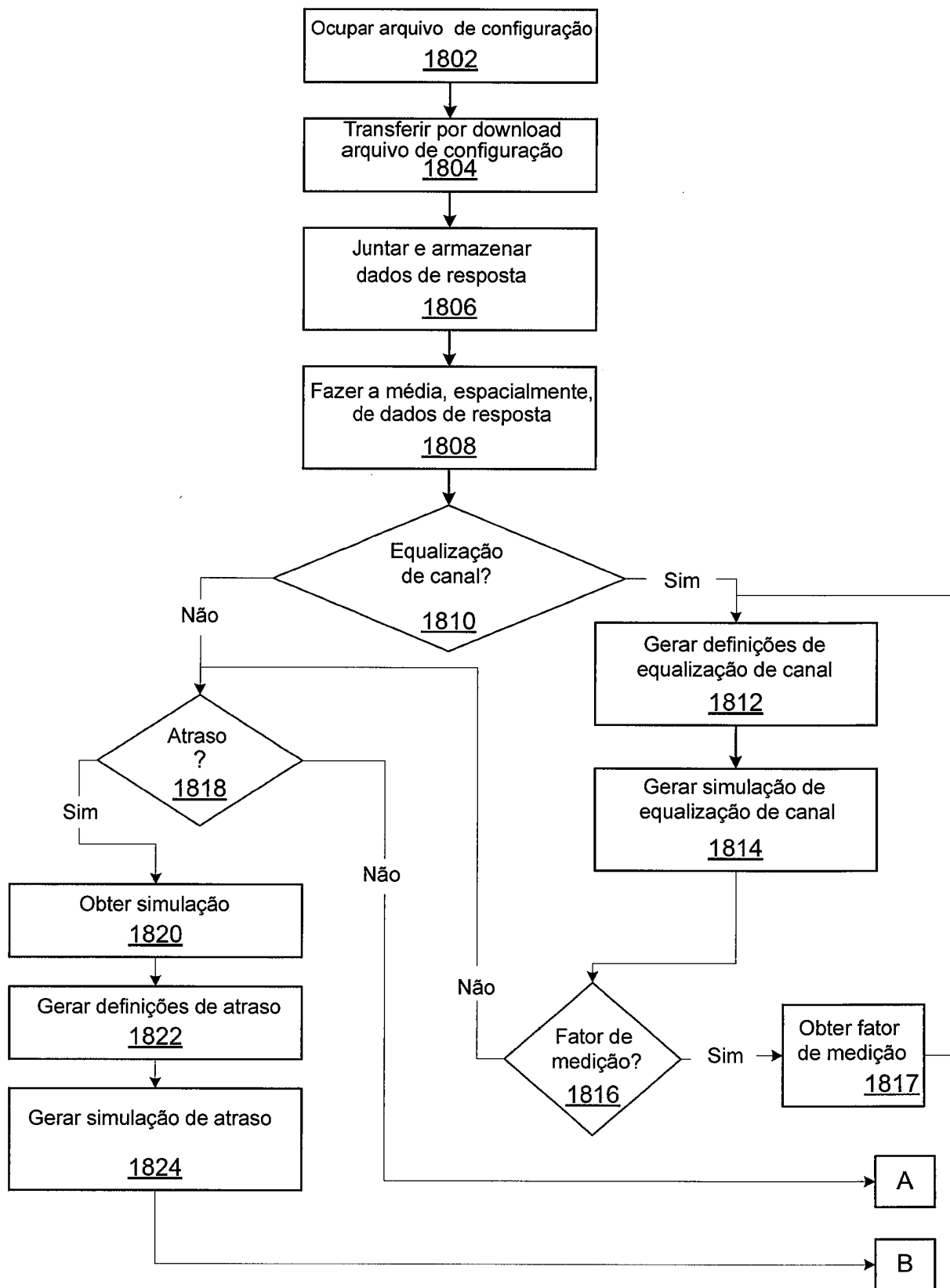


FIG. 18

