



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

(21) BR 102013024139-3 A2



(22) Data do Depósito: 20/09/2013

(43) Data da Publicação: 17/11/2015

(RPI 2341)

(54) Título: EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

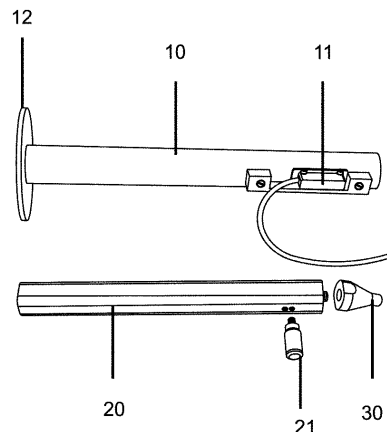
(51) Int. Cl.: G01N 3/42

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO, CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA "PAULA SOUZA" - CEETEPS

(72) Inventor(es): ADRIANO WAGNER BALLARIN, ALBERT AUGUSTO DE ASSIS, ROBERTO ANTONIO COLENCI

(74) Procurador(es): FABÍOLA DE MORAES SPIANDORELLO

(57) Resumo: RESUMO EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS Patente de invenção. É descrito um equipamento e método para medição de dureza de materiais lignocelulósicos que compreende um equipamento portátil eletromecânico que mede a dureza de materiais, com princípio de funcionamento semelhante ao ensaio de dureza Brinell, apresentando um conjunto eletrônico composto por um sensor de deslocamento do tipo encoder magnético incremental (11) que permite a automatização da leitura da dureza por meio de controlador digital de sinais integrado (40).



EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção descreve um equipamento e método para
5 medição de dureza de materiais lignocelulósicos. Mais especificamente
compreende um equipamento portátil eletromecânico que mede a dureza
de materiais, com princípio de funcionamento semelhante ao ensaio de
dureza Brinell, apresentando um conjunto eletrônico composto por um
10 sensor de deslocamento do tipo encoder magnético incremental que
permite a automatização da leitura da dureza por meio de controlador
digital de sinais integrado.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A propriedade mecânica denominada dureza é largamente utilizada
na especificação de materiais, nos estudos e pesquisas mecânicas e
15 metalúrgicas e no controle de qualidade de diversos materiais.

Nos ensaios de dureza, a endentação no material pode ser obtida
com o uso de vários instrumentos, como cilindros, esferas, prismas ou
agulhas.

Na madeira, em particular, é utilizada a dureza Janka, que avalia a
20 resistência oferecida pelo material à penetração superficial de uma
esfera de aço, com seção diametral de 1 cm^2 , quando a penetração é
induzida até a metade do seu diâmetro. Assim, neste caso, é fixada a
profundidade de penetração da esfera na madeira e avaliada a força para
conseguir dita penetração. Este ensaio é simples, rápido e apresenta
25 boas correlações com a resistência à compressão paralela às fibras da
madeira.

Mais recentemente, trabalhos internacionais reportam o uso da
dureza Brinell para avaliação de madeiras.

O ensaio de dureza Brinell consiste em comprimir lentamente uma

esfera de aço de diâmetro (endentador) “D” sobre a superfície plana, polida e limpa de um metal através de uma força “P” durante um tempo “t”. Essa compressão provoca uma impressão permanente no metal, com o formato de uma calota esférica, tendo um diâmetro “d”, o qual é medido
 5 por intermédio de um micrômetro óptico (microscópio ou lupa graduados) depois de removida a carga. O valor do diâmetro “d” deve ser tomado como a média de duas leituras feitas a 90 graus uma da outra. A dureza Brinell obtida pela relação entre a força aplicada (P) e a área da calota esférica impressa no material é dada por:

$$10 \quad HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (kgf / mm}^2\text{)}$$

onde:

HB = dureza Brinell (kgf/mm²);

P = carga aplicada (kgf);

D = diâmetro da esfera de aço – endentador (mm);

15 d = diâmetro da calota esférica endentada (mm).

Além das vantagens já reportadas para a dureza Janka, a dureza Brinell traria a facilidade de realização dos ensaios em condições de campo, sobretudo pela menor magnitude dos esforços envolvidos na cravação do endentador na superfície do material.

