



PI 02032104
PI 02032104
IPI INSTITUTO
NACIONAL
DA PROPRIEDADE
INDUSTRIAL
Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0203210-4

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0203210-4

(22) Data do Depósito: 07/05/2002

(43) Data da Publicação do Pedido: 25/05/2004

(51) Classificação Internacional: E21B 47/02

(54) Título: PROCESSO E DISPOSITIVOS DE MONITORAMENTO E DE PREVISÃO DE COLAPSO EM ESCAVAÇÕES - SISMO

(73) Titular: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, CGC/CPF: 17217985000104. Endereço: Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil (BR/MG).

(72) Inventor: EVANDRO MORAES GAMA

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 05/04/2016, observadas as condições legais.

Expedida em: 5 de Abril de 2016.

Assinado digitalmente por:

Júlio César Castelo Branco Reis Moreira
Diretor de Patentes



Relatório descritivo de patente de invenção para "PROCESSO E DISPOSITIVOS DE MONITORAMENTO E DE PREVISÃO DE COLAPSO EM ESCAVAÇÕES – SISMO"

[001] A presente invenção insere-se no contexto da mecânica das rochas e especificamente na instrumentação de maciços rochosos aplicada aos processos de escavação em rocha, utilizando medidas das variações das tensões e deformações. Ao conjunto de medidas de variação de tensões e deformações, aplica-se o nome de auscultação e mais popularmente monitoramento de maciços rochosos. A presente invenção é um sistema de monitoramento em tempo real das variações das tensões ($\Delta\sigma$) e deformações ($\Delta\varepsilon$) induzidas pelas escavações de maciços rochosos. Conforme será demonstrado, este sistema adquire dados de ($\Delta\sigma$) e ($\Delta\varepsilon$) em tempo real. Estes dados são tratados por um programa especialmente elaborado para este fim, permitindo o monitoramento remoto à distancia, de escavações em locais de risco e a previsão e prevenção de colapsos provocados pelas variações das tensões e deformações.

[002] A este sistema de monitoramento automático denominaremos Sistema de Monitoramento e Previsão de Colapso de Escavações – SISMO. A finalidade primordial de um monitoramento é o estudo reológico das escavações produzidas pela engenharia ou pelo homem, integrando de forma clara a descrição do meio físico, monitoramento e métodos numéricos de cálculo, contribuindo assim ao avanço científico e tecnológico, das obras de engenharia escavadas em rocha, como por exemplo, as minerações, os túneis, as barragens, a estocagem de água, gás, lixo comum e lixo radioativo. O monitoramento de escavações consiste na obtenção de medidas e observações "in situ" em tempo integral, objetivando, por exemplo, avaliar a segurança, confirmar as premissas de projeto assumidas, avançar no conhecimento do comportamento reológico e mecânico de maciços rochosos e dos processos de ruptura; fornecer dados para a verificação dos modelos numéricos, permitir extrapolar as previsões para uma resposta do maciço rochoso às solicitações a curto, médio e longos prazos. Além disto, cumpre ao monitoramento proporcionar um controle de qualidade dos dados obtidos,

suprir com dados para a modificação e melhoria dos projetos e finalmente avaliar o efeito de medidas corretivas e variações nos processos construtivos das obras.

[003] Nem todos os riscos de uma escavação podem ser eliminados ou calculados com grande precisão. Na engenharia de rochas as observações "in situ" são as melhores informações, porque não requerem simplificações inerentes às premissas de projeto e as observações levam em conta o efeito de escala, obtidas em tempo real, que por meio de monitoramento adequado proporcionará a inserção das complexidades geológicas. Quando as observações "in situ" são qualitativas e quantitativas todas estas considerações são automaticamente apreendidas. Este fato é totalmente contemplado pela presente invenção. Os avanços na área da informática deram origem à aplicação de metodologias de cálculo bastante conhecidas, porém não utilizadas até então devido a capacidade de processamento e de memória dos antigos computadores. Atualmente, os programas de cálculo aplicando por exemplo o método dos elementos finitos, podem ser facilmente processados nos microcomputadores disponíveis no mercado. Novas metodologias de cálculo foram criadas a partir da aplicação do contínuo equivalente, base teórica dos elementos finitos, até o desenvolvimento do método dos elementos discretos (Cundall P.A. E R Office U.S Army Final Report, 1980) onde é possível simular grandes deslocamentos e sistemas em colapso, como ocorrem nos maciços rochosos. Porém, sem o monitoramento adequado, estas metodologias serão ainda passíveis de grandes erros por não trabalharem com dados confiáveis. Com a utilização do SISMO é possível ter um monitoramento adequado eliminando os erros dos monitoramentos mecânicos e pontuais.

[004] Cada campo da geomecânica tem se desenvolvido quase que independentemente, e poucos pesquisadores se dedicam a uma integração entre monitoramento em tempo real das escavações e a modelagem numérica do comportamento mecânico de maciços rochosos. Serata, S. no 2 th Int. S. Field Measurements in Geomechanics 176-197, 1988, expõe pela primeira vez o método SPDR que integra o monitoramento e a modelagem numérica, mas sem demonstrar de forma clara e objetiva esta integração. É muito difícil

determinar quantitativamente e com precisão suficiente a estrutura geológica de uma formação, bem como as propriedades geomecânicas inerentes, tais como estado de tensões, pressões de água, permeabilidade, parâmetros elásticos e elastoplásticos, fluência e ruptura de um maciço rochoso. Para vencer estas dificuldades, o SISMO monitora em tempo real as escavações e aplica um processo de análise eficaz durante e após o processo de escavação, não somente para monitorar a estabilidade das estruturas, mas também para reavaliar os dados geológicos e geomecânicos de entrada usados na análise do comportamento mecânico da estrutura escavada. A reavaliação pode ser feita de tal forma que as discrepâncias, entre o comportamento real e o previsto possam ser reduzidas, levando-se a adoção de um fator de segurança mínimo. Este fator de segurança implica em um novo conceito de fator de segurança. O fato de trabalhar-se com o comportamento mecânico na sua forma mais próxima do comportamento real, como o monitorado pelo SISMO, evita o uso de fatores multiplicativos dos coeficientes de segurança, que acrescem uma margem de erro devido ao grau de ignorância em relação ao conhecimento do maciço rochoso e os efeitos causados pelas escavações. Estes fatores multiplicativos sempre implicam em adotar projetos de sustentação mais onerosos para compensar as possíveis hipóteses de instabilidades presumidas, mas não testadas. Segundo as mais recentes definições no campo do monitoramento de maciços rochosos, assim como dos mecanismos de colapsos passíveis de serem monitorados, e no intuito de situar a invenção SISMO, passaremos a descrever as condições necessárias para o sucesso de um monitoramento, descrevendo os tipos de monitoramento necessários para a supervisão, previsão, prevenção e estudo reológico das obras escavadas em rochas.

[005] O sucesso de um monitoramento está ligado a alguns componentes chaves. Com relação à técnica, destacam-se, objetivos do programa de monitoramento, construção e instalação da instrumentação, local de instalação, frequência e duração de eventos registrados, qualidade dos dados a serem analisados e utilização dos dados. Os monitoramentos podem ser de ordem qualitativa como a observação visual e/ou quantitativo como a

instrumentação para indicadores diretos (deformações, tensões e variação de tensões, etc) e indicadores indiretos (emissão acústica, sismográfica, etc). A invenção SISMO utiliza indicadores diretos por serem aqueles que não necessitam de interpretações subjetivas.

[006] Os mecanismos de colapso de maciços rochosos são traduzidos pelos tipos de rupturas de maciços rochosos que podem ocorrer nas construções civis e minerações. O monitoramento deve ser capaz de diferenciar entre, início e a propagação da ruptura e colapso. Os mecanismos, causas e fatores que contribuem para a ruptura de maciços rochosos (Kaiser P.K.CRE 21:607-628,1995) para os processos de iniciação, propagação e colapso podem ser resumidamente descritos e classificados como se segue.

[007] A iniciação da fratura pode se dar em compressão, cisalhamento e tração, ocorrendo se a resistência da rocha é vencida localmente por concentração ou variação brusca das tensões. Muitas vezes esse ponto está localizado nas paredes das aberturas ou podem iniciar no interior do maciço onde a pressão de confinamento depende do módulo ou se a rocha possui imperfeições estruturais. Esse monitoramento necessita de detecção de zonas de concentração de tensões. Para este tipo de fratura o SISMO utiliza medidores de variação de tensão, equipados com transdutores de pressão onde os dados são captados e tratados "on line", monitoramento este inexistente até então no mercado. A fratura (Santarelli et al IJRM 23:445-449,1986) pode propagar em compressão, cisalhamento, tração ou combinações. Esta propagação ocorre quando a capacidade de resistência é excedida localmente e as tensões necessitam de serem transferidas para o maciço como forma de estabilizar o ponto de iniciação da fratura. O monitoramento deverá detectar onde e como a fratura se propaga. O colapso pode ser induzido intencionalmente ou pelo desenvolvimento não controlado da propagação. O monitoramento necessita de detectar o quão longe e rápido a fratura se propaga. A cinemática das fraturas frágeis mostra que os mecanismos de iniciação, propagação e colapso ocorrem simultaneamente. Para este tipo de fratura o SISMO utiliza o monitoramento das variações das tensões em conjunto com o monitoramento das variações das deformações,

fazendo com que este binômio seja analisado no mesmo intervalo de tempo e em tempo real. Este processo de monitoramento é inédito. Nas fraturas dúcteis, os planos de ruptura não levam a uma instabilidade instantânea e as rupturas ocorrem com alguma previsibilidade. O monitoramento das deformações é muito útil para este tipo de ruptura, razão pela qual, o SISMO utiliza o monitoramento das variações das deformações onde os dados são captados e tratados "on line", monitoramento este inédito até então no mercado. O conceito de monitoramento para detectar os processos de ruptura, necessita de produzir uma coleção de dados que possam ser eventualmente combinados para se chegar a uma conclusão lógica sobre o comportamento mecânico monitorado. O processo de associar dados individualizados para produzir um imediato e conclusivo "feedback" requer uma especial atenção. O SISMO resolve esta questão pela utilização de um programa especialmente escrito, indissociável do processo e dos dispositivos, o qual proporciona uma análise comparativa de dados armazenados "on line", conforme aqui descrito detalhadamente.

[008] O monitoramento da variação das deformações e tensões tem como prerrogativa um conceito básico da mecânica, pois nenhuma deformação ocorre sem variação de tensões, sendo essas variações, propriedades caracterizadoras das deformações nos maciços rochosos. O SISMO utiliza e trata dados das medidas diretas das variações de tensão e deformações induzidas pelas escavações, sendo indicado para o monitoramento de colapsos e fraturas de maciços rochosos. Desta forma qualquer tipo de análise de estabilidade poderá utilizar o SISMO. No estado da técnica atual, as análises de estabilidade podem ser classificadas como análise ordinária e retro análise. A análise ordinária consiste em aplicarmos a um modelo, seja numérico ou físico, condições de esforços e propriedades mecânicas, obtendo-se deslocamentos, tensões e deformações. Estes parâmetros serão tomados como limites máximos admissíveis, formando assim a base do coeficiente de segurança adotado. A presente invenção SISMO compara os dados obtidos automaticamente aos limites máximos dos parâmetros adotados em tempo real. A retro análise na sua forma mais simples é o processo inverso da análise

ordinária, mas na atual evolução da geomecânica, retro análise não é simplesmente inverter a formulação. Na realidade mede-se deslocamentos, deformações e/ou tensões e aplica-se a um modelo numérico. Nesta seqüência os parâmetros geomecânicos e o modelo numérico são retro analisados. Na retro análise, a modelagem é mais importante que na análise ordinária, e o comportamento geomecânico deste modelo é usado para adequar um dimensionamento ou processo construtivo, de forma muito mais segura e econômica que um coeficiente de segurança. O processo e os dispositivos utilizados pelo SISMO permitem também a realização da retro análise em tempo real. Nos processos de monitoramento existentes as retro análises são realizadas posteriormente ao monitoramento retardando a tomada de decisão rápida, como, por exemplo, na previsão de acidentes.

