



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

(21) BR 102021003255-3 A2



(22) Data do Depósito: 22/02/2021

(43) Data da Publicação Nacional: 30/08/2022

(54) **Título:** MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA

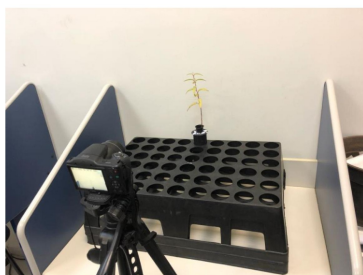
(51) **Int. Cl.:** G06K 9/20; G06N 3/02.

(52) **CPC:** G06K 9/20; G06N 3/02.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) **Inventor(es):** RAFAEL SIMÕES TOMAZ; VICTOR HUGO CRUZ.

(5 7) R e s u m o :
MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA. Trata de método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas e inteligência artificial embarcada realizado por meio da aquisição de fotografias da parte aérea da planta da área a ser analisada e análise das mesmas através de Inteligência Artificial - 'Artificial Neural Network' - 'Redes Neurais Artificiais'. O método proposto é baseado na análise dos 'pixels' das imagens, realizadas em ambiente controlado, associação dos 'pixels' com as características visuais (parte aérea de planta), e inferência a partir destes para características de difícil avaliação (crescimento de raiz) viabilizando, assim, o processamento para a análise em alguns minutos ou horas conduzindo os resultados para serem utilizados na prática de um viveiro florestal.



“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”.

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

[001] A presente patente de invenção trata-se de um método de avaliação de sistema radicular em mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas e inteligência artificial embarcada em que, notadamente, dito método inovador que apresenta potencial de aplicação em viveiros comerciais de mudas de eucalipto e outras espécies vegetais, viabilizando o melhoramento florestal. Dito método de avaliação do sistema radicular das mudas de eucalipto é realizado por meio da aquisição de fotografias da parte aérea da planta e análise das mesmas através de Inteligência Artificial - ‘*Artificial Neural Network*’ – Redes Neurais Artificiais’. O método proposto baseia-se na análise dos ‘*pixels*’ das imagens, realizadas em “ambiente controlado”, associação dos ‘*pixels*’ com as características visuais (parte aérea de planta), e inferência a partir destes, para características de difícil avaliação (crescimento de raiz) viabilizando, assim, o processamento para a análise em alguns minutos ou horas, conduzindo os resultados para serem utilizados na prática de um viveiro florestal.

HISTÓRICO DA INVENÇÃO

[002] O gênero *Eucalyptus*, uma árvore nativa da Austrália, pertencente à família *Myrtaceae*, é composto por mais de 600 espécies, dispersas em diversas regiões e climas deste país. No Brasil, a eucaliptocultura consolidou-se em virtude da criação de Leis de Incentivos Fiscais voltadas ao Reflorestamento, ocorrida em 1966, e do Plano Nacional de Desenvolvimento Rural, realizado pelo Governo Federal na década de 70. Segundo dados publicados pela Indústria Brasileira de Árvores, 2019 - IBÁ, no ano de 2018, o Brasil possuía em torno de 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo que 72,7% desta área são oriundos da eucaliptocultura. Os plantios de eucalipto estão concentrados principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%).

[003] Um dos desafios da eucaliptocultura constitui no estabelecimento de condições adequadas para o enraizamento de miniestacas, assim como seu monitoramento, durante a execução do protocolo de miniestaquia.

[004] Dada as peculiaridades de crescimento de cada material vegetal (genótipo), o processo não é homogêneo o que faz com que a adoção de um protocolo genérico constitua solução longe do ideal, além de que, a avaliação da qualidade do sistema da radicular da muda é realizada por meio de processo destrutivo.

[005] Outro inconveniente reside no fato do processo de monitoração/avaliação atual ser realizado manualmente necessitando de um profissional especializado, compreendendo desta forma um procedimento subjetivo, uma vez que, depende da experiência do viveirista ou agrônomo. Este por sua vez, é incapaz de quantificar de forma precisa a quantidade do sistema radicular, uma vez que sua obtenção envolve processo destrutivo.

[006] Em pesquisa para a verificação de métodos de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens foi encontrado na literatura relatos de exemplos de Rede neural artificial/‘*Artificial neural networks*’ - ANN - capazes de realizar extração de característica de imagens com o intuito de classificar imagens ou permitir análise quantitativa a partir destas. Uma delas são os ‘*self-organizing maps*’ - SOM - ou mapas auto-organizáveis de Kohonem (KOHONEM, 2013). De acordo com o autor, para a abordagem de classificação por meio de tais redes obtenha sucesso, a classificação destas deve se basear na extração de informações a partir de atributos das imagens, quem devem ser o mais invariante possível, consistindo por exemplo de ‘*spectrogramas*’, ‘*wavelets*’, componentes principais, expansão de imagens via transformada de Fourier, dentre outras.

[007] Outra categoria de Rede neural artificial – RNA - capazes de realizar tal tarefa são as redes neurais convolucionais ou “*Convolutional Neural Networks*” - CNN, as quais tem sido bastante discutidas na literatura atualmente. Diversos autores tem relatado sua utilização associada a tarefas que envolvem “*computer vision*” (CHOLLET, 2017; GU et al., 2018; XIAO et al., 2015). A construção dessas redes, no entanto, requer computadores com muito elevado poder de processamento para modelagem de uma rede neural.

[008] Com relação a esse tipo de rede, Ferentios (2018) avaliou em seu trabalho a aplicabilidade de modelos dessa natureza na detecção e diagnóstico de doenças em

plantas. O autor relatou que foram utilizadas cerca de 87,5 mil imagens para construção de um modelo de '*Artificial neural networks*' - ANN - satisfatório para avaliação e identificação das doenças, sendo que cerca de 37% das imagens constituíram-se de fotografias realizadas a campo, contemplando diversas espécies vegetais e tipos de doenças. Segundo Ferentios (2018), "apesar da taxa de sucesso significativamente elevada do sistema desenvolvido, há várias razões que a tornam o sistema ainda bastante longe de ser uma ferramenta genérica que possa ser utilizada em condições reais". Tais dificuldades se justificam por diversos motivos:

