

ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO

**MÉTODO DE GRANIER E TRANSPIRAÇÃO DO MOGNO AFRICANO**

Orientador:

**Prof. Derblai Casaroli**

Co-orientador:

**Prof. Lucas Melo Vellame**

Goiânia, GO – Brasil  
2016

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      ☒ **Dissertação**      ☐ **Tese**

### 2. Identificação da Tese ou Dissertação

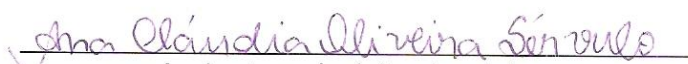
Nome completo do autor: Ana Cláudia Oliveira Sérvulo

Título do trabalho: Método de Granier e Transpiração do Mogno Africano

### 3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM      ☐ NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 15 / 09 / 16

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO

**MÉTODO DE GRANIER E TRANSPIRAÇÃO DO MOGNO AFRICANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

**Prof. Dr. Derblai Casaroli**

Co-orientador:

**Prof. Dr. Lucas Melo Vellame**

Goiânia, GO – Brasil  
2016

**Ficha catalográfica elaborada automaticamente  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.**

**Oliveira Sérvulo, Ana Cláudia**  
**Método de Granier e Transpiração do Mogno Africano**  
**[manuscrito] / Ana Cláudia Oliveira Sérvulo. - 2016.**  
**89 f.: il.**

**Orientador: Prof. Dr. Derblai Casaroli; co-orientador Dr. Lucas Melo Vellame; co-orientador Dr. José Alves Junior.**  
**Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2016.**  
**Bibliografia.**

**1. Khaya ivorensis A. Chev. 2. Fluxo de seiva. 3. Necessidade hídrica. 4. Crescimento vegetativo. I. Casaroli, Derblai, orient. II. Melo Vellame, Lucas, co-orient. III. Título.**

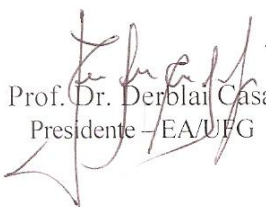


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos quatro dias do mês de abril do ano de dois mil e dezesseis (04.04.2016), às 14h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Derblai Casaroli - Orientador/Presidente, Prof. Dr. José Alves Júnior e Prof. Dr. Marcio Mesquita, para, em sessão pública realizada no auditório do PPGA da Escola de Agronomia da UFV, procederem à avaliação da defesa de Dissertação intitulada: **"Métodos de Granier e Transpiração do Mogno Africano"**, de autoria de **Ana Cláudia Oliveira Sérulo**, discente do curso de **Mestrado**, na área de Concentração em **Solo e Água**, do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente, que fez a apresentação formal dos membros da Banca e deu início às atividades relativas à defesa da Dissertação. Passou a palavra à mestranda que em quarenta minutos apresentou o seu trabalho. Após a apresentação a candidata foi arguida sucessivamente pelos membros da banca. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. De acordo com a Resolução nº 1051, de 09.09.2011 do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, a Banca Examinadora considerou **APROVADA** a Dissertação, com às correções recomendadas, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE** em Agronomia, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. A mestranda deverá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar a versão definitiva da dissertação à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da Defesa. A conclusão do Curso e a emissão do Diploma dar-se-ão após o cumprimento do Artigo 69, § 1º e § 2º, da Resolução CEPEC nº 1051, de 09.09.2011. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa dissertação, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de efetuadas as modificações sugeridas. No caso da discente titulada não providenciar a publicação de seu trabalho final em forma de artigo(s) científico(s) no prazo de seis meses, após a data da defesa, serão aplicados os dispositivos do Artigo 70, § 1º e § 2º, da mesma Resolução. Para finalizar, o Presidente agradeceu os membros examinadores, congratulou-se com a mestranda e encerrou a sessão às 18h10min. E para constar, eu Welinton Barbosa Mota, secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, será assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

  
Prof. Dr. Derblai Casaroli  
Presidente - EA/UFV

  
Prof. Dr. José Alves Júnior  
Membro - EA/UFV

  
Prof. Dr. Marcio Mesquita  
Membro - EA/UFV

*Aos que sempre me deram forças para seguir em frente,*

*Isa, Francisco e Celina.*

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Goiás, pela oportunidade de participar do Programa de Pós Graduação em Agronomia.

À CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao NUCLIRH, pelo acolhimento e compartilhamento de experiências.

À Coordenação de Pós Graduação em Agronomia, pelo suporte fornecido ao longo do curso.

À equipe do Laboratório de Agrofisiologia da Embrapa Arroz e Feijão, pelo suporte técnico.

Ao viveiro Mudas Nobres, pelo fornecimento da área experimental e insumos para a condução dos experimentos.

Aos professores Lucas Vellame, Derblai Casaroli, José Alves, Adão Wagner e Carlos Sette, pela orientação, respeito e confiança.

Aos meus pais, Isa Maria e Francisco de Assis, ao Rodolpho, demais entes queridos e amigos, pelo incentivo na minha formação profissional.

