

## Notas Científicas

# Reconstrução de maquetes 3D e manipulação da arquitetura de espécies perenes cultivadas no Brasil

Miroslava Rakocevic<sup>(1)</sup>, Murilo Hilário Mazza da Silva<sup>(1)</sup>, Eduardo Delgado Assad<sup>(1)</sup>  
e Guilherme Augusto Silva Megeto<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, CEP 13083-886 Campinas, SP. E-mail: mima@cnptia.embrapa.br, murilo@cnptia.embrapa.br, assad@cnptia.embrapa.br, guimegeto@gmail.com

Resumo – Este trabalho teve como objetivo indicar algumas possíveis manipulações ecofisiológicas, com base em experimentos de arquitetura de plantas. Plantas de erva-mate, seringueira e videira foram caracterizadas no campo e no laboratório, e suas maquetes 3D foram reconstruídas com os programas V-Plants e PlantGLViewer. Indicações sobre a análise de crescimento e impactos ambientais, com a aplicação de diversas simulações, foram discutidas.

Termos para indexação: *Hevea brasiliensis*, *Ilex paraguariensis*, *Vitis labrusca*, arquitetura de plantas, modelagem.

## Reconstruction of 3D mock-up and architecture manipulation in perennial species cultivated in Brazil

Abstract – The objective of this work was to indicate some possible ecophysiological manipulations, based on experiments of plant architectural traits. Yerba-mate, rubber tree and grapevine plants were measured in field and laboratory, and their 3D mock-ups were constructed using V-Plants and PlantGLViewer softwares. Indications about growth and environmental impact analysis were discussed, applying diverse simulations in modeling process.

Index terms: *Hevea brasiliensis*, *Ilex paraguariensis*, *Vitis labrusca*, plant architecture, modeling.

O uso de computação de alto desempenho acelerou o desenvolvimento de várias representações formais e diversas noções matemáticas e computacionais de arquitetura de plantas, nos últimos 20 anos. Godin (2000) define a arquitetura vegetal como “qualquer descrição individual baseada na decomposição de plantas em componentes, que especifica o seu tipo biológico, sua forma, sua localização/orientação no espaço e a maneira como eles são fisicamente relacionados uns aos outros”. A análise topológica dos módulos vegetais e de sua distribuição espacial (topológico-geométrica) aplica métodos estatístico-matemáticos complexos na avaliação de suas inter-relações (Louarn et al., 2007), e define as leis botânicas na determinação de maneiras de construção da arquitetura vegetal (Costes & Guedon, 2002) ou de variabilidade genética e arquitetura vegetal (Segura et al., 2007). Além disso, a modelagem funcional-estrutural agrupa diversas combinações entre os modelos baseados nos processos ecofisiológicos

(alocação de carbono, transporte de água etc.) e os modelos arquiteturais geométricos, e é muito utilizada no estudo de espécies de plantas perenes para fins agrícolas.

O objetivo deste trabalho foi reconstruir as plantas de erva-mate, seringueira e videira, em 3D, e apresentar a base para simulações de arquitetura das plantas e de aspectos ecofisiológicos.

Usou-se o método de codificação multiescalar, definido por Godin et al. (1999), aplicado em V-Plants, o sucessor do programa computacional AMAPmod (Godin & Guédon, 2003), sob a plataforma OpenAlea (<http://openalea.gforge.inria.fr/dokuwiki/doku.php>).

Primeiramente, foram criados grafos em árvores multiescalares, ou “multiscale tree graphs” (MTGs), com as informações sobre a codificação e atributos necessários. Para as maquetes da erva-mate, usou-se uma folha 3D da biblioteca geométrica que acompanha o programa V-Plants, constituída por 91 polígonos. Para a seringueira e a videira, foram desenvolvidos novos objetos

de folhas em 3D. Cada folha de seringueira e videira contém, respectivamente, 154 e 62 polígonos, com seu comprimento (LeafLength) e largura (BottomDiameter e TopDiameter) ajustáveis às medições reais.