- i) Foram avaliadas 58 combinações (classes) de espécie vegetal – doença, em 25 espécies diferentes de plantas. Problemas relativos à modelagem dessa natureza podem ser bastante desafiadores, principalmente quando há um desbalanceamento quanto às quantidades de imagens para cada classe;
- ii) Morosidade da metodologia para construção da rede classificatória. Segundo o autor, a construção de uma rede demandou cerca de 5,5 dias, utilizando uma máquina com uma '*Graphics Processing Unit*' – GPU - NVIDIA® GTX1080 card, usando plataforma CUDA® para paralelização, vulgarmente conhecida como placa de vídeo dedicada. Em tais casos, o teste de várias arquiteturas de rede é considerado "*time demanding*", que pode facilmente durar alguns meses para realização da análise;
- iii) Verifica-se ainda uma situação problemática relativa a aquisição de imagens em condições de campo: (I) imagens com sobreamento parcial extensivo sobre as folhas, (II) imagens com múltiplos objetos que não a planta, tais como dedos, mãos, sapatos, partes de camisas, insetos, etc., e (III) imagens fora de foco ou fora de enquadramento, ocupando um espaço muito pequeno e não centrado na imagem. Todos estes constituem fatores que podem prejudicar grandemente a construção do modelo analítico e da análise de dados propriamente dita, principalmente quando uma condição não investigada é submetida para análise na ANN

[009] É fato que a metodologia apresentada na presente tecnologia, apesar de não constituir ferramenta de novíssima tecnologia, como a apresentada por Ferentios (2018), é capaz de solucionar um problema técnico a que se propõe sob a luz de um método de regressão (e não um método classificatório), em um problema peculiar, mas

pertinente ao processo de avaliação de mudas, com o diferencial técnico em relação a outros por se constituir de um método relativamente rápido com viabilidade de aplicação.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[010] É objetivo da invenção apresentar um método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas e inteligência artificial embarcada que apresenta: i) simplicidade de utilização; ii) quantificação precisa da característica e iii) resposta rápida de uma característica não visível ao viveirista.

[011] É objetivo da invenção apresentar um método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas baseado no uso de inteligência artificial associado à aquisição de fotografias das mudas para análise.

[012] É objetivo da invenção apresentar um método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas cuja inteligência artificial embarcada permite a avaliação e seleção de mudas que apresentam melhor qualidade de desenvolvimento de sistema radicular (característica de potencial difícil avaliação) por meio de método não destrutivo, envolvendo aquisição de fotografias digitais da parte aérea (visível) das mudas com uma câmera RGB comum. A título de exemplo, em um computador Intel core i3 com 8 GB de RAM, o tempo de avaliação é de cerca de menos de 4 segundos.

[013] É objetivo da invenção apresentar um método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto cuja Rede Neural – RNA - pode ser embarcada em uma câmara escura com uma ou um conjunto de câmeras, visando criar um ambiente para aquisição de fotografias para predição. Com o ajuste prévio, o processo de análise é bastante rápido, uma vez que, RNA já está pronta para uso, sendo necessário apenas a aquisição de imagens e atribuição desta ao '*software*'. Como ressaltado, o tempo de computação é muito rápido (segundos), mas dependente da quantidade de memória e do processador disponível para o processamento dos dados.

PESQUISA

- Preparo das miniestacas e material genético

[014] Foi utilizado cem (100) miniestacas apicais, de aproximadamente 5,0 cm de

comprimento, contendo um a dois pares de folhas seccionadas ao meio, derivadas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* Blake e estaqueadas em tubetes contendo substrato de enraizamento composto de uma mistura de 50% de vermiculita tipo fina, 30% de substrato orgânico e 20% de palha de arroz carbonizada, enriquecido com 3 kg/m³ de osmocote (10-5-20) e 6 kg/m³ de superfosfato simples.

[015] Após a inserção no substrato, o enraizamento das miniestacas foi conduzido em casa de enraizamento climatizada (umidade relativa do ar superior a 80% e temperatura entre 20 e 30 °C), dotada de nebulização intermitente de água, com permanência de 50 dias. O período entre a coleta das miniestacas e a condução à casa de enraizamento foi sempre inferior a 30 minutos.

- Coleta das miniestacas e avaliação experimental

[016] Os tubetes foram avaliados aos 9, 14, 27, 36 e 42 dias após a coleta (DAC) visando realização de protocolo de micropropagação, tendo sido tomados aleatoriamente 20 tubetes (repetições) para cada DAC, sendo adotado o delineamento inteiramente casualizado.

[017] A avaliação das características e a fotografia das imagens foi realizada na Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (FCAT) da UNESP – Câmpus de Dracena. Avaliou-se portanto: massa fresca de raiz (*MFR*), massa seca de raiz (*MSR*), massa fresca da parte aérea (*MFPA*), massa seca de parte aérea (*MSPA*). As mudas foram retiradas dos tubetes e lavadas em água corrente sobre peneira de 0,147 mm a fim de separar a planta do substrato, visando separação e coleta do sistema radicular da planta. A planta foi secada com papel filtro e mensurada a *Mvr* e *Mvpa*, por meio de uma balança analítica digital. O material vegetal foi seco em estufa a 65°C por 72 horas até atingir peso constante, para a determinação das massas secas em balança analítica.

- Aquisição de imagens

[018] Todas as mudas foram fotografadas em “ambiente controlado”, com câmera Canon PowerShot SX400 IS, posicionada sob suporte de 1,05m de altura, à 70cm da muda, que por sua vez encontrava-se a 30cm de um anteparo branco (Figura 1). Foram fotografadas sequencialmente cada muda rotacionando-a em 90° após cada seção, visando aumentar a quantidade de dados para processamento da rede neural artificial

'Artificial Neural Network' - ANN. Dessa forma, foram obtidas 400 imagens, que posteriormente, foram editadas e padronizadas nas dimensões 300 x 300 pixels com resolução de 1000 dpi, por meio de software de edição de imagem.

- Análise estatística dos dados

[019] Para análise de dados, foram considerados delineamento inteiramente casualizado com vinte repetições ($k = 20$) e 5 tempos de crescimento/enraizamento ($i = 5$), tomado como tratamento. Para as características avaliadas foi realizada análise de variância considerando o modelo estatístico: $Y_{ij} = m + T_i + e_{ij}$; em que Y_{ij} corresponde ao valor observado para a variável em estudo referente a j -ésima repetição da combinação do i -ésimo nível do fator Tratamento; m , à média de todas as unidades experimentais para a variável em estudo; T_i , ao efeito do i -ésimo nível de Tratamento no valor observado Y_{ij} ; e e_{ij} , ao erro experimental na observação Y_{ij} . Visando a identificação de diferença entre os DAC.