[009] O monitoramento de maciços rochosos no Brasil utiliza a instrumentação tradicional para medidas de variação das deformações e tensões sendo as medições captadas com relógios comparadoras, realizadas por encarregados de canteiros de obra por meio da leitura ótica. Este fato permite a introdução de erros dos dados às análises posteriores. A instrumentação tradicional não está ligada a nenhum sistema de análise, sendo o registro das leituras realizadas em intervalos de tempo não contínuos. Os dados são anotados em cadernetas de campo e após digitalizados em uma planilha eletrônica, horas após haver ocorrido as variações de tensões e deformações. A instalação é lenta, só podendo ser aplicada a locais de relativa estabilidade, pois a leitura visual não permite sua instalação em locais de risco. Mais uma vez esses locais de risco cuja necessidade de monitoramento é premente não podem ser instrumentados com a instrumentação tradicional. A falta de um sistema de análise permite a introdução de erros de digitalização e o fato de não existir um registro contínuo dos dados, não permite também uma análise em tempo real, nem tão pouca a precisão correta e segurança nas tomadas de decisão, em zonas de risco, locais de maior interesse das obras escavadas.

[0010] Para suprir esta lacuna, a presente invenção está baseada em um processo e dispositivos de monitoramento e análise, intitulada: Sistema de Monitoramento e Previsão de Colapso de Escavações – SISMO. Em acordo

com os conceitos da mecânica das rochas e engenharia de rochas, o SISMO pode ser classificado como um monitoramento de indicadores diretos, permitindo de forma direta analisar a estabilidade de escavações. O SISMO tem como objetivo básico, aproximar diretamente o monitoramento de maciços rochosos e obras em rochas, aos processos construtivos e métodos de análises de estabilidade, garantindo a total segurança e integridade de obras e escavações em rochas.

[0011] O sistema é composto de quatro partes, a primeira utiliza instrumentos de medidas de convergência e/ou deformações, alongômetros construídos especialmente para serem equipados com transdutores transmissores de dados. Os alongômetros podem ser construídos com tubos de alumínio de diâmetros diferentes onde um tubo é encaixado dentro do outro. O tubo de menor diâmetro (5) é apoiado no interior do tubo de maior diâmetro (4) por uma mola (1) de baixa rigidez. A altura do conjunto é regulável, sendo a altura máxima atualmente de 15 metros. Os alongômetros são instrumentos que já existem, mas possuem a desvantagem de registrarem medidas de somente dois pontos opostos, sendo estes registros obtidos com relógios comparadores que apresentam todos os inconvenientes detectados nos estado da técnica. Corrigindo e aperfeiçoando os alongômetros, criamos especialmente para o SISMO alongômetros do tipo antena. A Figura 1a e 1b mostram hastes de alumínio de altura regulável com tubos de diâmetros diferentes apoiados em uma mola de baixa rigidez (1), com uma antena (2) regulável com duas hastes (3) que permitem o contato integral seja com uma superfície abobadada, Figura 1a, ou reta Figura 1b, das escavações subterrâneas não se restringindo a um só ponto. Temos em destaque o posicionamento de um LVDT (6) na figura 1b. Os LVDTs são transdutores transmissores de deslocamento existentes no mercado, mas utilizados na indústria mecânica e eletromecânica em geral para medir deslocamentos entre dois pontos. Até o presente momento não se tem notícia da utilização de LVDTs para medidas de deslocamentos com a utilização de alongômetros com antenas, aplicado ao monitoramento de maciços rochosos, como apresenta a inovação aqui discutida. O conjunto alongômetro de antenas e LVDT é uma

inovação. Estes alongamentos criados para o SISMO admitem várias alturas de regulagem medindo o deslocamento entre as paredes das escavações, podendo ser facilmente fixados pela pressão da mola, possibilitando a instalação em ângulos que podem variar de 0° a 360° nas cavidades. Estas atribuições tornam o sistema mais simples, versátil e mais econômico para os usuários, sendo os dados de deslocamento ou convergência ($\Delta\epsilon$), transmitidos pelos LVDTs em tempo real para o processamento instantâneo, permitindo ao usuário uma tomada de decisão rápida e segura. O SISMO admite também o uso de extensômetros simples ou múltiplos existentes no mercado para medidas de deslocamento, porém adaptando estes extensômetros para serem instrumentados com os LVDTs. Neste caso, os extensômetros instalados dentro do maciço rochoso através de um furo de sondagem rotativa ou perfuratriz, podem ser instrumentados P_0 com LVDTs ligados na extremidade do extensômetro que está fora do maciço rochoso. Este LVDT poderá ser fixado nas paredes, próximo às escavações, ou no início do furo de sondagem. Desta forma, o LVDT fica "dentro da rocha" protegido dos estilhaços de rocha, podendo ser instalado próximo do local de desmonte com explosivos. Este tipo de montagem inédita do SISMO permite medidas de deslocamento mesmo durante as operações de escavação e remoção do material desmontado. Com os extensômetros não há limite de altura das escavações permitindo ao usuário um monitoramento contínuo durante toda a existência da escavação em áreas de risco. O conjunto extensômetros e LVDT é também uma inovação exclusiva do SISMO, sendo que este conjunto se encaixa na entrada (16) (Figura 4).

[0012] Os instrumentos usados para medidas de variação de tensões induzidas por solicitações externas são usualmente chamados de macacos planos. Estes macacos planos existem na literatura sendo construídos partir de tubos de cobre sem costura com parede de 8 mm de espessura e diâmetro de 7 cm possuindo 15 cm de comprimento que funcionam como células de carga, equipadas com relógios comparadores ou manômetros de leitura ótica. Esse instrumento é muito pequeno para medir uma variação de tensões induzidas, devido a sua pequena área de influência, não servindo para uma medida de variação de tensão em tempo real. Para resolver este problema o invento aqui

descrito, aumenta a área e o comprimento dos tubos de cobre, passando a utilizar comprimentos variáveis e equipando estas almofadas com transdutores transmissores de pressão, construindo um medidor de variação de tensão robusto e muito mais eficaz. Esta almofada plana (Figura 2a) de comprimentos variáveis foi calçada com dois espaçadores construídos a partir de tarugos de alumínio com diâmetro compatível com os diâmetros dos furos de sondagem e utilizando um fecho de mola especial para reter a almofada plana. Esta montagem permite a instalação em qualquer profundidade transmitindo os dados em tempo real com o uso dos transdutores dispensando os antigos manômetros de pressão. A Figura 2a mostra a almofada (7) com os tubos de saída e entrada de óleo (8) e válvulas de entrada de óleo (9) e purgadora de ar (10). A figura 2b mostra como a almofada (7) está encaixada entre os calços de alumínio (11) sendo o conjunto de almofada e calços (11), unido fortemente pelo fecho especial utilizando uma mola (12). A espessura (13) varia com a ação do óleo que infla a almofada. No detalhe da Figura 2a vê-se o sistema de entrada de óleo (9) e saída de ar (10) para purgar a almofada. Este tipo de almofada intitulada, almofada plana (Figura 2a) é indicada para escavações onde a direção das tensões é relevante para a estabilidade. Desta forma a face plana da almofada é instalada na direção perpendicular ao relaxamento que se pretende monitorar. Projetamos e construímos também especialmente para o SISMO uma almofada de forma cilíndrica para não dizer em forma de salsicha, confeccionada com borracha do tipo pneumática de alta resistência com diâmetros e comprimentos compatíveis aos furos de sondagem rotativa. Esta almofada tem uma instalação mais simples que as almofadas planas de cobre, não necessitando dos calços de alumínio. A Figura 3a mostra a almofada de borracha na sua forma inflada (14) equipada com os tubos de saída e entrada de óleo (8a) e válvulas de entrada de óleo (9a) e purgadora de ar (10a), idênticos às estruturas (8), (9) e (10). Esta almofada cilíndrica é indicada para locais onde a direção das tensões, não é relevante na estabilidade das escavações. Desta forma a tensão aplicada será uma tensão radial aplicada na parede (15) da estrutura (14), indicada pelas setas da figura 3a . Estas almofadas são equipadas também com transdutores transmissores de pressão.

A escolha da capacidade de carga dos transdutores transmissores de carga para uso nos macacos planos depende do conhecimento de distribuição de tensões induzidas em estruturas escavadas. As almofadas são infladas com óleo lubrificante. Esta montagem de almofadas equipada com transdutores transmissores de pressão é uma novidade exclusiva do SISMO, sendo que esta montagem se encaixa na entrada (17) (Figura 4). O SISMO permite detectar em tempo real o relaxamento de tensões dentro das rochas, estruturas de concreto ou alvenaria onde são instaladas conforme mostrado na figura 3 (b). Estes dados são processados em tempo real com o uso de programa de tratamento de dados exclusivo do SISMO conforme será descrito adiante. O processamento agiliza a tomada de decisão permitindo ao usuário uma previsão do acidente, e monitorando uma perda ou aumento súbito de tensão em áreas distintas da escavação. As almofadas são infladas com o uso de uma bomba hidráulica manual comum, que envia o óleo às almofadas através de válvulas de agulha, acopladas aos transdutores transmissores de pressão. O carregamento das almofadas com óleo é feito progressivamente com pequenos incrementos, de tal forma que se possa detectar a existência de uma possível pressão necessária à acomodação da almofada no furo.

[0013] Transmitir dados analógicos de um ponto remoto captado pelos transdutores não é muito simples. A resistência de linha e "ground loop voltages" tende a degradar a precisão e a linearidade do sinal, requerendo especiais cuidados para a eficaz transmissão de dados. Para resolver este problema, o SISMO adota o uso de quatro condutores elétricos. Dois deles são usados para a alimentação do ponto de medida e os outros dois são usados para o retorno do sinal. No receptor foi usado um amplificador diferencial de sinal de alta impedância de entrada para eliminar o efeito de "ground loop voltage". Assim, o SISMO pode transmitir com precisão, dados por longas distâncias (centenas de metros) eliminando os problemas de transmissão á distancia. O sinal não é em tensão e sim em corrente. A transmissão do sinal em corrente é imune à queda de tensão provocada pelo comprimento do cabo e a ruído de motores, 'relays', chaves, transformadores e equipamentos industriais. Adicionalmente, o SISMO utiliza apenas dois fios, ou seja, a

alimentação da estação remota e a informação analógica são transmitidas sobre o mesmo par de fios em tempo real alimentada por baterias de automóveis. Essa montagem é também uma inovação exclusiva do SISMO.

[0014] A invenção SISMO está ainda relacionada a um sistema de transmissão e tratamento de dados, composto dos transdutores transmissores descritos anteriormente, placa conversora corrente – tensão, uma interface analógica - digital, microcomputador e programas de controle e tratamento dos dados conforme será descrito adiante. Esta montagem é uma exclusividade do SISMO, pois conforme aqui descrito, os instrumentos de medida de deformação e tensão de maciços rochosos são peças rústicas, equipadas com relógios comparadores, não havendo nenhuma preocupação com a precisão, velocidade e rapidez no tratamento dos dados.

[0015] A Figura 4 mostra os transdutores transmissores tipo LVTD (16) e do tipo transdutores transmissores de pressão (17) conectados a uma caixa especial de conexão resistente a água e a choques (18), através de fios blindados (19). Desta caixa sai um cabo com 20 pares de fios, tipo cabo telefônico, que vão de encontro a um carretel (20) onde é conectado a uma extensão (21) que por sua vez é levada a uma caixa de ligação e alimentação de voltagem (12 Volts) (8) com a 2ª extensão (23) e o plug do conversor A/D (24). O plug (22) do conversor A/D é conectado em um micro computador através de uma entrada do tipo RS 232. Outra versatilidade do SISMO é a transmissão de dados via rádiofrequência onde os cabos (19) e (21) da Figura 4, carretel (20) e extensão (23), são substituídos por antenas de radio transmissão. Desta forma quando existe uma limitação de profundidade, uma complexidade nos caminhos traçados pelas galerias das minas subterrâneas, obstrução por água ou qualquer outro obstáculo, o SISMO oferece esta opção, proporcionando ao usuário uma economia com ligações com fios, assim como uma segurança de instalação e transmissão de dados, em locais de difícil acesso. A Figura 5 mostra um esquema desta transmissão onde os transdutores transmissores (16) e (17) são equipados com módulos comerciais de transmissão à distância (Figura 5), indo de encontro a uma caixa repetidora

de sinais (25) que por sua vez é conecta diretamente à CPU (26) de um computador equipada com radio receptor.

