



Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2021 013474 7

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 2

Nome ou Razão Social: INSTITUTO GNARUS

Tipo de Pessoa: Pessoa Jurídica

CPF/CNPJ: ██████████

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Jurídica: Pessoa Jurídica

Endereço:

Cidade: Itajuba

Estado: MG

CEP:

País: Brasil

Telefone:

Fax:

Email:

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**“MÉTODO E SISTEMA DE INFERÊNCIA PARA
ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES
MOTOGERADORAS”**

Campo da Invenção.

[001] A presente patente de invenção, pertencente à área de geração termelétrica, refere-se a um método e um sistema para realizar a estimação do grau de desgaste e estresse de uma unidade motogeradora a partir do processamento das informações atuais e das informações dos seus históricos de operação.

[002] O método, baseado em análise estatística e o uso de sistema computacional, busca a síntese de sistemas ótimos para uso na geração termelétrica e opera como um módulo paralelo ao sistema supervisorio em uso na sala de controle da UTE – Usina Termelétrica. Ele infere o desgaste e o estresse real sofrido por um motogerador ao longo de sua operação, de modo a subsidiar o operador da UTE sobre a real necessidade de manutenção do equipamento, de forma a utilizá-lo com a máxima eficiência.

Campo da Aplicação.

[003] As Usinas Termelétricas - UTEs, normalmente, possuem dezenas de conjuntos motogeradores que totalizam uma dada potência nominal e, em função desta, possui contrato de fornecimento com o Sistema Integrado Nacional - SIN de um dado montante de energia a ser fornecido, sob pena que se não cumprido a UTE sofre penalidades prejudicando seu faturamento.

[004] O número, o tamanho e a complexidade das Unidades Geradoras - UGs evidenciam a dificuldade e

importância de suas manutenções, influenciando diretamente os custos de produção de energia e a confiabilidade da operação de cada UG e, conseqüentemente, da UTE, em função dos critérios utilizados.

[005] Tradicionalmente a UG possui um horímetro que marca o tempo de operação do equipamento e os fabricantes utilizam o tempo por ele registrado para fazer todas as recomendações de manutenção da UG. No entanto, nem sempre o tempo de operação do motogerador retrata o desgaste real que ele teve, este depende do Grau de Estresse que a máquina é submetida durante seu regime de operação e indica a real necessidade de sua manutenção ou não.

[006] O Grau de Estresse, termo adotado nesta patente, exprime o desgaste e a degradação das condições de uma dada UG e é determinado em função das informações oriundas de suas partes e sistemas, ao longo de seu regime de operação, tais como: dados dos seus cilindros, sistema de arrefecimento, das turbinas, do óleo lubrificante, mancais, etc.

Descrição do Estado da Técnica.

[007] Os fabricantes de motogeradores estabelecem critérios de operação e recomendam que estes sejam periodicamente parados para que passem por limpezas, avaliações de seus parâmetros e substituições de componentes. Esse tipo de manutenção é denominado de manutenção preventiva. Ela baseia-se na experiência dos fabricantes e usuários sobre os estados das máquinas em função de seus períodos de operação e economiza recursos da empresa pôr as ações ocorrerem no tempo certo. No

entanto, esta prática implica notadamente em algumas desvantagens, como nas paradas desnecessárias levando a gastos que poderiam ter sido evitados, e na ocorrência de falhas repentinas de determinado componente ou sistema agregado a máquina, antes que se cumprisse o período recomendado para a sua avaliação, o que leva a parada imprevista.

[008] Visando a superar estes problemas, há algumas décadas, equipes de O&M das empresas adotaram as técnicas de verificação contínua de operação dos equipamentos de forma indireta, através do monitoramento contínuo de certas variáveis que determinam o estado operacional da máquina quando comparadas com os padrões previamente estabelecidos de sua condição normal de operação, é a técnica denominada de Monitoramento da Condição. Esta técnica detecta falhas no estágio inicial, de forma a determinar o instante ótimo em que se deve realizar a parada da máquina para sua manutenção. Nas máquinas rotativas, as variáveis normalmente monitoradas são as vibrações, as variações de velocidade angular do eixo e as temperaturas; nas máquinas elétricas rotativas destaca-se a técnica denominada Análise da Assinatura Elétrica.

[009] Nas salas de controle das Usinas Termelétricas – UTEs são disponibilizados aos operadores telas sinóticas do Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados – SCADA (do inglês “Supervisory Control and Data Acquisition”), onde são mostrados a topologia geral da planta, os diagramas unifilares elétricos, os grupos motogeradores em blocos com suas principais variáveis, a topologia de cada unidade de geração com suas

configurações, as variáveis críticas medidas, os limites operacionais e status das máquinas e a topologia da central de abastecimento de combustível às UGs, dentre outras informações.

[010] Quando no SCADA alguma variável da UG monitorada excede seu limite operacional, o respectivo alarme é acionado e a informação é passada pelo operador da planta a equipe de O&M de forma a subsidiar o plano de manutenção, e em função da gravidade da alteração ocorrida revisa-se a periodicidade da manutenção.

[011] Por outro lado, mais recentemente, a grande capacidade de processamento de dados dos sistemas de informática aliada às análises estatísticas têm levado a melhoria contínua de inúmeros processos via o Controle Estatístico dos mesmos. Estas técnicas oferecem métodos eficazes para avaliar os dados coletados, através de medições, de forma lógica e sistemática, obtendo informações confiáveis para ajustes. As informações sobre o desempenho real de um dado processo, e em particular do desempenho de uma máquina, são obtidas através de medições das características de desempenho e comparadas com parâmetros tais como temperatura, pressão, velocidade, consumo, etc.. Quando estas informações são obtidas e interpretadas corretamente indicam se há ou não a necessidade de uma ação para corrigir o desempenho da máquina – a manutenção.

[012] Na década de 1920, o Dr. Walter A. Shewhart propôs um modelo geral para os gráficos de controle de uma dada variável que expressava alguma característica de qualidade de interesse em variação contínua. A linha central era dada pela

média dos dados e as linhas do gráfico pelo desvio padrão dos dados em relação à média no intervalo de amostragem, de modo que se o mesmo se afastasse de limites pré-determinados, os limites de controle, indicava que o processo tinha saído de sua operação normal. Esta técnica tornou um padrão aceito pela indústria mundial.

[013] Na década seguinte a WECO (“Western Electric Company”) introduziu um conjunto de regras para identificar situações fora de controle nas cartas de Shewhart. Essas regras eram baseadas em probabilidade, sabia-se que, para uma distribuição normal, a probabilidade de encontrar um ponto fora é de 0,3% que caracteriza um evento raro; portanto, se um ponto estava fora dos limites de controle, concluía-se que o processo mudou e encontrava-se instável.

[014] Como evolução deste tipo de análise na década de 80 do século passado, foram publicadas as Regras de Nelson (Lloyd S. Nelson, 1982) no Controle Estatístico Multivariado. Aplicadas aos gráficos de controle, 8 regras estabeleciam se um dado processo saiu de sua operação normal, a magnitude da variável traçada ao longo do tempo mostrava significativos valores no desvio padrão traçado sob a linha da média. Por exemplo, a 1ª regra definia como anormalidade um dado ponto do gráfico que se encontrava mais do que 3 desvios padrão da média; 5ª regra, se dois ou três pontos estavam mais de 2 desvios padrão da média na mesma direção. Este método é amplamente aceito até os dias de hoje e usado principalmente nos processos produtivos para avaliação da qualidade dos produtos fabricados.

[015] Em pesquisa no banco de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, não foi encontrado nenhum processo pertencente ao campo técnico desta invenção.

[016] Em pesquisa no banco de patentes do Estados Unidos da América USPTO (“United States Patent and Trademark Office”) foi encontrada uma patente relacionada ao campo técnico desta invenção: a patente US10,281,364 que descreve métodos, sistemas e aparelhos para detecção precoce de falhas em um gerador de energia em função da entrada do fluxo de combustível, tendo em vista que a eficiência estimada do motor é determinada em resposta ao parâmetro de potência de saída do alternador e à medição do fluxo de entrada do combustível.

Apresentação dos Problemas do Estado da Técnica.

[017] O método, sistema e aparelho descrito na patente norte-americana embora subsidie os programas de manutenção das UGs com base no fluxo anormal da entrada de combustível que a alimenta, ela aborda o aspecto geral de operação do conjunto motogerador, não sendo capaz de prever que falhas futuras ocorram que podem levar a parada da máquina.

[018] A técnica universalmente utilizada das manutenções preditivas recomendadas pelos fabricantes das UGs, com base nas informações dos horímetros, embora eficiente em relação as manutenções preventivas e corretivas, podem causar paradas desnecessárias para as manutenções e não eliminam os riscos de ocorrência de falhas repentinas que levam a parada imprevista das UGs.

[019] O uso das técnicas de Monitoramento da

Condição, embora complemente a contento os programas de manutenção preditiva, monitora uma ou duas variáveis da UG durante sua operação, trazendo restrições às avaliações da condição geral da máquina, podendo ocorrer falhas que não se relacionam com as variáveis monitoradas.

Objetivos da Invenção.

[020] Tendo em vista os aspectos e os problemas apresentados no uso das técnicas no estado da arte atual, e no propósito de superá-los, é que na presente patente de invenção foi desenvolvido um novo e inédito método e sistema que trata estatisticamente as informações oriundas dos históricos de operação do conjunto motogerador e realiza a estimação de seu Grau de Estresse, de forma a subsidiar o operador e as equipes de manutenção das UTEs sobre a real necessidade de manutenção do equipamento, permitindo que seja utilizado com a máxima eficiência operacional.

[021] O novo método e sistema apresenta cinco objetivos para subsidiar os atuais programas de manutenção das Unidades Geradoras – UGs das Usinas Termelétricas - UTEs: i) opera de modo não-invasivo em relação a UG em análise; ii) coleta as informações disponibilizadas pelos sensores instalados na UGs no banco de dados do SCADA da UTE; iii) processa as informações coletadas com técnicas estatísticas fidedignas; iv) disponibiliza num software telas com gráficos amigáveis de desempenho (desgastes e deteriorações) das UGs e dos sistemas que a compõem; v) disponibiliza ao operador da UTE um painel de controle (do inglês “dashboard”) em interface gráfica dos

indicadores de desempenho dos sistemas que compõem as UGs, o Grau de Estresse da UG e a previsão de sua futura manutenção.

Sumário da Invenção.

[022] Para que o método e o sistema possam fazer a estimação do Grau de Estresse de uma dada UG em função dos dados disponibilizados pelo sensoriamento da máquina, as suas principais características e inovações estão a seguir relacionadas.

[023] Estratégia de monitoramento: as informações para subsidiar os cálculos para a estimação do Grau de Estresse da UG são oriundas do SCADA separadas nos sistemas que representam a UG, de modo a retratar fielmente seu regime de operação, deteriorações e desempenho.