[020] Considerou-se ainda, análises de regressão, linear e não lineares segundo os modelos, visando maior entendimento a respeito da característica sob estudo (Figuras 2A e 2B):

Linear: $Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAC}$;

Gompertz: $Y = a \cdot e^{-b \cdot e^{-c \cdot \text{DAC}}}$;

Logístico: $Y = \frac{a}{(1 + b \cdot e^{-c \cdot \text{DAC}})}$;

em que, Y corresponde aos valores mensurados das características, MVPA, MSPA, MVR, MSR, Alt e Dc; em análise univariada. DAC corresponde à variável dependente número de dias após coleta das miniestacas em minijardim clonal β_0 , β_1 , a , b e c correspondem aos respectivos parâmetros dos modelos considerados. A análise de estatística foi realizada por meio de rotinas desenvolvidas pelos autores no programa R (R Core Team, 2020).

- Análise de Imagens – Modelagem das ANNs

[021] Para aplicação da técnica de 'Multilayer Perceptron Artificial Neural Network' - MLP-ANN -, as imagens foram previamente tratadas por meio de software de edição de imagens, visando a padronização quanto à dimensão, quantidade de pixels a tamanho e

cor de fundo (Figuras 3A e 3B). Em ambiente controlado e com uso de câmera dedicada fixa, tal etapa poderá ser evitada. As imagens foram então tratadas no software R, por meio de pacotes para manipulação de imagens disponíveis para a plataforma, visando extração das informações dos pixels da imagem. Foi realizada avaliação em esquema de cores RGB, considerando o padrão de pixel de cada camada de cores.

[022] Dessa forma, foram utilizadas informações de estatística descritiva, dentre outras, obtidas a partir dos pixels das imagens na camada de entrada (Figuras 4A e 4B). Foram construídas e avaliadas arquiteturas com duas camadas intermediárias “*hidden layers*”; cada qual com um número s , variável de neurônios, com $s = 5, 10, 15, \dots, 50$; e uma camada de saída com um neurônio, sendo esta a característica predita, MVR (massa verde) e MSR (massa seca de raiz), cada qual por sua vez.

[023] Foram utilizadas um conjunto de redes neurais artificiais (ANN) do tipo MLP (Figura 5) utilizando treinamento supervisionado com algoritmo ‘*resilient backpropagation*’ e as funções de ativação tansig. Para construção da rede, foi utilizado 70% dos dados do experimento no processo de treinamento da ANN e os 30% restantes no processo de validação. A seleção da arquitetura foi realizada por meio de validação cruzada utilizando o método k-fold com $k=10$ (*ten-fold*), com o intuito de selecionar a rede com melhor capacidade de generalização. A aplicação da metodologia de inteligência artificial MLP-ANN foi realizada por meio de pacotes de Inteligência Artificial disponíveis para o software livre R.

[024] A avaliação da eficácia da ANN foi realizada por meio de métricas de ajuste dos valores preditos e observados, a citar: ‘*Mean Squared Error*’ - MSE, ‘*Mean Absolute Error*’ - MAE, e o coeficiente de determinação (R^2), Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE), dadas por:

[025]
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

[026]
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

[027]
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

[028]
$$R^2 = \left(\frac{Cov(y_i, \hat{y}_i)}{\sqrt{\hat{v}(y_i) \cdot \hat{v}(\hat{y}_i)}} \right)^2$$

em que Y_i corresponde aos valores mensurados das características MVR e MSR, e $\hat{Y}_i$ o valor predito pela rede neural.

[029] Para tarefa de modelagem e predição de dados, foi utilizado um computador Intel(R) Core(TM) i7-6700, CPU 3,40GHz – 3,41GHz, com 8 Gb de RAM, utilizando o sistema Operacional Windows 10 (x64). Não foi utilizada GPU dedicada para realização das análises. O processo de modelagem, dependendo da arquitetura avaliada demorou alguns minutos / horas para ajuste.

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[030] Afim de complementar a presente descrição de modo a obter uma melhor compreensão das características do presente invento e de acordo com uma preferencial realização prática do mesmo, acompanha a descrição, em anexo, de um conjunto de desenhos / imagens, nos quais, de maneira exemplificada, embora não limitativa, se representou:

[031] a Figura 1 revela uma imagem fotográfica de um esquema do aparato para aquisição das imagens fotográficas (câmera em tripé e suporte para mudas, posteriormente fixado na bancada) das mudas de *Eucalyptus* sp.;

[032] as Figuras 2A e 2B revelam gráficos da abordagem tradicional para avaliação dos ajustes de modelos de crescimento para características de raiz. (2A) Modelo logístico para avaliação do crescimento da massa verde de raiz – MVR; (2B) e Modelo de Gompertz para avaliação do crescimento da massa seca de raiz – MSR;

[033] as Figuras 3A e 3B representam exemplos de duas fotografias obtidas por meio de câmera RGB e editadas por meio de software de edição de imagem. As fotografias tem tamanhos proporcionais aos tamanhos reais das mudas;

[034] as Figuras 4A e 4B apresentam gráficos do resultado de extração de informação das duas imagens avaliadas (A) e (B) apresentadas nas Figuras 3A e 3B;

[035] a Figura 5 mostra um exemplo esquemático de estrutura de Rede Neural utilizada para predição das características do sistema radicular avaliadas (MVR e MSR) nas mudas de eucalipto;

[036] as Figuras 6A e 6B apresentam gráficos dos valores preditos por meio da RNA, para característica (6A) MSR e (6B) MVR, considerando o conjunto de dados observados.

Quanto mais próximo da linha pontilhada, maior a eficiência da predição. As estimativas preditas e observadas estão codificadas;

[037] a Figura 7 revela uma vista de um diagrama de blocos ilustrando as etapas que compõe o método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[038] A presente patente de invenção se refere à “MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”, mais precisamente trata-se de método de avaliação (10) de sistema radicular de mudas de eucalipto para aplicação em viveiros comerciais, viabilizando o melhoramento florestal.

[039] Segundo a presente invenção, dito método de avaliação (10) é compreendido por etapas que inclui a (ET2) etapa de aquisição de fotografias da parte aérea da planta da área a ser analisada e (ET3) etapa de análise das fotografias (FT) através de Inteligência Artificial - ‘*Artificial Neural Network*’ – Redes Neurais Artificiais’ compreendida por: i) análise dos ‘pixels’ das imagens, realizadas em “ambiente controlado”; ii) associação dos ‘pixels’ com as características visuais (parte aérea de planta); e iii) inferência a partir destes para características de difícil avaliação (crescimento de raiz).

