

SOFTWARE PARA AJUSTE DA GEOMETRIA NA RECONSTRUÇÃO DE AFEIROS EM 3D

Fabio Takeshi Matsunaga²; Miroslava Rakocevic³

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Consórcio Pesquisa Café

² Aluno de graduação, UEL, Londrina-PR, ftakematsu@gmail.com

³ Pesquisador Visitante, D.Sc., IAPAR, Londrina-PR, miroslava@iapar.br

RESUMO: A arquitetura de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) é descrita pelo modelo de Roux, o que indica a existência de dimorfismo de galhos. As medições de plantas foram realizadas na escala de metâmeros definido o tamanho e posição de todas as entidades desta escala (entrenó e as folhas) e o número de frutos. As plantas foram codificadas em grafos em árvores multiescalares no software VPlants. As reconstruções geométricas apresentaram algumas distorções na orientação de folhas e ramificações, além do tamanho e a posição de folhas. Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um software que aproxima a planta virtual de um cafeeiro à realidade. A plataforma NetBeans IDE, que é um ambiente de programação em linguagem Java Standart Edition, foi utilizada para o desenvolvimento do software VirtualCafe3D. A lógica do algoritmo do programa constitui-se de seguintes passos: 1/ ajuste espacial das folhas nas ramificações plagiótropicas (de primeira à quarta ordem), 2/ ajuste espacial das folhas no tronco ortotrópico e 3/ correção da orientação dos ramos. A solução geral na correção de orientação e de posição de folhas e ramos foi realizada com a inserção de ramos virtuais constituídos de um entrenó extremamente curto, mas os passos no algoritmo diferencaram para cada ajuste solucionado. A saída final efetua corretamente a modificação da codificação topológica de cafeeiros para o ajuste de reconstrução geométrica de plantas.

Palavras-chave: arquitetura de plantas, posição foliar, ramos virtuais, reconstrução geométrica, VPlants.

SOFTWARE FOR GEOMETRY ADJUSTMENTS OF COFFEE PLANT RECONSTRUCTIONS IN 3D

ABSTRACT: The architecture of coffee arabica trees (*Coffea arabica* L.) is defined by Roux's model, which defines the existence of branch dimorphism. The plant measurements were taken at scale of metamers, by defining the size and position of all entities at this scale (internodes and leaves) and fruit number. Plants were codified as multiscale tree graphs on VPlants software. The geometric reconstructions showed some distortions in leaf and branch orientations, and leaf size and position. Therefore, the aim of this work was to develop the software that brings a virtual reality to the coffee mock-up. The NetBeans IDE platform, which is a programming environment in Java Standard Edition, was used for VirtualCafe3D development. The algorithm logic consists in following steps: 1/ spatial settings of leaves originated on plagiotropics (from first to fourth branching order), 2/ spatial settings of leaves originated on orthotropic trunk and 3/ correction of the branch orientation. The general solution in correction of leaf and branch orientations was the inclusion of virtual branches constituted of a very short internode, but the algorithmic steps vary for each solved adjustment. The final output performs the modification of a plant topology in order to reconstruct correctly the plant geometry.

Key words: geometric reconstruction, leaf position, plant architecture, virtual branches, VPlants.

INTRODUÇÃO

A arquitetura de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) é descrita pelo modelo de Roux (Hallé *et al.*, 1978) o que especifica a existência de dimorfismo de galhos, isto é, o tronco ortotrópico e ramificações plagiótropicas. O tronco ortotrópico é ereto, radial e constituído por entrenós de comprimento relativamente regular que originam as folhas opostas. Cada par de folhas no eixo ortotrópico encontra-se em situação cruzada com o par inferior o que resulta em filotaxia oposta, cruzada ou decussada. Os ramos laterais de *C. arabica* são plagiótropicos, também com um padrão ortogonal – decussado de iniciação de pares de folhas. As torções de entrenós e o ângulo dos pecíolos reorientam as folhas cuja filotaxia é inicialmente de 90°, o que resulta em ramos plagiótropicos com a simetria dorsiventral (Dengler, 1999).