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*, St.-Hil., Aquifoliaceae) é uma espécie arbórea sempre verde, dióica, nativa da América do Sul, cujas folhas são usadas na preparação de diversas bebidas. Rakocevic et al. (2006b) observaram que o crescimento da erva-mate apresenta extensão e ramificação monopodial, com duas pausas de crescimento, uma de verão (total ou parcial) e outra de inverno. As plantas de erva-mate de quatro anos de idade, cultivadas em dois ambientes (monocultura e floresta primária antropizada), em Barão de Cotegipe, RS, foram podadas em abril de 2003. Três gemas foram marcadas em cada planta, e o crescimento relacionado ao eixo principal foi acompanhado durante dois anos. Os MTGs foram codificados para oito plantas, tendo-se diferenciado sexo e ambiente de cultivo, em quatro escalas de decomposição: planta; ramos – tronco, suportes e galhos; unidades de crescimento; entrenós. Os atributos contêm as informações sobre o comprimento de cada entrenó e sobre a área foliar individual. Na introdução de atributos, foram usadas fotografias de diversos estágios de desenvolvimento, com definição da elevação dos ramos e da inserção de folhas relativa ao ramo suporte.

A cultivar IAN 717 de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss.) Muell-Arg., Euphorbiaceae) é uma espécie arbórea, originária da floresta Amazônica, importante na produção de látex. O crescimento rítmico de meristemas da seringueira ocorre no período de 42–47 dias (Hallé & Martin, 1968). As porções de eixos, formadas entre dois períodos de pausa de crescimento, chamam-se unidades de crescimento. Na reconstrução 3D da seringueira, utilizaram-se desenhos botânicos do estudo da abertura de covas e plantios da seringueira, aos 27 meses de idade, na Amazônia (Pereira, 1980). O autor desenhou as plantas representativas com detalhes da parte aérea e radicular e todas as medidas em escala. Os MTGs da parte radicular da seringueira foram codificados em duas escalas de decomposição: planta; ramificações radiculares até a terceira ordem, com elevação e filotaxia de ramificações de raiz definidas. Os MTGs da parte aérea contêm três escalas, com a informação de: planta; unidades de crescimento definidas a partir de marcadores de crescimento e condensação de folhagem; e módulos que definiam limiares entre folhas verdes, em razão de a reconstrução de todos os entrenós ter sido impossibilitada

quanto à precisão do desenho. Os atributos definem os mesmos parâmetros usados na codificação da erva-mate.

Em termos botânicos, BRS Violeta, cultivar da videira (híbrida complexa que apresenta as características gerais de *Vitis labrusca* L., Vitaceae) apresenta o broto com a extremidade totalmente aberta, o ramo jovem é verde e as folhas são de tamanho médio, deltóides, involutas, com base convexa e dentes curtos. Ela apresenta crescimento determinado, naturalmente interrompido antes do início da maturação. Adapta-se bem às condições de clima temperado, subtropical e tropical. É uma cultivar precoce, cujo ciclo é de aproximadamente 150 dias em Bento Gonçalves, RS e de 120 dias nas condições de Jales, SP. Os MTGs para reconstrução geométrica de videira foram codificados para nove plantas, cultivadas em Jales, tendo-se diferenciado em: dois momentos de observação – rebrota inicial (outubro de 2007) e colheita (fim de dezembro de 2007); e em dois tipos de manejo – com e sem eliminação de todas as ramificações. Os MTGs foram codificados com três escalas de decomposição: planta; ramos – tronco, segmentos de guias e galhos; e entrenós. Os atributos são definidos pelos mesmos parâmetros usados na codificação da erva-mate.

A reconstrução de uma planta fêmea da erva-mate, cultivada em monocultura, dois anos após a última poda, está apresentada na Figura 1, em comparação à fotografia. A maquete da parte aérea permite a reconstrução espacial da folhagem das plantas, o que, com o uso de cores virtuais, ajuda no cálculo da área foliar com relação à: sua posição nos galhos de diversas ordens de ramificação; e posição em faixas de copas de árvores. Após a reconstrução 3D, em V-Plants e PlantGLViewer, a folhagem foi processada no VegeSTAR (<http://www2.clermont.inra.fr/piaf/eng/download/download.php>), que simulou as plantas fêmeas de floresta primária antropizada (Figura 1 C) e de monocultura (Figura 1 D) dez meses após a poda, no estágio de pausa de crescimento de verão, no início de formação da segunda unidade de crescimento.