[040] A etapa (ET2) é precedida pelo ajuste da ‘Redes Neurais Artificial’ – RNA através da etapa (ET1) de preparo de uma amostra para ajuste do modelo em processo destrutivo para obtenção de informações de imagens e de biometria – massa fresca de raiz (MFR), massa seca de raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPa), massa seca de parte aérea (MSPa) – relativas ao meio de produção do utilizador. Dita etapa (ET1) é realizada através das sub-etapas:

a1) coleta de miniestacas na planta matriz;

b1) aquisição de fotos por meio da avaliação sequencial das miniestacas, com diferentes “idades” (dias após a coleta em planta matriz), seguido do armazenamento das imagens em uma pasta. Sugere-se cerca de 10 a 15 plantas, com idades entre 10 a 30 dias após estaquia, com intervalo de 2 ou três dias entre coletas. Quanto maior o banco de dados ajustado, melhor a qualidade do RNA em predizer o enraizamento. Exemplo de

documentação na aquisição das imagens / fotografias: 001-1 → fotografia 01 da planta 01; 001-2 → fotografia 02 da planta 01; 001-3 → fotografia 03 da planta 01; i-j → fotografia j da planta i. Faz-se importante que as plantas sejam rotacionadas durante o processo de aquisição de imagens, uma vez que a arquitetura da planta em relação à(s) câmara(s) pode influenciar no processo de análise da imagem e consequentemente, na qualidade da predição. Aquisição de fotos, deve ser realizada preferencialmente em modo ‘burst’ – sugere-se uma foto por segundo enquanto a muda é rotacionada;

c1) Realização de biometria em análise destrutiva para obtenção das características supracitadas, sendo que tais informações são fornecidas à rotina de análise em software (ST) por meio de uma planilha de dados (P1) com 5 colunas em formato “.csv”, ou “.txt”; nas quais constam o nome do arquivo associado à imagem e os dados de biometria relativos à cada imagem, cujo caminho da pasta também deve ser devidamente informado à rotina. A título de exemplo dita planilha (P1) pode prever:

Nome da imagem	MFR	MSR	MFPa	MSPa	Coluna X	Coluna Y	Coluna Z
001-1							
001-2							
001-3		Dados do usuário					
001-4							
002-1							
002-2							
...							
i-j							

as colunas marcadas Nome da imagem, MFR, MSR, MFPa e MSPa são as fornecidas pelo usuário, e as colunas X, Y e Z, à título de exemplo, não visíveis ao usuário, mas que são obtidas a partir da interpretação das imagens por meio rotina de análise desenvolvida. Diversos atributos são retirados da imagem, e tais informações é que são fornecidas à Rede Neural Artificial - RNA - com o intuito de predizer a qualidade do enraizamento por meio do valor predito da massa fresca de raiz (que melhor serve para inferir sobre a

qualidade do enraizamento). Os novos dados ajustados podem então ser atualizados à RNA pré-ajustada, e está pronta para ser utilizada.

d1) A partir apenas de plantas submetidas apenas à aquisição de imagens, que podem ou não ser salvas para documentação em pasta específica, pode-se por meio da Rede Neural, prever a característica de MFR a qual diz respeito à qualidade do enraizamento.

[041] A Etapa (ET3) de análise das fotografias através de Inteligência Artificial - 'Artificial Neural Network' – Redes Neurais Artificiais' integra:

a3) Tratamento das imagens por meio de software de edição de imagens para padronização quanto à dimensão, quantidade de pixels a tamanho e cor de fundo;

b3) Obtenção de informações de estatística descritiva, dentre outras, obtidas a partir dos pixels das imagens na camada de entrada para serem submetidas a arquiteturas de rede com duas camadas intermediárias "*hidden layers*"; cada qual com um número s , variável de neurônios, com $s = 5, 10, 15, \dots, 50$; e uma camada de saída com um neurônio, sendo esta a característica predita, MVR (massa verde) e MSR (massa seca de raiz), cada qual por sua vez;

c3) São utilizados um conjunto de Redes Neurais artificial – RNA - do tipo MLP utilizando treinamento supervisionado com algoritmo '*resilient backpropagation*' e as funções de ativação tansig. A seleção da arquitetura é realizada por meio de validação cruzada utilizando o método k-fold com $k=10$ (ten-fold). A aplicação da metodologia de inteligência artificial MLP-ANN é realizada por meio de pacotes de Inteligência Artificial disponíveis para o software livre R;

d3) A avaliação da eficácia da ANN (Artificial Neural Network) é realizada por meio de métricas de ajuste dos valores preditos e observados, a citar: '*Mean Squared Error*' - MSE, '*Mean Absolute Error*' - MAE, e o coeficiente de determinação (R^2), Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE), dadas por:

$$\text{[042]} \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$\text{[043]} \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

$$\text{[044]} \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

[045]
$$R^2 = \left(\frac{c\hat{v}(y_i, \hat{Y}_i)}{\sqrt{\hat{v}(y_i) \cdot \hat{v}(\hat{Y}_i)}} \right)^2$$

em que Y_i corresponde aos valores mensurados das características MVR e MSR, e $\hat{Y}_i$ o valor predito pela rede neural.

[046] O modelo de redes neurais artificiais – ANN - ajusta o comportamento de crescimento das características de forma satisfatória, demonstrando que a tecnologia apresenta grande potencial de aplicação em sistemas de avaliação/fenotipagem automatizados.

[047] É certo que quando o presente invento for colocado em prática, poderão ser introduzidas modificações no que se refere a certos detalhes, sem que isso implique afastar-se dos princípios fundamentais que estão claramente substanciados no quadro reivindicatório, ficando assim entendido que a terminologia empregada não teve a finalidade de limitação.

Referências

- IBÁ - Industria Brasileira de Árvores: Relatório. São Paulo, 2019. 80 p. KOHONEN, Teuvo. *Essentials of the self-organizing map. Neural networks*, v. 37, p. 52-65, 2013.
- CHOLLET, D. *Deep Learning with R. Manning Publications*. 1ª Ed. 341 p. 2017.
- GU, Jiuxiang et al. *Recent advances in convolutional neural networks. Pattern Recognition*, v. 77, p. 354-377, 2018.
- XIAO, Tianjun et al. *The application of two-level attention models in deep convolutional neural network for fine-grained image classification. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2015. p. 842-850.
- FERENTINOS, Konstantinos P. *Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. Computers and Electronics in Agriculture*, v. 145, p. 311-318, 2018. R Core Team (2020).
- R: *A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*.