Aos companheiros de Pós-Graduação e aos companheiros de campo, Pedro, Elias, Marcus, João Maurício, Jordana, Déborah, Rodrigo, Dayanna.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                                                              | <b>8</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                                              | <b>10</b> |
| <b>RESUMO GERAL .....</b>                                                                                 | <b>11</b> |
| <b>GENERAL ABSTRACT.....</b>                                                                              | <b>12</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                                           | <b>13</b> |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                       | <b>16</b> |
| 2.1 MOGNO AFRICANO: ORIGEM E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA .....                                                  | 16        |
| 2.2 TRANSPIRAÇÃO DAS PLANTAS .....                                                                        | 18        |
| 2.3 MÉTODO DE GRANIER.....                                                                                | 21        |
| 2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                      | 24        |
| <b>3 AJUSTE DO MÉTODO DE GRANIER E TRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DO MOGNO AFRICANO.....</b>                      | <b>31</b> |
| RESUMO .....                                                                                              | 31        |
| ABSTRACT .....                                                                                            | 31        |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                       | 32        |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                               | 34        |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                          | 41        |
| 3.4 CONCLUSÃO .....                                                                                       | 48        |
| 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                      | 48        |
| <b>4 TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO DO MOGNO AFRICANO EM FLORESTA INICIADA SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS.....</b> | <b>53</b> |
| RESUMO .....                                                                                              | 53        |
| ABSTRACT .....                                                                                            | 53        |
| 4.1 INTRODUÇÃO.....                                                                                       | 54        |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....                                                                               | 55        |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                          | 61        |
| 4.4 CONCLUSÃO.....                                                                                        | 76        |
| 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                      | 77        |
| <b>5 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>                                                                          | <b>83</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                       | <b>84</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 Esquema de medição da sonda de dissipação térmica (Delgado-Rojas, 2003).<br>.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 22 |
| Figura 3.1 Lisímetros de lençol freático constante, onde: (a) caixa d'água de PVC (capacidade para 500 L), (b) tanque reservatório de água em PVC (tubo de 200 mm x 1,50 m de altura), (c) caixa de descarga. ....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 35 |
| Figura 3.2 Etapas de construção da sonda de dissipação térmica (SDT): (a) envolvimento da resistência na agulha e inserção do termopar; (b) inserção da haste do sensor; (c) junção dos sensores, adição de cabos para conexão ao datalogger, e isolamento elétrico. ....                                                                                                                                                                                                                 | 36 |
| Figura 3.3 Instalação da sonda de dissipação térmica (SDT) em Mogno Africano, onde: (a) inserção da cápsula de aço carbono 3,0 mm no furo do tronco; (b) inserção do sensor envolvido em pasta térmica na cápsula; (c) SDT devidamente instalada; (d) isolamento de folhas de papel alumínio tipo “saia”. ....                                                                                                                                                                            | 37 |
| Figura 3.4 Disco de Mogno Africano aos 3,5 anos de idade, cultivado em lisímetro de lençol freático constante (a) recém-cortado e (b) após a remoção da casca, secagem e polimento (cerne em tom amarelado). ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 39 |
| Figura 3.5 Esquema de amostragem para caracterização anatômica da madeira. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 40 |
| Figura 3.6 (a) Rad. solar média global ( $\text{W m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), extraterrestre ( $\text{W m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e fotoperíodo (horas); (b) temp. média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e DPVdiurno (kPa); (c) transp. potencial acumulada de cinco dias (Litros) medida pela lisimetria (TLIS) e estimada pelo fluxo de seiva (TFS); (d) $\text{ET}_{\text{PM}}$ (mm) e precipitação (mm) acumulados de cinco dias. (período 11/10 a 23/11/14 e 28/02 a 10/05/15). .... | 42 |
| Figura 3.7 Relação entre médias de cinco dias de fluxo de seiva (SDT) e de transpiração real (lisimetria) em Mogno Africano a partir de 2,5 anos de idade. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 43 |
| Figura 3.8 Curso da transpiração acumulada por sete dias do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade, estimada pela equação de fluxo de seiva de Granier (TFS), equação ajustada (TFS ajust.) e medida pela lisimetria (TLIS) (período 11/10 a 23/11/14 e 28/02 a 10/05/15). ....                                                                                                                                                                                                    | 44 |
| Figura 3.9 Valores acumulados de sete dias de transpiração potencial ( $T - L \text{ plt}^{-1}$ ) em Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade e evapotranspiração de                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| referência ( $ET_{PM}$ - mm), no período entre 11/out a 23/nov de 2014, e 28/02 a 10/05 de 2015. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 46 |
| Figura 3.10 Relação linear da transpiração potencial diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (T) ( $L\ m^{-2}$ de folha) com o DPVdiurno, $ETo$ e $Rg$ , nos períodos de 11 de outubro a 30 de novembro de 2014 e 28 de fevereiro a 11 de maio de 2015.....                                                                                                                                                   | 47 |
| Figura 4.1 Delimitação do plantio de Mogno Africano em Bonfinópolis – GO, pelo polígono em laranja; sendo a área experimental composta por árvores plantadas em mar/2012, representada pelo marcador em branco. ....                                                                                                                                                                                                          | 56 |
| Figura 4.2 Floresta de Mogno Africano avaliada no presente estudo, aos 2,5 anos de idade, no município de Bonfinópolis-GO: (a) tratamento TI e (b) tratamento TS.....                                                                                                                                                                                                                                                         | 57 |
| Figura 4.3 Variação mensal da (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar registrada na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 61 |
| Figura 4.4 Curso da radiação solar global ( $Rg$ ), extraterrestre ( $Ro$ ) ( $W\ m^{-2}$ ), e fotoperíodo (N - horas) entre os anos de 2014 e 2015, na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO.....                                                                                                                                                                                                               | 62 |
| Figura 4.5 Velocidade do vento média mensal ( $U_2$ , $m\ s^{-1}$ ) diária registrada na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO. ....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 62 |
| Figura 4.6 Evapotranspiração potencial (ETP), Precipitação (P) e Balanço hídrico climatológico sequencial pelo método de Thornthwaite & Matter (1955) para o período de mar/2014 a out/2015, utilizando armazenamento de água no solo de 300 mm, no município de Bonfinópolis-GO. ....                                                                                                                                        | 63 |
| Figura 4.7 Efeito da temperatura do ar (a) mínima, (b) média e (c) máxima, (d) radiação solar global, e (e) variação no déficit de armazenamento de água no solo na taxa crescimento do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO. A escala das taxas foi ajustada em porcentagem, tendo a maior taxa obtida no período de avaliação de cada indicador de crescimento fixada em 100%. .... | 68 |