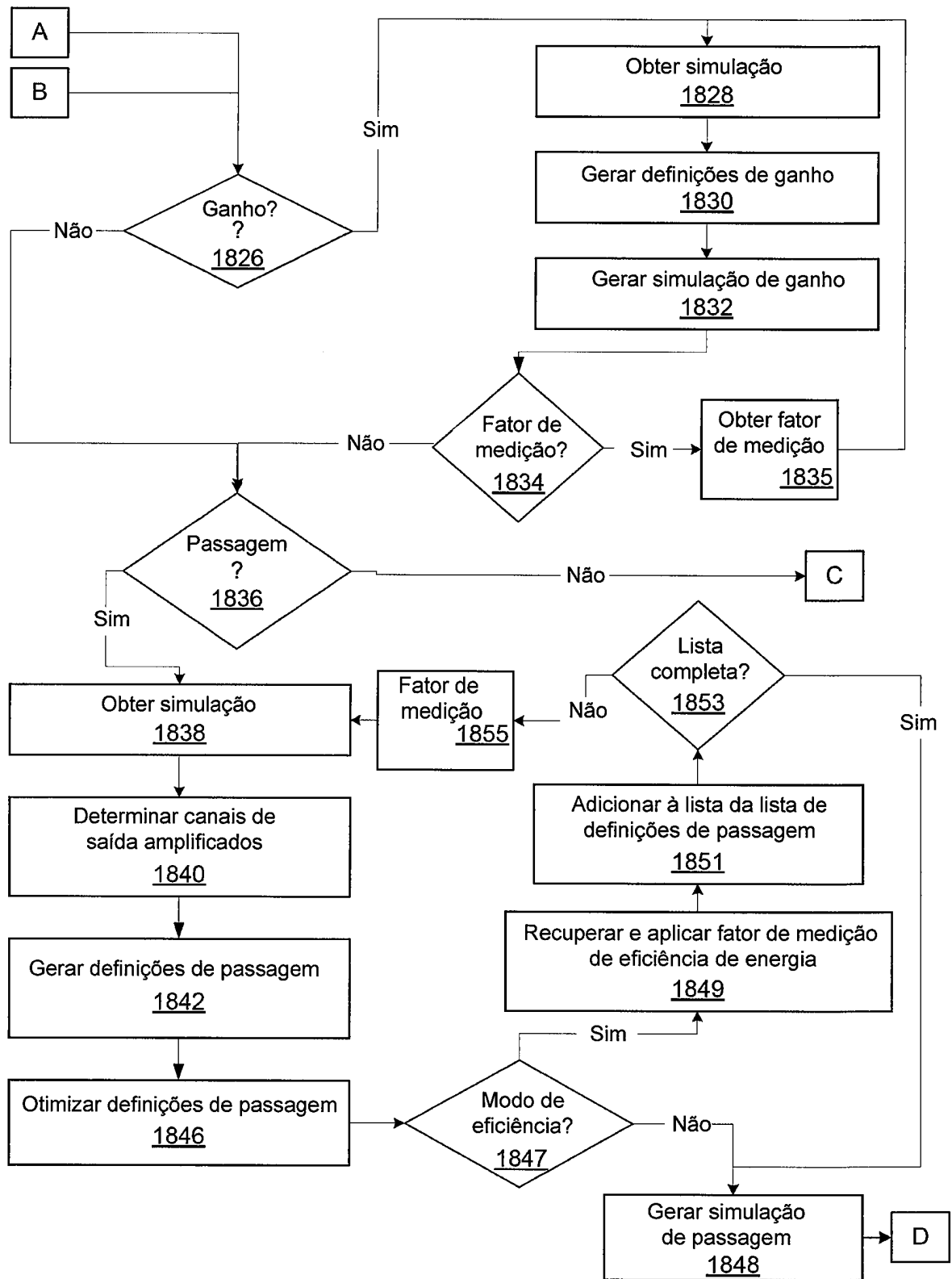


FIG. 19

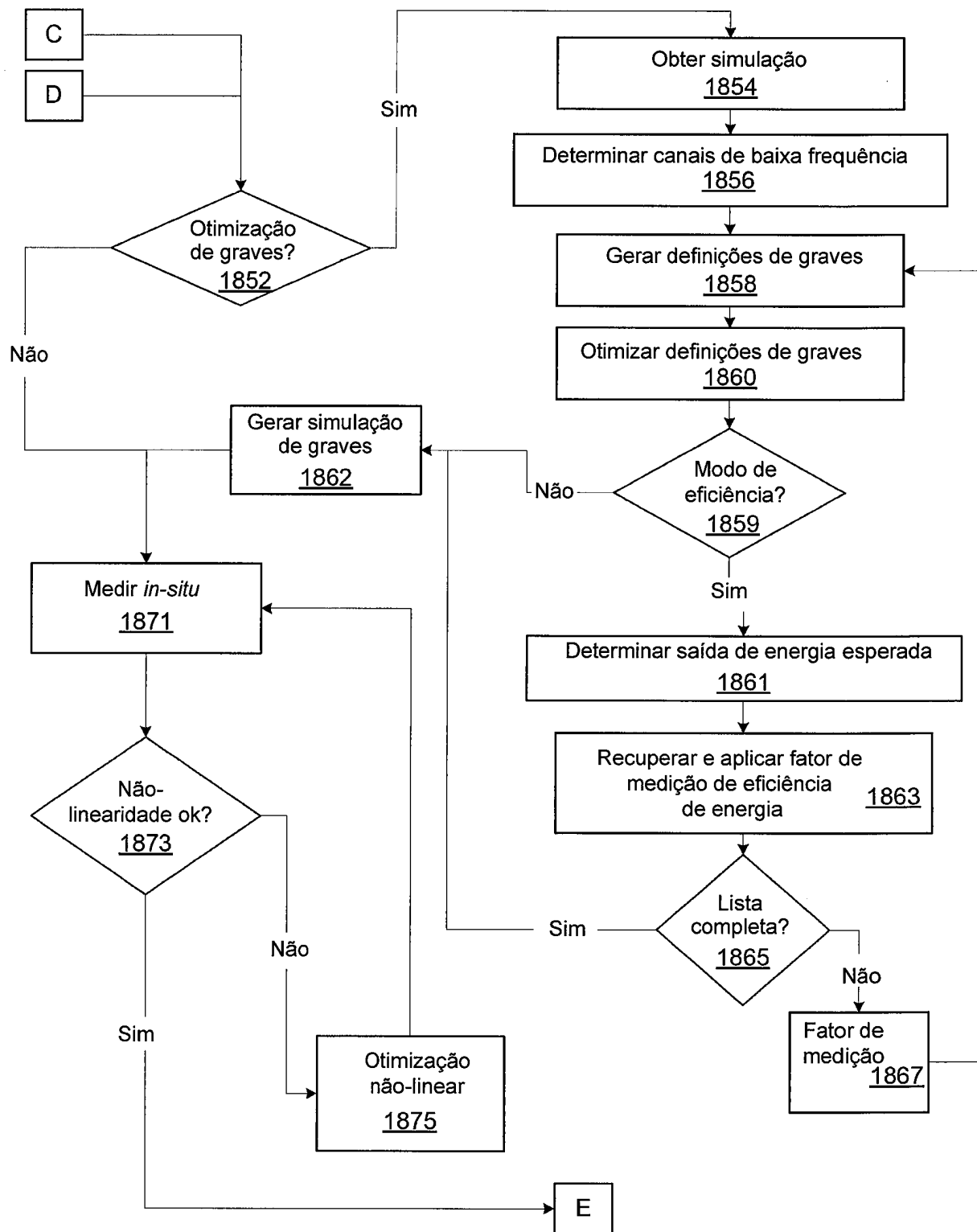