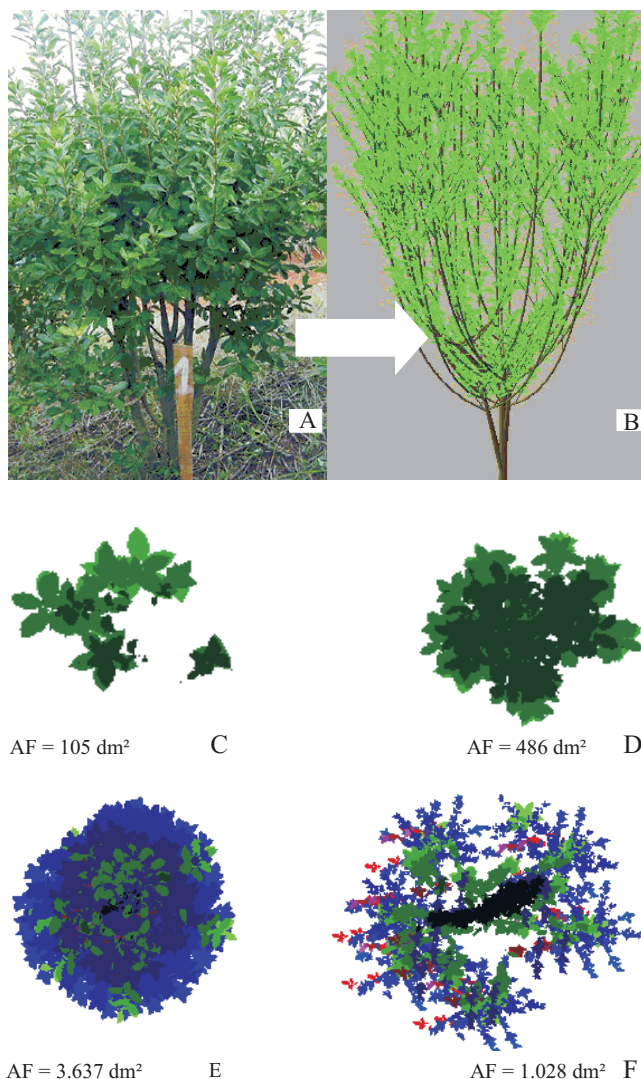
Em razão da expressão de dimorfismo sexual (Rakocevic et al., 2006a), não facilmente reconhecida nas plantas nos estágios vegetativos, a distribuição de folhagem de duas plantas de monocultura está apresentada, quanto ao sexo: masculino, na Figura 1 C; e feminino, na Figura 1 D. As diferenças expressas em área foliar de cada árvore concernem às análises estatísticas efetuadas no nível dos eixos principais

(Rakocevic et al., 2006a) e podem estender-se como regras aplicadas às ramificações de diversas ordens. Na reconstrução foram aplicadas relações alométricas de 33 mil folhas, com relação a sexo, ambiente e estágio de desenvolvimento. O cálculo de área foliar