## LISTA DE TABELAS

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.1 | Análise de variância da regressão.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 43 |
| Tabela 4.1 | Variáveis biométricas do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO: altura (Alt, m), área foliar (AF, m <sup>2</sup> ), biomassa de folhas (BM <sub>F</sub> , kg), volume de tronco (V <sub>TR</sub> , m <sup>3</sup> ) e diâmetro na altura do peito (DAP, cm).....                                                                                                   | 64 |
| Tabela 4.2 | Taxa de crescimento do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO: altura (TAlt, cm dia <sup>-1</sup> ), diâmetro na altura do peito (TDAP, cm dia <sup>-1</sup> ), área foliar (TAF, m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> ), biomassa de folhas (TBM <sub>F</sub> , kg dia <sup>-1</sup> ), volume de tronco (TV <sub>TR</sub> , cm <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> ). .... | 66 |
| Tabela 4.3 | Transpiração mensal do Mogno Africano a partir de 2,5 anos de idade, cultivado em Bonfinópolis – GO, por unidade de área foliar (L m <sup>-2</sup> ) e unidade de área vegetada (mm) – e seus respectivos desvios padrão. Sendo os tratamentos: T1 – irrigado até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigado. ..                                                                                         | 71 |
| Tabela 4.4 | Valores médios de DVP diurno (kPa) e temperatura média do ar (°C), e indicadores da regressão linear com a transpiração diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (estatística p ( $\alpha = 5\%$ ), coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson).....                                                                                                               | 72 |
| Tabela 4.5 | Valores médios de Evapotranspiração de referência (mm) e Radiação global (W m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ), e indicadores da regressão linear com a transpiração diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (estatística p ( $\alpha = 5\%$ ), coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson).....                                                                 | 73 |

## RESUMO GERAL

SÉRVULO, A. C. O. **Método de Granier e transpiração do Mogno Africano**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016<sup>1</sup>.

A exploração comercial do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) no Centro-Oeste brasileiro carece de informações sobre a espécie para auxiliar no desenvolvimento de estratégias de ações no manejo da espécie e dos recursos naturais, em especial a água. Para tal, os estudos do processo transpiratório e de análise de crescimento são úteis, não só para o manejo da água no processo produtivo, como também para sustentar estudos fisiológicos. O método de Granier (sonda de dissipação térmica – SDT) utiliza a medida do fluxo de seiva como base para estimativa da transpiração em espécies lenhosas, todavia seu uso requer validação do modelo para cada nova espécie. Este trabalho tem como objetivo determinar consumo hídrico e o crescimento do Mogno Africano no bioma Cerrado. As atividades envolvidas visaram: a) Ajustar o modelo de Granier para estimativa da transpiração em Mogno Africano; b) Quantificar o consumo de água e o crescimento vegetativo em uma floresta a partir dos 2,5 anos de idade em dois regimes hídricos; c) Estabelecer a relação entre a transpiração das árvores e a demanda hídrica da atmosfera em condições naturais de disponibilidade de água no solo. A pesquisa constituiu de dois experimentos. O primeiro experimento foi realizado entre out-nov/2014 e fev-mai/2015 e objetivou o ajuste do modelo de Granier a partir da lisimetria na medida da transpiração do Mogno Africano. O segundo experimento foi realizado a campo entre out/2014 e out/2015, em um plantio comercial a partir de 2,5 anos de idade, avaliou-se o consumo hídrico (transpiração por unidade de área foliar – T), por meio da integração do fluxo de seiva medido com a SDT, e o crescimento vegetativo [área foliar (AF), diâmetro à altura do peito (DAP), altura (Alt), volume de tronco ( $V_{TR}$ ) e biomassa seca de folhas ( $BM_F$ )]; os tratamentos foram definidos como: T1 – floresta com irrigação interrompida aos dois anos; T2 – floresta não irrigada. O modelo ajustado para o Mogno Africano é  $F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS$ . O modelo original de Granier subestima em 39,1% a transpiração do Mogno Africano. A transpiração potencial média foi de 13,0 L dia<sup>-1</sup>. Em campo, a superioridade do crescimento em AF, DAP e  $BM_F$  prevaleceu para o tratamento T1. Porém o incremento em Alt e  $V_{TR}$  foi similar nos dois grupos avaliados. A T em campo variou entre 10,2 e 24,2 L m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, respondendo diretamente à demanda evaporativa atmosférica, exceto em jul e ago/2015, nos quais T2 apresentou maior T. A combinação entre maior área foliar e baixo armazenamento de água no solo (a partir de 33,6 mm) promoveu menor transpiração à T1 devido ao esgotamento precoce da água do solo.

**Palavras-chave:** *Khaya ivorensis* A. Chev., fluxo de seiva, necessidade hídrica, crescimento vegetativo.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Derblai Casaroli. EA-UFG.  
Co-orientador: Prf. Dr. Lucas Melo Vellame. UFRB.

## GENERAL ABSTRACT

SÉRVULO, A. C. O. **Granier method and African mahogany's transpiration**. 2016. 89 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016<sup>2</sup>.

The African Mahogany's commercial exploitation in the Brazilian Midwest lacks information to assist management strategies of the specie and natural resources, specially water. The transpiration and growth analysis are useful, not just for water management, but also to support physiological studies. The Granier method (thermal dissipation probe – TDP) uses sap flow measurements to estimate transpiration in woody species, however it requires validate for each new specie. This paper aimed to study the African Mahogany's water consumption and growth in the Cerrado bioma. The main activities aimed to: a) Adjust the Granier's sap flux method to African Mahogany; b) Quantify water consumption and vegetative growth on a 2.5 years old African Mahogany's forest, under two water regimes; c) Establish relations between tree transpiration and atmospheric water demand. This research consisted of two experiments. The first one, happened in oct-nov/2014 and feb-may/2015, consisted of the Granier's model adjustment with aid of the lysimetry, for use in African Mahogany's transpiration measurements. The second experiment, happened between oct/2014 and oct/2015, on a commercial forest up to 2.5 years old, evaluated water consumption (transpiration by leaf area – T) using integrated sap flux measurements by TDP, and vegetative growth [leaf area (AF), diameter at breast height (DAP), tree height (Alt), trunk volume ( $V_{TR}$ ) and leaf dry biomass ( $BM_F$ )], treatments were defined as: T1 – forest with irrigation interrupted at two years old; T2 – forest without irrigation. The adjusted sap flux model to African mahogany is  $F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS$ , and the original Granier's model underestimates the transpiration in 39.1%. The average potential transpiration was between 2.1 and 34.8 L day<sup>-1</sup>. In field conditions, the growth benefits from the T1 are seen in highest values for AF, DAP and  $BM_F$ . However, the Alt and  $V_{TR}$  are not significant different. The monthly T under field conditions varied between 10.2 and 24.2 L m<sup>-2</sup>, except for jul-aug/2015, when T2 transpiration was higher. The combination of bigger leaf area and low soil water content led to T1's water deficit scenario.

*Key words:* *Khaya ivorensis* A. Chev., sap flux, water requirement, vegetative growth.