FIG. 20

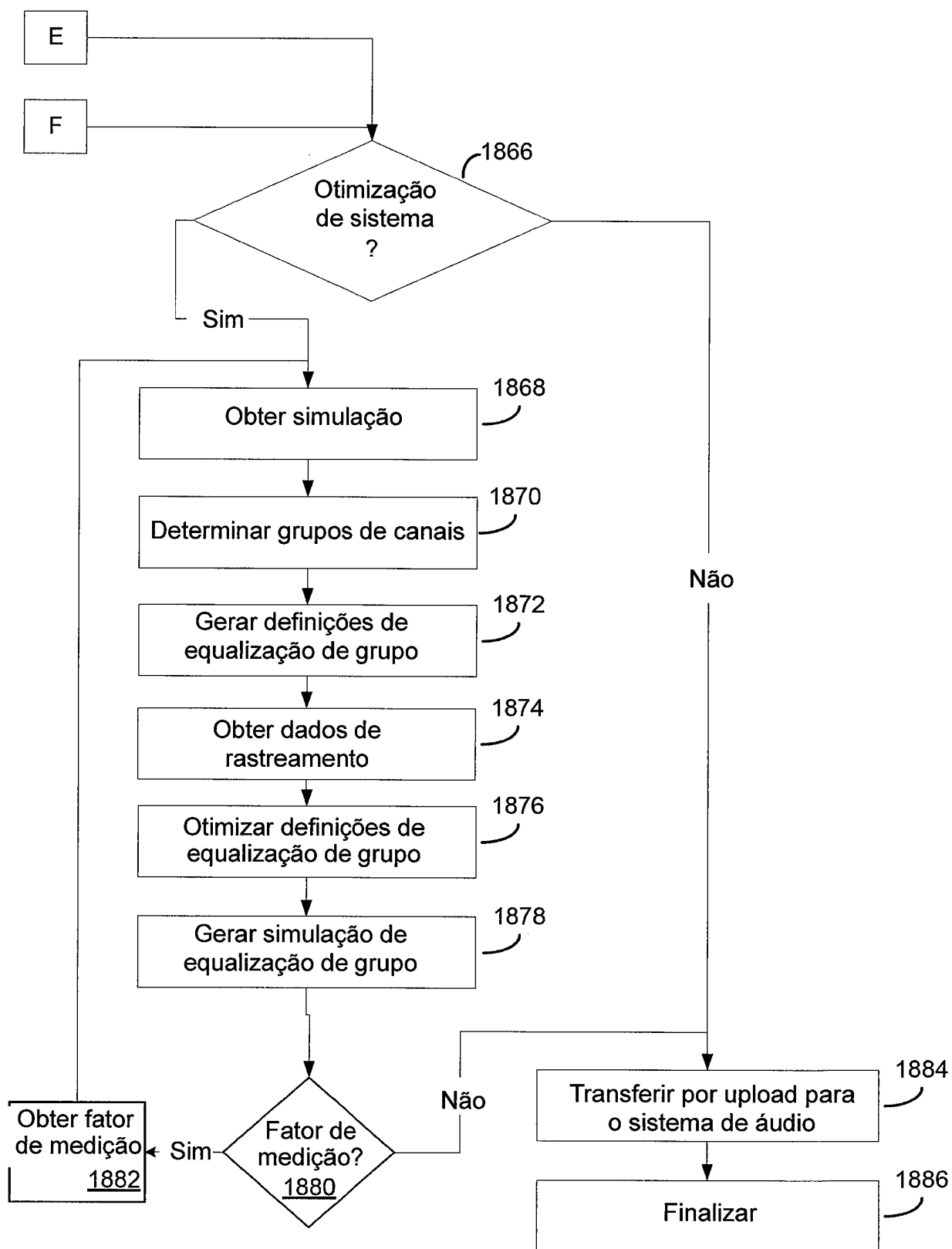