20 O ensaio de dureza Brinell, no entanto, pode tornar imprecisa a avaliação da área endentada quando se tratar de materiais que apresentam o fenômeno de afundamento (“sinking in”) na periferia da superfície endentada, como é o caso da madeira. Além disso, para materiais elásticos seria preferível a determinação da dureza sob
 25 carregamento, visto que, ao ser retirada a força que promoveu a deformação elástica, o material elástico recupera a deformação sofrida (conservação da energia). Mesmo com essas limitações, alguns pesquisadores têm sugerido a utilização da dureza Brinell para madeiras

em condições de campo considerando-se, sobretudo, a menor magnitude das forças envolvidas no ensaio Brinell e a dificuldade de se controlar, em condições de campo, a profundidade de penetração da esfera, exigida no ensaio de dureza Janka.

- 5 Bektas *et al.* (BEKTAS, I., ALMA, M.E., AS, N. Determination of the relationships between Brinell and Janka hardness of eastern beech (*Fagus orientalis* LIPSKY). *Forest Products Journal*, v. 51, n° 11/12 p. 84-87, 2001), por meio de ensaios de dureza utilizando os dois métodos — Brinell e Janka — estudou a existência de uma relação linear entre esses
- 10 dois métodos. Foram realizados ensaios de dureza nas três direções de orientação das fibras da madeira: tangencial, radial e longitudinal, onde chegou-se aos valores máximos dos coeficientes de correlação ($R = 0,91$) e determinação ($R^2 = 0,83$), quando consideradas as três direções em conjunto. Os valores médios das durezas variaram de um mínimo de
- 15 41,8 MPa e 28 kgf/mm² e um máximo de 69,03 MPa e 58 kgf/mm² para os métodos Janka e Brinell, respectivamente.

O estado da técnica descreve alguns equipamentos portáteis específicos para a medição de dureza em madeiras.

- O Durômetro Portátil tipo King, marca Indentec, é disponibilizado
- 20 comercialmente para avaliação da dureza Brinell em metais, apresentando um manômetro com indicação de valor mínimo de carga de 500 kgf (4900N).

- O Durômetro denominado “Laminated Wood Hardness Testing Tool” apresenta-se como um equipamento com mobilização da força de
- 25 endentação por meio de mola.

O Durômetro portátil com leitura eletrônica digital – Modelo TH 130 combina uma série de possibilidades de se testarem várias durezas com um único processador eletrônico. O princípio de funcionamento do aparelho se dá pela ação de uma esfera metálica, aplicada diretamente

na superfície do material a ser avaliado. Quando a esfera é projetada contra a superfície do material, pela ação de uma mola acionada a partir de um gatilho, avalia-se a dureza pelo ricochete da esfera. Mediante seleção no aparelho pode-se inferir, a partir dessa leitura, as durezas

5 Brinell, Shore, Vickers e Rockwell. Testes com o equipamento, realizados por Colenci (Testes efetuados pelo autor na loja Salvi Casagrande, de São Paulo – SP em 2004, não reportados em relatório) mostraram sua inadequação na avaliação da dureza em madeiras, caracterizada pela grande oscilação de leituras em pontos adjacentes do material.

10 O Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo desenvolveu um equipamento para medição de dureza em madeiras utilizando o princípio de bomba hidráulica manual.

Ainda, alguns equipamentos do estado da técnica são dotados de acelerômetros. Esta solução técnica, no entanto, apresenta uma

15 característica indesejada: o impacto metal-metal entre a massa de impacto e a ponteira que ocorre no instante inicial da endentação, além de dissipar parte da energia mobilizada na queda livre, ainda proporciona um pico elevado no sinal de aceleração captado. No instante inicial do

20 impacto, a ponteira que se encontrava em repouso assume a velocidade da massa de impacto. Este choque minimamente elástico proporciona uma elevada aceleração na ponteira, alcançando valores maiores que 500 g (4900 m/s^2), sendo gerado excesso de ruídos nos valores de aceleração de baixa magnitude. Convencionalmente são utilizados filtros eletrônicos e computacionais para minimizar o efeito dos ruídos. Porém,

25 os filtros que se mostram eficientes na remoção dos ruídos, também amortecem o sinal principal, comprometendo o resultado final de leitura da endentação.