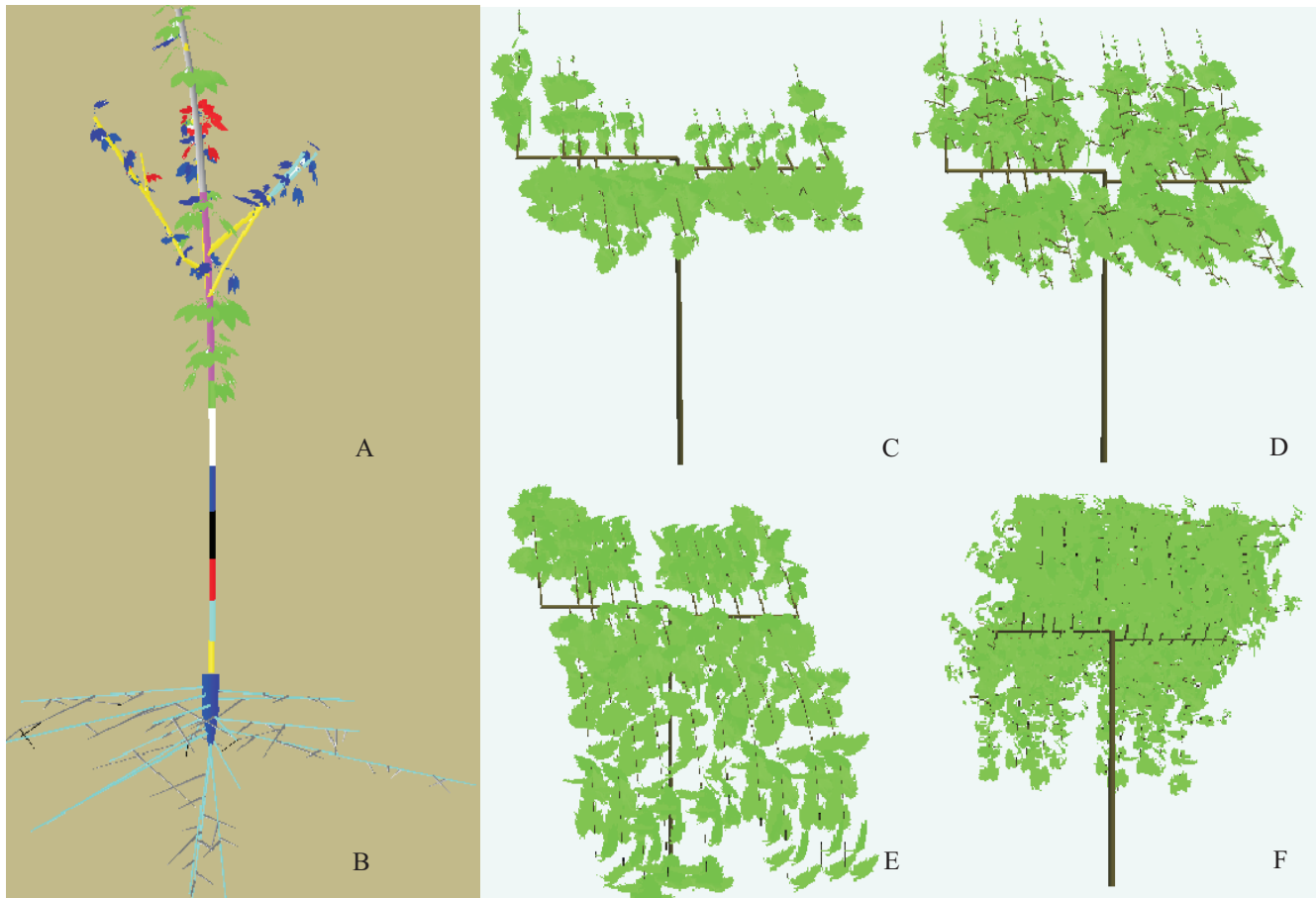
por planta (Figura 1 C, D, E e F) e a eficiência de interceptação de radiação solar de árvores podem ser estimados pelo *VegeSTAR*. A continuação de análises da erva-mate está direcionada aos estudos de eficiência de interceptação, simulação e ajuste de fotossíntese de diversas modalidades botânicas, no intuito de se definir o melhor modelo de manejo em dois ambientes de cultivo, pelas simulações.

A maquete de uma planta jovem de seringueira, com nove unidades de crescimento no tronco, e a emissão simultânea de unidades de crescimento, nos ramos laterais, está apresentada na Figura 2 A, com a parte radicular correspondente (Figura 2 B). As unidades de crescimento foram diferenciadas pelas cores atribuídas junto com a folhagem relativa. As unidades de crescimento são reconhecidas a partir de cicatrizes em suas extremidades, o que facilita sua reconstrução. Para árvores jovens, o ritmo de emissão de unidades de crescimento laterais é completamente sincronizado com o do eixo no qual nasceram, porém, essa sincronização se altera gradualmente (Hallé & Oldeman, 1970). Em estudos futuros, poderá ser analisado o crescimento da seringueira de diferentes clones, no nível de unidades de crescimento (Cilas et al., 2004), em sistemas de cultivo como, por exemplo, no consórcio com café.

As videiras foram reconstruídas com a idéia de se simularem dois sistemas de manejo – com e sem eliminação de ramificação nas brotações de produção. O uso de mão-de-obra na eliminação de ramificações exige tempo e investimento (uma passagem em cada duas semanas). A nova cultivar BRS Violeta é recomendada para a produção de suco e vinho de mesa, e a eliminação de ramificações (“netos”) incidirá sobre o preço do produto final. Uma planta virtual, com duas semanas após o início da brotação, com eliminação de “netos”, está apresentada na Figura 2 C. Na Figura 2 E, a mesma planta atingiu o tempo para coleta de cachos. Analogamente, as maquetes sem eliminação de ramificações estão apresentadas nas Figura 2 D e F. A intenção foi correlacionar a qualidade de cachos com a área foliar de brotações, a posição dos cachos, e a interceptação de luz pelas folhas que entornam os frutos. As simulações gradativas podem auxiliar na tomada de decisão de práticas de manejo e resultar em nova tecnologia, pela eliminação de parte da área foliar não necessária para a produção de cachos de boa qualidade e peso.