As primeiras reconstruções geométricas de cafeeiros arábica em 3D foram feitas a partir de precisas medições morfológicas de indivíduos adultos. As medições foram realizadas na escala de galhos e interpoladas na escala de metâmeros (Rakocevic & Androcioli-Filho, 2010). Na reconstrução 3D usou-se o software VPlants (2011) da plataforma OpenAlea (Pradal *et al.*, 2008). A codificação de plantas em objetos matemáticos hierarquizados,

denominados grafos em árvores multiescalares (Multiscale Tree Graphs – MTGs), foi realizada em três escalas de decomposição: plantas (P), galhos (G) e entrenós (ortotrópicos – O e plagiotrópicos – E). Atualmente, as medições arquiteturais estão sendo coletadas na escala de metâmeros, adquirindo as informações sobre: 1/ o comprimento de cada entrenó tanto do tronco ortotrópico como das ramificações plagiotrópicas, 2/ o número de folhas por metâmero (0, 1 ou 2), 3/ comprimento, largura e orientação de cada folha.

As reconstruções geométricas resultantes do processamento de MTGs no VPlants, que contêm os atributos precisos coletados na escala de metâmeros, apresentam algumas distorções espaciais: 1/ As duas folhas (quando existem) de um metâmero apareciam de tamanho igual, além do que não eram inseridas de maneira oposta no mesmo nó, mas transladam em diferentes posições no comprimento do entrenó. A razão disso se deve ao fato que VPlants reconhece, por padrão, apenas os atributos relacionados a uma das folhas do entrenó; 2/ As folhas do tronco ortotrópico rotacionam a lamina foliar na posição vertical; 3/ As ramificações de primeira ordem não seguem a situação cruzada e as ramificações plagiotrópicas de todas as ordens não se posicionam em direções opostas (sentido N-S e E-W); 4/ As orientações de ramos e de folhas seguiram o padrão de VPlants que começa a primeira reconstrução para Norte, o que não permite leitura correta de abstrações matemáticas.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um software (denominado VirtualCafe3D) que ajusta a representação espacial de um cafeeiro, fazendo com que todas as suas entidades estejam em sua posição e orientação correta.

MATERIAL E MÉTODOS

As medições arquiteturais estão sendo feitas em cafeeiros arábica cv. IAPAR 59, sob projeto: "Parâmetros ecofisiológicos, compostos metabólicos e qualidade do produto relacionado à distribuição espacial de folhagem e frutos de café arábica" aprovado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. Até o momento, a coleta de informações arquiteturais na escala de metâmeros considera cinco observações, que se realizam no campo experimental de IAPAR em Londrina-PR (23°18'S e 51°17'W), na frequência de cada quatro meses.

O software VirtualCafe3D foi desenvolvido na plataforma NetBeans IDE (2011), um ambiente de desenvolvimento em Java Standart Edition (2011), com todos os seus recursos de programação orientados a objetos e de interface gráfica com o usuário. Foi necessário integrar os recursos da biblioteca Java Excel API (2011), que permite a manipulação de arquivos de planilhas eletrônicas e textos tabulados, facilitando a leitura e escrita dos MTGs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lógica do algoritmo do software VirtualCafe3D constitui-se dos seguintes passos: ajuste espacial das folhas das ramificações plagiotrópicas (de primeira à quarta ordem), ajuste espacial das folhas do tronco ortotrópico e correção da orientação dos ramos. A saída de cada passo resulta em um arquivo temporário que serve de entrada para o passo seguinte.

Ajuste espacial e leitura dos atributos de segunda folha no par

O VPlants aceita apenas um valor para definir o ângulo de desviação de todos os galhos de uma planta. Na reconstrução de cafeeiros para a filotaxia de ramos atribuímos o valor real de 90° (Dengler, 1999). É possível definir outro valor para descrever a filotaxia de folhas e com isso, a filotaxia de 180° foi atribuída para melhor distribuir espacialmente as folhas do mesmo metâmero. Neste processo, a folha seguinte sempre está com a orientação oposta da anterior, fazendo com que as orientações foliares reais não sejam sempre respeitadas (Figura 1A).