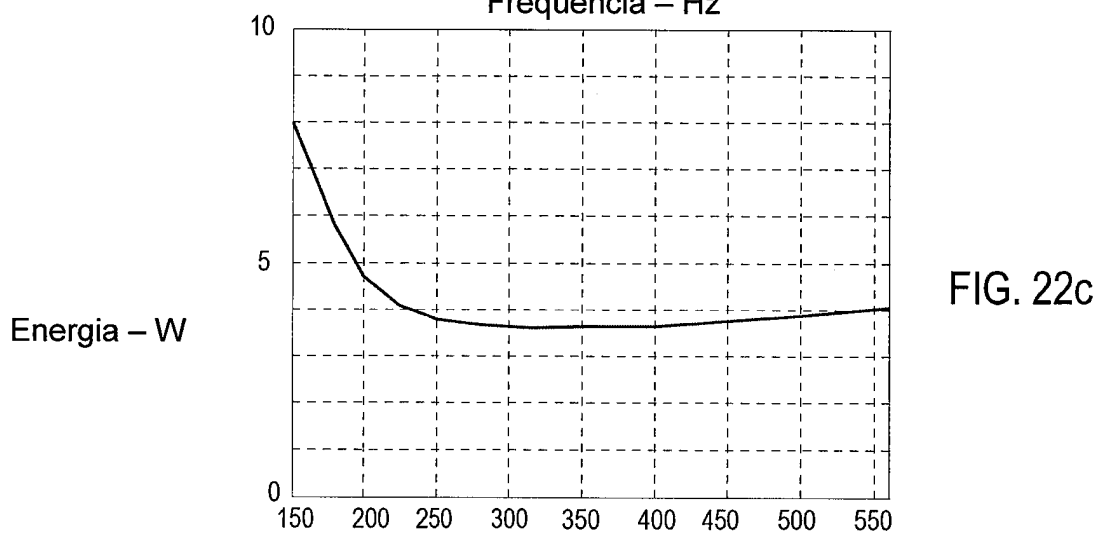