---

<sup>2</sup> Advisor: Prof. Dr. Derblai Casaroli. EA-UFG.

Co-advisor: Prof. Dt. Lucas Melo Vellame. UFRB.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo comercial do Mogno Africano no Brasil surgiu como opção para a indústria logo após a proibição do corte de Mogno brasileiro para fins comerciais. As características tecnológicas, beleza e durabilidade conferem valorização à madeira do Mogno Africano para produção de móveis, esquadrias, pisos, laminados, para a construção civil, naval, ornamentos, instrumentos musicais e celulose. Segundo Lemmens (2008), sua casca ainda possui propriedades terapêuticas, sendo utilizada no combate à tosse, febre, anemia, na recuperação de feridas, úlceras e tumores, e dores.

O Mogno Africano tem se destacado dentre as espécies que produzem madeiras nobres no Brasil, devido seu crescimento rápido, fuste alongado, qualidade da sua madeira castanho-avermelhada e alto valor de mercado. Originário da região Ocidental do continente Africano, algumas variedades de Mogno Africano (*Khaya ivorensis*, *Khaya senegalensis* e *Khaya anthoteca*), foram trazidas para o Brasil na década de 70 por pesquisadores da Embrapa Amazônia-Oriental.

Nos locais de origem o gênero incide ao longo de uma gama de condições edáficas, ecológicas, de clima e relevo (Danquah et al., 2011). Entretanto, em regiões sujeitas à deficiência hídrica, decorrente da baixa pluviosidade e/ou da distribuição irregular de chuvas, o seu crescimento em altura e diâmetro torna-se limitado. Apesar disso, a cultura do Mogno Africano suporta sazonalidade climática do Cerrado goiano sem grandes prejuízos, evidenciando boa adaptação da espécie para o Brasil (Rosa, 2014).

O uso da água pela planta é um fator importante no processo produtivo. Em sistemas florestais a irrigação é utilizada principalmente no primeiro ano de formação. Em mudas de eucalipto, por exemplo, a frequência de irrigação tem influência direta na transpiração e condutância estomática, apresentando fechamento estomático em condições de alta demanda evaporativa (Ferreira et al., 1999).

A irrigação é uma prática silvicultural dispendiosa, portanto o seu uso é recomendado em caso de existência do déficit hídrico e em função da viabilidade econômica de implantação do sistema baseada no incremento de biomassa. Ainda que

Barbosa (2014) tenha observado superioridade no crescimento em Mogno Africano até os dois anos de idade, submetido à irrigação localizada em relação a indivíduos cultivados sem irrigação, não conhece a durabilidade desta vantagem ao longo da vida da floresta.

Para o entendimento das relações hídricas do Mogno Africano deve-se conhecer as suas respostas fisiológicas (abertura estomática, transpiração, acúmulo de carboidratos solúveis, produção de prolina) aos estímulos do meio no qual está inserido (disponibilidade da água no solo, demanda evaporativa da atmosfera). Indivíduos da mesma espécie podem responder em proporções diferentes a um mesmo estímulo quando se varia a oferta de água no solo (Ferreira et al., 1999).

A quantificação da transpiração é fundamental no monitoramento do déficit hídrico e permite a partição da evapotranspiração de cultura sob condições específicas de molhamento do solo (Allen et al., 1998). Em sistemas florestais irrigados surgem algumas particularidades tais como o uso da irrigação localizada e sua respectiva área molhada reduzida, diminuindo as perdas por evaporação, tornando a transpiração o principal componente da evapotranspiração, permitindo tratar cada planta de forma individualizada quanto ao consumo de água (Paço, 2003). Nestes sistemas a heterogeneidade da vegetação nativa, do terreno, do solo e disponibilidade de água proporcionam alta variabilidade e baixa definição nos processos que envolvem aspectos energéticos e aerodinâmicos, exigindo que as informações de consumo hídrico sejam oriundas de medições com fortes características empíricas e locais (Allen et al., 2011).

A lisimetria consiste no principal e mais preciso método de determinação direta da evapotranspiração e da transpiração, por meio do balanço hídrico dentro do sistema. Sendo utilizado principalmente na calibração de modelos de estimativa da evapotranspiração (Campeche et al., 2011) e de suas componentes. Entretanto, a aplicação desta técnica em espécies de grande porte é limitada pelo alto custo e pela necessidade de mão de obra especializada para a instalação e manutenção (Allen et al., 2011).

Em plantas com desenvolvimento acima do nível do solo e anisotrópicas, como é o caso de cobertos esparsos lenhosos, verifica-se falta de ajuste nas estimativas por modelos agrometeorológicos (Paço, 2003) em razão da arquitetura das plantas que proporcionam auto sombreamento, modificação no padrão de absorção da radiação pelas plantas e na resistência foliar à difusão de vapor (Marin, 2003).

Com base na equivalência entre o fluxo de seiva e o fluxo transpiratório das superfícies foliares, a medida da densidade de fluxo de seiva tem sido utilizada para

determinar a transpiração em espécies lenhosas. Por meio desta permite-se acompanhar a uma escala temporal de curtos intervalos (horas, minutos, segundos) o funcionamento hídrico das plantas no seu meio ambiente natural e em condições não perturbadas, durante períodos prolongados (dias, meses) (Vellame, 2007).

A estimativa da transpiração com base no fluxo de seiva em comparação ao método gravimétrico e à equação de Penman-Monteith adaptada apresenta resultados promissores, sobretudo em razão da melhor representatividade na descrição do processo. Estudos realizados para cafeeiro (Marin, 2003), limoeiro “Tahiti” (Delgado-Rojas et al., 2007), Nim Indiano (Seixas, 2009), mangueira (Vellame et al., 2009), pereira japonesa (Sugiura et al., 2009), e laranjeira “Valência” (Coelho et al., 2012) apontam a viabilidade da medida de fluxo de seiva como estimativa da transpiração.

A sonda de dissipação térmica desenvolvida por Granier (1985) é um instrumento de baixo custo de fabricação e funcionamento simplificado, cuja aplicação na estimativa do fluxo de seiva é uma alternativa para quantificar o consumo de água pela planta. Todavia, o sucesso na sua aplicação está condicionado ao uso de um sistema eficiente de isolamento térmico dos sensores, à consideração dos gradientes térmicos naturais e principalmente à validação do método a cada nova espécie a se estudar.