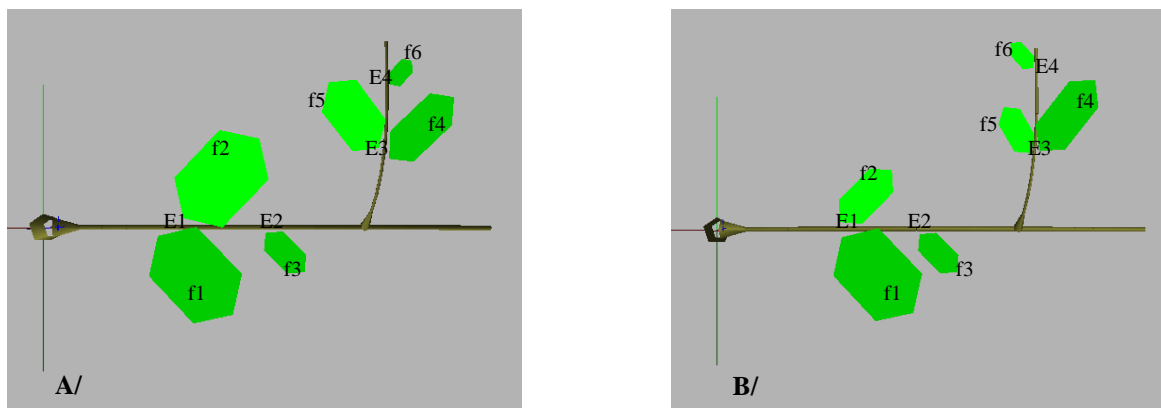


Figura 1: Vista lateral de reconstrução de uma ramificação de primeira ordem contendo as folhas f1 e f2 em E1 e f3 em E2, e uma ramificação de segunda ordem, contendo as folhas f4 e f5 em E3 e f6 em E4. **A/** Saída antes de inserir entrenós virtuais para posicionar as folhas. **B/** Saída corrigida, após a inserção de entrenós extremamente curtos.

Para possibilitar a leitura de atributos reais de duas folhas em um metâmero nos galhos plagiotrópicos, foi feita a inserção de um entrenó virtual extremamente curto (0.001 cm) para posicionar a segunda folha do par, alternando a sua orientação para o ponto cardinal oposto. A lógica do algoritmo verifica a necessidade de inserir um entrenó virtual para cada par de folhas. Esta depende da presença da segunda folha no par e da orientação da última folha lida.

O processo de inserção de entrenós virtuais possibilita que as folhas dos plagiotrópicos estejam na sua orientação correta. Ele também ajuda na leitura do tamanho real da segunda folha no mesmo metâmero, além de orientação geometricamente exata (Figura 1B).

Ajuste da posição de lamina foliar no tronco ortotrópico

Cada par de folhas no eixo ortotrópico de cafeeiros encontra-se em situação cruzada com o par inferior, o que resulta em filotaxia oposta, cruzada ou decussada. Devido a que a filotaxia de 180° foi atribuída para as folhas na programação, não se formava a situação cruzada. Para resolver este conflito (Figura 2A), adicionou-se uma ramificação virtual com um entrenó extremamente curto que sustenta uma folha. Neste passo o algoritmo transforma uma folha de um entrenó do tronco ortotrópico em uma ramificação virtual. Dessa forma conseguiu-se que as folhas nos ortotrópicos fiquem com a lâmina foliar rotacionada horizontalmente e que dois pares de folhas estejam na situação cruzada (Figura 2B).

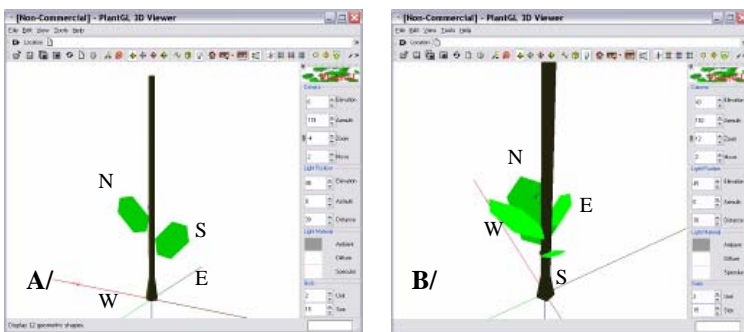


Figura 2: Saída de uma reconstrução geométrica de um tronco ortotrópico com quatro folhas nas direções norte (N), sul (S), leste (E) e oeste (W). **A/** Saída antes de inserir galhos virtuais para as folhas. **B/** Saída corrigida, após a inserção de ramos virtuais com um entrenó extremamente curto (0.001 cm).