[024] Representação da UG no modelo: a UG é representada no método e sistema por 11 subsistemas, Ar de Admissão, Turbinas, Óleo Combustível, Cilindros, Óleo Lubrificante, Água de Arrefecimento, Mancais, Gases de Exaustão, Gás Natural, Gerador e Outros. Cabe salientar que muitas máquinas operam só com óleo combustível ou gás natural, mas alguns tipos operam com os dois combustíveis em percentuais diferentes, por exemplo, 8% de óleo combustível e 92% de gás natural, por isso a necessidade de representação dos dois sistemas no modelo.

[025] As variáveis de cada sistema: são compostas pelos dados de medição disponíveis no SCADA, por exemplo, o sistema de Óleo Combustível tem as variáveis TeOco – temperatura de entrada do óleo combustível e PeOco - pressão de entrada do óleo combustível; o sistema de Mancais tem as

variáveis TsMcl1 – temperatura do mancal 1, TsMcl2 – temperatura do mancal 2,... e TsMclE – temperatura do mancal de escora. Os totais de variáveis avaliadas pelo sistema dependem da quantidade, tipo e modelo das UGs na UTE e podem variar de algumas dezenas até centenas de variáveis.

[026] Coleta das informações no SCADA: são os dados contidos no Banco de Dados - BD do supervisório em formato CSL oriundos dos arquivos de histórico de log (LGH) dos regimes de operação das UGs. Os arquivos de log não possuem uma frequência de amostragem fixa. O sistema SCADA só grava um registro quando a medida sofre uma variação superior a um certo valor, chamado “banda morta”. Com isso, os instantes de tempo de cada registro são variáveis. A metodologia equaliza todos os instantes de amostragem de modo que todas variáveis tenham o mesmo número de registros por faixa de tempo.

[027] Método aplicado: é o chamado Controle Estatístico de Processo, controle porque visa manter as variáveis analisadas dentro de padrões aceitáveis, estatístico porque utiliza técnicas estatísticas para avaliação das variações numéricas e processo que é a avaliação do regime de operação da UG que está sendo monitorada.

[028] Gráficos de controle: para cada uma das variáveis coletadas no SCADA são feitas as cartas de controle cuja referência é dada pela média (μ), desvio padrão (s) dos dados no intervalo de amostragem e pontuação (P) com três zonas definidas Zona A ($\mu \pm 1s$), $(\mu + 1s) < \text{Zona B} < (\mu + 2s)$ ou $(\mu - 2s) < \text{Zona B} < (\mu - 1s)$ e $(\mu + 2s) < \text{Zona C} < (\mu + 3s)$ ou $(\mu - 3s)$

< Zona C < ($\mu - 2s$) conforme a curva de Distribuição de Probabilidades Normal.

[029] Escala de anormalidade: ela foi criada especificamente para representar a condição de desempenho de cada variável da UG, são oriundas das Regras de Nelson de forma modificada e específica para uso em UGs. Possui 6 níveis diferentes identificados no sistema por diferentes cores.

[030] Grau de Estresse: em função dos níveis de anormalidade obtidos para cada variável e respectivos sistemas é obtido o Grau de Estresse da UG em percentual, que aplicado sobre o tempo registrado pelo horímetro e recomendado pelo fabricante, faz a previsão da próxima manutenção.

[031] Painel de controle: com interface gráfica amigável ao operador da UTE disponibiliza diagramas de anormalidade das variáveis, de cada um dos subsistemas das UGs, das UGs de forma global e dos indicadores do Grau de Estresse e previsão em horas da futura manutenção.

[032] Software para tratamento de dados e monitoramento do Grau de Estresse: software paralelo ao sistema supervisório SCADA para ajudar na análise de dados, desenvolvido em linguagem de programação Python.

Originalidades e Vantagens da Invenção

[033] A principal originalidade do método e sistema descrito nesta patente é o uso na área de geração termelétrica de um novo Controle Estatístico de Processo - CEP com adaptações específicas das Regras de Nelson para a estimação do Grau de Estresse e a previsão da real necessidade de manutenção de

Unidades Geradoras – UGs das UTEs, de forma a utilizá-las com a máxima eficiência.

[034] As principais vantagens do uso do novo e inédito método e sistema em uso paralelo ao Sistema Supervisório das UTEs são:

- Evitar paradas desnecessárias das UGs para manutenção através do planejamento dinâmico da manutenção;
- Reduzir os riscos de falhas não-programadas das UGs;
- Aumentar a segurança operacional da UTE;
- Reduzir o risco de penalidades por não cumprimento do fornecimento de energia acordado com o órgão regulador; e
- Aumentar a confiabilidade dos sistemas de geração das UTEs.

Descrição das Técnicas Utilizadas.

[035] Para a definição da estratégia de controle, um conjunto de estudos sobre as bases de dados históricos de operação das UGs foi realizado, visando ao aprendizado e a compreensão da dinâmica de suas variáveis, de forma a se obter as variáveis significativas a serem utilizadas para a estimação do Grau de Estresse da UG em análise.

[036] Neste estudo foi utilizada a metodologia Processo Padrão Inter-Indústrias para Mineração de Dados - CRISP-DM (do inglês “Cross Industry Standard Process for Data Mining”) que é um modelo de processo de mineração de dados que descreve abordagens comumente usadas por especialistas em mineração de dados para atacar problemas. Nela os dados são o ponto central, onde são feitos ciclos iterativos, compostos de preparação de dados, modelagem e validação do modelo. A cada

ciclo, a compreensão do negócio e dos dados vai aumentando, levando ao aprimoramento do modelo e a novas necessidades de obtenção e preparação de novos dados.

[037] O modelo da UG consolidado para motores de 18 cilindros em “V”, dividiu-a em 11 subsistemas com as seguintes variáveis: 1 – Sistema Ar de Admissão com 5 variáveis (Temperatura Entrada Compressor Turbina A [°C], Temperatura Saída Ar Admissão TE601 [°C], Pressão Saída Ar Admissão PT601 [bar] e Número de Rotações Compressor Admissão [rpm]); 2 – Sistema de Água de Arrefecimento com 12 variáveis (Temperatura de Entrada Água LT CAC Interno Sensor T101 [°C], Temperatura de Entrada Água LT CAC Interno Sensor T102 [°C], Temperatura de Saída Água LT CAC Externo Sensor T105 [°C], Temperatura de Saída Água LT CAC Externo Sensor T106 [°C], Temperatura de Entrada Água LT Jaqueta Sensor T107 [°C], Temperatura de Saída Água LT Jaqueta Sensor T108 [°C], Temperatura de Saída Água LT Pré-aquecedor Sensor T109 [°C], Temperatura de Saída Água LT Pós-radiadores Sensor T120 [°C], Temperatura de Saída Água HT Banco A [°C], Temperatura de Saída Água HT Banco B [°C], Pressão Entrada Água LT [bar] e Pressão Entrada Água HT [bar]); 3 – Sistema de óleo Combustível com 2 variáveis (Temperatura de Entrada do Óleo Combustível [°C] e Pressão de Entrada do Óleo Combustível); 4 - Sistema de Turbinas com 6 variáveis (Temperatura Entrada Turbina A [°C], Temperatura Saída Turbina A [°C], Temperatura Entrada Turbina B [°C], Temperatura Saída Turbina B [°C], Número de Rotações Turbina A [rpm] e Número de Rotações

Turbina B [rpm]); 5 – Sistema de Óleo Lubrificante com 6 variáveis (Temperatura de Entrada do Óleo Lubrificante [°C], Temperatura de Saída do Óleo Lubrificante na Turbina A [°C], Temperatura de Saída do Óleo Lubrificante na Turbina B [°C], Pressão de Entrada do Óleo Lubrificante [bar], Pressão de Entrada do Óleo Lubrificante na Turbina A [bar] e Pressão de Entrada do Óleo Lubrificante na Turbina B [bar]); 6 – Sistema de Mancais com 11 variáveis (Temperatura do Mancal 1 [°C], Temperatura do Mancal 2 [°C], Temperatura do Mancal 3 [°C], Temperatura do Mancal 4 [°C], Temperatura do Mancal 5 [°C], Temperatura do Mancal 6 [°C], Temperatura do Mancal 7 [°C], Temperatura do Mancal 8 [°C], Temperatura do Mancal 9 [°C], Temperatura do Mancal 10 [°C], Temperatura do Mancal de Escora [°C] e Número de Rotações Mancal [rpm]); ; 7 – Sistema de Cilindros com 36 variáveis (no lado A, Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A1 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A1 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A2 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A2 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A3 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A3 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A4 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A4 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A5 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A5 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A6 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A6 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A7 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A7 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A8 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A8 [°C],

Temperatura 1 da Camisa do Cilindro A9 [°C] e Temperatura 2 da Camisa do Cilindro A9 [°C], e no lado B, Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B1 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B1 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B2 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B2 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B3 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B3 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B4 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B4 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B5 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B5 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B6 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B6 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B7 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B7 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B8 [°C], Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B8 [°C], Temperatura 1 da Camisa do Cilindro B9 [°C] e Temperatura 2 da Camisa do Cilindro B9 [°C]); 8 – Sistema de Gases de Exaustão com 8 variáveis (No lado A, Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro A1 [°C], Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro A2 [°C], Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro A8 [°C] e Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro A9 [°C], e no lado B, Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro B1 [°C], Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro B2 [°C], Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro B8 [°C] e Temperatura dos Gases de Exaustão no Cilindro B9 [°C]); 9 – Sistema de Gás Natural com 4 variáveis (Pressão de Entrada do Gás [bar], Pressão de Saída do Gás [bar], Vazão de Entrada do Gás [kg/h] e

Temperatura de Saída do Gás [°C]); 10 – Subsistema do Gerador com 5 variáveis (Temperatura Gerador Enrolamento Fase U [°C], Temperatura Gerador Enrolamento Fase V [°C], Temperatura Gerador Enrolamento Fase W [°C], Temperatura Gerador Rolamento extremidade D [°C] e Temperatura Gerador Rolamento extremidade ND [°C]); e 11 – Subsistema Outros com 8 variáveis (Pressão Entrada do Ar de Partida [bar], Pressão de Entrada da Ar de Controle [bar], Vibração de Torsão do Eixo, Modo de Operação (GD/HFO), % de Gás Combustível [%], Potência ativa no gerador [kW], Temperatura Ambiente Externa [°C] e Umidade absoluta [g/kg]); totalizando para uma UG 103 variáveis.

[038] No método para se obter o Grau de Estresse da UG é definido o tempo equivalente de operação dado pela equação:

$$T_{equivalente} = T_{operação} * (1 + G_{stress}) \quad (1)$$

onde: $T_{equivalente}$ é o tempo aparente de operação da máquina, $T_{operação}$ é o tempo de operação dado pelo horímetro da máquina e $G_{estresse}$ é o Grau de Estresse. Se $G_{estresse} > 0$ significa que a máquina teve um desgaste real maior que o normal e se $G_{estresse} < 0$ significa que a máquina teve um desgaste real menor que o normal.