Portanto, se faz necessário um equipamento para medição da dureza de material lignocelulósico com um circuito eletrônico

simplificado, para avaliação automática da endentação e cálculo e exibição imediata da dureza, permitindo o estabelecimento de correlações de regressão entre a dureza avaliada pelo equipamento e outras propriedades de interesse para esses materiais.

5 SUMÁRIO

É característica da invenção um equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos que possibilita a automatização das leituras de endentação na madeira e a validação das equações de regressão inicialmente estabelecidas, com uso de novas amostras de
10 madeira.

É característica da invenção um equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos que possibilita o acoplamento direto entre massa de impacto e ponteira endentadora, eliminando o impacto metal-metal que ocorre no instante inicial da endentação nos
15 equipamentos do estado da técnica, o que causa excesso de ruídos que influencia no resultado final de leitura da endentação.

É característica da invenção um equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos que é capaz de calcular, por meio da integração do sinal de deslocamento, a força em cada instante do
20 evento de endentação, permitindo a medição de propriedades de resistência e rigidez do material.

É característica da invenção um equipamento que utiliza carga de endentação fixa mobilizada por queda livre de massa.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

25 A figura 1 apresenta a vista explodida do equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos.

A figura 2 apresenta a vista em perspectiva do equipamento montado.

A figura 3 apresenta o equipamento posicionado ortogonal ao

material lignocelulósico a ser avaliado, com a massa de impacto posicionada no limite máximo de posição.

A figura 4 apresenta o fluxograma do algoritmo computacional embarcado no processador.

5 A figura 5 apresenta gráfico de dispersão dos ensaios realizados para comparação das medições do equipamento objeto da presente invenção com a dureza Janka medida em máquina universal de ensaios.

A figura 6 apresenta gráfico da associação de valores entre dureza avaliada pelo equipamento (durômetro portátil) e pelo método clássico
10 convencional (dureza Janka)

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos, objeto da presente invenção, compreende uma estrutura portátil eletromecânica, com funcionamento semelhante ao ensaio de
15 dureza Brinell, ou seja, o equipamento apresenta uma ponteira em formato esférico com diâmetro conhecido que é comprimida por uma força conhecida sobre o material a ser avaliado. O valor de dureza é obtido pela relação entre a força aplicada e a área da calota esférica que será impressa no material avaliado (endentação).

20 O equipamento para medição de dureza de materiais lignocelulósicos compreende um suporte metálico em formato cilíndrico denominado suporte principal (10), contendo em seu interior uma massa de impacto (20) de material metálico e com peso adequado ao fim a que se destina, dita massa de impacto (20) que se desloca entre os extremos
25 do suporte principal (10).

A massa de impacto (20) é acoplada a uma ponteira de formato esférico (30).

No suporte principal (10) é instalado um encoder magnético incremental (11) que mede o deslocamento da massa de impacto móvel

(20) em relação ao suporte principal (10).

A base do suporte principal (10) possui um flange (12) disposto perpendicular que garante a estabilização mecânica do equipamento sobre o material a ser avaliado (100) bem como servindo de apoio do
5 operador sobre o equipamento no momento da realização do ensaio.

A massa de impacto móvel (20) apresenta seção transversal de formato específico que diminui a área de contato com a superfície interna do suporte principal e, conseqüentemente, reduz o atrito durante a queda. Adicionalmente, na superfície da massa de impacto (20) é fixada
10 uma fita magnética de pólos alternados (não representado) que possibilita a medição da posição da massa de impacto (20) pelo encoder magnético incremental (11).

A ponteira de formato esférico (30) acoplada na massa de impacto (20) é destacável, sendo possível sua eventual substituição para a
15 realização de ensaios com endentadores de diâmetros distintos.

O suporte principal (10) apresenta um guia lateral (13) onde se projeta externamente um manípulo (21) de operação acoplado à massa de impacto (20) disposta na região interna do dito suporte (10), permitindo que o operador realize a elevação da massa de impacto (20)
20 para mobilização da energia de endentação.

Preferentemente, a superfície do manípulo de operação (21) apresenta uma área apropriada para garantir maior aderência no momento da operação.

O encoder magnético (11) é conectado a um circuito eletrônico (40)
25 que agrega um controlador digital de sinais (DSC), um painel (41) e um teclado (42). O circuito eletrônico (40) recebe e interpreta os sinais transmitidos pelo encoder (11), calcula e exibe a dureza do material avaliado (100). Através de uma porta de comunicação serial, os dados armazenados no circuito eletrônico (40) são enviados para outros

dispositivos eletrônicos.