[0016] Complementarmente foram criados dois programas específicos de aquisição e tratamento de dados. O programa de tratamento de dados é o programa que contém a originalidade e a tecnologia inventiva do SISMO. É um programa específico do hardware do SISMO, não devendo nem podendo ser utilizado fora do sistema. Denominamos ESTÁVEL este programa, que utiliza os conceitos dos processos de análise do Gradiente Modificado, desenvolvido especialmente para o SISMO. Logo após a escavação de uma galeria, túnel, ou qualquer escavação subterrânea, a perturbação causada ao maciço tende a voltar ao equilíbrio. Este estado de equilíbrio e perturbação se reveza em função do tempo, sendo traduzido por curvas de variações das tensões ($\Delta\sigma$) e deformações ($\Delta\epsilon$). Neste estado de equilíbrio e perturbação com o tempo, a aceleração do aumento dos valores das ($\Delta\epsilon$) e ($\Delta\sigma$), seguido de um alívio brusco de tensões traduzido pela diminuição brusca dos valores das ($\Delta\sigma$), podem indicar uma possível ruptura das rochas.

[0017] Uma evolução das deformações e tensões com o tempo de forma "amortecida", não é suficiente para determinar a aceleração ocorrida. Na prática, as curvas de ($\Delta\epsilon$) e ($\Delta\sigma$) se apresentam "amortecidas", ou seja, os dados variam entre o equilíbrio (máximo) e a perturbação (mínima). A figura 6 ilustra as variações (1) das deformações e tensões. A reta tracejada (2) é uma média estatística dos pontos obtidos que é gerada através do método dos mínimos quadrados, conhecido na literatura. A Figura 7a mostra uma baixa dispersão, e a Figura 7b mostra uma alta (2) dispersão de dados. Conseqüentemente, este processo de análise se baseia na evolução das deformações e tensões com o tempo, sendo o intervalo de amostragem de grande importância. No estado da técnica atual os instrumentos de monitoramento tradicionais impossibilitam aplicar ou construir um processo como este, pois o fato de não existir uma história de dados, registrados em tempo real, impede qualquer análise objetiva e instantânea.

[0018] O processo utiliza um dispositivo de cálculo que compara a curva obtida em um tempo anterior t_1 , à curva obtida no tempo posterior t_2 . Para esta

finalidade a simplicidade do método dos mínimos quadrados é conveniente, devido à possibilidade de se ajustar coeficientes de correlação e desvios de acordo com intervalos de confiança calculados. A nossa versão atual do programa trata as medidas obtidas durante um período de tempo de aquisição de dados objetivando, o cálculo da velocidade de variação das deformações e das tensões a cada instante. O período de amostragem para este cálculo da velocidade é a julgo e experiência na matéria de quem estiver operando o SISMO. Para melhor compreensão apresentamos as características destas retas, $D1$ (deformação) = $a1 \times t$ (tempo) + $b1$, e, $T1$ (tensão) = $c1 \times t$ (tempo) + $k1$, assumindo a equação geral do processo a forma: $Y = ax + b$ (1), sendo Y , dados obtidos e x o tempo de aquisição dos dados, o cálculo permite, um primeiro teste para constatar se a inclinação da reta "a" demonstra maior inclinação, menor inclinação ou se ficou constante no decorrer do período de amostragem. Fisicamente significa medir as acelerações das deformações e tensões com relaxamento brusco. Estas constatações são tratadas no programa como: convergência, divergência e constante. A partir daí o processo compara a tendência central observada à nova tendência calculada. Estas tendências se materializam através de retas geradas pelos mínimos quadrados. A comparação entre as dispersões dos dados em um tempo $t1$ e tempo $t2$ permite avaliar uma possível desordem no sistema de medida, ou seja, um aumento da amplitude dos saltos entre as medidas feitas. A Figura 8a ilustra os períodos de observação e mostra a comparação da inclinação da reta permitindo avaliar o aumento da velocidade de deformação ou tensão em função do tempo assim como a diminuição Figura 8b. O cálculo compara a diferença entre as inclinações das retas geradas entre os tempos, $t=0$ e $t=1$, e se esta diferença é grande, tem-se uma aceleração das deformações ou das tensões. Se as duas retas obtidas são semelhantes, os dados do período de amostragem serão somados aos dados precedentes para definir uma reta do período $i + 1$. O incremento de novos dados gera uma nova reta, que passa a ser a reta de referência.

[0019] O programa ESTAVEL é baseado em níveis hierárquicos de alarmes, proporcionando ao SISMO a previsão e prevenção de colapsos. O primeiro

nível de alarme pode ser feito cotidianamente comparando-se a medida obtida à reta de referência, tendo em conta a dispersão, definindo o primeiro nível de alarme é mostrado na figura 9a. Se a segunda medida está ainda fora do intervalo de confiança da medida calculada, mostrado na figura 9b, um segundo alarme é acionado. O terceiro nível de alarme mostrado na figura 9c é acionado, quando dentro de um mesmo intervalo de tempo, ocorre um relaxamento da tensão, concomitantemente ao nível de alarme 2 mostrado na figura 9b. Dentro deste processo é necessária a comparação entre as constantes b ($t=0$) e b ($t=1$) da equação geral do processo, mostrada no parágrafo 10 desta página. Este parâmetro pode provocar uma mudança na origem das retas obtidas. Quando as retas têm a mesma inclinação, uma diferença do parâmetro b significa que as duas retas não se encontram dentro do intervalo de tempo escolhido para a aquisição de dados. Poderá ocorrer uma tendência a amortecimento das deformações e tensões medidas. Este amortecimento poderá ser lento em relação à velocidade da aquisição de dados, ou seja, do intervalo de amostragem. Para resolver este problema o processo adota um valor de b crescente, indicando um aumento na aceleração das deformações e tensões, confirmando também o segundo e terceiro níveis de alarme. A figura 10a mostra um intervalo de amostragem mal escolhido e a Figura 10b um intervalo bem escolhido.

[0020] Conforme descrito anteriormente, o processo admite também a introdução de comparações de curvas de comportamento mecânico gerado através de cálculos do programa ESTÁVEL, comparadas as curvas introduzidas no programa pelo usuário. A figura 11 mostra em forma de fluxograma o processo de tratamento e análise de dados cativos do SISMO. Os alarmes calculados pelo programa acionam os relês eletroeletrônicos existentes no mercado de baixo custo, que por sua vez acionam sirenes ou luzes instaladas em locais de risco. Este alarme mostra que a escavação necessita de ser escorada ou confortada. Mais uma inovação do SISMO é mostrada aqui, pois o estado da técnica atual não permite que os monitoramentos praticados, tenham várias funções pré-estabelecidas, geradas

e tratadas em tempo real gerando um histórico instantâneo dos parâmetros, necessários à tomada de decisão rápida na área da engenharia de rochas.

[0021] O funcionamento do programa ESTÁVEL é realizado em cinco etapas distintas: inicialização (definição de parâmetros de ensaio), aquisição de dados (leituras através da placa A/D), análise de dados (processo do gradiente modificado), apresentação (tabelas e gráficos ou saída em impressora), finalização (interrupção ou finalização dos ensaios). A inicialização ocorre a cada novo ensaio inicializado e o programa apresenta automaticamente uma tela para a definição de parâmetros de ensaio. Na versão do programa utilizada pelo SISMO têm-se os seguintes parâmetros:

[0022] Número de canais (oito), intervalo de tempo do amostrador de leitura variável escolhida pelo usuário, intervalo de tempo do amostrador de registros (arquivo), intervalo de tempo para carga do vetor histórico das retas simuladas e coeficientes das retas simuladas. O módulo de aquisição de dados comanda as leituras dos valores de variação de tensão e deformação através da placa A/D. Na versão atual, os canais 1, 2, 3 e 4 estão conectados aos transdutores de pressão e os canais 5, 6, 7 e 8, aos transdutores de deslocamento. A cada intervalo de tempo decorrido da última aquisição é feita nova leitura e assim sucessivamente, até que ocorra um comando de interrupção, uma pausa ou finalização dos ensaios. A cada ciclo de leitura, o amostrador coleta valores captados pelos transdutores de todos os canais, e coloca no topo dos vetores de leitura, de registro e histórico. A cada ciclo de registro, os últimos vetores validados do vetor de registro são gravados no arquivo de dados até que haja o comando de interrupção, pausa ou finalização. O registro histórico mantém na memória do computador, os dados coletados que podem ser vistos graficamente.

[0023] A análise dos dados é realizada em três etapas, na primeira, os dados dos vetores de registro de cada canal é suavizado através do método de médias móveis, amplamente divulgado na literatura sobre o assunto. A média obtida é armazenada no vetor histórico que pode ser visualizado graficamente. Cada novo dado é testado em relação aos quatro últimos dados anteriores através da reta ajustada, pelo método dos mínimos quadrados e extrapoladas

para um intervalo de confiança. A regressão fornece também os limites inferiores e superiores do intervalo de confiança que é mostrado graficamente em tela. Cada valor é testado para verificar sua posição em relação ao intervalo de confiança. As análises são efetuadas comparando-se as inclinações das retas geradas e o termo independente, em um instante atual, com as retas geradas no instante anterior. A cada teste o vetor é atualizado, deixando assim cada nova reta gerada, ser comparada com a reta imediatamente anterior, o que vai produzir os níveis de alarmes descritos. Os valores coletados pelo sistema de aquisição e resultados analisados são apresentados em tela na forma de tabela ou gráficos. Na forma de tabela são apresentados os 10 últimos valores dos 8 canais de leitura. Os resultados da análise, bem como os valores determinados durante o processamento, podem ser vistos na tabela. As informações sobre os alarmes e testes são apresentadas em fundo verde, no caso da cavidade ser estável, e em vermelho caso ocorra instabilidade. A comutação para a forma gráfica de visualização da análise é feita pressionando-se a tecla F4, para a série temporal fornecida pelo vetor histórico ou F5 para os gráficos das retas tratadas. Para interromper ou finalizar os ensaios, basta pressionar a tecla F8 o que faz apresentar o menu para interromper ou finalizar os ensaios. Quando a monitoração é interrompida ao chamar o programa novamente, o SISMO recupera as definições feitas no início dos ensaios, calcula o tempo de interrupção e continua no mesmo arquivo até a nova interrupção ou finalização do monitoramento. Quando a opção for a finalização, o programa encerra o processo de monitoramento, gerando um arquivo de dados e libera o processamento para novo ciclo de monitoramento independente do anterior, proporcionando um arquivo próprio para cada um desses monitoramentos.

[0024] Está comprovado que os dados gerados pelo SISMO podem alimentar um programa que trabalhe com métodos numéricos. A comprovação da versatilidade do SISMO foi realizada com o programa UDEC, versão 1.7B que aplica o método dos elementos distintos. Os dados de tensão e deformação gerados em função do tempo são condições de carregamento, dados necessários ao processamento do UDEC. O processo atualmente

consiste nas etapas seguintes: o programa ESTÁVEL fornece as curvas de variação de tensão e deformação em função do tempo. Estas curvas são arquivadas na forma de derivadas numéricas. O programa UDEC é alimentado com esses dados. Anteriormente a essas etapas, um modelo de comportamento mecânico é concebido para a cavidade instrumentada. O programa UDEC é processado criando curvas de deformação e tensão nas condições do modelo. As curvas geradas pelo UDEC são comparadas àquelas dos sensores tratados pelo programa ESTÁVEL. No instante em que essas curvas apresentam resultados compatíveis, o monitoramento através do SISMO e o modelo numérico da cavidade passam a ser a expressão mais fiel e completa do comportamento mecânico e reológico da escavação monitorada.