[039] Quando a máquina tem um desgaste real maior que o normal, o $T_{equivalente}$ é maior que o esperado e sua manutenção deve ser adiantada em relação a recomendada pelo fabricante. Por exemplo, o fabricante recomenda a manutenção da máquina após 10000 horas de operação, ela já operou durante

8000 horas, se ela tem um $G_{estresse}$ de 0,20 seu $T_{equivalente}$ é de 9600 horas e, portanto, sua manutenção será adiantada e está próxima, sendo realizada quando seu $T_{equivalente}$ atingir as 10000 horas.

[040] O termo normal vem da probabilidade e da estatística de distribuição normal. Quando a UG está operando com estresse normal ela tem todas as suas variáveis operando em torno de um valor médio (μ) que pode variar conforme a equação:

$$P = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (2)$$

onde: P é a pontuação, x é a variável em um dado instante, μ é a média e σ é o desvio padrão. Numa Distribuição Normal, também conhecida por Distribuição Gaussiana, os módulos das pontuações ($|P|$) ao longo do tempo podem atingir o seguinte perfil de distribuição em torno da média μ :

Pontuação ($ P $)	% tempo
De 0 a 1σ	68,3%
Entre 1σ e 2σ	27,1%
Entre 2σ e 3σ	4,3%
Acima de 3σ	0,3%

[041] Numa máquina a operação sem estresse é definida quando as variáveis que a representa variam dentro do perfil de distribuição da curva normal, e a operação com estresse é definida quando as variáveis que a representam variam fora do perfil de distribuição da curva normal tendo um deslocamento em relação à média (μ).

[042] O gráfico de controle é uma ferramenta ideal

para o monitoramento estatístico de uma variável. Como regra básica, pode-se dizer que uma máquina sofreu desgaste anormal quando suas variáveis estiveram fora dos limites de controle, ou seja, fora da Zona C dada por $(\mu + 2s) < \text{Zona C} < (\mu + 3s)$ ou $(\mu - 3s) < \text{Zona C} < (\mu - 2s)$. Porém, esta não é a única condição de anormalidade possível. Estatisticamente, pode-se buscar outras regras que indiquem quando os parâmetros da distribuição normal adotados para o diagrama com referência a média (μ) e o desvio padrão (σ) das variáveis sofreram alguma alteração, mesmo antes dos pontos saírem dos limites. Correlacionar essas variações no nível de estresse, detectando de maneira precoce as anormalidades que levarão ao desgaste anormal, possibilitará a geração de alertas e alarmes, antes que o nível de desgaste excessivo seja atingido.

[043] Com base nas regras de Nelson, nos estudos e análises da dinâmica das variáveis da UG e no conhecimento tácito dos operadores e mecânicos das UGs, o método apresentado nesta patente adotou seis regras de detecção de anormalidades, que indicam a correlação entre o regime de funcionamento da UG, seu estresse e a ocorrência de desgaste anormal. Elas podem ser vistas na tabela a seguir:

Regra	Cor	Desvio	Descrição
#6	Azul	$< 1\sigma$	Décimo quinto ponto consecutivo dentro das zonas C.
#5	Verde	$> 1\sigma$	Oitavo ponto fora das zonas C.
#2	Amarela	Entre	Quarto ponto (de 5 consecutivas)

		1σ e 3σ	numa Zona B ou A .
#1	Laranja	Entre 2σ e 3σ	Segundo ponto na mesma Zona A, em 3 medições consecutivas.
#0	Vermelha	$> 3\sigma$	Primeiro ponto fora dos Limites de Controle (superior ou inferior).
#4	Vinho	- x -	Sexto ponto consecutivo sempre abaixo (ou acima) dos anteriores.

[044] As regras #3 e #7 de Nelson foram abandonadas e não são utilizadas no modelo, pois não apresentaram grande utilidade nos testes práticos para avaliação dos desgastes das UGs durante seus regimes de operação.

[045] Com a adoção de gráfico em forma de Barras Empilhadas e o uso de cores para cada uma das regras de Nelson adotadas, a análise e interpretação de um intervalo de dados passou a ser instintiva e rápida, bastando observar aonde a barra chegou nos níveis de cores mais quentes (laranja, vermelho e vinho) ou se a variável está em uma situação de “atenção” (amarela). As cores azul e verde são consideradas de operação “normal” , contudo a cor verde indica que os dados estão saindo da zona de +/- 1 desvio padrão, ou seja, começando a se dispersar, mas ainda sob controle

[046] O Grau de Estresse pode ser calculado para a UG como um todo, ou para cada um dos subsistemas que a representa. O cálculo é feito utilizando-se uma Barra Total. Ele é dado pela média ponderada das quantidades de ocorrência de cada regra,

utilizando como peso o Grau de Severidade de cada regra, conforme ilustrado no exemplo da tabela a seguir:

Regra	Severidade	Qtd.	Severidade*Qtd.
Vinho	2,5	0	0
Vermelho	2,0	0	0
Laranja	1,5	0,1	0,15
Amarelo	1,2	0,3	0,36
Verde	1,0	0,2	0,20
Azul	0,9	0,8	0,72
Soma:		1,34	1,43
Grau de Estresse:			1,06

[047] No exemplo acima, como o Grau de Estresse é maior que 1, indica que a máquina sofreu desgaste maior que o recomendado. Em termos de Idade Aparente, esse valor significa que ela “envelheceu” 6% a mais que o tempo cronológico de operação, indicado no horímetro. Por exemplo, supondo que o intervalo de tempo analisado foi de 950 horas, devido a condição de operação ter sido estressante, a máquina tem um $T_{equivalente}$ (Tempo Aparente de Operação) igual a $950 * 1,06 = 1007$ hs. Supondo que o fabricante recomende a realização de uma manutenção com 1000 hs de trabalho, apesar do horímetro ainda marcar menos de 1000 hs, a máquina já passou por um desgaste equivalente a 1007 hs, sendo recomendada a execução imediata da manutenção.

Descrição Resumida das Figuras.

[048] O novo “MÉTODO E SISTEMA DE

INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS” é ilustrado a título de exemplo, e não limitada através das figuras anexas, nas quais.

[049] A Figura 1 apresenta o diagrama com a distribuição de probabilidades normal.

[050] A Figura 2 apresenta o diagrama da distribuição de probabilidades normal de uma máquina sem estresse e com estresse.

[051] A Figura 3 apresenta o gráfico de controle com suas Zonas A, B e C.

[052] A Figura 4 apresenta o gráfico de controle com os dados de uma variável monitorada.

[053] A Figura 5 mostra nos gráficos de controle as seis regras de detecção de anormalidades em UGs utilizadas no método e sistema descrito nesta patente.

[054] A Figura 6 apresenta o diagrama em blocos da topologia de hardware do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs.

[055] A Figura 7 mostra o esquema de representação das ocorrências de anormalidade em um gráfico de barras.

[056] Na Figura 8 pode-se ver o gráfico de barras para uma variável de um subsistema da UG.

[057] Na Figura 9 pode-se ver como as dimensões física e temporal podem ser visualizadas no painel de controle do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs.

[058] A Figura 10 mostra o indicador do Grau de Stress

no painel de controle para as UGs da UTE no período acumulado.

[059] A Figura 11 mostra o indicador do Grau de Stress no painel de controle para uma dada variável no período de uma semana.

Descrição das Figuras em Detalhes.

[060] Esta seção apresenta detalhadamente a solução proposta na presente invenção, referenciando-se às figuras descritas na seção anterior.

[061] A Figura 1 apresenta um diagrama com a Distribuição de Probabilidades Normal (1). De forma ideal, em um regime de operação normal, todas as variáveis deveriam oscilar em torno da média (μ) para todas as variáveis monitoradas. É de se esperar que, durante 99,7% do tempo, todos os valores estejam no intervalo de P entre -3σ e $+3\sigma$. Valores fora da probabilidade estatística de uma distribuição normal acionam as regras de Nelson e são contabilizados, pois tem grande chance de representar funcionamento da máquina sob estresse.

[062] A Figura 2 apresenta o diagrama da Distribuição de Probabilidades Normal (1) de uma máquina sem estresse e com estresse. A Curva de Distribuição sem Estresse (2) mostrada na Figura 2a mostra um exemplo do que seria a operação de uma máquina sem estresse, pois sua distribuição está muito próxima da distribuição normal base (ou referencial). A Curva de Distribuição com Estresse (3) mostrada na Figura 2b mostra um exemplo do que seria a operação de uma máquina com estresse, pois existem valores fora da distribuição normal base que acionam as regras de Nelson.

[063] A Figura 3 apresenta o gráfico de controle com as Zonas A, B e C. Nela é adotada a Distribuição de Probabilidades Normal como referência para elaboração do gráfico de controle. Esta distribuição é caracterizada por dois parâmetros: a média (μ) e o desvio padrão (σ). A média, como o próprio nome indica, determina a posição da Linha Média (μ), enquanto o desvio padrão é responsável pela escolha dos Limites Superiores e Inferiores de Controle. Os limites de controle são definidos de tal forma que a maioria dos pontos de medição das variáveis da UG fiquem localizados dentro destes limites. Em caso de funcionamento normal da UG, as variações naturais das variáveis monitoradas de cada sistema estarão sempre contidas nestes limites; porém, nos casos em que a máquina opera sob nível de estresse elevado, que possam causar um desgaste excessivo, deverão ser detectados no gráfico de controle.

[064] Com o objetivo de melhor identificar as várias regiões centrais do diagrama de controle, são definidas as Zonas de Controle. Cada uma possui uma probabilidade de ocorrência para os valores da variável de controle.

[065] A primeira zona de controle é chamada Zona A, e fica posicionada dos dois lados da média (μ). Seus limites vão até a distância de 1 desvio padrão (1σ) da média (μ). A Zona A é a região de maior probabilidade de ocorrência. Espera-se que 68,27% das medições estejam dentro da Zona A superior ou inferior. Em outras palavras, 68,27% das medições estarão a uma distância não superior a 1 desvio padrão (1σ) da média (μ).

[066] A segunda zona de controle é denominada Zona

B, a superior localiza-se acima da Zona A superior, contendo valores entre 1 e 2 desvios padrão ($1\sigma < |x| < 2\sigma$) de distância da média (μ). De forma análoga, a Zona B inferior aparece abaixo da Zona A inferior, também contendo a região entre 1 e 2 desvios padrão ($1\sigma < |x| < 2\sigma$). A probabilidade de uma variável ter seu valor medido nas Zonas B é de 27,18%. Isso faz com que a probabilidade total de se encontrar um ponto a até 2 desvios padrão (2σ) de distância da média (μ), em uma distribuição normal, é de 95,45%.