Assim, o conhecimento a cerca dos aspectos que regem o consumo hídrico do Mogno Africano, por meio da associação de indicadores (transpiração, potencial de água na planta, variação do crescimento), podem ser utilizados como base para um zoneamento agroclimático preciso, para o conhecimento da ecofisiologia da espécie, um eficiente planejamento de cultivo (época de plantio, adubação e corte), elaboração de projetos e manejos da irrigação.

O presente estudo objetivou ajustar o modelo de Granier para a medida de fluxo de seiva em plantas de Mogno Africano, bem como estimar a transpiração e o crescimento vegetativo da espécie em uma floresta iniciada em dois regimes hídricos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 MOGNO AFRICANO: ORIGEM E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Dentro das famílias produtoras de madeira, as Meliáceas se destacam pela produção de madeira estável, de boa trabalhabilidade, boa resistência a fungos e xilófagos, e peso moderado (Gonzaga, 2006). As espécies do gênero *Khaya*, pertencem família Meliaceae, e são originárias da região ocidental do continente Africano. Dentre as dezesseis espécies do gênero catalogadas, quatro produzem madeiras conhecidas comercialmente como Mogno Africano (*K. anthoteca* Welw C. DC., *K. grandifolia* C. DC., *K. ivorensis* A. Chev., *K. senegalensis* Desr. A. Juss.).

A espécie *Khaya ivorensis* possui maior aceitação no mercado, e está distribuída naturalmente na faixa entre a Costa do Marfim e Camarões, e ao sul de Angola; podendo ocorrer ainda na Guiné, Libéria, República Centro-Africana e Congo (Lemmens, 2008). Em plantios comerciais, é encontrado em outros países do continente Africano, além da Oceania e América do Sul, em regiões de clima tropical.

As características tecnológicas, beleza e elevada durabilidade conferem à madeira proveniente do Mogno Africano valorização para produção de móveis, esquadrias, pisos laminados, rodapés, portas, parapeitos, molduras, caixilharias, para construção civil, construção de embarcações, painel de veículos automotores, maçanetas e corrimões, instrumentos musicais, brinquedos, artigos esportivos, esculturas e celulose (Pinheiro, 2015). Sua casca possui propriedades terapêuticas, e é utilizada no combate à tosse, febre, anemia, na recuperação de feridas, úlcera e tumores, e dores (Lemmens, 2008).

A madeira de *Khaya ivorensis* é moderadamente pesada e apresenta, a 12% de umidade, densidade entre 0,42 e 0,57 g cm<sup>-3</sup>, módulo de ruptura entre 71 e 126 N mm<sup>-2</sup>, módulo de elasticidade entre 8700 e 10.800 N mm<sup>-2</sup>, resistência à compressão de 37 a 48 N mm<sup>-2</sup>, e resistência ao cisalhamento de 8 a 12 N mm<sup>-2</sup> (Lemmens, 2008). O alburno tem coloração marrom-amarelada e, o cerne, coloração marrom-avermelhada.

No Brasil, o Mogno Africano foi introduzido na década de 1970 por pesquisadores do então Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, no estado do Pará por meio de sementes trazidas da Costa do Marfim, e ocupa lugar de destaque entre as madeiras nobres. Atualmente, as árvores se encontram com 42 anos de idade, formando seis árvores de grande porte que, embora em número reduzido, são matrizes da maioria dos plantios existentes (Falesi & Bittencourt, 2011).

A *Khaya ivorensis* é mais cultivada nos estados do Pará, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, devido à importância da sua madeira, cotação comercial no mercado internacional, e mais ainda, pelo satisfatório desenvolvimento vegetativo quando estabelecido em plantios organizados (Falesi & Bittencourt, 2011). Comparado ao Mogno amazônico, não existem distinções significativas quanto ao aspecto fenotípico. Existe, porém, uma diferença marcante que faz distinguir o Mogno Africano do amazônico que é a coloração avermelhada das folhas na região apical, devido à concentração de antocianina do fluxo de lançamento apical do Africano, enquanto que o amazônico é esverdeado (Falesi & Baena, 1999).

A resistência ao ataque da broca da ponteira (*Hypsipyla grandella*) e ao ataque de fungos confere mais uma vantagem ao Mogno Africano em relação ao Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) na produção de madeira para serraria, além disso, a principal praga do Mogno Africano (*Hypsipyla robusta*) inexistente na América e as condições edafoclimáticas semelhantes ao continente Africano em diversas regiões conferem ao Brasil grande potencial para reflorestamentos com a espécie (Tremacoldi et al., 2013). Contudo, há relatos da suscetibilidade da espécie à mancha foliar, mancha areolada, mancha zonada, queima do fio e podridão branca (Poltronieri et al., 2000).

Os estudos de produtividade do Mogno Africano no Brasil são limitados às informações referentes aos primeiros anos de implantação da floresta, devido ao fato da exploração da espécie no país ter sido iniciada há menos de 20 anos. Em sistemas agroflorestais implantados na região Norte no país, a espécie obteve bom desempenho inicial em crescimento e sobrevivência, semelhante ao cultivo solteiro, além de beneficiar a produção da componente agrícola (Azevedo et al., 2011).

Relatos de produtores confirmam a versatilidade da espécie no sistema de produção consorciado em cultivos semi-perenes e perenes. No consórcio, o Mogno Africano se beneficia dos tratamentos culturais compartilhados e da oferta de fertilizantes, apresentando bom desenvolvimento inicial. Em todos os casos, a presença de um regime

pluviométrico farto ou da irrigação suplementar parece proporcionar desenvolvimento de árvores acima da média encontrada na literatura. O Ainda que não exista um sistema de produção bem definido para o Mogno Africano no Brasil, diversas pesquisas são realizadas a fim de obter respostas quanto ao seu comportamento nos biomas brasileiros.

Pinheiro (2015) salienta que o Mogno Africano não é uma *commoditie*, é um *specialtie*, e que o maior desafio do setor produtivo desta madeira nobre no cenário atual está em estabelecer relações comerciais com o setor de processamento europeu, uma vez que este segundo é composto principalmente por um grande número carpintarias de pequeno a médio porte, pulverizado ao longo do continente.