[0025] Esse procedimento tem grandes vantagens, mencionando-se não restritivamente, o monitoramento através do programa ESTÁVEL possibilita o cruzamento de informações necessárias à previsão de colapso, sem contudo, mostrar a mecânica do processo de ruptura. O programa numérico escolhido pelo usuário, mostra em tela as distribuições de tensões e as deformações bidimensionais, o processo de ruptura através de blocos e juntas, acrescentando a possibilidade do dimensionamento de suportes.

[0026] O SISMO foi construído para o monitoramento da estabilidade das escavações subterrâneas em rochas para obras civis e mineiras, podendo ser utilizado em análise de cavidades naturais. A capacidade de armazenamento de dados e sua respectiva análise dependem do intervalo de tempo de amostragem dos dados. No caso das escavações subterrâneas civis e mineiras, o SISMO oferece a possibilidade de ser instalado próximo às frentes de escavação com explosivos sem atrapalhar o avanço e a retirada do material desmontado. Os sensores de deformação e tensão podem ser instalados em instrumentos de medidas de deformação e tensão, trabalhando dentro de furos de sondagem. No caso de supervisão de cavidades escavadas ou naturais, de difícil acesso, os sensores e instrumentos de medição podem ser instalados na zona de perigo e monitorados fora delas. Dependendo da infraestrutura do usuário, o monitoramento poderá ser instalado no escritório de supervisão, ou gerências de produção ou segurança. Sua instalação demanda

um tempo máximo de 4 horas, podendo ser operado por baterias comuns de automóvel. O SISMO pode ser operado através de rádio transmissão eliminando o cabo telefônico. Desta forma através da radio transmissão à versatilidade do SISMO permite o monitoramento das tensões e deformações captando dados a qualquer profundidade no caso das minas subterrâneas ou obras civis subterrâneas, até a central equipada com computadores, onde todo o acompanhamento da segurança das escavações pode estar centralizado. No caso de túneis ferroviários, rodoviários, hidroviários, ou outro qualquer tipo de túnel, o SISMO pode ser aplicado, sendo os dados transmitidos "on line" a supervisão da obra. Estas vantagens e inovações são exclusivas do SISMO uma vez que o monitoramento utilizado atualmente, não permite nenhuma das opções citadas acima.

[0027] O SISMO é o único sistema de monitoramento atual que permite construir novos caminhos, para as análises de tensões e deformações aplicadas à estabilidade de escavações, pois a evolução tecnológica e científica dos processos de monitoramento de maciços rochosos está na habilidade de integrar, cruzar e combinar os dados obtidos em tempo real.

[0028] As etapas que compreendem o processo de monitoramento e de previsão de colapso em escavações, implementadas por meio do programa "ESTÁVEL" são:

- a) Medir dados para obter curva de referência atual;
- b) Calcular coeficiente de variação dos dados medidos na etapa "a)";
- c) Determinar nova característica da curva (curva atual);
- d) Determinar curvas de simulação;
- e) Comparar o coeficiente "a" da curva simulada com o coeficiente "a" da curva atual;
- f) Comparar o coeficiente "b" da curva simulada com o coeficiente "b" da curva atual;
- g) Avaliar se há convergência ou divergência com relação aos valores atuais;
- h) Comparar dispersão dos dados atuais com a curva de referência já existente;

- i) Comparar o coeficiente "a" da curva de referência com o coeficiente "a" da curva atual;
- i) Comparar o coeficiente "b" da curva de referência com o coeficiente "b" da curva atual;
- k) Determinar a nova curva de referência.

REIVINDICAÇÕES

- 1. Dispositivo de Monitoramento e Previsão de Colapso em Escavações, caracterizado por** compreender dispositivo de medida de variação de tensões, consistindo em almofadas planas (7) e almofadas cilíndricas (14), equipadas com transdutores transmissores de pressão (17); por compreender dispositivo de medida de variação de deformação ou alongômetros, equipados por transdutores transmissores de deformação (16); e por nele se acoplar dispositivos de transmissão de dados via cabo telefônico ou radio transmissão.
- 2. Dispositivo de Monitoramento e Previsão de Colapso em Escavações, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por** compreender dispositivo de alarme em tempo real, baseado na aceleração e desaceleração das variações das tensões e deformações dentro de um mesmo intervalo de tempo.
- 3. Dispositivo de Monitoramento e Previsão de Colapso em Escavações, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo** dispositivo de medida de variação de tensão poder instrumentar extensômetros simples e múltiplos com LVDTs.
- 4. Dispositivo de Monitoramento e Previsão de Colapso em Escavações, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela** almofada plana (7) estar encaixada entre os calços de alumínio (11) por meio de uma mola (12).
- 5. Processo de Monitoramento e Prevenção de Colapso em Escavações, caracterizado pela** aquisição, tratamento e análises de dados, feito pelo programa Estável, cujo algoritmo compreende as seguintes etapas:
 - a) Medir dados para obter curva de referência atual;
 - b) Calcular coeficiente de variação dos dados medidos na etapa "a)";
 - c) Determinar nova característica da curva (curva atual);
 - d) Determinar curvas de simulação;
 - e) Comparar o coeficiente "a" da curva simulada com o coeficiente "a" da curva atual;

- f) Comparar o coeficiente "b" da curva simulada com o coeficiente "b" da curva atual;
- g) Avaliar se há convergência ou divergência com relação aos valores atuais;
- h) Comparar dispersão dos dados atuais com a curva de referência já existente;
- i) Comparar o coeficiente "a" da curva de referência com o coeficiente "a" da curva atual;
- j) Comparar o coeficiente "b" da curva de referência com o coeficiente "b" da curva atual;
- k) Determinar a nova curva de referência.