[067] A terceira zona de controle é denominada Zona C formada pela faixa de valores entre 2 e 3 desvios padrão ($2\sigma < |x| < 3\sigma$). A probabilidade total dos pontos estarem dentro dos limites de controle, supondo a distribuição normal, é de 99,73%. Isso significa que a probabilidade de um ponto estar nas zonas C é de 4,28% ($99,73\% - 95,45\%$).

[068] A Figura 4 apresenta o gráfico de controle com os dados de uma variável monitorada. No eixo das abscissas (X) são colocadas as variáveis na ordem cronológica da amostra e é associada ao tempo; o eixo das ordenadas (Y) representa os valores da variável sob análise; a linha média representa o valor médio (μ) da característica da variação e quando em estado sob controle, ou seja, quando apenas causas aleatórias estão presentes; os limites de controle são dados pelas linhas horizontais denominadas limites inferiores e superiores escolhidos de forma que, se o processo estiver sob controle, os pontos amostrais estarão entre eles; e a Curva das Variáveis sob Análise no Tempo (4) é formada pelos valores da variável

coletadas ao longo do tempo e referem-se a pontos amostrais que devem ser independentes.

[069] A Figura 5 mostra gráficos de controle com as seis regras de detecção de anormalidades em UGs utilizadas no método e sistema descrito nesta patente. A Figura 5a ilustra a Regra #6 de Nelson representada pela cor Azul aplicada em desvios menores que 1 desvio padrão ($< 1\sigma$) que sinaliza quando ocorre o Décimo Quinto Ponto Consecutivo Dentro das Zonas A (5) indicando a operação em “Normalidade” da UG.

[070] A Figura 5b ilustra a Regra #5 de Nelson representada pela cor Verde aplicada em desvios maiores que 1 desvio padrão ($> 1\sigma$) que sinaliza quando ocorre o Oitavo Ponto Fora das Zonas A (6) indicando a operação em “Decaimento da Normalidade” da UG.

[071] A Figura 5c ilustra a Regra #2 de Nelson representada pela cor Amarela aplicada em desvios entre 1 e 3 desvios padrão (1σ e 3σ) que sinaliza quando ocorre o Quarto Ponto de 5 Consecutivos Numa Zona B ou C (7) indicando a operação em “Atenção” da UG.

[072] A Figura 5d ilustra a Regra #1 de Nelson representada pela cor Laranja aplicada em desvios entre 2 e 3 desvios padrão (2σ e 3σ) que sinaliza quando ocorre o Segundo Ponto na Mesma Zona C em 3 Medições Consecutivas (8) indicando a operação em “Anormalidade” da UG.

[073] A Figura 5e ilustra a Regra #0 de Nelson representada pela cor Vermelha aplicada em desvios maiores que 3 desvios padrão ($> 3\sigma$) que sinaliza quando ocorre o Primeiro

Ponto Fora dos Limites de Controle Superior ou Inferior (9) indicando a operação em “Anormalidade Ocorrendo” da UG.

[074] A Figura 5f ilustra a Regra #4 de Nelson representada pela cor Vinho aplicada em qualquer zona da carta que sinaliza quando ocorre o Sexto Ponto Consecutivo Sempre Abaixo ou Acima dos Anteriores (10).

[075] A Figura 6 apresenta o diagrama em blocos da topologia de hardware do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs (19). Os dados medidos pelos sensores junto a cada unidade geradora UG (11) são coletados pelos Controladores Lógicos Programáveis – CLPs (12) que via a Rede Ethernet Industrial (13) se conecta através do Dispositivo de Chaveamento de Rede (14) à Rede Ethernet Corporativa (16) onde está conectado o Sistema Supervisório – SCADA (15). No Centro de Controle da UTE (20) são gravados os dados de medição das UGs (11) no Banco de Dados (17) do SCADA (15) que são acessados pelo Microcomputador Auxiliar (18) onde está instalado o software do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs (19).

[076] A Figura 7 mostra o esquema de representação das ocorrências de anormalidade em um gráfico de barras. No eixo das abcissas estão relacionados os subsistemas da UG (21) analisadas em um dado período de tempo, o eixo das ordenadas indica a Quantidade de Regras Acionadas (22) e as Barras Coloridas (23) as ocorrências das regras. As representações no gráfico com as regras de Nelson, o código de cor e a descrição das regras acionadas estão na tabela a seguir.

Indicação / Regra de Nelson	Código de Cor / Abrev.	Regras acionadas (Alarmes)
1 (#6)	Azul (Az)	Regra acionada para indicar Normalidade.
2 (#5)	Verde (Ve)	Regra acionada para indicar Decaimento da Normalidade.
3 (#2)	Amarelo (A)	Regra acionada para indicar Atenção.
4 (#1)	Laranja (L)	Regra acionada para indicar Tendência de Anormalidade.
5 (#0)	Vermelho (Vr)	Regra acionada para indicar Anormalidade Ocorrendo.
6 (#4)	Vinho (Vi)	Regra acionada para indicar Anormalidade Grave Ocorrendo.

[077] O gráfico de barras em cores mostra de forma resumida as informações das regras de anormalidade acionadas num intervalo de tempo. O tamanho das barras acumuladas de cada regra está relacionado ao grau de acionamento delas em um intervalo de tempo determinado pelo usuário. Este intervalo contém um conjunto de N pontos (ou valores) que são analisados levando em conta quantas vezes as 6 regras apareceram nesse conjunto de N pontos e retornam um valor (ou intensidade) dentro do intervalo de 0,00 a 1,00 para cada uma das seis regras. O gráfico de barras apresenta as intensidades das regras acionadas

para cada variável de forma empilhada. Esta análise é feita no tempo por meio de uma janela móvel, a cada nova amostragem dos dados das variáveis, ou seja, o valor x atual da variável é analisado juntamente com os últimos $N-1$ pontos anteriores pertencentes a variável e assim sucessivamente. Logo, para cada nova amostragem de dados, há um novo conjunto de informações sobre as intensidades de acionamentos das regras. O gráfico de barras apresenta o valor mais atual dessa análise.

[078] A regra informada como 1 representa a indicação de Normalidade estatística da variável. Quando está acionada com a máxima intensidade (nível 1,00 da barra), indica que a variável está dentro da sua Normalidade estatística operacional, ou pertence ao intervalo de $\pm 1\sigma$. Quando as regras 2, 4 e 5 começam a ser contabilizadas, há a diminuição da ocorrência da regra 1.

[079] A regra informada como 2 representa o decaimento da normalidade estatística da variável. Logo, à medida que a regra 2 começa a aumentar sua intensidade, a regra 1 diminui sua ocorrência. O valor máximo de atribuição é 1,00.

[080] A regra informada como 3 representa um indicador de atenção para o usuário. Esta regra, quando começa a ser apresentada no gráfico, indica que está ocorrendo mudanças estatísticas na variável observada e que podem informar possibilidades futuras de anormalidades estatísticas por representar estatisticamente o aumento da dispersão dos dados analisados.

[081] A regra informada como 4 representa um

indicador de tendência de anormalidade para o usuário. Quando ocorre o aumento da intensidade desta regra é o indício que há uma tendência de a variável estar passando para uma anormalidade estatística. Pode indicar indícios futuros de problemas na variável analisada, caso ela permaneça por um período de tempo acionada em níveis elevados de ocorrências. Esta variável quando ocorre, diminui a incidência da regra 1.

[082] A regra informada como 5 representa que a variável em análise está passando por uma anormalidade estatística. A regra, quando começa a ocorrer, apresenta a indicação de uma dispersão estatística dos dados analisados superior (ou inferior) aos limites estatísticos aceitáveis. Estes limites estatísticos são de 3 desvios padrão (3σ) do valor de um dado em relação à média (μ) dos valores dos dados da variável. Caso o nível da intensidade da regra aumente e permaneça durante um tempo acionada ou atinja o nível máximo, há uma alta probabilidade de ocorrer algum problema na variável analisada e, por consequência, ao sistema a qual a variável pertence. Essa regra diminui a incidência da regra 1.

[083] A regra informada como 6 representa que a variável em análise está mantendo uma anormalidade estatística. Caso o nível da intensidade da regra aumente e permaneça durante um tempo acionada ou atinja o nível máximo, há uma alta probabilidade de ocorrer alguma falha.

[084] As regras 4 e 5 podem aparecer ativadas juntas, porém nunca vão atingir o seu máximo (nível 1) em uma mesma indicação. Caso a regra 5 alcance o nível 1, a regra 1 e 4 não

aparecerá no acúmulo de barras da variável sob análise.

[085] O gráfico mostrado na Figura 7 apresenta seis variáveis pertencentes a diferentes Sistemas da UG (21). São valores hipotéticos, mas que podem ocorrer na análise realizada pelo algoritmo de processamento. Cada variável foi submetida as análises das ativações das seis regras no intervalo de tempo, para um conjunto de N dados da variável. Cada variável obteve valores diferentes para cada regra. Analisando cada variável (na direção da esquerda para direita) obtém-se as seguintes informações:

- Na primeira variável ocorreu o acionamento somente da regra 1 em nível 1,00 de intensidade, indicando que a variável está dentro de sua normalidade estatística.
- Para a segunda variável houve o acionamento de duas regras a 1 e 2. A ocorrência da regra 2 é o indício que os dados estão começando a sair de sua normalidade estatística. Como observado no gráfico, com a aparição da regra 2 acionada houve a diminuição do nível da regra 1.
- A terceira variável contém três regras acionadas a 1, 2 e 3. O aparecimento da regra 3 representa um critério de atenção, indicando uma dispersão estatística dos dados.
- A quarta variável possui as regras 1, 2, 3 e 4 acionadas em diferentes intensidades. Houve uma baixa ocorrência da regra 1, indicando que a variável possui seus dados analisados com maior intensidade fora da normalidade estatística. O aparecimento da regra 4 indica que a variável está tendendo a ter uma anormalidade e uma probabilidade de ter problemas futuros, caso aumente seus níveis de ocorrência ao longo do tempo.

- A quinta variável possui todas as regras acionadas em níveis distintos. É possível observar que a regra 1 apresenta seu valor baixo, indicando que possui mais dados fora da normalidade do que dentro. Com a regra 4 sendo acionada, representa que a tendência de ocorrer uma anormalidade estatística é alta e com a presença da regra 5 e 6 ativadas, isso se confirma. Caso os níveis das regras 4 e 5 permaneçam os mesmos ou uma delas aumente, há uma alta anormalidade na variável e a uma alta tendência de ocorrer um problema na variável.

- A sexta variável apresenta as regras 2, 3, 4, 5 e 6 acionadas e com a intensidade máxima. Isto indica que está ocorrendo uma anormalidade estatística total na variável sob análise, pois, pela regra 2, observa-se que houve o decaimento total da normalidade do sistema; pela regra 3, observa-se que houve a dispersão dos dados de maneira que esta dispersão está fora da região de $\pm 3\sigma$, indicada pela regra 5 em nível 1, e a regra 6 acionada indica que a anormalidade é persistente. Quando ocorre esse tipo de evento a probabilidade de ocorrer falhas na variável é muito elevada, segundo a estatística empregada. É necessário que o usuário tenha uma atenção especial e avalie se deve ou não realizar um procedimento corretivo na variável imediatamente.