A substituição crescente da madeira nativa por madeira de florestas plantadas é um processo de médio e longo prazo, porém inevitável frente à crescente consciência ambiental (Leite, 2014). No Brasil, o clima tropical, as condições de solo, extensão territorial, mão de obra, infraestrutura e capacidade gerencial produtiva, garantem vantagem na produção de florestas em relação aos países de clima temperado.

## 2.2 TRANSPIRAÇÃO DAS PLANTAS

A transpiração é considerada como o principal processo envolvido na perda de água da planta para a atmosfera, em geral por meio dos estômatos. Consiste num processo físico de difusão, proporcional à diferença entre a concentração de vapor d'água nas superfícies evaporantes e o conteúdo de vapor d'água da atmosfera (Larcher, 2006).

O processo transpiratório das plantas é regulado pela demanda evaporativa do ar, quantidade de água no solo e pelo grau de abertura estomática. A condutância estomática é de grande relevância no controle da transpiração, e é regulada pelos seguintes fatores: temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> e o status hídrico da planta. A taxa de transpiração tem um grande efeito no status hídrico das plantas, em diversos processos metabólicos, no crescimento e no desenvolvimento.

O estudo da transpiração é de fundamental importância para o dimensionamento das necessidades hídricas das plantas, no entanto, a sua determinação de forma direta é dificultosa em cultivos de espécies lenhosas, pois esta variável depende das condições meteorológicas, do solo e da planta (Villa Nova et al., 2002), sendo a planta de grande porte, a quantificação do volume de água perdido via transpiração é inviável

utilizando o método direto. Os fatores que governam o uso da água em florestas podem variar ao longo do tempo, e é essencial examinar a resposta da transpiração à um ambiente variável, adicionando fatores internos como estrutura e crescimento da floresta (Phillips & Oren, 2001).

Conhecer o volume de água movimentado pelas plantas é vital para o entendimento de diversos processos, dentre eles o ciclo hidrológico, ecologia de comunidades, e trocas entre o uso da água e a aquisição de carbono (Mcculloh et al., 2007). Em termos de produção, a transpiração está atrelada ao processo fotossintético e consequente conversão do carbono em fotossintatos.

Numa escala diária ou semanal, a transpiração de espécies florestais apresenta resposta direta ao estímulo da radiação solar e o déficit de pressão de vapor, devido à influência da demanda evaporativa da atmosfera na condutância estomática (Ewers et al., 2002; Wang et al., 2010; Zhang et al., 2015). Em contrapartida, em escala interanual a transpiração se correlaciona de forma positiva com conteúdo de água no solo e negativa com a precipitação (Ma et al., 2008; Xue et al., 2012; Zhang et al., 2015).

O modelo de Penman-Monteith tem sido adaptado para estimativa da transpiração de plantas isoladas a partir de Buttler (1976), e apresenta boa concordância no uso com frutíferas (Angelocci, 1996; Green & Mcnaughton, 1997; Zhang et al., 1997; Marin et al., 2000). Em alguns casos, contudo, observou-se perda na precisão em condições de deficiência hídrica (Caspari et al., 1993), ainda a determinação da energia radiante absorvida pelas plantas, o auto sombreamento e a resistência foliar à difusão de vapor interferem na estimativa da transpiração utilizando o modelo de Penman-Monteith adaptado (Marin, 2003).

A lisimetria consiste no principal e mais preciso método de determinação direta da evapotranspiração e da transpiração, por meio do balanço hídrico dentro do sistema. Existem três tipos de lisímetro para este tipo de determinação: lisímetro de drenagem, de lençol freático constante, e de pesagem. Os lisímetros são equipamentos cuja variação da massa de água em um monólito é medida de forma hidráulica ou por células de carga, e são limitados pelo alto custo de mão de obra especializada, instalação e manutenção (Allen et al., 2011). Em geral, a lisimetria é utilizada na calibração de modelos de estimativa da evapotranspiração (Campeche et al., 2011) e de suas componentes.

A quantificação da água perdida em florestas é um desafio devido ao porte dos indivíduos monitorados. O uso de lisímetro é comum na quantificação da

evapotranspiração e/ou de suas componentes (evaporação e transpiração) isoladamente, sendo ferramenta interessante em estudos de balanço hídrico de culturas e em aplicações voltadas ao uso eficiente das águas pelos cultivos (Flumignan et al., 2012).

Dentre as alternativas para determinação da transpiração em campo, as câmaras gasosas, nas quais se incluem os porômetros, apresentam problemas relacionados à interferência das medidas na resposta estomática em função dos distúrbios causados no ambiente aéreo ao se inserir a folha na câmara de medida, representatividade das medidas e impossibilidade de automação (Angelocci, 2001). O uso da porometria acaba restrito à pesquisa científica devido à variação temporal e espacial da condutância estomática e à problemas de alteração da abertura estomática na câmara porométrica quando se trata de avaliação em indivíduos de médio e grande porte (Marin, 2003).

A estimativa da transpiração de indivíduos isolados pela medida da densidade fluxo de seiva ganha espaço em função da sua praticidade em relação à lisimetria, e da possibilidade de melhor representatividade em relação à porometria. Isso porque a ascensão da seiva na planta pelo xilema é regida pela diferença de energia livre entre a água no estado gasoso na atmosfera em contato com as folhas e a água no estado líquido nas raízes (Turner, 2004), e de toda a água absorvida pelo sistema radicular apenas uma pequena fração fica retida na planta, sendo que maior parte é evaporada pela parte aérea para a atmosfera (Salisbury & Ross, 1992).

A planta obtém a água do solo a partir da difusão, por uma diferença entre os gradientes de potencial hídrico entre planta e solo, e é transportada através da planta e subsequente para a atmosfera (Aparecido, 2014). Estes gradientes são predominantemente influenciados pela transpiração, que resulta em uma redução do gradiente de potencial hídrico das folhas, gerando uma tensão capaz de criar um fluxo de água do solo para as raízes (Turner, 2004).

A determinação da densidade fluxo de seiva permite quantificar a transpiração em plantas lenhosas em condições de déficit hídrico no solo não acentuado e em escala diária. Para fins de estudos fisiológicos, associados a outras observações, como o potencial da água na folha, à resistência estomática e às variações de diâmetro do caule, a determinação do fluxo de seiva constitui-se numa excelente ferramenta para analisar a reação da planta submetida a diferentes condições hídricas do solo e capacidade evaporativa do ar (Delgado-Rojas et al., 2006).