REIVINDICAÇÕES

1) **“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”**, mais precisamente trata-se de método de avaliação (10) de sistema radicular de mudas de eucalipto para aplicação em viveiros comerciais, viabilizando o melhoramento florestal; caracterizado por método de avaliação (10) ser compreendido por etapas:

- etapa (ET1) de preparo de uma amostra para ajuste do modelo em processo destrutivo para obtenção de informações de imagens e de biometria – massa fresca de raiz (MFR), massa seca de raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPa), massa seca de parte aérea (MSPa) – relativas ao meio de produção do utilizador;
- etapa (ET2) de aquisição de fotografias da parte aérea da planta da área a ser analisada;
- (ET3) etapa de análise das fotografias (FT) através de Inteligência Artificial - ‘*Artificial Neural Network*’ – Rede Neural Artificial - RNA - compreendida por (i) análise dos ‘pixels’ das imagens, realizadas em “ambiente controlado”, (ii) associação dos ‘pixels’ com as características visuais (parte aérea de planta) e (iii) inferência a partir destes para características de difícil avaliação (crescimento de raiz).

2) **“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por etapa (ET1) compreender as sub-etapas:

- a1) coleta de miniestaca na planta matriz;
- b1) aquisição de fotos por meio da avaliação sequencial das miniestacas, com diferentes “idades” (dias após a coleta em planta matriz), seguido do armazenamento das imagens em uma pasta; sugere-se cerca de 10 a 15 plantas, com idades entre 10 a 30 dias após estaquia, com intervalo de 2 ou três dias entre coletas; as plantas são rotacionadas durante o processo de aquisição de imagens, uma vez que a arquitetura da planta em relação à(s) câmera(s) pode influenciar no processo de análise da imagem e consequentemente, na qualidade da predição;
- c1) realização de biometria em análise destrutiva para obtenção das características

supracitadas, sendo que tais informações são fornecidas à rotina de análise em software (ST) por meio de uma planilha de dados (P1) com 5 colunas em formato “.csv”, ou “.txt”; nas quais constam o nome do arquivo associado à imagem e os dados de biometria relativos à cada imagem, cujo caminho da pasta também deve ser devidamente informado à rotina;

d1) a partir apenas de plantas submetidas apenas à aquisição de imagens, que podem ou não ser salvas para documentação em pasta específica, pode-se por meio da Rede Neural, predizer a característica de MFR a qual diz respeito à qualidade do enraizamento.

3) **“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”**, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por aquisição de fotos, ser realizada em modo ‘burst’ –uma foto por segundo enquanto a muda é rotacionada.

4) **“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por etapa (ET3) de análise das fotografias através de Inteligência Artificial - ‘Artificial Neural Network’ – Rede Neural Artificial integrar:

a3) tratamento das imagens por meio de software de edição de imagens para padronização quanto à dimensão, quantidade de pixels a tamanho e cor de fundo;

b3) obtenção de informações de estatística descritiva, dentre outras, obtidas a partir dos pixels das imagens na camada de entrada para serem submetidas às arquiteturas de rede com duas camadas intermediárias “hidden layers”; cada qual com um número s , variável de neurônios, com $s = 5, 10, 15, \dots, 50$; e uma camada de saída com um neurônio, sendo esta a característica predita, MVR (massa verde) e MSR (massa seca de raiz), cada qual por sua vez;

c3) utilização de um conjunto de Redes Neurais Artificiais – RNAs - do tipo MLP utilizando treinamento supervisionado com algoritmo ‘resilient backpropagation’ e as funções de ativação tansig; a seleção da arquitetura é realizada por meio de validação cruzada utilizando o método k-fold com $k=10$ (ten-fold); a aplicação da metodologia de

inteligência artificial MLP-ANN é realizada por meio de pacotes de Inteligência Artificial disponíveis para o software livre R;

d3) avaliação da eficácia da ANN por meio de métricas de ajuste dos valores preditos e observados, a citar: '*Mean Squared Error*' - MSE, '*Mean Absolute Error*' - MAE, e o coeficiente de determinação (R^2), Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE), dadas por

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2; \quad MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|; \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}; \quad R^2 = \left(\frac{cov(y_i, \hat{y}_i)}{\sqrt{var(y_i) \cdot var(\hat{y}_i)}} \right)^2$$

em que y_i corresponde aos valores mensurados das características MVR e MSR, e $\hat{y}_i$ o valor predito pela rede neural.