[086] Na Figura 8 pode-se ver o gráfico de barras para uma variável de um subsistema da UG (21). Este gráfico é mostrado ao operador da UTE com barras coloridas conforme a regra acionada. Neste gráfico, fica evidente que a maioria das variáveis está na faixa normal (azul ou verde), delimitando uma linha horizontal no gráfico denominada Linha de Normalidade

(24). Somente algumas variáveis superam este patamar, apresentando um sinal de atenção (amarelo). Além disso, nota-se que poucas entraram nas faixas de estresse (laranja).

[087] Gráficos semelhantes ao da Figura 8 podem ser selecionados para uma dada variável, para um dado subsistema da UG (21) ou para uma dada UG (11).

[088] Na Figura 9 pode-se ver como as dimensões física e temporal podem ser visualizadas no Painel de Controle (do inglês “dashboard”) do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs (19). Na Dimensão Física (25) da UTE pode-se visualizar as análises das variáveis em Período Acumulado (26) desde sua última manutenção, no Período de Um Ano (27), no Período de Um Mês (28), no Período de Uma Semana (29), no Período de Um Dia (30) e no Período de Uma Hora (31). Na Dimensão Temporal (32) pode-se visualizar as análises das variáveis para a Usina Termelétrica - UTE (33), para Todos os subsistemas da UG (34), um dado subsistema da UG (21), uma dada Variável Sob Análise (35) e um dado Cilindro Sob Análise (36).

[089] A Figura 10 mostra o Indicador do Grau de Stress (38) no Painel de Controle da UTE (37) no período acumulado. Nesta tela o Período Selecionado (39) é o acumulado. Na Identificação da UG (39) existe a Barra de Tempo Útil (40) em horas recomendada pelo fabricante para a próxima manutenção, a Barra de Tempo Equivalente (41) em horas calculado pelo sistema, a Seta de Desgaste (42) para cima mostrando que não existe estresse e para baixo mostrando que existe estresse, a

Quantidade de Horas Úteis (43) recomendada pelo fabricante, o Percentual de Estresse (44) em verde quando não existe desgaste e em vermelho quando ocorre desgaste, a Quantidade de Horas Equivalentes (45) para a próxima manutenção e o Horímetro (46) de cada UG (11). O Grau de Stress (38) mostrado nesta tela refere-se ao do instante consultado, com os desgastes acumulados. O tipo de diagrama mostrado nesta tela é similar para os dados analisados no período acumulado e de um ano.

[090] Ao lado do indicador do Período Selecionado (26) existem as setas que selecionam o respectivo período de análise: acumulado, ano, mês, dia e hora.

[091] A partir da tela inicial do Painel de Controle da UTE (37) é possível descer nos diversos níveis da dimensão física. Clicando sobre a Identificação da UG (39) abre uma nova tela semelhante a esta para os onze subsistemas da UG (21) e clicando sobre um dado subsistema abre uma nova tela semelhante a esta para todas as variáveis do respectivo Subsistema da UG (21).

[092] A Figura 11 mostra o Indicador do Grau de Stress (38) no Painel de Controle de Variável (47) para uma dada Variável ou Sistema (48) no período de uma semana. Nesta tela o Período Selecionado (39) é uma semana. Na Identificação da UG (39) existe a Janela Total no Período Selecionado (48) que mostram as informações relativas ao período em análise. Nele está o Diagrama do Período Selecionado (49) com os respectivos módulos, formados pela Barra de Tempo Útil (40) das horas recomendadas pelo fabricante para a próxima manutenção, a

Barra de Tempo Equivalente (41) em horas calculado pelo sistema, a Seta de Desgaste (42) para cima mostrando que não existe estresse e para baixo mostrando que existe estresse, a Linha de Neutralidade (24) e a Curva de Pontuação (4) formado pelos pontos totalizados no respectivo dia, e o último ponto com os dados totalizados até o instante da consulta. Este tipo de diagrama é similar para as consultas nos períodos de um mês, de uma semana e das horas de um dia.

[093] O método de inferência para estimação do Grau de Estresse (38) das UGs (11) da UTE com base nos gráficos de controle e das normas de Nelson modificadas, e na forma de exposição das informações processadas, objeto da presente patente de invenção, pode contemplar diferentes variáveis. bem como diferentes configurações acessórias conforme a necessidade de cada planta de UTE; logicamente alterações podem ser feitas no “MÉTODO E SISTEMA DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS” sem a perda da inovação aqui apresentada.