A principal vantagem dos métodos de medida de densidade de fluxo é a possibilidade de monitoramento contínuo, por longos períodos, independentemente da área estudada e das condições meteorológicas (Ferreira et al., 2012). As metodologias mais utilizadas em estudos sobre transpiração de plantas lenhosas baseiam-se em técnicas de fornecimento de calor no caule (pulso de calor, balanço de calor e sonda de dissipação térmica) (Vellame et al., 2011), pressupondo a equivalência entre o fluxo de seiva e o fluxo transpiratório das superfícies foliares para escala diária. As três técnicas existentes de medição da densidade de fluxo de seiva por meio de fornecimento de calor ao caule são “pulso de calor” (Marshall, 1958), “balanço de calor” (Sakuratani, 1981) e “sonda de dissipação térmica” (Granier, 1985).

### 2.3 MÉTODO DE GRANIER

O método de Granier desenvolvido com finalidade de incrementar o método do pulso de calor, cujas limitações quanto à representatividade e à precisão limitavam também os estudos de transporte de seiva (Granier, 1985). Swanson et al. (1996) sugerem que o monitoramento combinado entre os sistemas de pulso de calor e de dissipação térmica seria a melhor solução para estudos a longo prazo, devido o baixo custo de construção, que permite popularizar a aplicação dos métodos para fins de pesquisa.

Este método se baseia em assumir que o calor fornecido pelo sensor sob condição de fluxo de seiva constante é igual ao calor de dissipação (via convecção e condução) ao longo da interface entre o sensor e a árvore, quando estes estão em equilíbrio térmico (Davis et al., 2012). Em condição de regime térmico estável entre um elemento fornecedor de calor e o meio (seiva+madeira), e um fluxo de seiva constante, a potência dissipada pelo fluxo (efeito Joule) é função do coeficiente de transferência térmica do fluido (seiva), da área de condução e da variação de temperatura entre a fonte de potência e o fluido.

Em condições de regime térmico estável entre a fonte de aquecimento e o ambiente (madeira+seiva), sob fluxo de seiva constante, Granier supôs que o fornecimento de calor é igual à quantidade de calor dissipado na parede do sensor. A partir de dados experimentais, com espécies lenhosas, desenvolveu-se a relação empírica ( $k$ ) entre a

densidade de fluxo de seiva ( $J_s$ ) e a diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) entre os dois sensores (Eq. 2.1):

$$k = \frac{(\Delta T_m - \Delta T)}{\Delta T} = 0,0206 \cdot J_s^{0,8124} \quad (2.1)$$

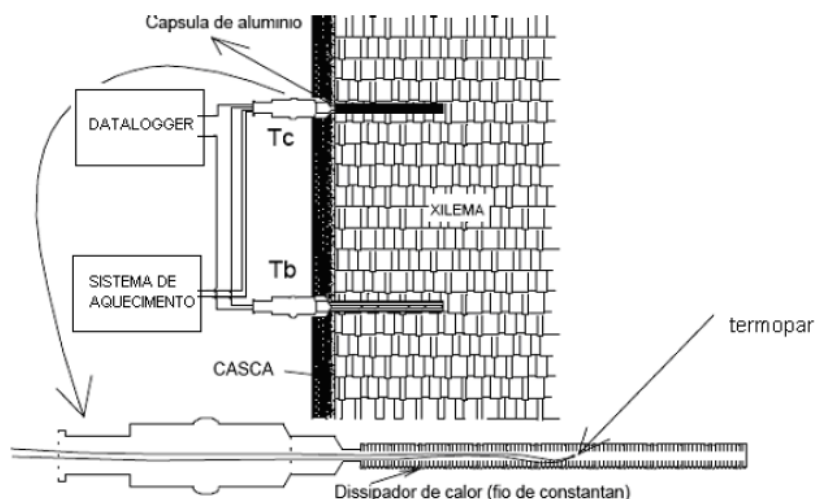
Sendo  $k$  o índice de fluxo (adimensional),  $\Delta T_m$  a diferença de temperatura entre os sensores a fluxo nulo ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta T$  diferença de temperatura no instante ( $^{\circ}\text{C}$ ), e  $J_s$  a densidade de fluxo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ).

O fluxo de seiva é então calculado considerando a área da seção efetiva do xilema (AS) (Granier, 1987) (Eq. 2.2).

$$F = 118,99 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS \quad (2.2)$$

Sendo  $F$  o fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) e  $AS$  a área da seção efetiva do xilema ( $\text{m}^2$ ).

A sonda de dissipação térmica (SDT) é composta por dois sensores responsáveis pela quantificação da variação térmica no alburno (Figura 2.1). O sensor de jusante é composto por um enrolamento de fio metálico, alimentado por uma fonte de tensão constante, que fornece calor ao sistema pelo efeito Joule; e um termopar para registro da temperatura no ponto. O sensor de montante é composto apenas pelo termopar, e registra a temperatura de referência do segmento de caule ou galho monitorado.



**Figura 2.1** Esquema de medição da sonda de dissipação térmica (Delgado-Rojas, 2003).

As sondas são fornecidas por diversos distribuidores, como UP GmbH (Alemanha), PlantSensors (Austrália) e Dynamax (EUA). O custo elevado e a necessidade de customizar os sensores para cada estudo específico têm levado à construção das SDTs

manualmente (James et al., 2002; Delgado-Rojas et al., 2007; Seixas, 2009; Vellame et al., 2011). Os benefícios observados vão desde a escolha da matéria-prima (disponibilidade, custo, uso de cabos e conexões adaptáveis aos sistemas de aquisição de dados), até a possibilidade de construção de sensores com tamanhos diferentes, flexibilizando as avaliações do fluxo de seiva.

As vantagens da SDT, sobre os demais instrumentos de medida de fluxo de seiva, são a facilidade e baixo custo para fabricação, o alinhamento dos sensores não é tão crítica, e possuem interface com sistema de aquisição de dados para operação remota (James et al., 2002).