**Figura 1.** Maquetes 3D de erva-mate: A, fotografia de uma planta fêmea cultivada em monocultura, dois anos após a poda; B, reconstrução da fotografia em 3D (V-Plants) e visualização (PlantGLViewer); C e D, distribuição de área foliar (AF) de planta macho e de planta fêmea, respectivamente, de monocultura, dois anos após a poda, estimada em *VegeSTAR*; E e F, distribuição de área foliar de plantas fêmeas, cultivadas em floresta primária antropizada (E) e em monocultura (F), dez meses após a poda. Cor de folhas: eixos principais, verdes; ramificações de ordem 1, azuis; ordem 2, vermelhas; ordem 3, roxas.



**Figura 2.** A, Maquete de planta de seringueira, com 27 meses, em que se diferenciam nove unidades de crescimento no tronco, e a ordem de ramificação pela cor de folhagem. Cores das folhas: eixos principais, verdes; ramificações de ordem 1, azuis; ordem 2, vermelhas; ordem 3, roxas. B, maquete da raiz da seringueira. Cores das raízes: eixo principal, azul; ramificações de ordem 1, azul-claro, ordem 2, cinza, ordem 3, preto. C e D, maquetes da videira, duas semanas após a rebrotação, com e sem eliminação de ramificações, respectivamente. E e F, maquetes da videira na coleta, com e sem eliminação de ramificações, respectivamente.

## Referências

- CILAS, C.; COSTES, E.; MILET, J.; LEGNATÉ, H.; GNAGNE, M.; CLÉMENT-DEMANGE, A. Characterization of branching in two *Hevea brasiliensis* clones. *Journal of Experimental Botany*, v.55, p.1045-1051, 2004.
- COSTES, E.; GUÉDON, Y. Modelling branching patterns on 1-year-old trunks of six apple cultivars. *Annals of Botany*, v.89, p.513-524, 2002.
- GODIN, C. Representing and encoding plant architecture: a review. *Annals of Forest Science*, v.57, p.413-438, 2000.
- GODIN, C.; COSTES, E.; SINOQUET, H. A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry. *Annals of Botany*, v.84, p.343-357, 1999.
- GODIN, C.; GUÉDON, Y. **AMAPmod version 1.8**: introduction and reference manual. Montpellier: Cirad, 2003.
- HALLÉ, F.; MARTIN, R. Etude de la croissance rythmique chez l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Müll-Arg. Euphorbiacées-Crotonoïdées). *Adansonia*, v.2, p.475-503, 1968.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, RAA. **L'essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux**. Paris: Masson, 1970. 178p.
- LOUARN, G.; GUÉDON, Y.; LECOEUR, J.; LEBON E. Quantitative analysis of the phenotypic variability of shoot architecture in two grapevine (*Vitis vinifera*) cultivars. *Annals of Botany*, v.99, p.425-437, 2007.
- PEREIRA, J.P. da. Métodos da abertura de covas e plantio de mudas de seringueira. In: SEMINÁRIO DE SERINGUEIRA, 3., 1980, Manaus. *Anais*. Brasília: Sudhevea, 1980. p.761-779.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M.J.S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, A.T. Ritmicidade de emissão e de queda de folhas e as suas conseqüências no manejo da erva-mate. In: AMERICAN CONGRESS IN YERBA-MATE, 4., 2006, Pousadas. **Anais**. Pousadas: INYM, 2006a. p.250-256.

RAKOCEVIC, M.; MEDRADO, M.J.S.; LUCAMBIO, F.; VALDUGA, A.T. Shoot growing characterization in yerba mate

(*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivated in two contrasting light environments. In: AMERICAN CONGRESS IN YERBA-MATE, 4., 2006, Pousadas. **Anais**. Pousadas: INYM, 2006b. p.244-249.

SEGURA, V.; CILAS, C.; LAURENS, F.; COSTES, E. Phenotyping progenies for complex architectural traits: a strategy for 1-year-old apple trees (*Malus domestica* Borkh.) **Tree Genetics and Genomes**, v.2, p.140-151, 2007.

---

Recebido em 25 de fevereiro de 2008 e aprovado em 26 de agosto de 2008