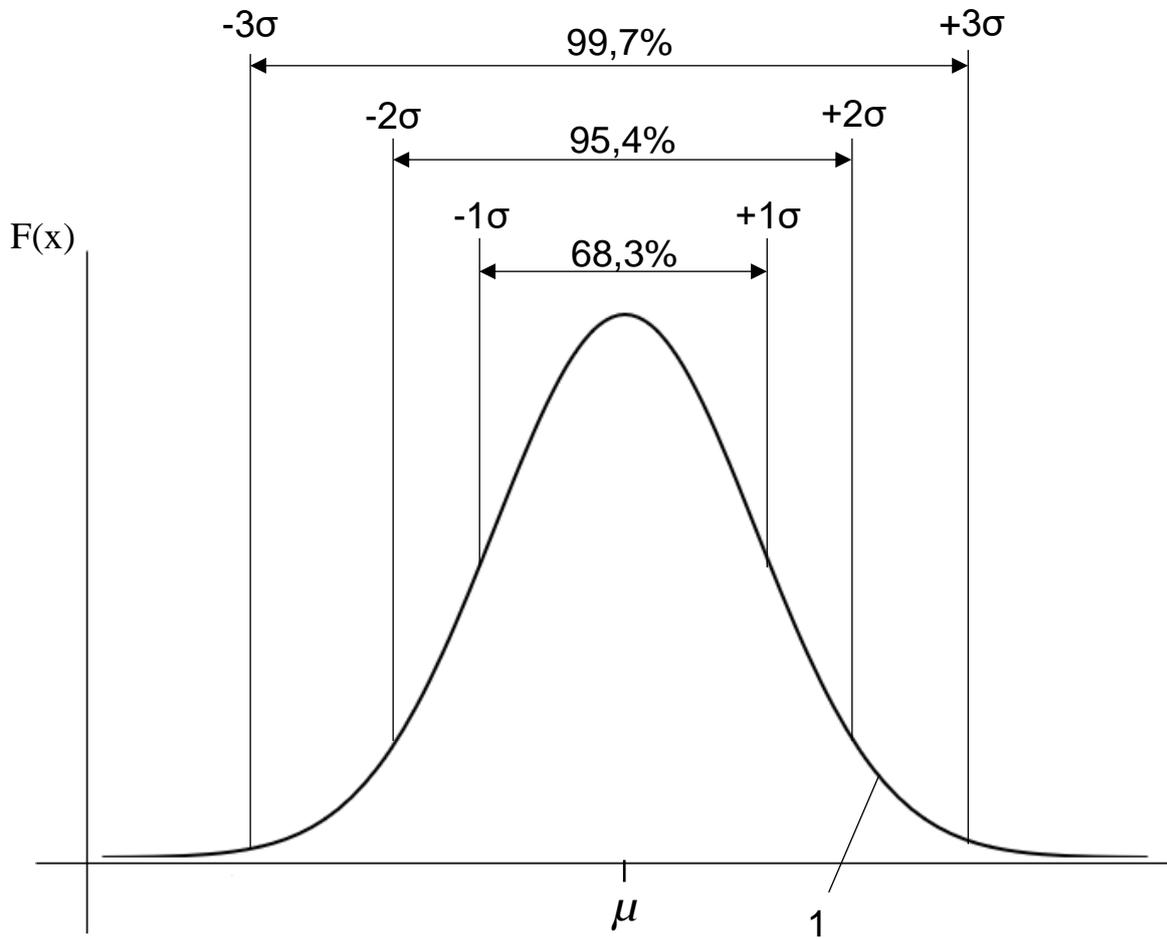


Figura 1

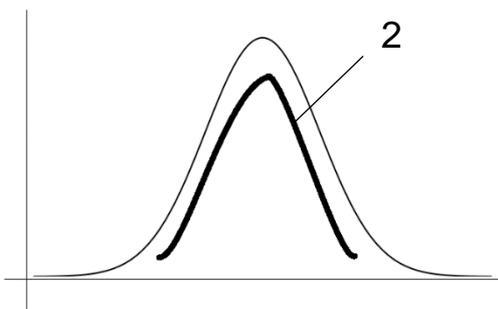


Figura 2a

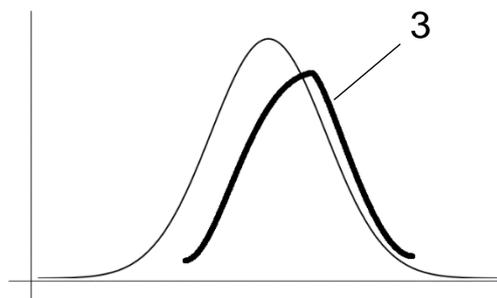


Figura 2b



Figura 3

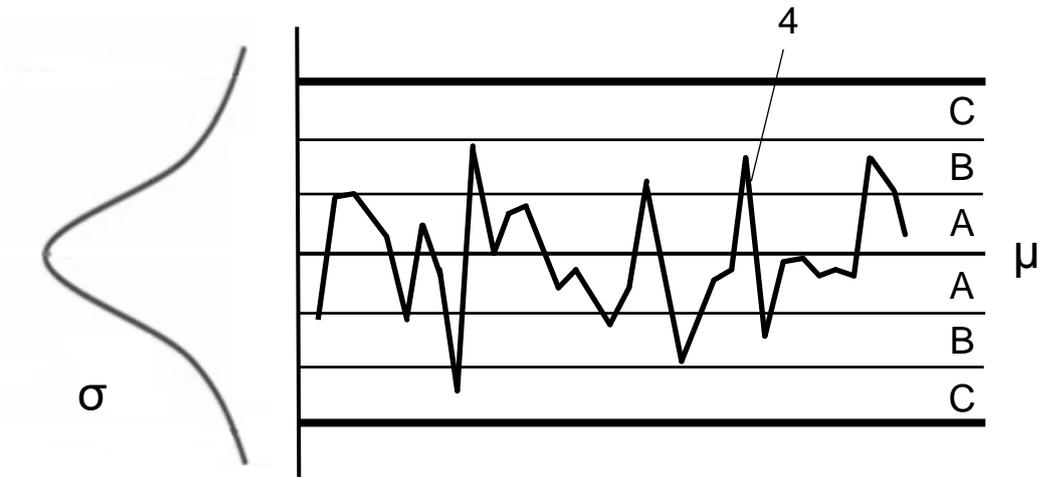


Figura 4

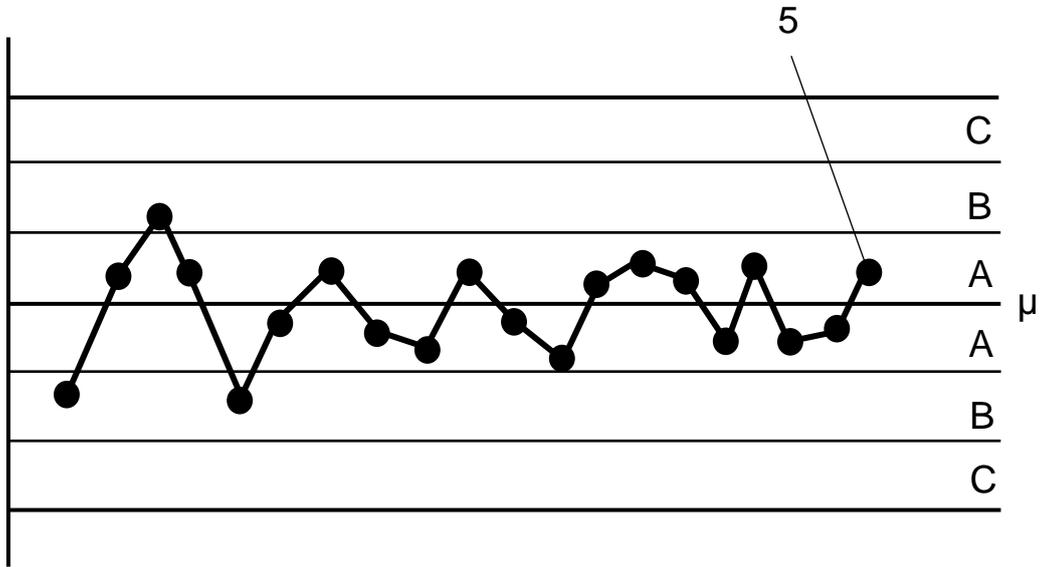


Figura 5a

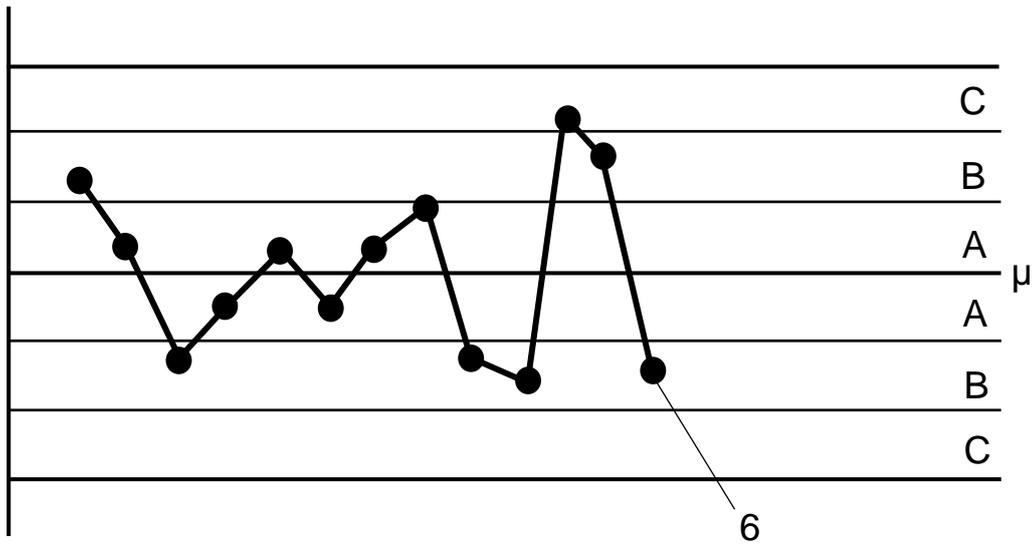


Figura 5b