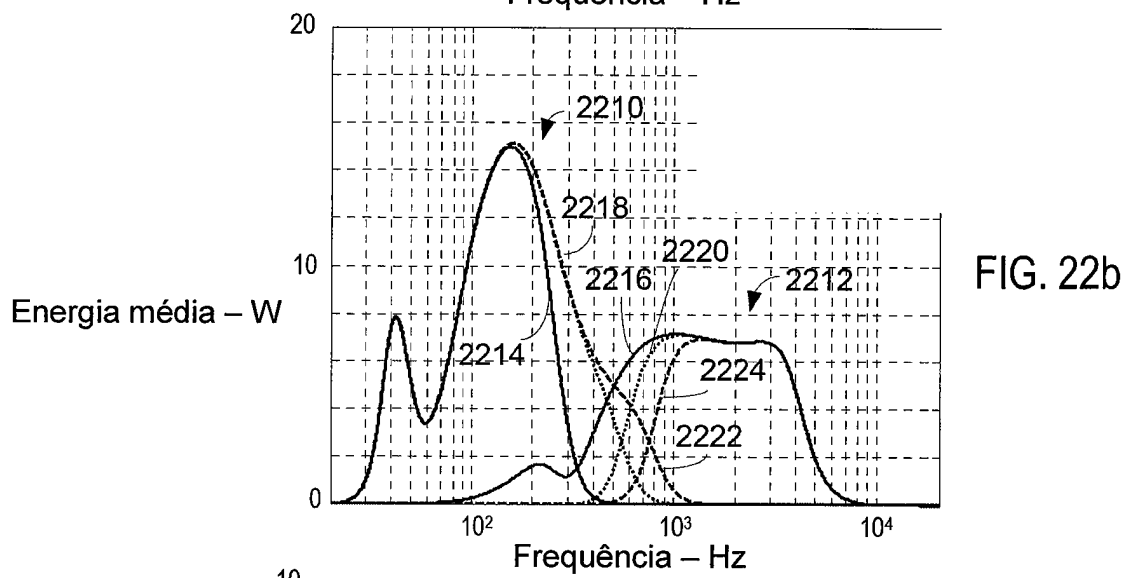
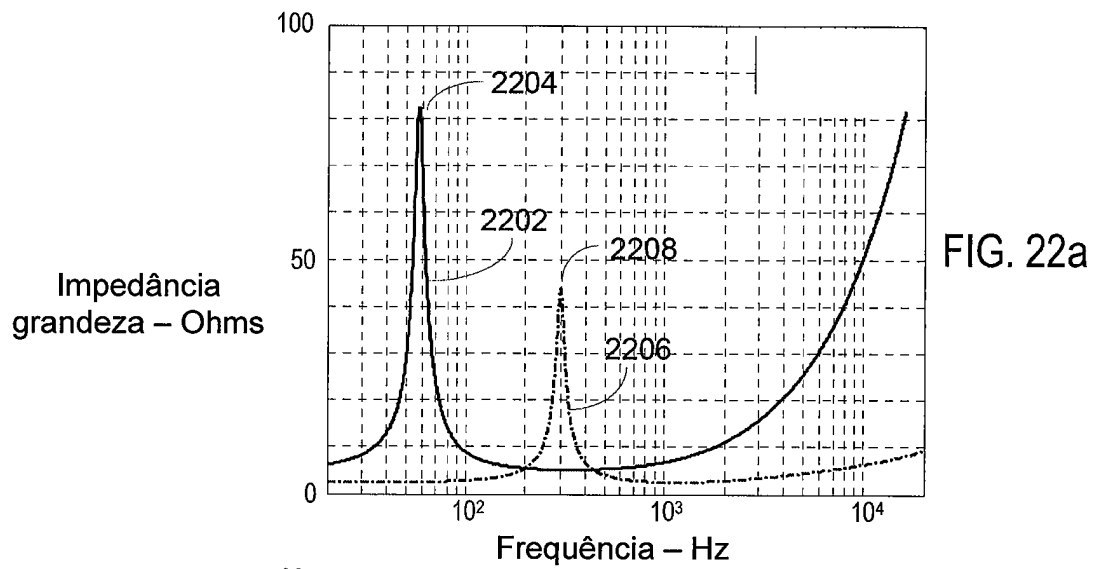