FIG. 1

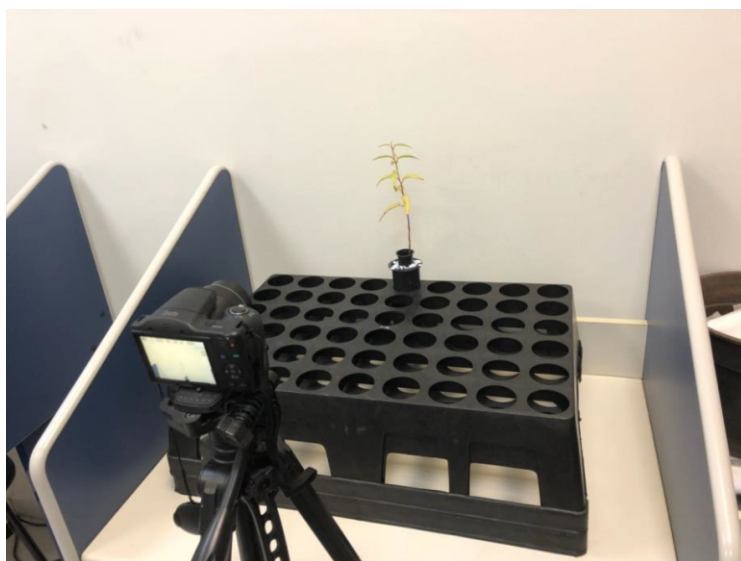


FIG. 2A

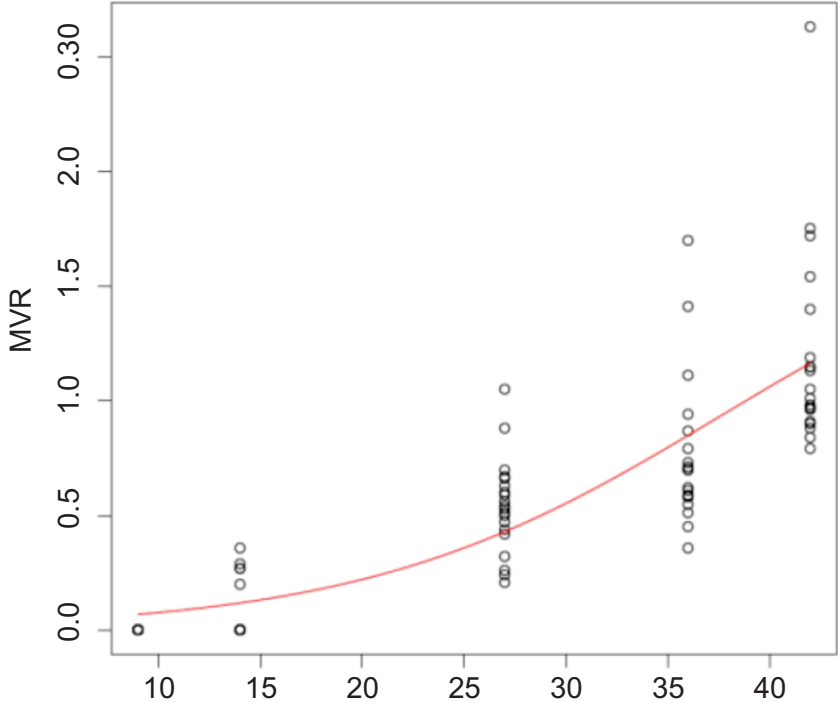


FIG. 2B

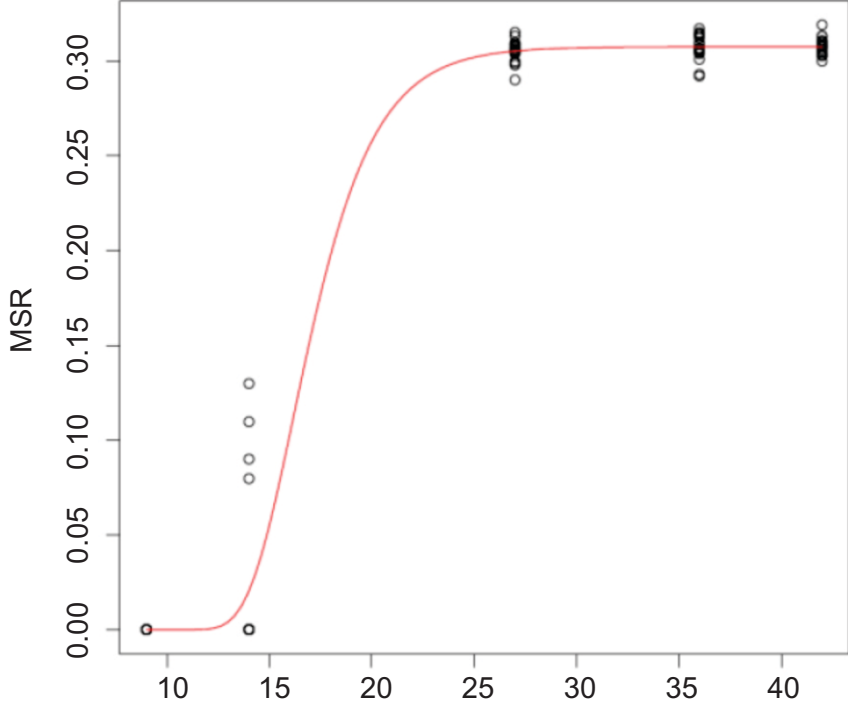


FIG. 3A

(A)



FIG. 3B

(B)