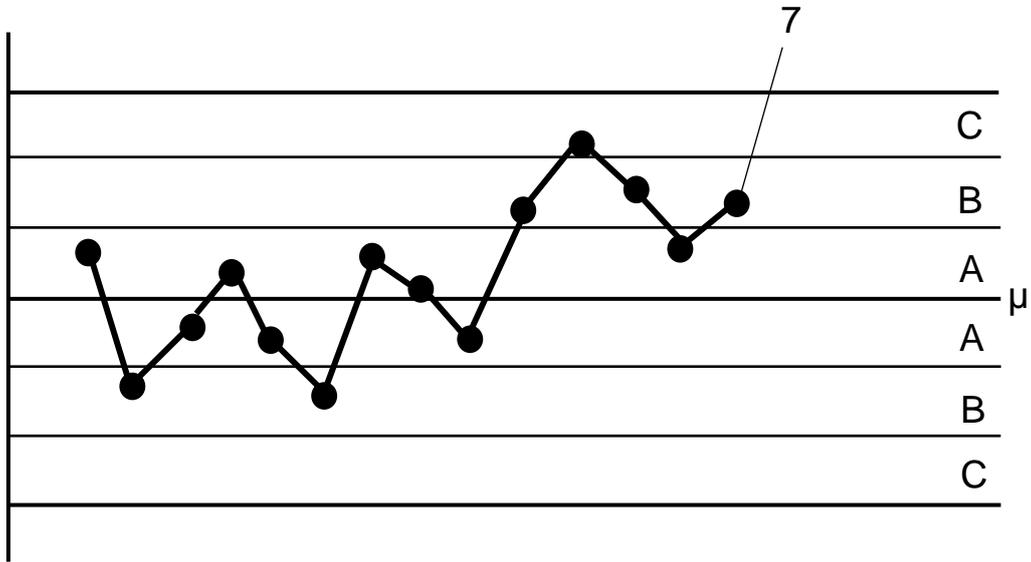


Figura 5c

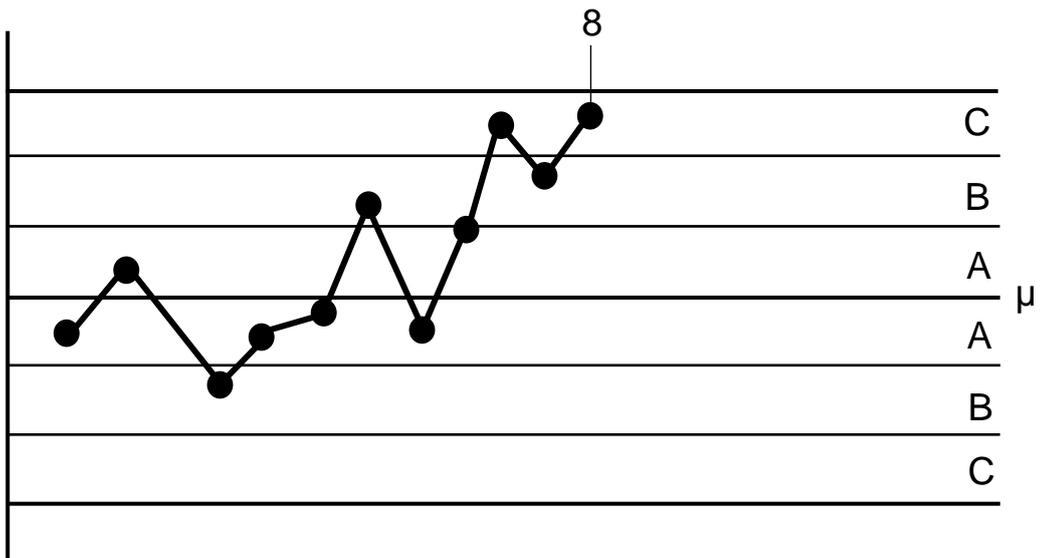


Figura 5d

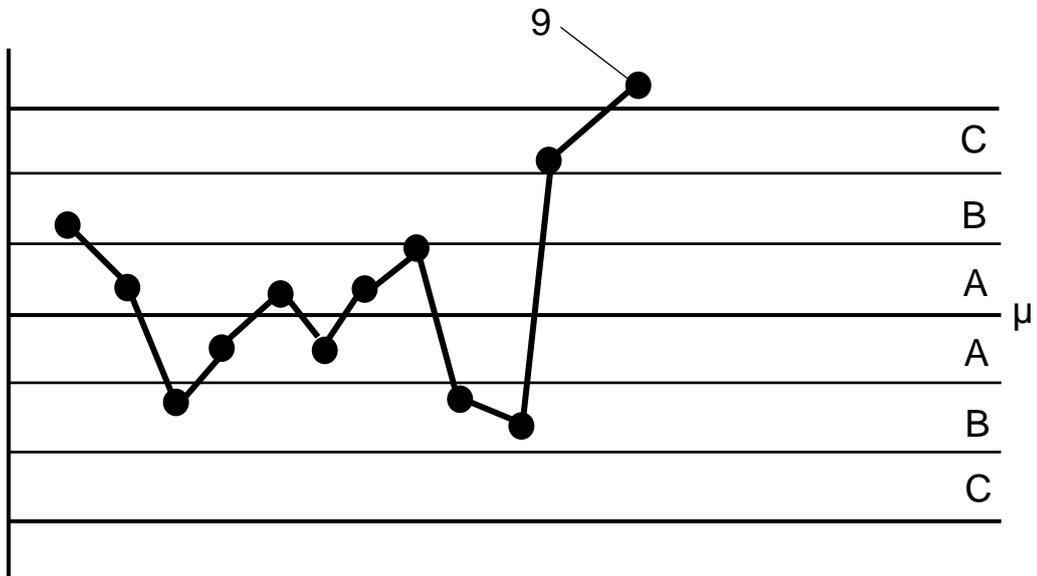


Figura 5e

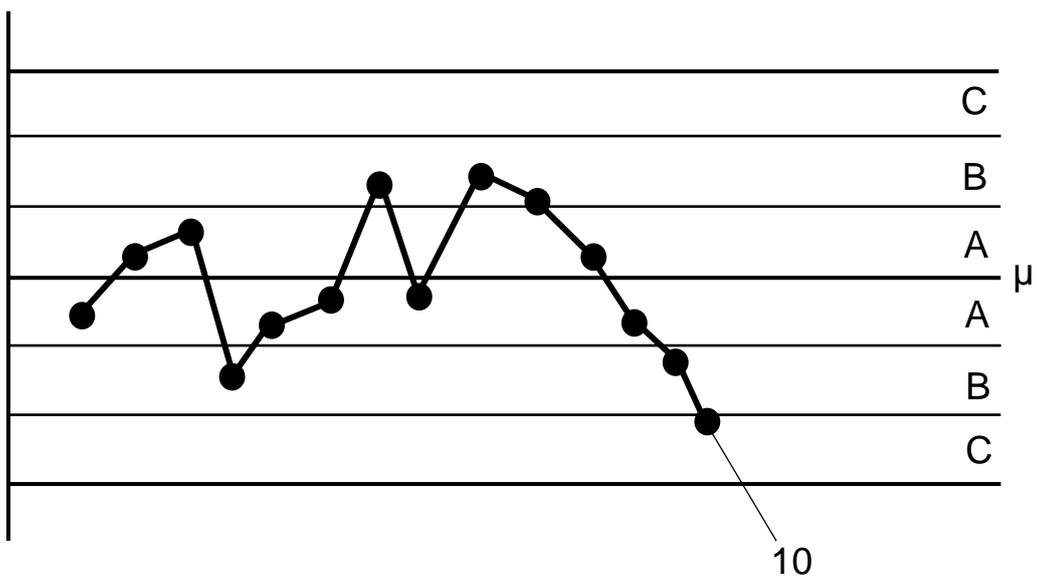
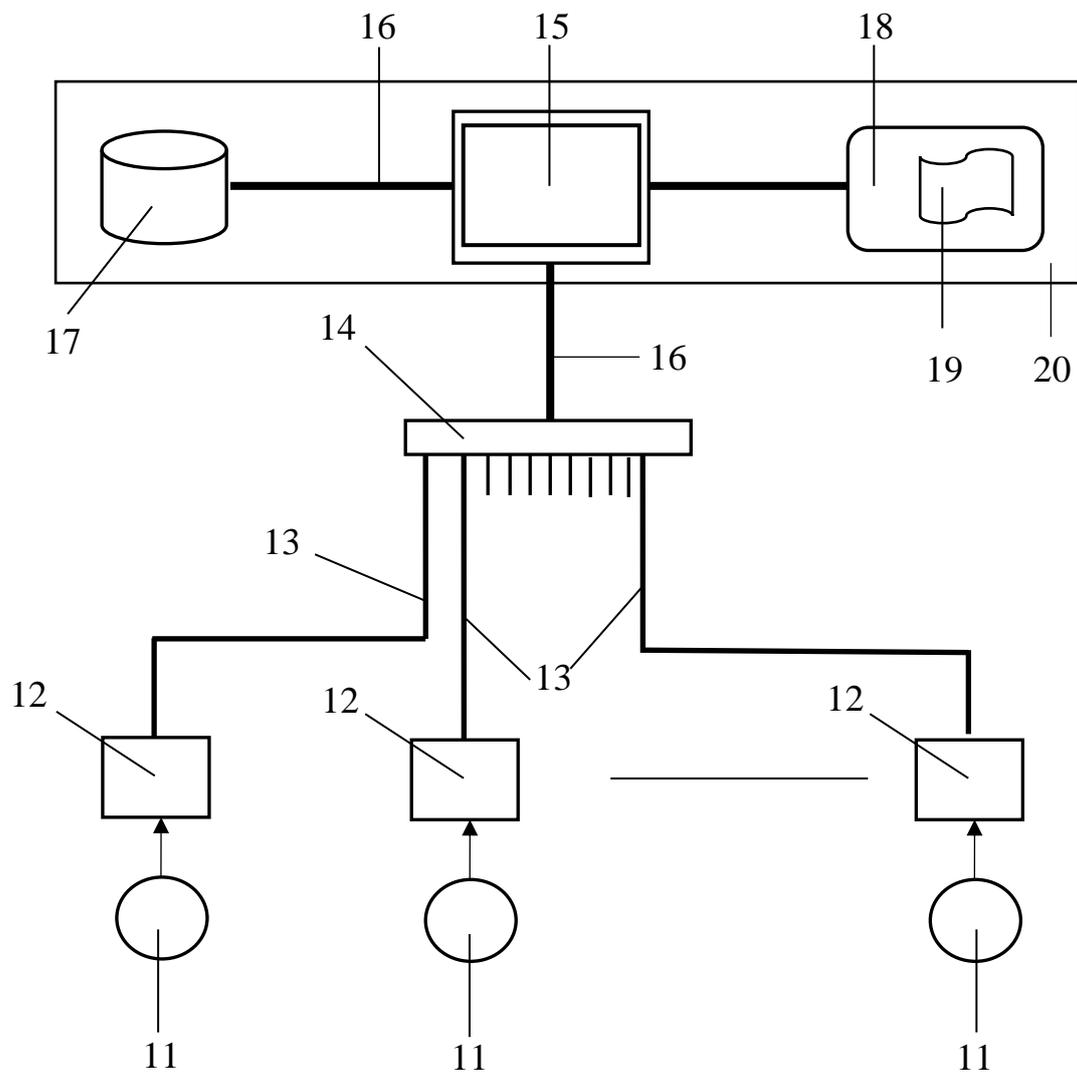
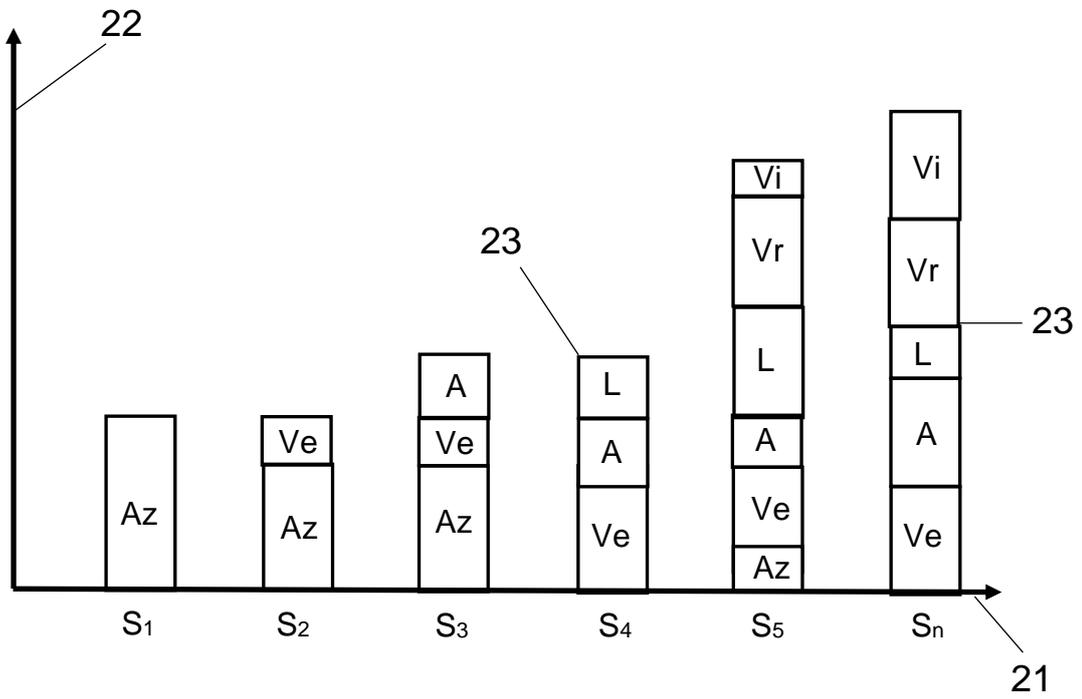
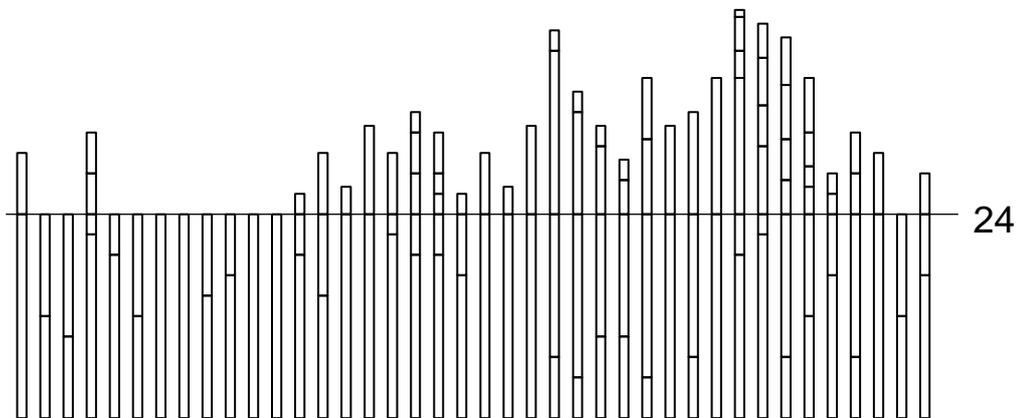