FIG. 21



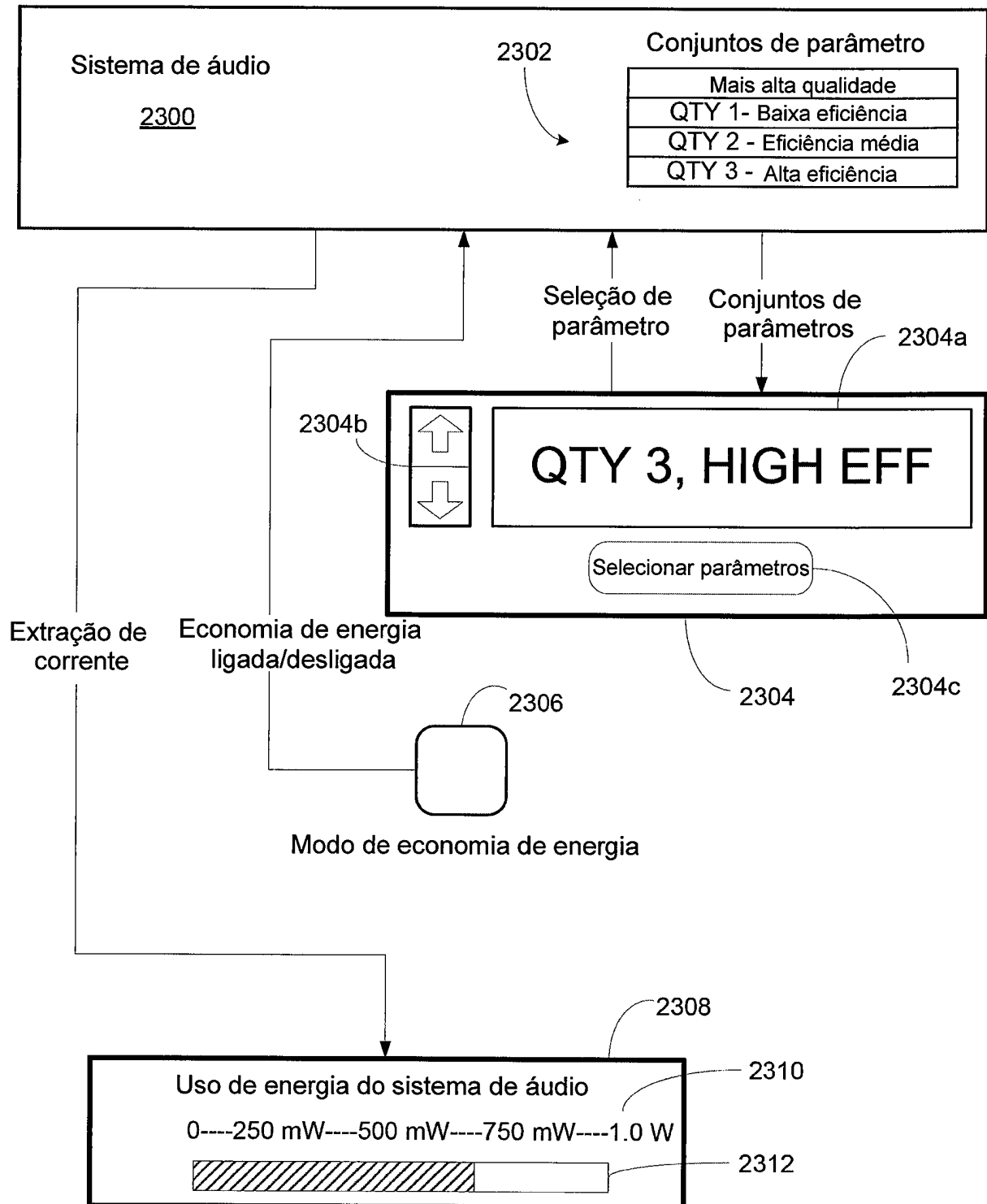


FIG. 23