Um fragmento de código fonte, que ilustra a inserção de ramos virtuais extremamente curtos na solução de posição de folhas originadas no tronco ortotrópico, é apresentado na Figura 3.

```
// Adiciona galho virtual
public int AdicionaGalhoVirtual(int num, int lin_escr, int en_ep_atual) throws WriteException
{
    int i;
    if (num>0)
    {
        novo_mtg.addCell(new Label(1,lin_escr,"^<0"+en_ep_atual));
        novo_mtg.addCell(new Label(8,lin_escr++,"0.001"));
        novo_mtg.addCell(new Label(2, lin_escr, " +090"));
        novo_mtg.addCell(new Label(8,lin_escr++,"0.001"));
        novo_mtg.addCell(new Label(1,lin_escr,"^<0"+en_ep_atual));
        novo_mtg.addCell(new Label(8,lin_escr++,"0.001"));
        System.out.println(" --> Adicionando 1 galho (+0) virtual...");
        // Um galho virtual já foi adicionado
        if (num>1) for (i=1; i<num; i++)
        {
            // Adicionando os demais
            System.out.println(" --> Adicionando " + (i+1) + " galho (+0) virtual...");
            novo_mtg.addCell(new Label(2, lin_escr, " +090"));
            novo_mtg.addCell(new Label(8,lin_escr++,"0.001"));
            novo_mtg.addCell(new Label(1,lin_escr,"^<0"+en_ep_atual));
            novo_mtg.addCell(new Label(8,lin_escr++,"0.001"));
        }
    }
    else System.out.println(" --> Sem adicao de galhos (+0) virtuais");
    return lin_escr;
};
```

Figura 3: Código fonte de VirtualCafe3D que insere os ramos virtuais extremamente curtos para solucionar a posição de folhas originadas no tronco ortotrópico.

Ajuste de orientação de galhos

Pelo padrão, o VPlants começa a inserir a primeira ramificação para Norte. Depois, com a filotaxia de 90°, segue uma ramificação que vai para oeste (W), terceira para sul (S) etc. A solução de reconhecimento de orientação dos ramos

(Figura 4A) também foi resolvida através da inserção de ramificações virtuais (com um entrenó extremamente curto) e não visíveis na geometria. Cada ramificação virtual permite girar o próximo ramo 90° no sentido anti-horário. A quantidade de ramificações virtuais a ser inserida depende da orientação do último ramo lido (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade necessária de ramos virtuais a ser inserida para a orientação da ramificação atual com relação à orientação do último ramo lido.

Orientação do último ramo lido	Orientação do ramo atual			
	N (norte)	S (sul)	E (leste)	W (oeste)
N	3	1	0	2
S	1	3	2	0
E	2	0	3	1
W	0	2	1	3

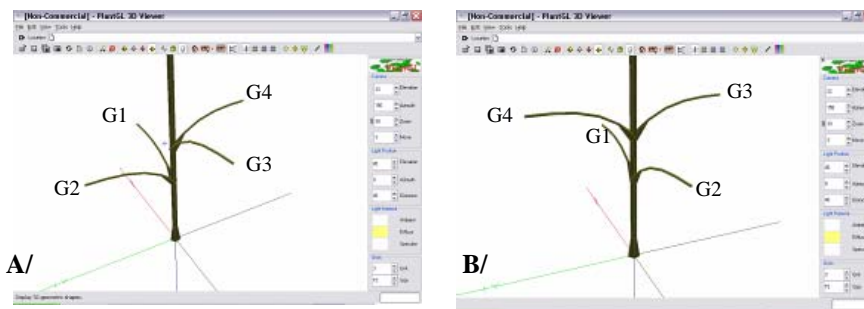


Figura 4: Saída de uma reconstrução geométrica com quatro galhos (G): G1 para N, G2 para S, G3 para W e G4 para E. **A/** Saída antes da inserção de ramos virtuais e **B/** saída corrigida após a inserção de ramos virtuais.

A inserção de ramificações virtuais corrigiu a orientação dos galhos de acordo com a orientação (N, S, E, W) definida nos atributos reais de cada ramificação encontrada. A Figura 4B mostra uma reconstrução 3D de galhos ajustados na sua orientação espacial correta. De acordo com a Tabela , o algoritmo de VirtualCafe3D gerou uma inserção do ramo virtual para G2 e outra inserção para G4.