Figura 5f

**Figura 6**

**Figura 7****Figura 8**

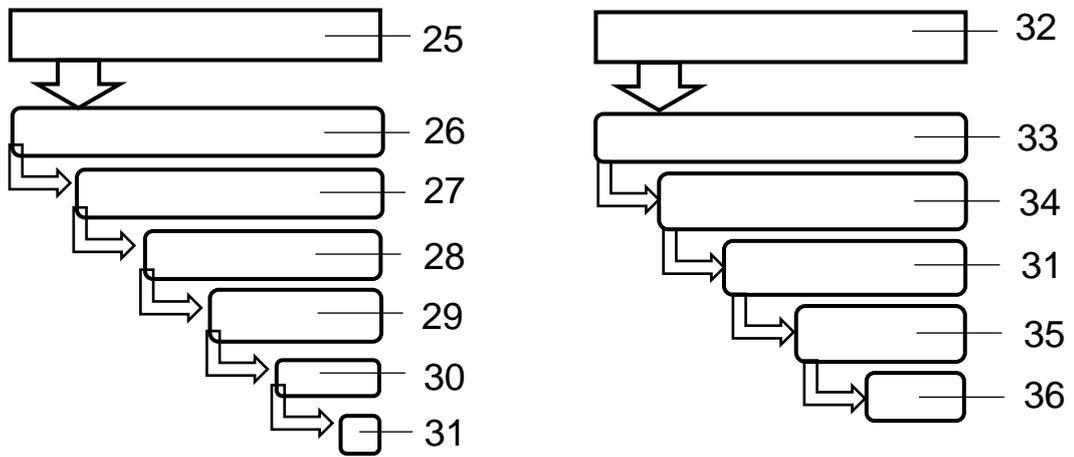


Figura 9

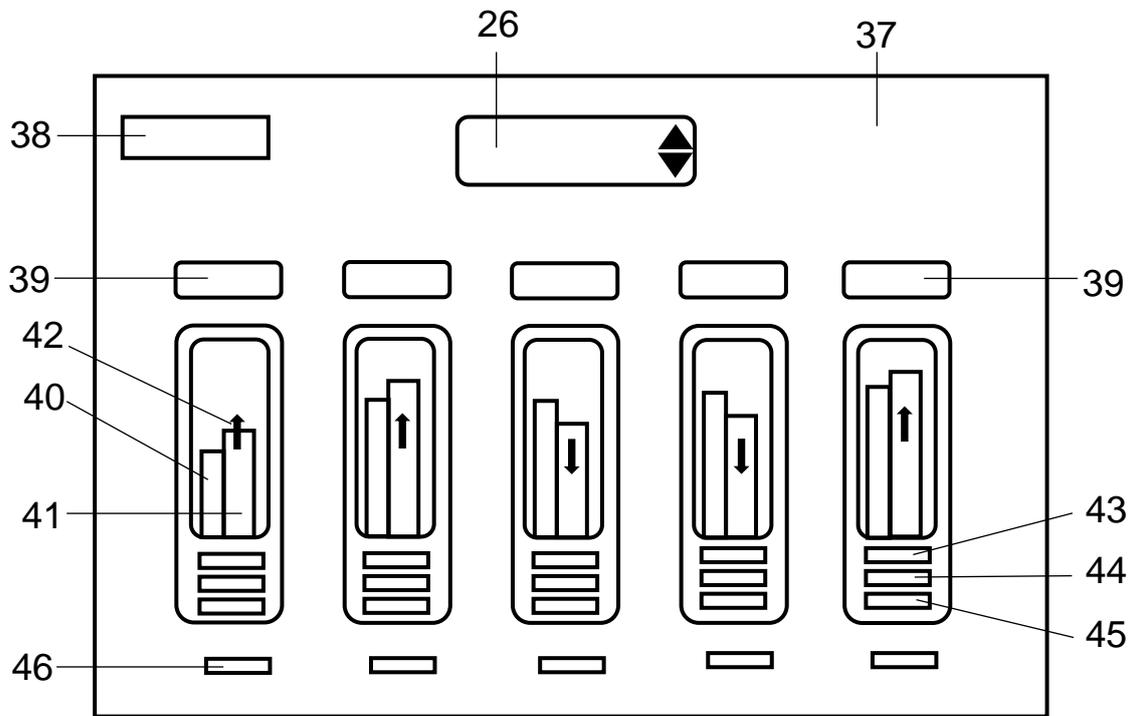


Figura 10

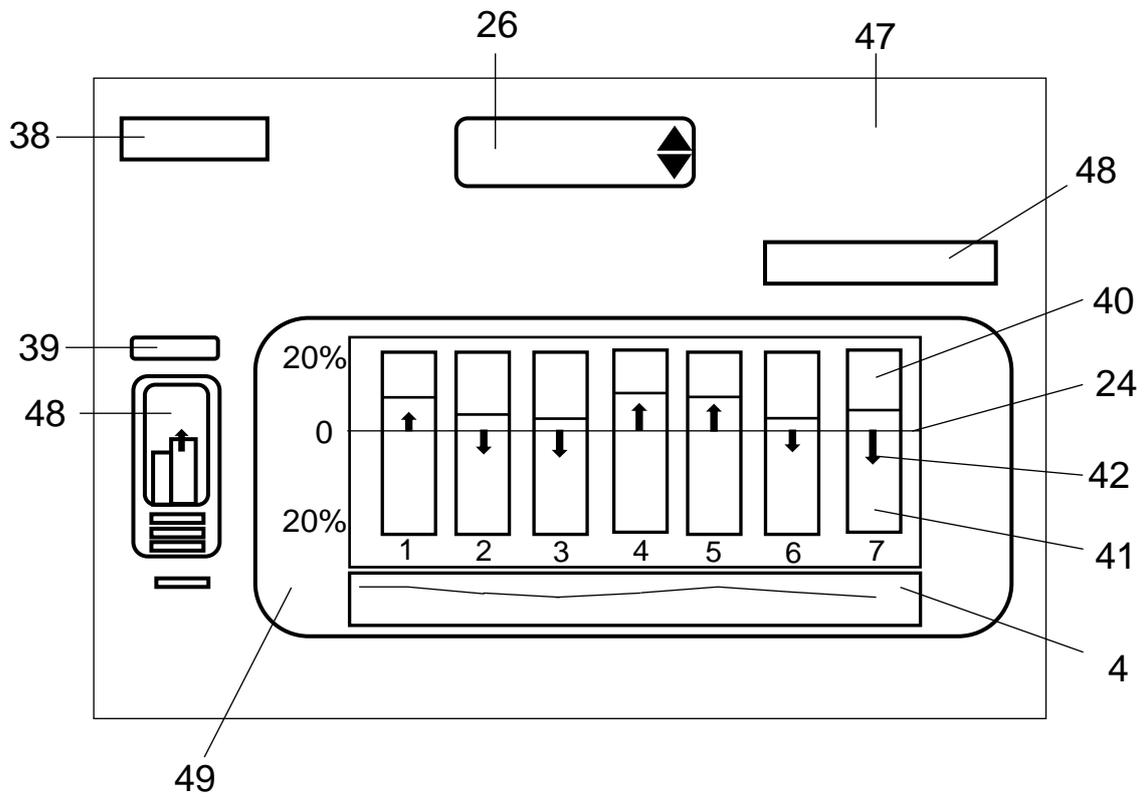


Figura 11

REIVINDICAÇÕES

1. “MÉTODO E SISTEMA DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTO-GERADORAS”, compreendido por Controladores Lógicos Programáveis – CLPs (12) que recebem as grandezas medidas das Unidades Geradoras – UGs (11) da planta de uma Usina Termelétrica – UTE e via a Rede Ethernet Industrial (13) se conecta através do Dispositivo de Chaveamento de Rede (14) à Rede Ethernet Corporativa (16) do Centro de Controle da UTE (20) onde encontra-se o Sistema Supervisório - SCADA (15), o Banco de Dados (17) do supervisório e o Microcomputador Auxiliar (18) que recebe os dados medidos onde está instalado o software do Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs (19), **caracterizado por** cada UG (11) ser representada por onze Subsistemas da UG (21) das partes que a constitui; coletar as variáveis de cada Subsistema da UG (21) no Banco de Dados (17) do Sistema Supervisório - SCADA (15); processar as variáveis coletadas de forma a obter os valores médios (μ), o desvio padrão (σ) e as pontuações (P) no período de integração para os gráficos de controle; aplicar nos gráficos de controle seis diferentes regras estatísticas definidas como Regra 1, Regra 2, Regra 3, Regra 4, Regra 5 e Regra 6 para avaliação das ocorrências de anormalidades nas variáveis monitoradas; calcular a média ponderada das quantidades de ocorrências de anormalidades em cada regra com os respectivos pesos do Grau de Severidade definida em cada regra para obter o Grau de Estresse (38); apresentar gráficos de barras

empilhadas das ocorrências de anormalidades em cores de cada regra para cada variável, cada Subsistema da UG (21) e para a UG (11); no Painel de Controle da UTE (37) ser disponibilizado ao operador a Identificação da UG (39), a Barra de Tempo Útil (40), a Barra de Tempo Equivalente (41), a Seta de Desgaste (42), a Quantidade de Horas Uteis (43), o Percentual de Estresse (44), a Quantidade de Horas Equivalentes (45) e o Horímetro (46) de cada UG (11) da UTE para os períodos de análise acumulado, ano, mês, dia e hora, descendo nos diversos níveis da dimensão física para os onze Subsistemas da UG (21) e as variáveis dos Subsistemas da UG (21); no Painel de Controle de Variável (47) para uma dada Variável ou Subsistema (48) disponibilizar ao operador da UTE a Janela Total no Período Selecionado (48), o Diagrama do Período Selecionado (49) com os respectivos módulos, a Linha de Neutralidade (24) e a Curva das Variáveis sob Análise no Tempo (4) para os períodos de um mês, de uma semana e das horas de um dia.

2. “MÉTODO E SISTEMA DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS”, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os Subsistemas das UGs (21) que a representam serem constituídos pelo Subsistema de Ar de Admissão, Subsistema de Turbinas, Subsistema de Óleo Combustível, Subsistema de Cilindros, Subsistema de Óleo Lubrificante, Subsistema de Água de Arrefecimento, Subsistema de Mancais, Subsistema de Gases de Exaustão, Subsistema de Gás Natural, Sistema do Gerador e Sistema Outros.

3. “MÉTODOS E SISTEMAS DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS”, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os gráficos de controle terem como referência a média (μ), apresentar a Curva das Variáveis sob Análise no Tempo (4) nos intervalos de amostragem com três zonas definidas Zona A ($\mu \pm 1s$), $(\mu + 1s) < \text{Zona B} < (\mu + 2s)$ ou $(\mu - 2s) < \text{Zona B} < (\mu - 1s)$ e $(\mu + 2s) < \text{Zona C} < (\mu + 3s)$ ou $(\mu - 3s) < \text{Zona C} < (\mu - 2s)$ conforme a curva de distribuição de probabilidades normal.

4. “MÉTODOS E SISTEMAS DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS”, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** utilizar para definir a ocorrência de anormalidades, a Regra 1 que sinaliza quando ocorre o Décimo Quinto Ponto Consecutivo Dentro das Zonas A (5), a Regra 2 que sinaliza quando ocorre o Oitavo Ponto Fora das Zonas A (6), a Regra 3 que sinaliza quando ocorre o Quarto Ponto de 5 Consecutivos Numa Zona B ou C (7), a Regra 4 que sinaliza quando ocorre o Segundo Ponto na Mesma Zona C em 3 Medições Consecutivas (8), a Regra 5 que sinaliza quando ocorre o Primeiro Ponto Fora dos Limites de Controle Superior ou Inferior (9) e a Regra 6 que sinaliza quando ocorre o Sexto Ponto Consecutivo Sempre Abaixo ou Acima dos Anteriores (10).

5. “MÉTODOS E SISTEMAS DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES

MOTOGERADORAS”, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** obter o Grau de Estresse (38) da UG (11) via o cálculo da média ponderada das quantidades de ocorrências de anormalidades ocorridas em cada Regra com os respectivos pesos do Grau de Severidade.

RESUMO

Patente de Invenção “MÉTODO E SISTEMA DE INFERÊNCIA PARA ESTIMAÇÃO DO GRAU DE ESTRESSE DE UNIDADES MOTOGERADORAS”. De acordo com a presente invenção, pertencente à área de geração termelétrica, refere-se a um método e um sistema para realizar a estimação do Grau de Estresse (38) de uma unidade motogeradora a partir do processamento das informações dos seus históricos de operação. O Sistema de Inferência para Estimação do Grau de Estresse das UGs (19) usa como base gráficos de controle com referência a média (μ), Curvas das variáveis sob análise no tempo (4) e as zonas definidas como Zona A ($\mu \pm 1s$), ($\mu + 1s$) < Zona B < ($\mu + 2s$) ou ($\mu - 2s$) < Zona B < ($\mu - 1s$) e ($\mu + 2s$) < Zona C < ($\mu + 3s$) ou ($\mu - 3s$) < Zona C < ($\mu - 2s$) e seis regras para definir a ocorrência de anormalidades, de forma a obter o Grau de Estresse de uma UG (11) e subsidiar o operador da UTE sobre a real necessidade de manutenção do equipamento, de forma a utilizá-lo com a máxima eficiência.