FIG. 4A

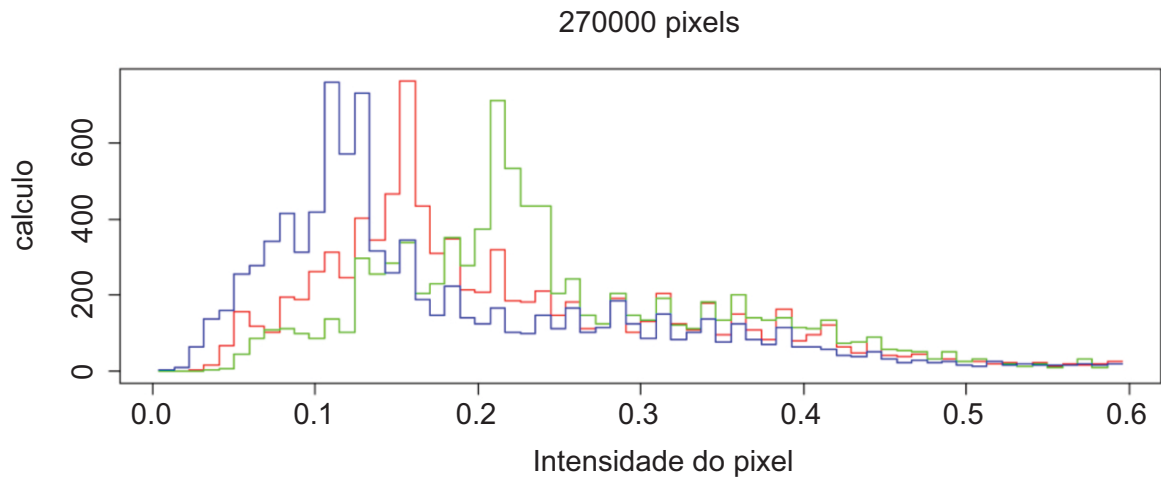


FIG. 4B

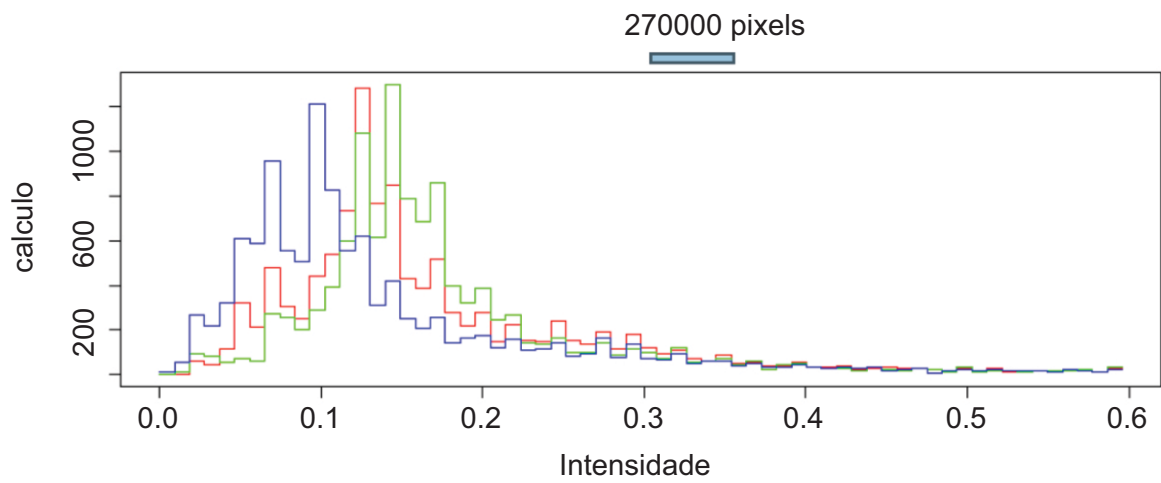


FIG. 5

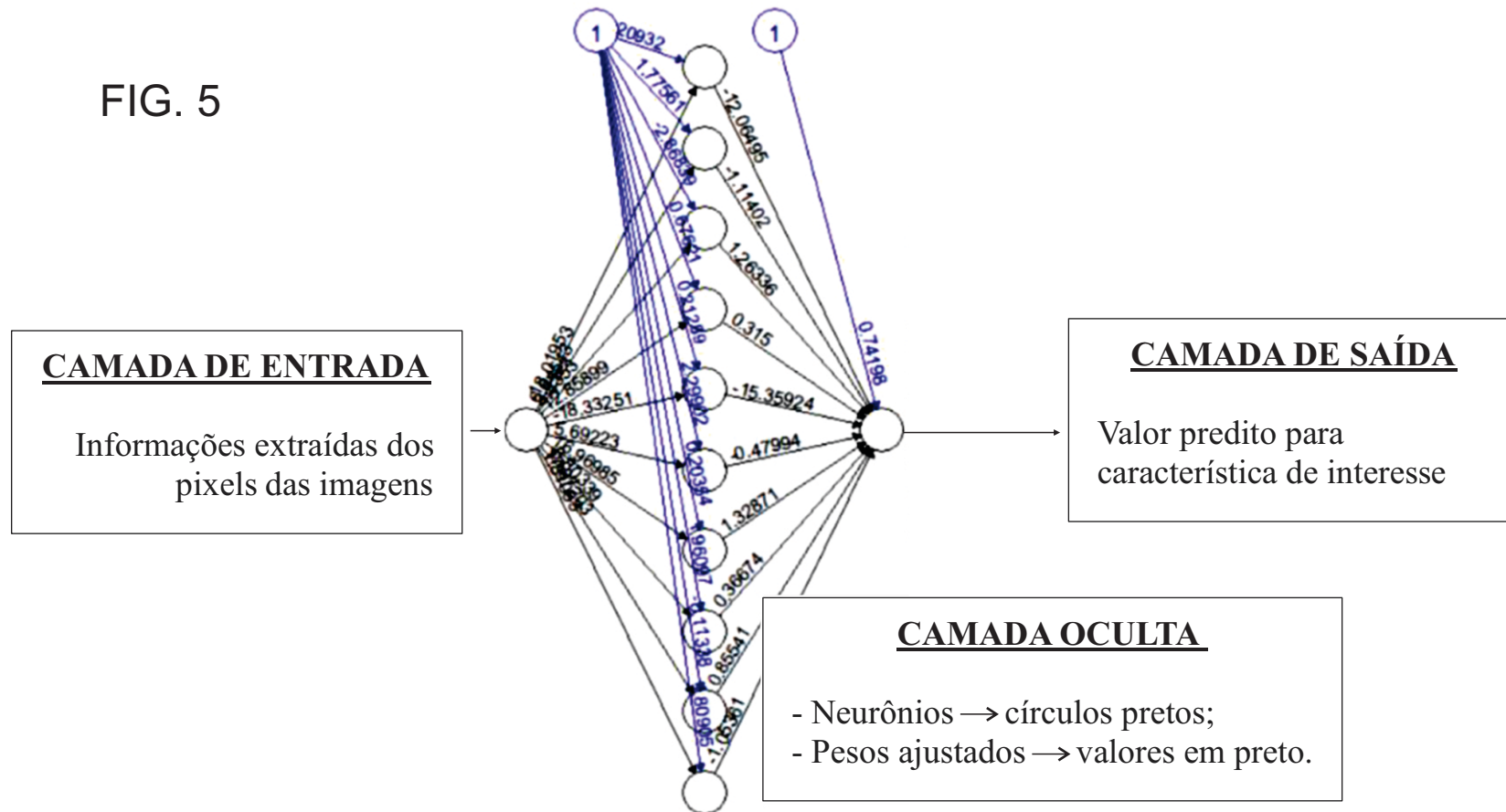


FIG. 6A

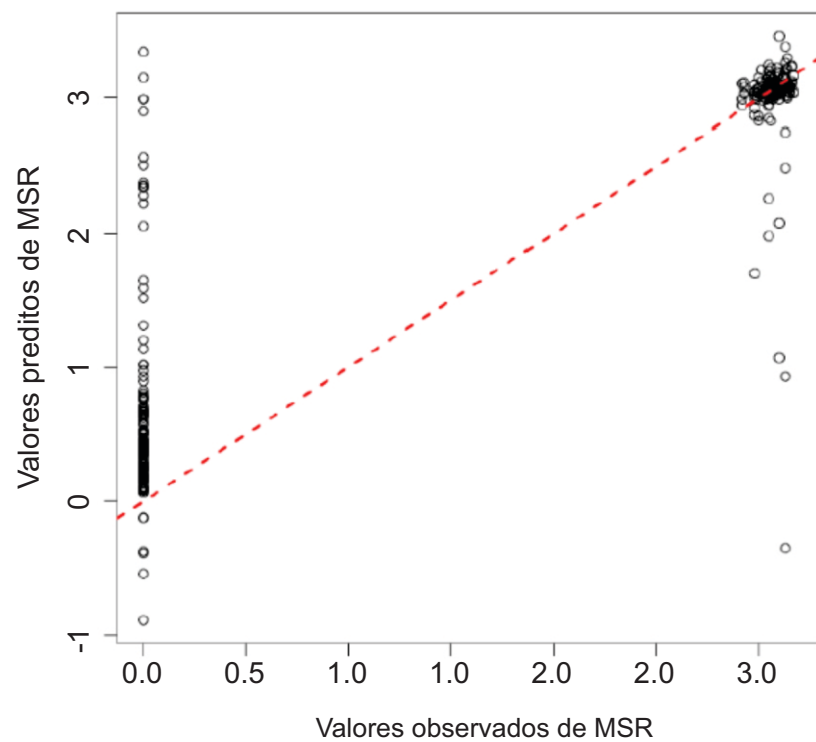


FIG. 6B

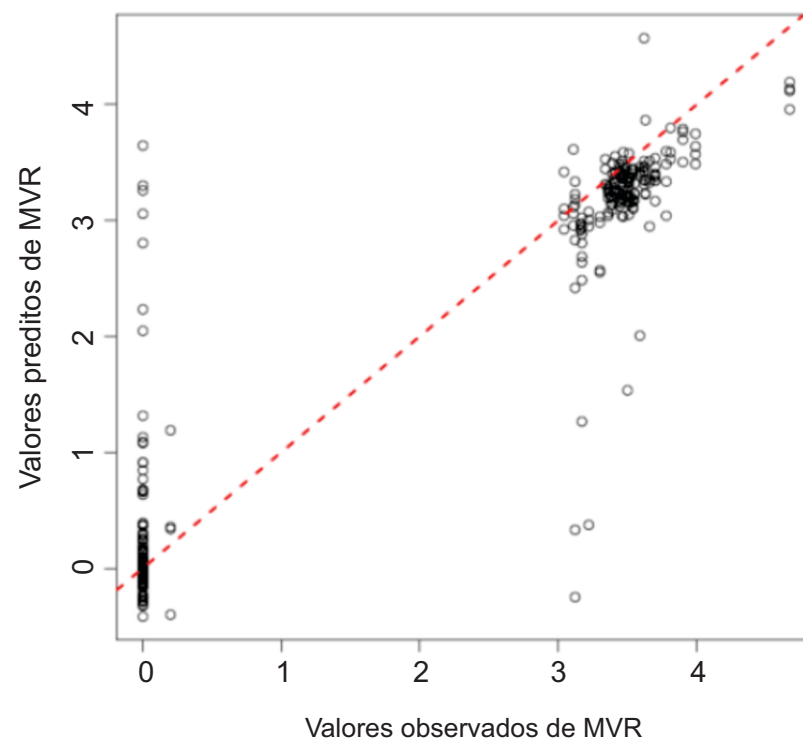
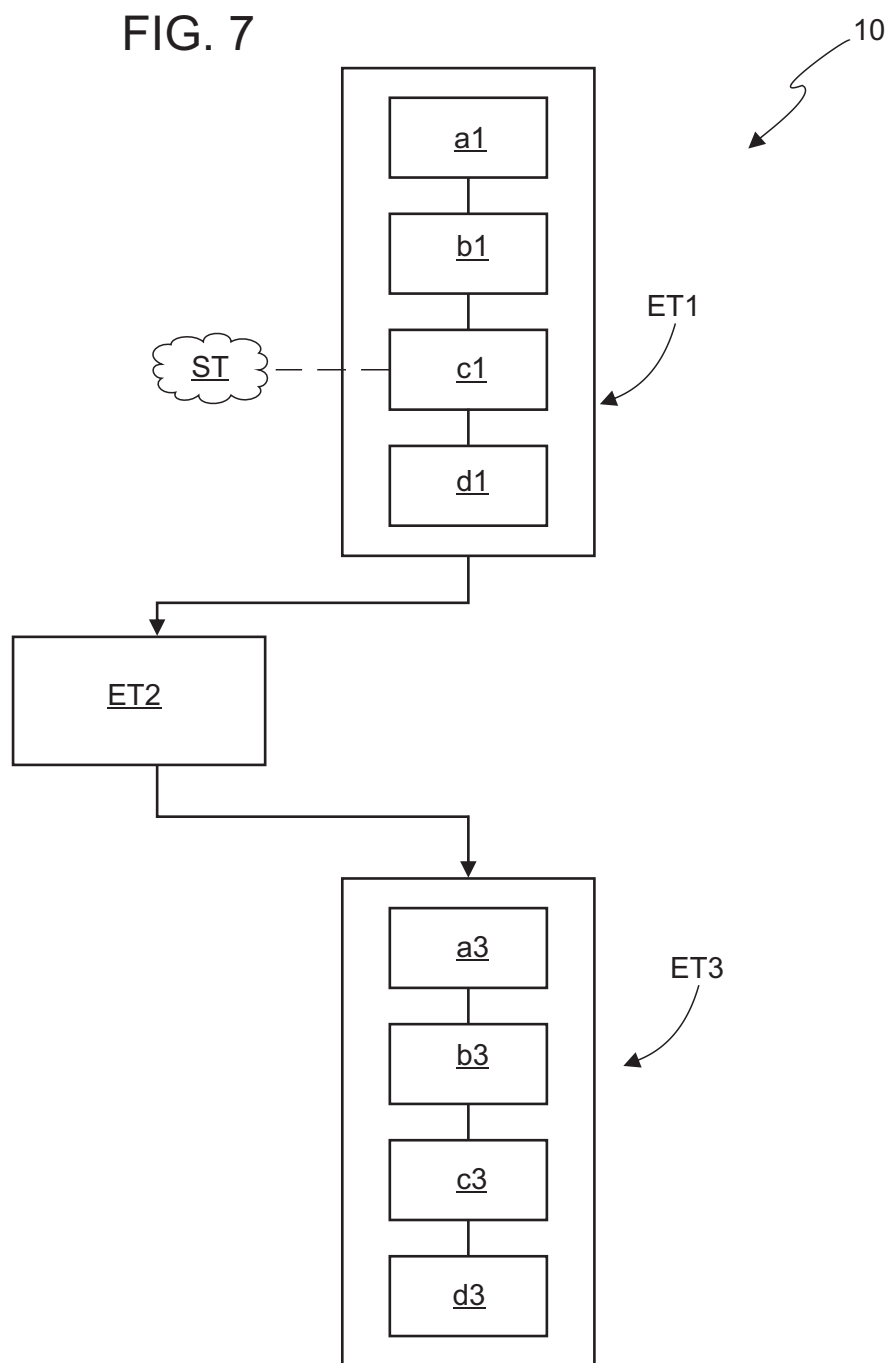


FIG. 7



RESUMO

“MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE SISTEMA RADICULAR DE MUDAS DE EUCALIPTO POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGENS AÉREAS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EMBARCADA”.

Trata de método de avaliação de sistema radicular de mudas de eucalipto por meio de análise de imagens aéreas e inteligência artificial embarcada realizado por meio da aquisição de fotografias da parte aérea da planta da área a ser analisada e análise das mesmas através de Inteligência Artificial - ‘Artificial Neural Network’ – Redes Neurais Artificiais’. O método proposto é baseado na análise dos ‘pixels’ das imagens, realizadas em “ambiente controlado”, associação dos ‘pixels’ com as características visuais (parte aérea de planta), e inferência a partir destes para características de difícil avaliação (crescimento de raiz) viabilizando, assim, o processamento para a análise em alguns minutos ou horas conduzindo os resultados para serem utilizados na prática de um viveiro florestal.