O método para medição de dureza de materiais lignocelulósicos utilizando o equipamento objeto da presente invenção compreende em uma primeira etapa posicionar o suporte principal (10) perpendicularmente sobre o material em avaliação (100) e em seguida 5 zerar a medição de posição do encoder (11) por meio do teclado (42) do circuito eletrônico (40). Em seguida, o usuário desloca a massa de impacto (20) por meio do acionamento do manípulo (21) até a altura definida no suporte principal (10). Esta altura de elevação é garantida 10 pela limitação mecânica presente no guia lateral (13) do suporte principal (10).

Uma vez posicionada a massa de impacto (20), o usuário solta o manípulo (21), permitindo o deslocamento descendente da dita massa de impacto (20) sobre o material em avaliação (100) para a endentação.

15 O encoder magnético (11) mede a posição da massa de impacto (20) através da verificação da fita magnética (não representada) e envia os dados ao circuito eletrônico (40) para cálculo da dureza do material avaliado (100). O sinal produzido pelo sensor de medição de deslocamento (11) se apresenta na forma de pulsos digitais em dois 20 canais (A e B) defasados em 90 graus, conforme apresentado na figura 6. A combinação dos canais A e B possibilita ao circuito eletrônico detectar o sentido em que está ocorrendo o deslocamento da massa de impacto (20) - ascendente ou descendente.

No circuito eletrônico (40), a dureza (H) é calculada como uma 25 relação entre a energia disponibilizada na queda livre da massa de impacto (20) (ao invés da carga utilizada na dureza Brinell) e a área da calota esférica endentada.

FÓRMULA 1: cálculo da dureza (H) para madeiras

$$H = \frac{E}{\pi \cdot D \cdot h}, h > 0$$

sendo:

E – energia disponibilizada na queda livre da massa de impacto (20);

5 D – diâmetro do endentador metálico (ponteira (30));

h – profundidade da calota endentada no material lignocelulósico em avaliação (100).

O resultado da dureza calculada para o material avaliado (100) é exibido instantaneamente no painel (41) do equipamento.

10 O sensor de medição (11) é alimentado com tensões entre 8 e 30 Vcc e tem resolução de até 0,005 milímetros.

O painel (41) do equipamento apresenta a posição real da massa de impacto (20), em uma unidade medida e/ou sob a forma de um gráfico do tipo barra horizontal com preenchimento proporcional à posição da massa de impacto (20) em relação ao suporte principal (10), dita posição da massa de impacto (20) obtida mediante interação do sensor de deslocamento (11) com a fita magnética (não representada).

15 Conforme apresentado na figura 5, o coeficiente de determinação (R^2) da regressão entre o resultado de dureza calculado pelo equipamento e a dureza Janka medida em máquina universal de ensaios foi de 0,86.

20 O equipamento objeto da presente invenção calcula, por meio da integração do sinal de deslocamento obtido pelo sensor de deslocamento (11), a força em cada instante do evento de endentação, comprovando o potencial do equipamento para medição de propriedades de resistência e rigidez do material.

25

REIVINDICAÇÕES

1. EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS que compreende um suporte metálico em formato cilíndrico denominado suporte principal (10) contendo em seu interior uma massa de impacto (20) de material metálico e com peso adequado ao fim a que se destina, dita massa de impacto (20) que se desloca entre os extremos do suporte principal (10) mediante deslocamento de um manípulo acoplado à massa de impacto (20) por um guia lateral (13) previsto na superfície do suporte principal (10), **caracterizado pelo** fato de apresentar:
- 5
- 10
- a) uma ponteira de formato esférico destacável (30) acoplada à massa de impacto (20) de seção transversal;
- b) uma fita magnética de pólos alternados (não representada) fixada na superfície da massa de impacto (20) para medir a posição da massa de impacto (20) pelo encoder magnético incremental (11);
- 15
- c) um encoder magnético incremental (11) instalado no suporte principal (10) e conectado a um circuito eletrônico (40) que agrega um controlador digital de sinais (DSC), um painel (41) e um teclado (42).
- 20
2. EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato da base do suporte principal (10) apresentar um flange (12) disposto perpendicular.
3. MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS utilizando o equipamento descrito na reivindicação 1, **caracterizado por** compreender as etapas de:
- 25
- a) posicionar o suporte principal (10) perpendicularmente sobre o material em avaliação (100);