Fig. 1a

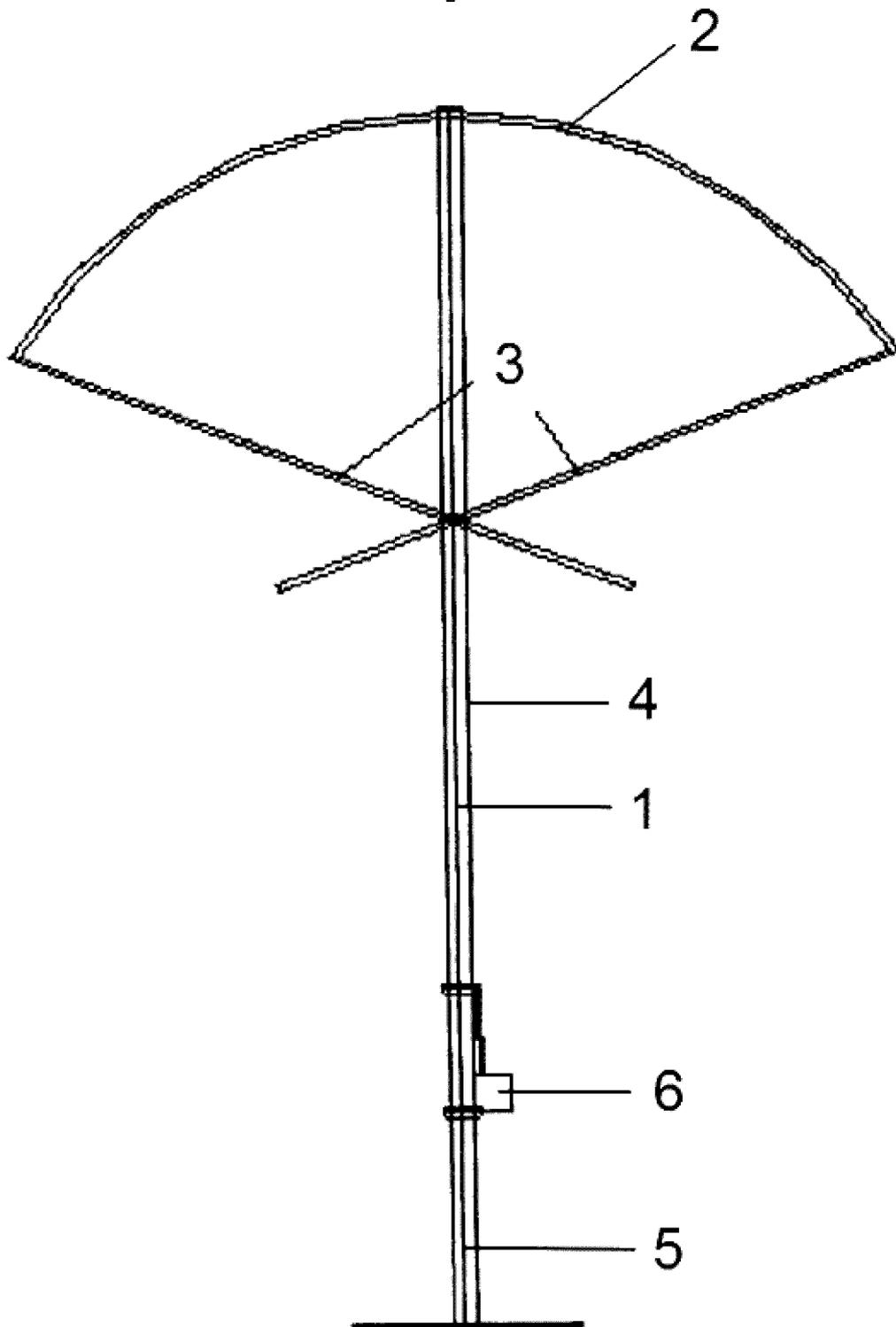


Fig. 1b

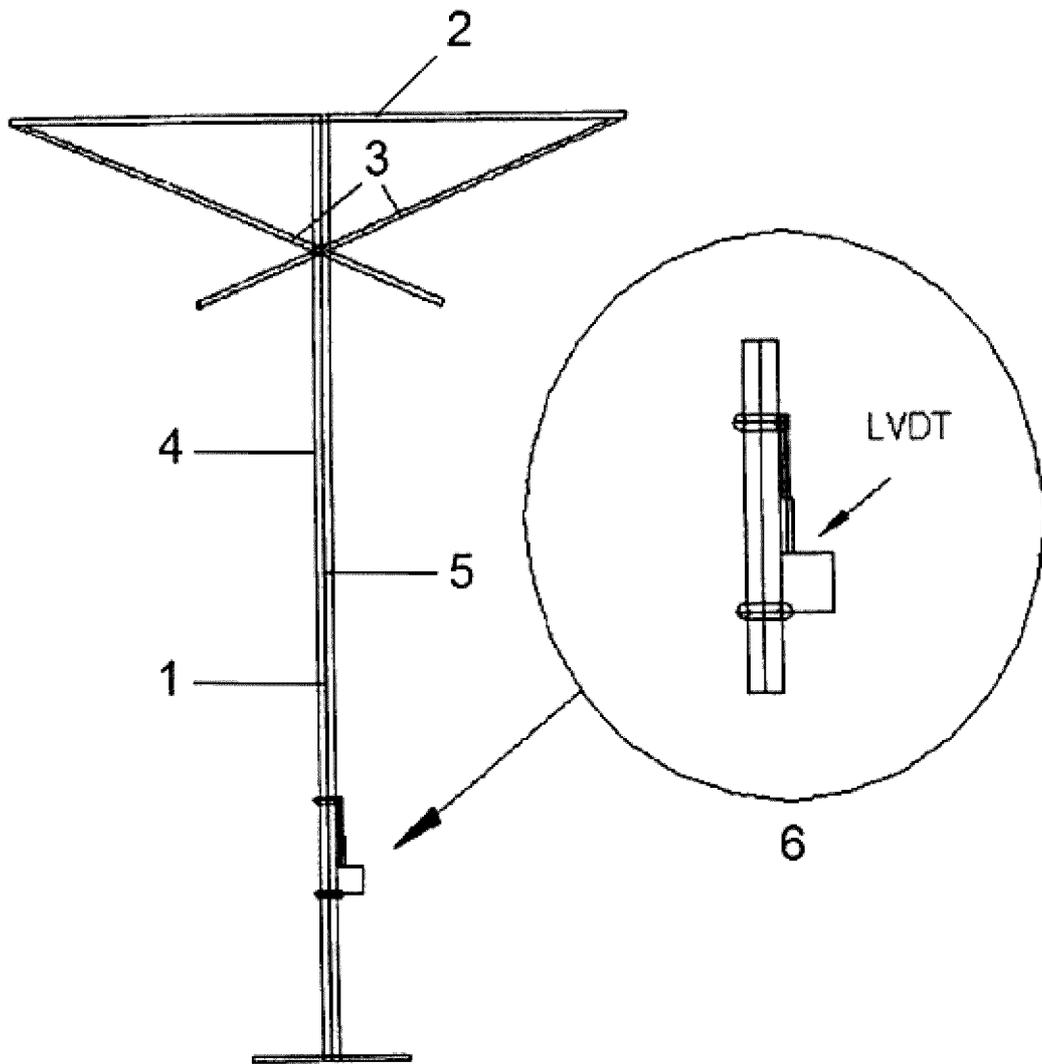


Fig. 2a

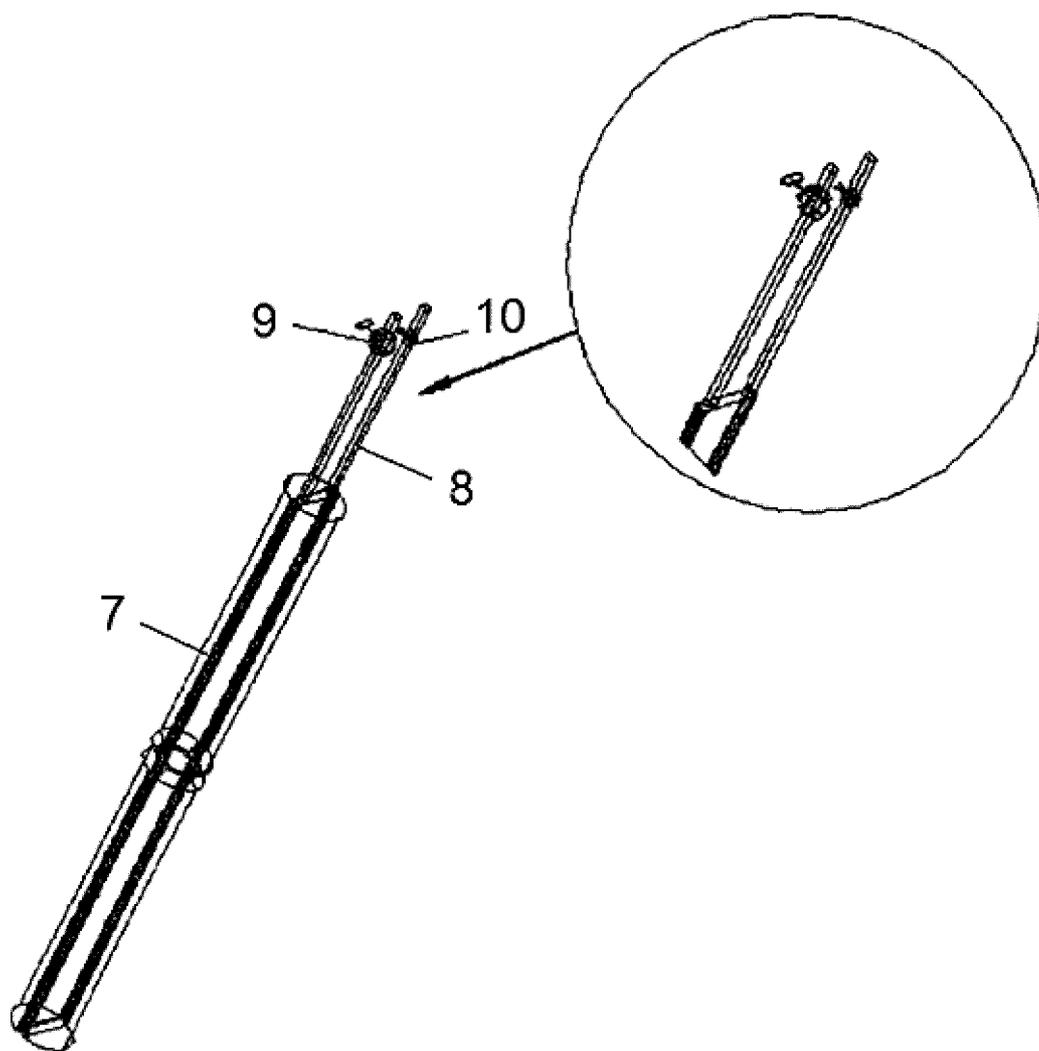


Fig. 2b

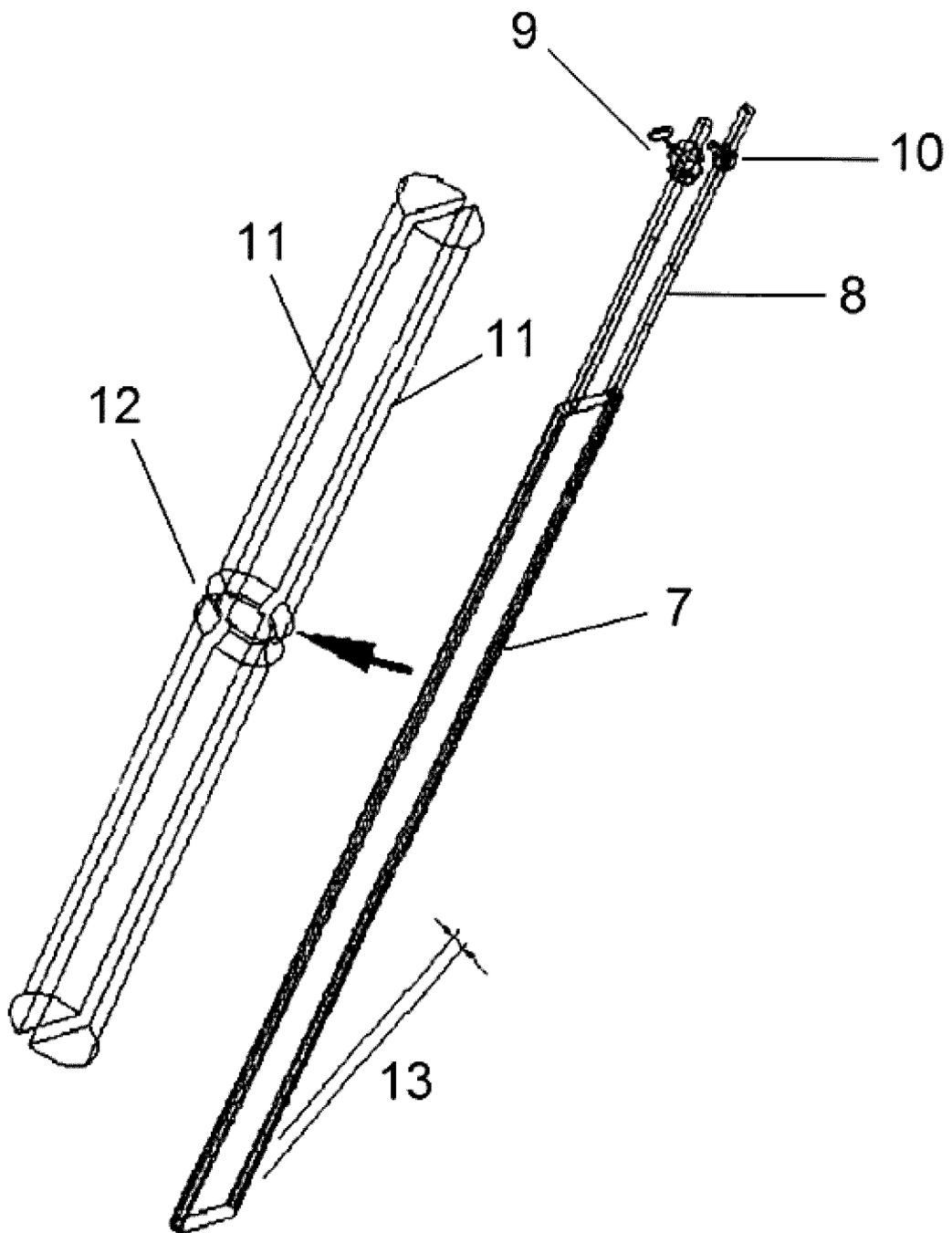


Fig. 3a

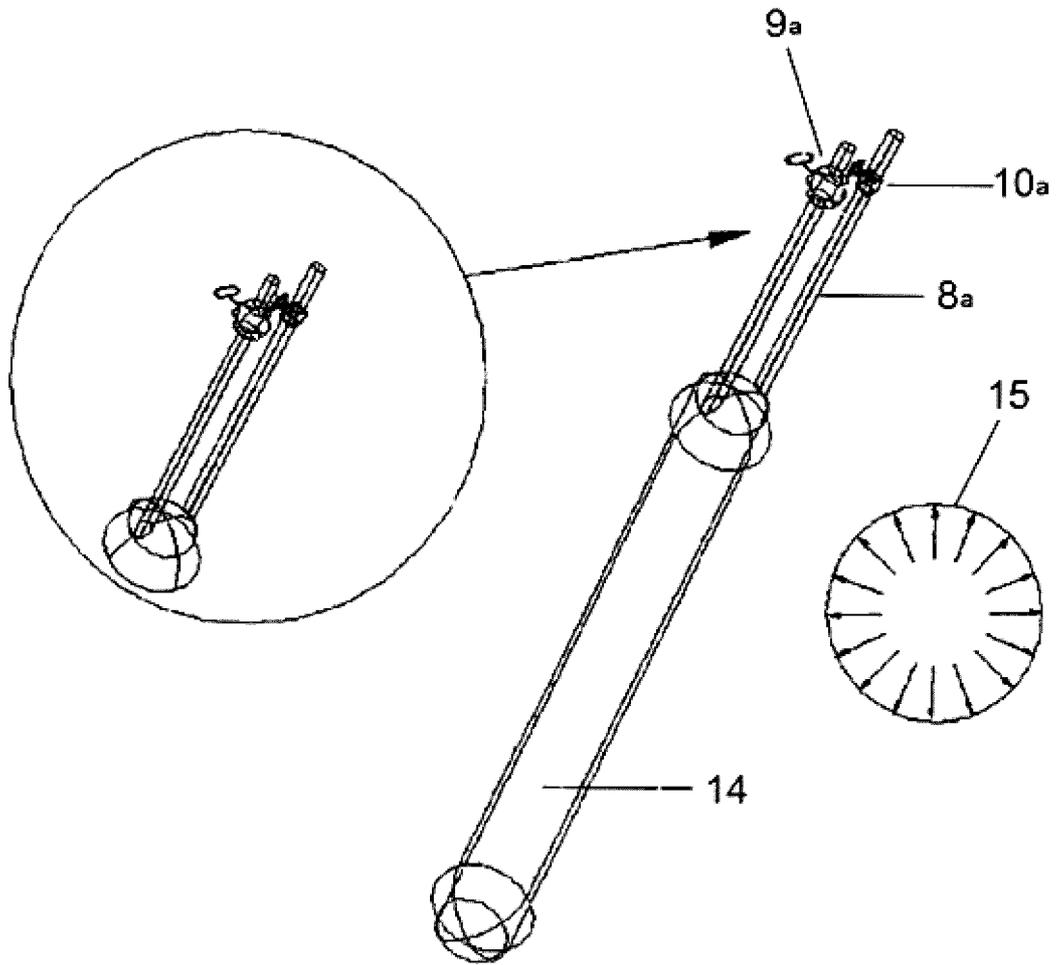


Fig. 3.b

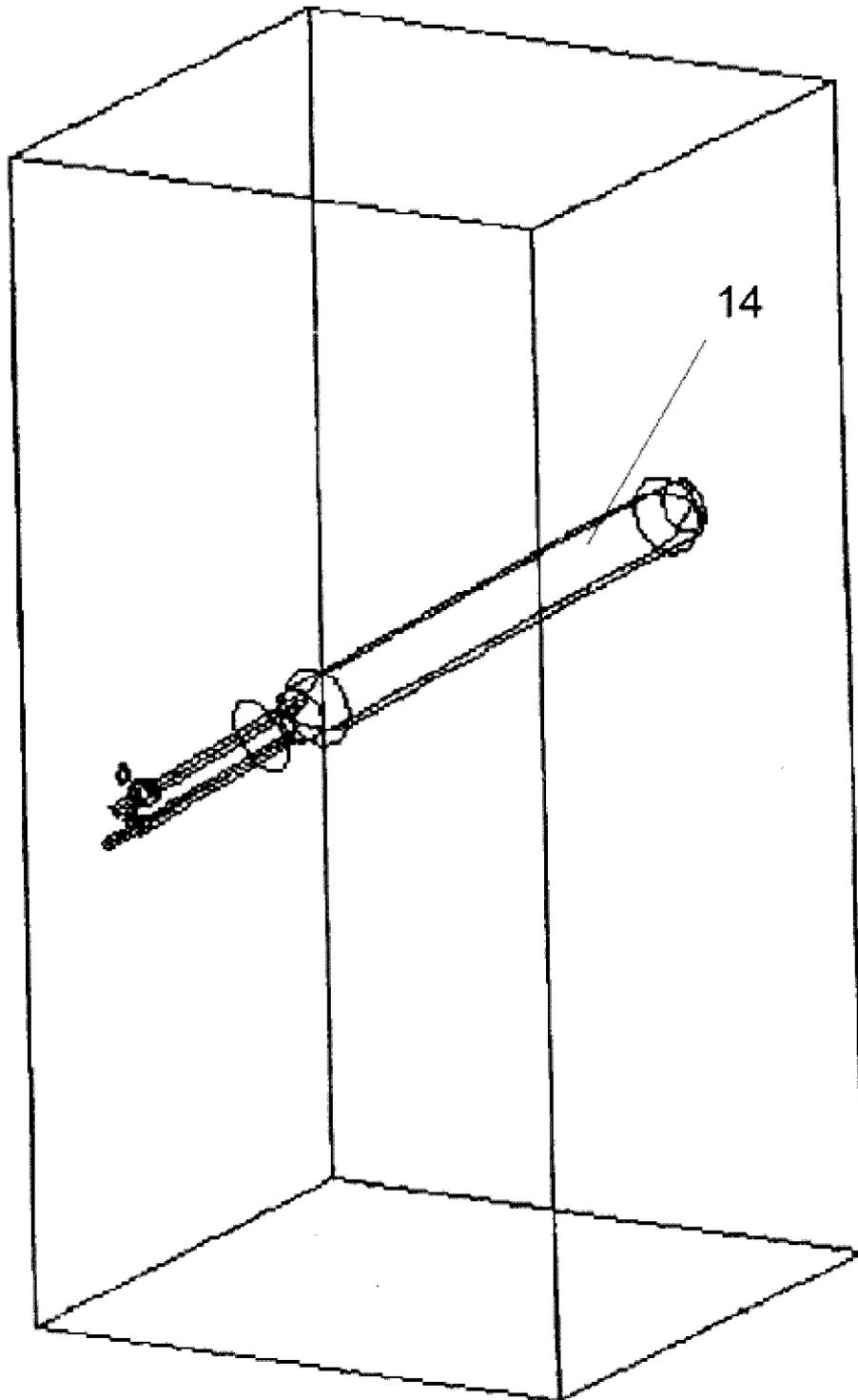


Fig. 4

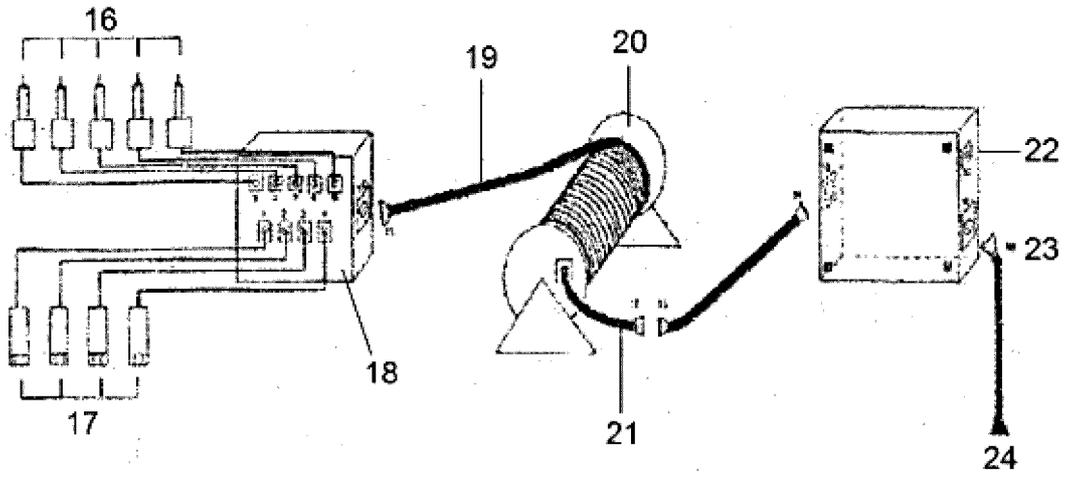


Fig. 5

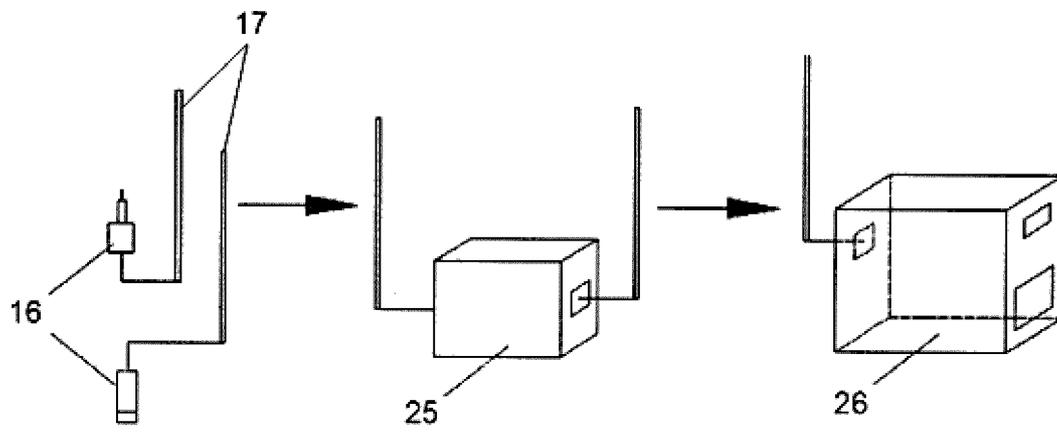


Fig. 6

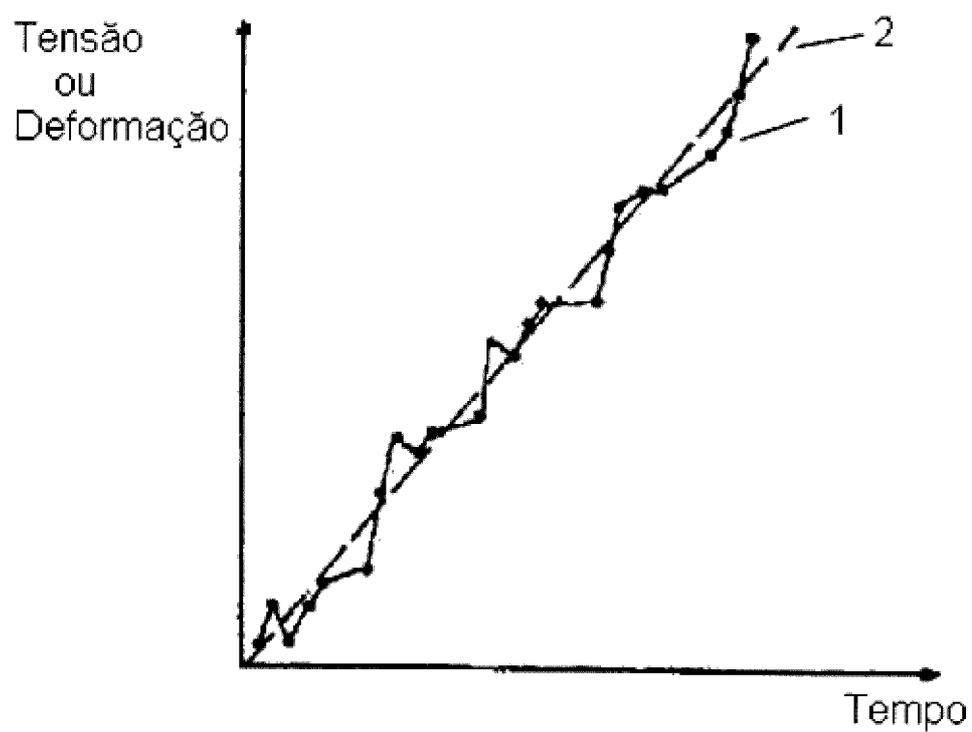


Fig. 7a

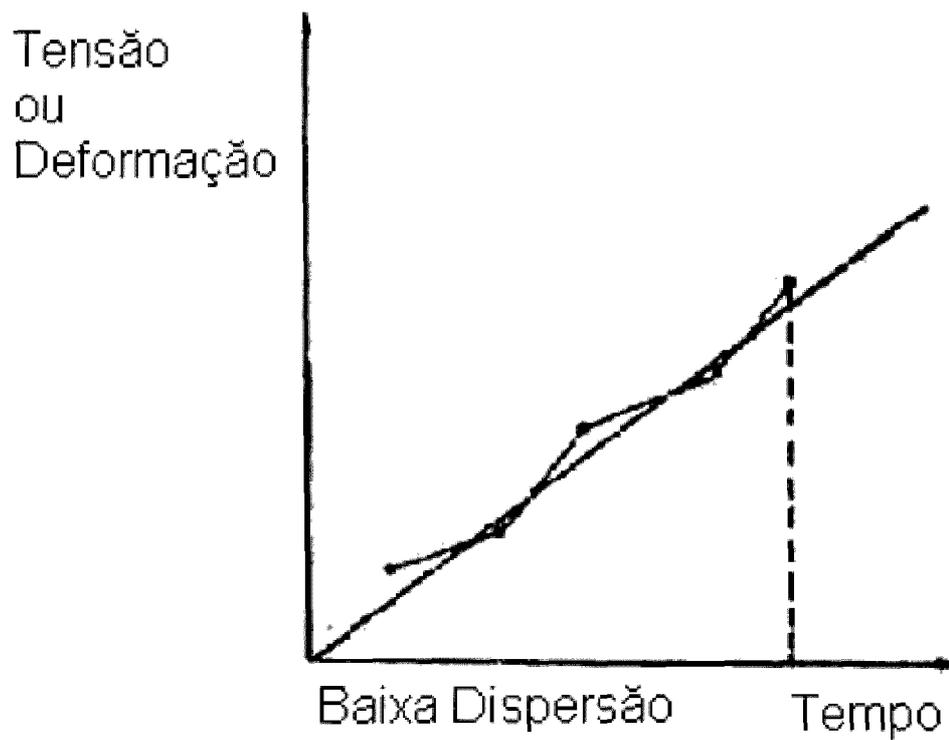


Fig. 7b

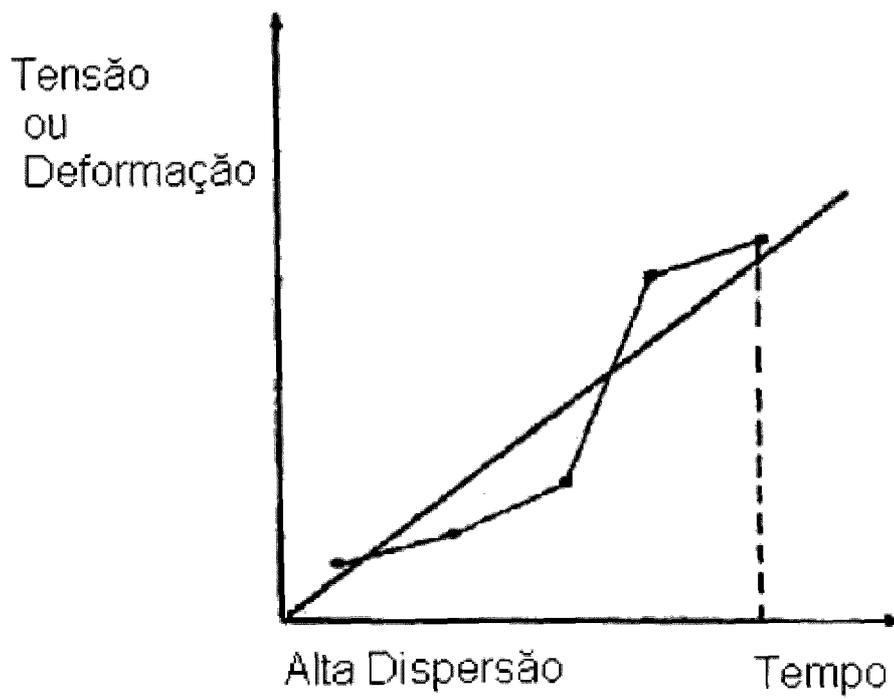


Fig. 8a

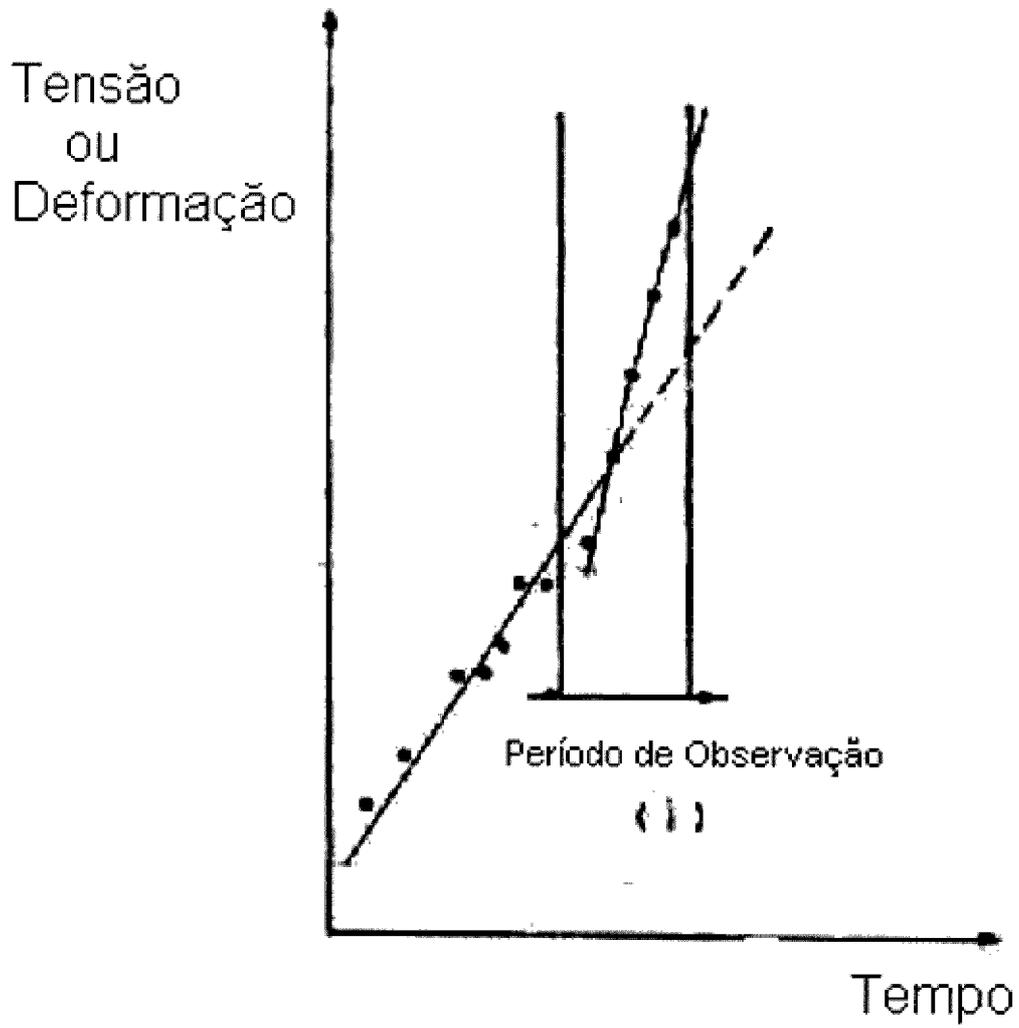


Fig. 8b