O software VirtualCafe3D ajusta a representação espacial do cafeeiro a partir de medições codificadas em MTGs. As reconstruções virtuais que se aproximam à realidade de cinco observações são apresentadas na Figura 5.

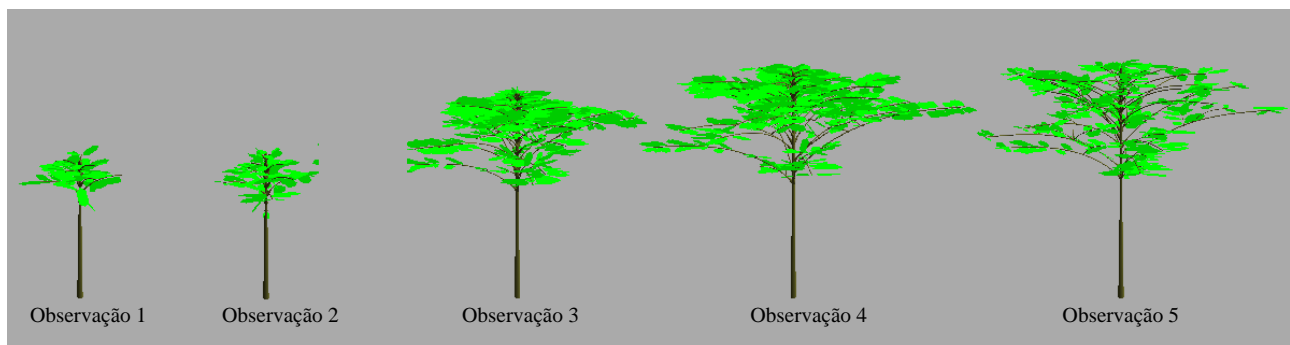


Figura 5: A reconstrução geométrica de um cafeeiro (seguido durante um ano e meio em cinco observações) após o processamento no VirtualCafe3D.

CONCLUSÕES

O algoritmo do VirtualCafe3D efetua a modificação da codificação topológica de cafeeiros para o ajuste de reconstrução geométrica de plantas. Desta maneira ele ajusta os elementos fotossintéticos (folhagem) na sua posição/orientação exata.

O uso de ramos virtuais, com entrenós extremamente curtos, foi uma solução adequada para ajustar as orientações dos galhos e das folhas, diferenciando apenas a lógica de inserção em cada passo do algoritmo.

O VirtualCafe3D, um software livre de código-fonte aberto, estará disponível para qualquer pesquisador e usuário interessado na área de modelagem de cafeeiros que usa os recursos da plataforma OpenAlea, que pode facilitar as visualizações e futuros processamentos ecofisiológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DENGLER N. G. Anisophylly and dorsiventral shoot symmetry. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v.160, n.S6, p.67-80, Nov. 1999.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441 p.
- JAVA EXCEL API. Disponível em <<http://jexcelapi.sourceforge.net/>>. Acesso em: 18 Abr. 2011.
- NETBEANS. Disponível em: <<http://netbeans.org/>>. Acesso em: 18 Abr. 2011.
- OPENALEA. Disponível em: <<http://openalea.gforge.inria.fr/dokuwiki/doku.php?id=openalea>>. Acesso em: 18 Abr. 2011.
- PRADAL, C.; DUFOUR-KOWALSKI, S; BOUDON, F; C. e GODIN, C. OpenAlea: a visual programming and component-based software platform for plant modeling. **Functional Plant Biology**. v. 35, n. 9-10, p. 751-760, 2008.
- RAKOCEVIC., M. ; ANDROCIOLI-FILHO, A. Morphophysiological characteristics of *Coffea arabica* L. in different arrangements: lessons from a 3d virtual plant approach. **Coffee Science**, v. 5, n. 2, p. 1-12, Mai./Ago. 2010.
- SUN MICROSYSTEMS. Disponível em: <<http://java.sun.com>>. Acesso em: 18 Abr. 2011.
- VPLANTS. Disponível em: <<http://www-sop.inria.fr/virtualplants/wiki/doku.php?id=home>>. Acesso em: 18 Abr. 2011.