- b) zerar a medição de posição do encoder (11) por meio do teclado (42) do circuito eletrônico (40);
 - c) deslocar manualmente a massa de impacto (20) por meio do acionamento do manípulo (21) até a altura definida no suporte principal (10);
 - d) manípulo (21) é liberado pelo usuário para o deslocamento descendente da dita massa de impacto (20) sobre o material em avaliação (100) para a endentação;
 - e) encoder magnético (11) mede a posição da massa de impacto (20) através da verificação da fita magnética (não representada);
 - f) dados enviados ao circuito eletrônico (40) para cálculo da dureza (H) do material avaliado (100) definida como uma relação entre a energia (E) disponibilizada na queda livre da massa de impacto (20) e a área da calota esférica endentada (d).
- 15 4. MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo** fato do sinal produzido pelo sensor de medição de deslocamento (11) se apresentar na forma de pulsos digitais em dois canais (A e B) defasados em 90 graus.

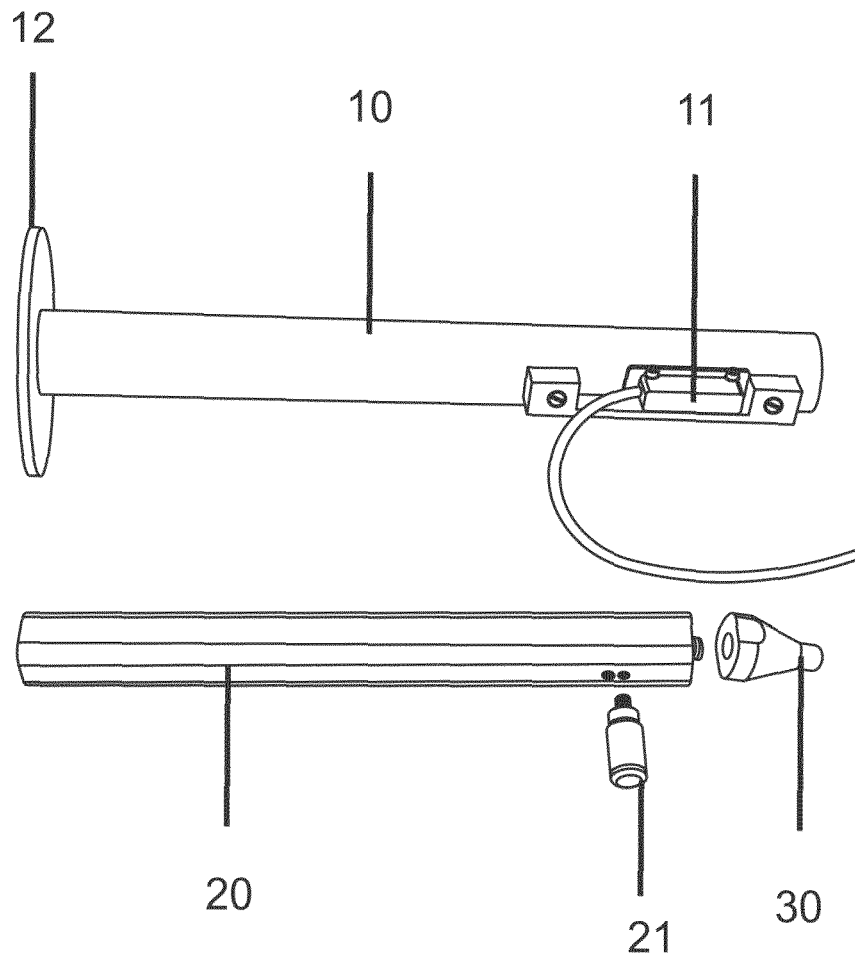


Fig. 1

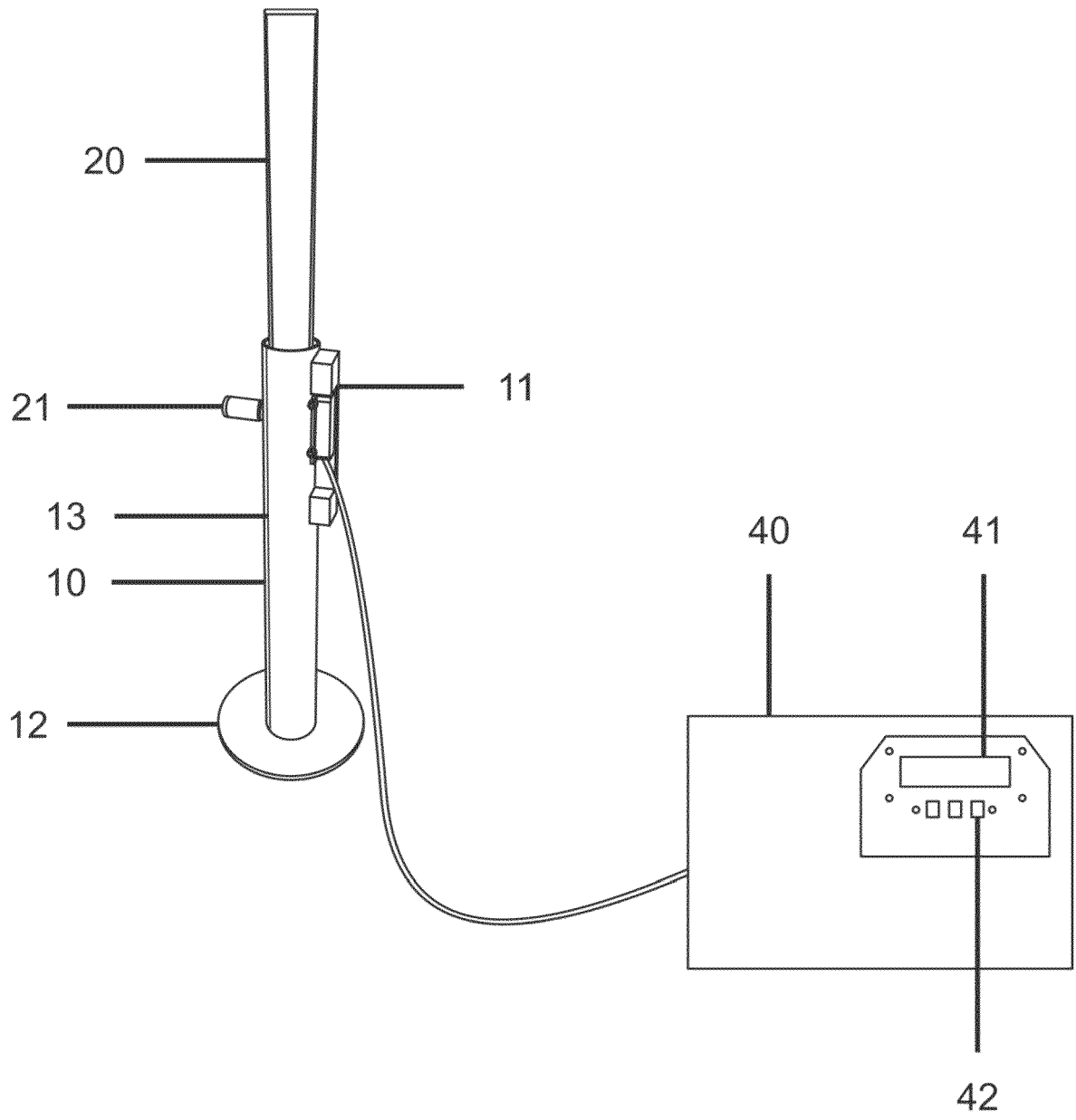


Fig. 2

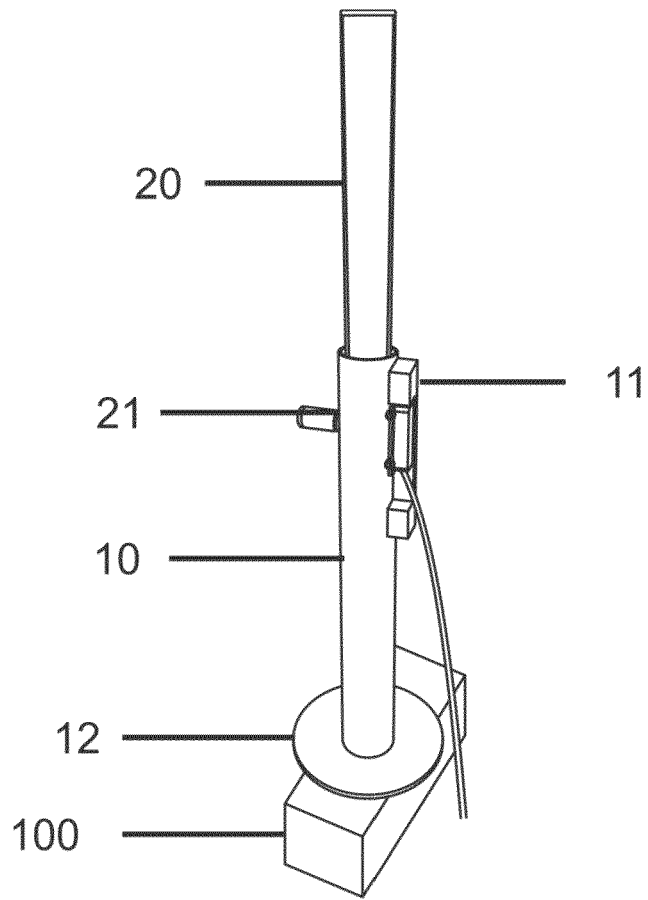


Fig. 3

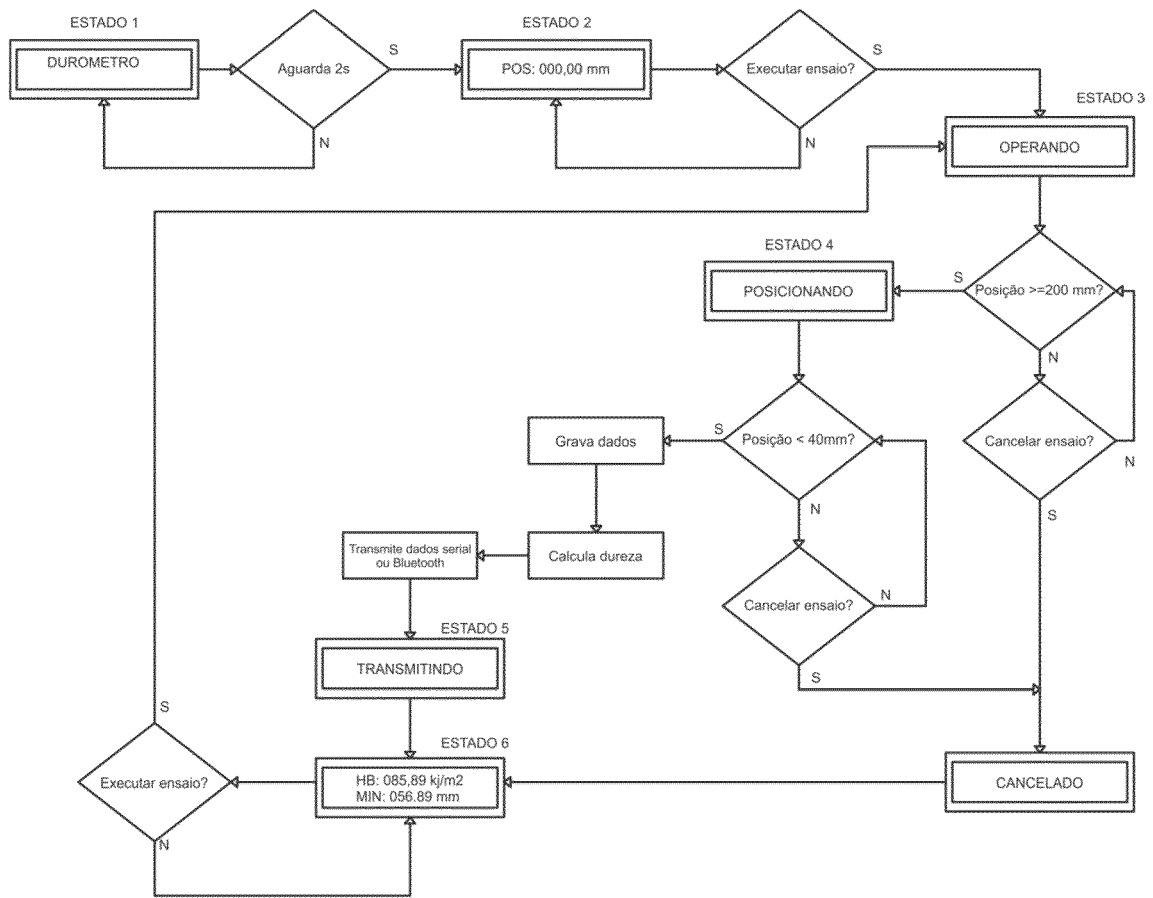


Fig. 4

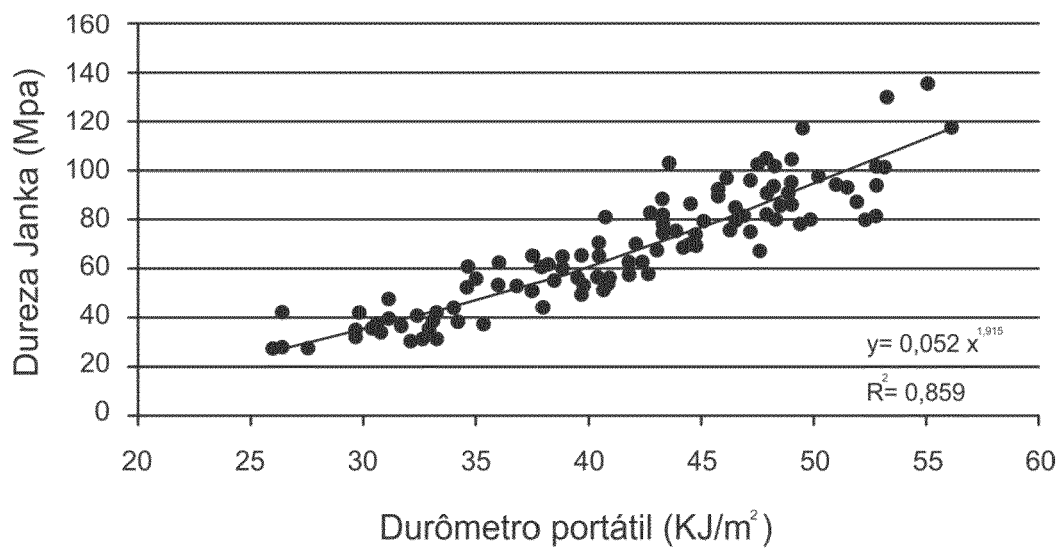


Fig. 5

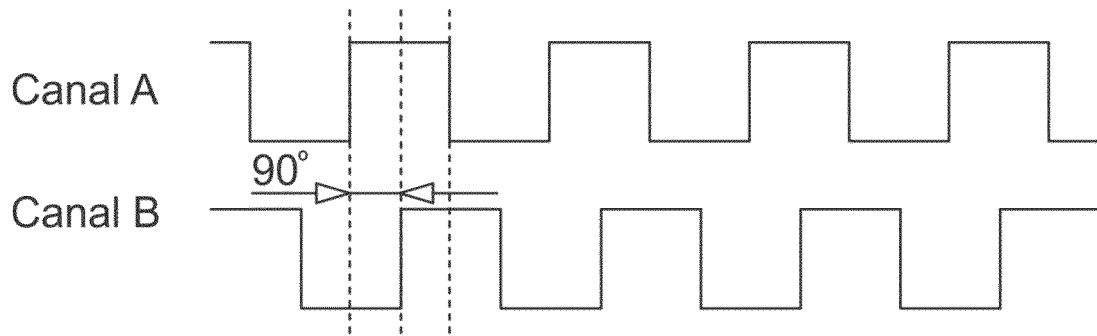


Fig. 6

RESUMO
EQUIPAMENTO E MÉTODO PARA MEDIÇÃO DE DUREZA DE
MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS

Patente de invenção. É descrito um equipamento e método para
5 medição de dureza de materiais lignocelulósicos que compreende um
equipamento portátil eletromecânico que mede a dureza de materiais,
com princípio de funcionamento semelhante ao ensaio de dureza Brinell,
apresentando um conjunto eletrônico composto por um sensor de
deslocamento do tipo encoder magnético incremental (11) que permite a
10 automatização da leitura da dureza por meio de controlador digital de
sinais integrado (40).