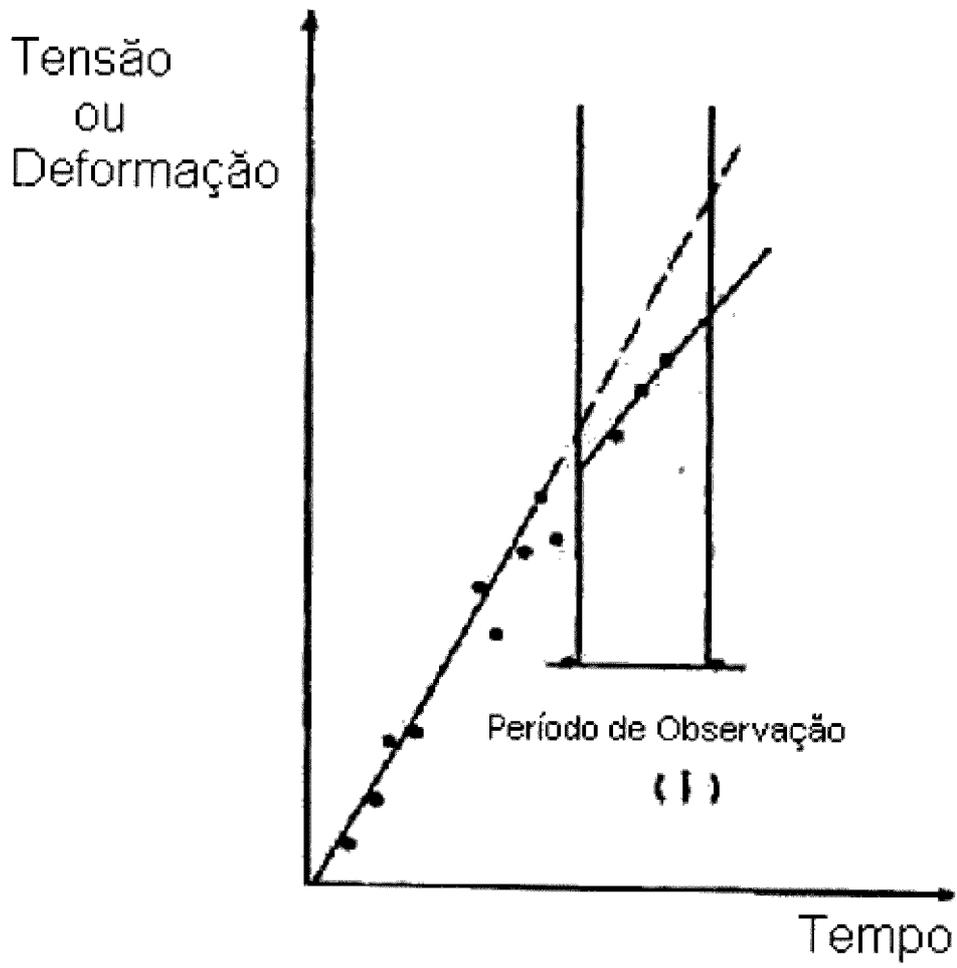


Fig. 9a

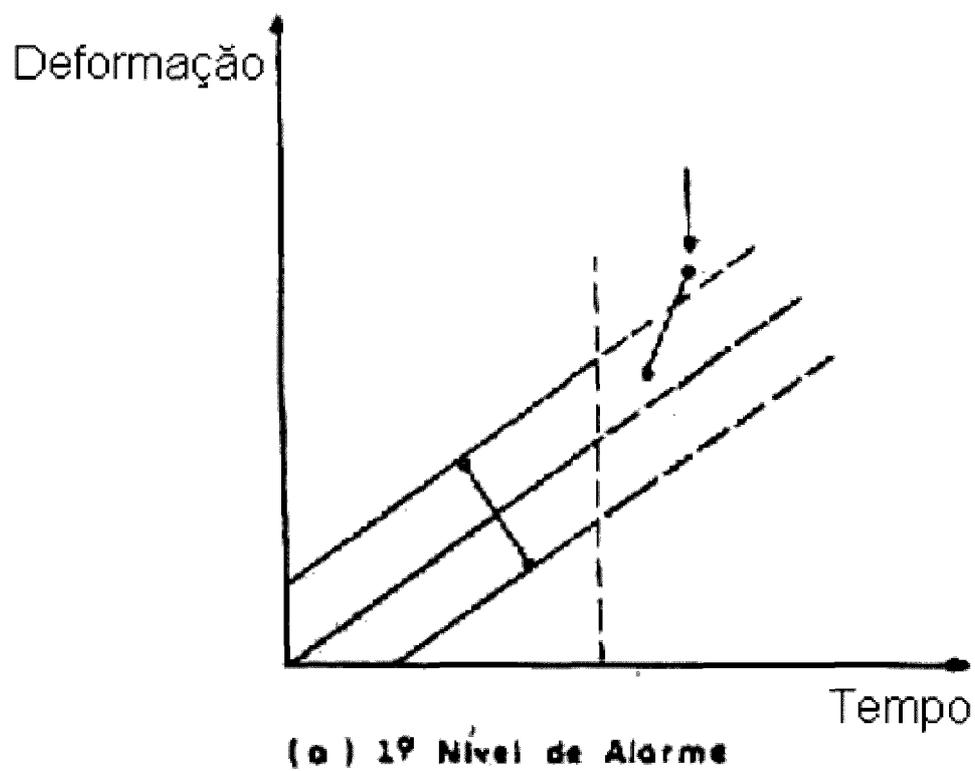


Fig. 9b

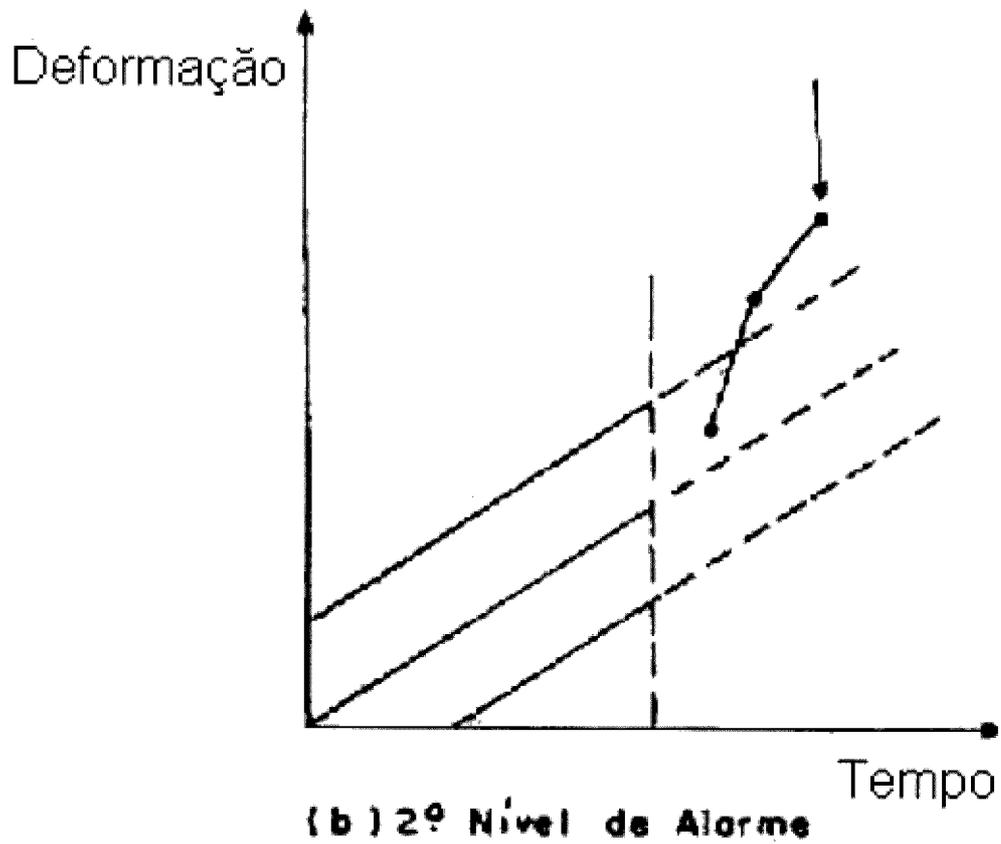


Fig. 9c

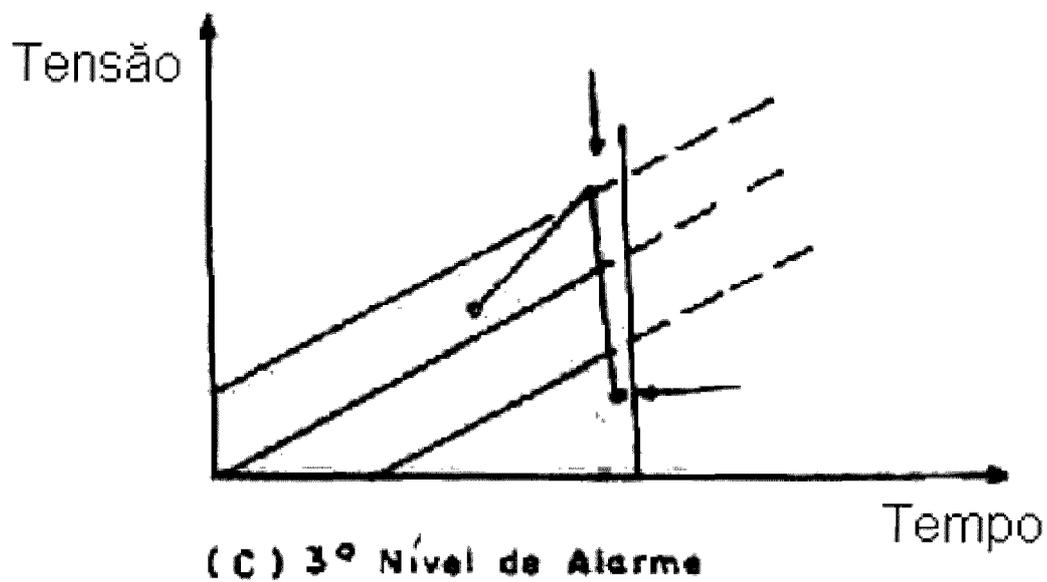


Fig. 10a

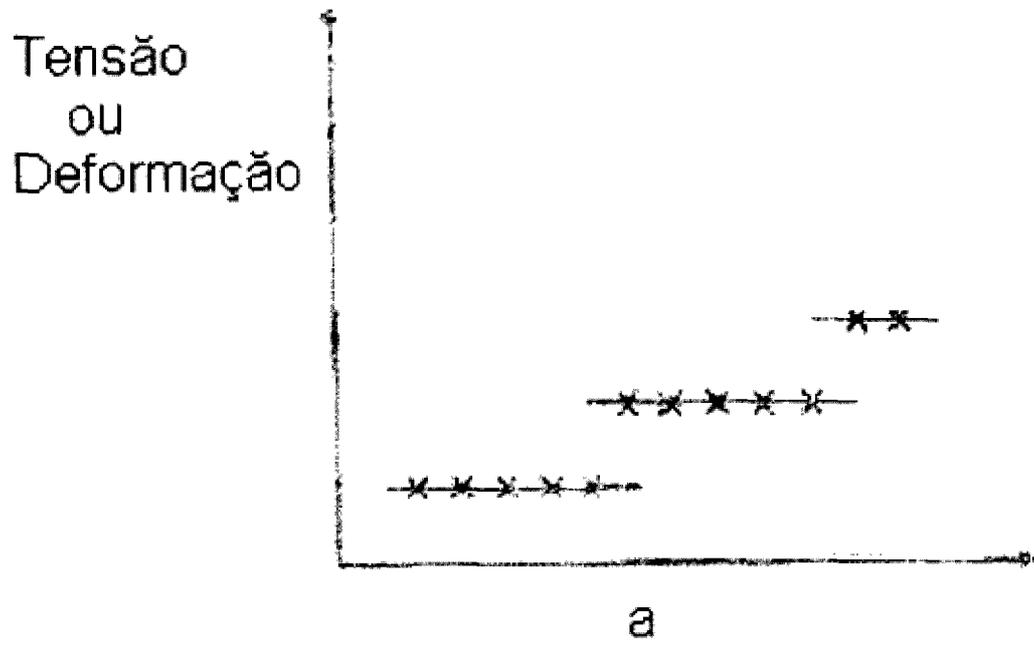


Fig. 10b

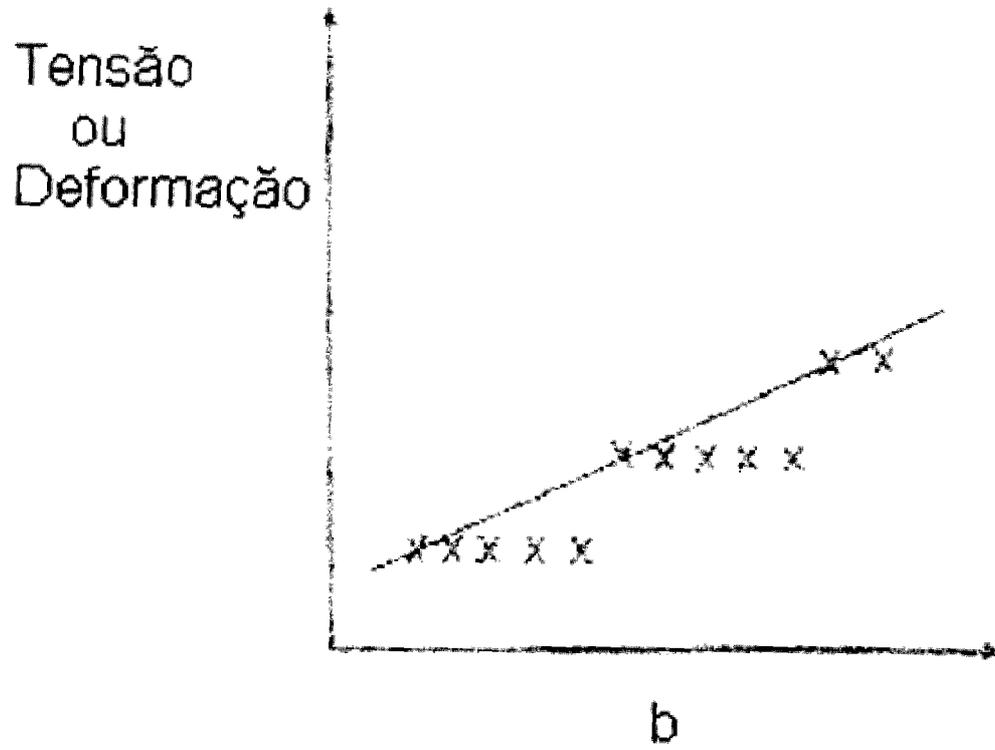
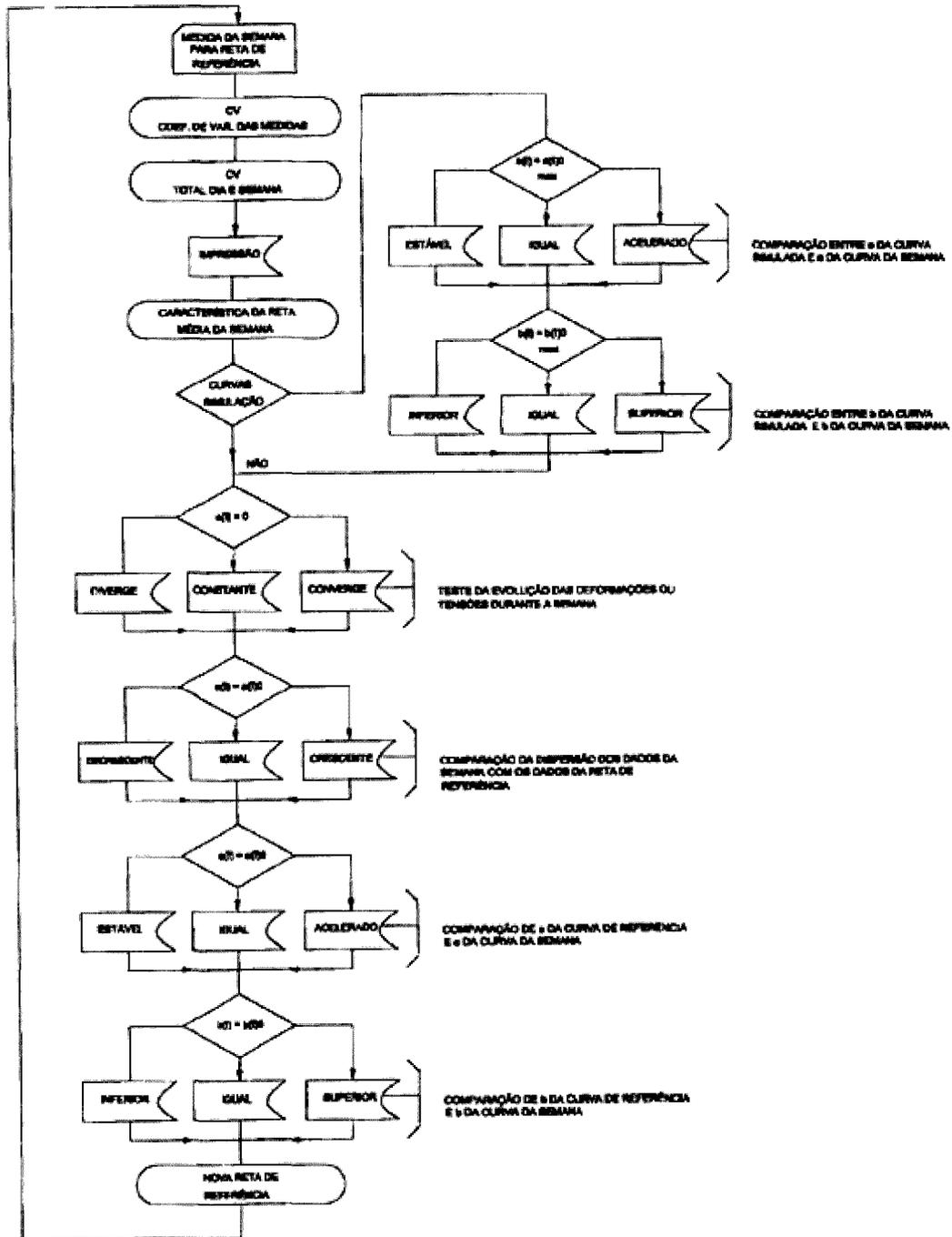


Fig. 11



RESUMO

“PROCESSO E DISPOSITIVOS DE MONITORAMENTO E DE PREVISÃO DE COLAPSO EM ESCAVAÇÕES – SISMO”

A presente invenção diz respeito a um processo e dispositivos de monitoramento para a previsão de colapso em escavações. A aquisição e tratamento de dados são realizados em tempo real, referentes a variação de tensão por meio de almofadas planas, ligadas a transdutores e transmissores de pressão, assim como dados referentes à variação de deformação medido por meio de alongômetros ligados a transdutores transmissores de deformação e alimentados por baterias comuns de automóveis. Os transdutores são alimentados por corrente não havendo uma limitação para o comprimento dos fios. Os dados são transmitidos "on line" no seu conjunto, via cabo telefônico ou rádio transmissão, ligados a um micro computador que trata os dados através do programa Estável. Este tratamento de dados é apresentado em tela através de gráficos de variação de deformação com o tempo e uma tabela onde estão acionados quatro tipos de alarmes para a supervisão, prevenção de colapso da estrutura rochosa, concreto e alvenaria. O tempo e velocidade da aquisição de dados são de escolha do usuário assim como o número de canais. Esse processo e dispositivo constitui um sistema, indicado para o monitoramento da segurança de estruturas escavadas em minas e edificações civis. O SISMO é também indicado para o monitoramento de prova de carga em edificações como prédios, lajes e pontes, ou qualquer estrutura fabricadas com, rocha, concreto, cimento e tijolos que apresentem problemas de estabilidade baseado na variação das tensões e deformações.