Os erros relacionados ao uso da SDT normalmente ocorrem por que os parâmetros utilizados por Granier na calibração original do método independem das características das árvores ou da anatomia da madeira, mas se fundamentam nos princípios físicos que regem a transferência de calor (Smith & Allen, 1996). Além disso, as constantes empíricas do modelo estabelecido por Granier assumem que a sonda aquecida está em contato com xilema ativo e que o fluxo de seiva é radialmente uniforme ao longo do segmento de caule (Allen et al., 2011).

Os parâmetros do modelo de Granier (1985) são bastante representativos na estimativa da velocidade do fluxo de seiva, como observado em pinheiro (Granier, 1987), limoeiro ‘Tahiti’ (Delgado-Rojas et al., 2007), *P. fremontii*, *T. cordata* (Bush et al., 2010). Contudo, nem sempre o modelo é eficiente, como observado na quantificação do uso de água em pinheiro e abeto (Lundblad et al., 2001), mangueira (Vellame et al., 2009), nim indiano (Seixas, 2009), laranjeira ‘Valência’ (Vellame, 2010), *E. angustifolia*, *G. Triacanthos*, *Q. gambelii*, *S. japonica* (Bush et al., 2010), coqueiro anão (ARAÚJO et al., 2012) e cacaueiro (Cabral, 2013). A calibração é, portanto, fundamental para que se obtenham valores de fluxos reais do indivíduo monitorado. As maiores fontes de erros para o método de Granier estão relacionadas à área de seção condutora de seiva e aos gradientes térmicos naturais no tronco.

A densidade de fluxo de seiva é afetada pelas propriedades individuais de cada tronco, incluindo a condutividade hidráulica, tamanho do anel de crescimento, conteúdo de água relativo e densidade específica do alburno (Cohen et al., 1981; Edwards & Booker, 1984; Phillips et al., 1996; Zhang et al., 1996). Cada um deles pode diferir ao longo do alburno no sentido radial e axial. A exposição da copa e a estrutura do xilema também

influenciam os perfis de densidade de fluxo ao longo do alburno (Miller et al., 1980; Jiménez et al., 2000; James et al., 2002).

A área condutora de seiva bruta pode ser estimada em função do diâmetro externo do caule, sendo uma fonte de erro do método (Vellame, 2007). Clearwater et al. (1999) relataram ocorrência de erros na medida do fluxo de seiva em decorrência da desuniformidade na velocidade da seiva ao longo do comprimento do sensor aquecido devido a existência de xilema inativo, mesmo quando uma pequena porção do sensor (ex. 2 mm de um sensor de 20 mm) esteve em contato com o xilema inativo ou com a casca.

Bush et al. (2010) observaram boa concordância da calibração de Granier (1987) no fluxo de seiva medido em espécies com configuração de vasos difusos enquanto que espécies com configuração de vasos em anéis a calibração subestimou o fluxo. Os autores explicaram que tanto espessura do xilema ativo quanto a proporção do sensor em contato com ele colaboraram para os erros observados.

A eliminação da influência da temperatura ambiente se faz importante, sobretudo ao se tratar de um método térmico de medição. Vellame et al. (2011) verificaram que o isolamento ineficiente permite a ocorrência de gradientes de até 3,7 °C em segmento de caule sob ação da radiação solar incidente. Ainda que o devido isolamento seja feito, os gradientes térmicos naturais raramente podem ser negligenciados, caso contrário os erros na estimativa do fluxo de seiva podem ser de até 100% (Do & Rocheteau, 2002), inviabilizando as medidas principalmente em casos de baixas velocidades de seiva (Santos et al., 1999).

## 2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO, **Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, 1998.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 899-920, 2011.

ANGELOCCI, L. R. **Métodos e técnicas de estudo das relações água-planta-atmosfera**. ESALQ/USP, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, 104 fl., 2001.

ANGELOCCI, L. R. **Estimativa da transpiração máxima em macieiras (*Malus spp*) em pomares pelo método de Penman-Monteith**. 1996. 103 f. Tese (Livre-docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

APARECIDO, L. M. T. **Padrões da área do xilema ativo em espécies florestais amazônicas na região de Manaus (AM)**. 2014. 120 fl. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. S.; SOUSA, E. F. Método de dissipação térmica para determinação do fluxo de seiva em coqueiro anão verde. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n.4, p. 558-562, 2012.

AZEVEDO, C. M. B. C.; ZILVA, A. R.; ALVES, L. W. R.; FERNANDES, P. C. C.; CARVALHO, E. J. M.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M. Desempenho do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) e do milho em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta na Amazônia Oriental. In: Workshop de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Rondônia, 1, **Anais...** Resumo expandido, 2011.

BARBOSA, L. H. A. **Irrigação na cultura do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) na região do Cerrado**. 2014. 70 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

BUSH S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLENGER, J. R. Calibration of a thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 12, p. 1545-1554, 2010.

BUTTLER, D. R. Estimation of transpiration rate in an apple orchard from net radiation and vapour pressure deficit measurement. **Agricultural Meteorology**, New York, v. 16, n. 2, p. 277-289, 1976.

CABRAL, G. A. **Calibração da sonda de dissipação térmica e estimativa da transpiração do cacauzeiro cultivado a pleno sol**. 2013. 82 fl. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2013.

CAMPECHE, L. F. M. S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011.

CASPARI, H. W.; GREEN, S. R.; EDWARDS, W. R. N. Transpiration of well-watered and water-stressed Asian pear trees as determined by lysimetry, heat-pulse, and estimated by a Penman-Monteith model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 13-27, 1993.

CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; ANDRADE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Oxford, v. 19, n. 10, p. 681-687, 1999.

COELHO, R. D.; VELLAME, L. M.; FRAGA JUNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the “Valencia” orange young plant using thermal dissipation probe method. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 573- 581, 2012.

COHEN, Y. M.; FUCHS, M.; GREEN, G. C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. **Plant Cell and Environment**, New York, v. 4, n. 5, p. 391-397, 1981.

DANQUAH, A. J.; APPIAH, M.; ARI, P. Eco-geographic variation in leaf morphology of african mahogany (*Khaya anthotheca* and *Khaya ivorensis*) provenance in gana. Victoria: **European Journal of Scientific Research**, Victoria, v. 51, n. 1, p. 18-28, 2011.

DAVIS, T. W.; KUO, C. M.; LIANG, X.; YU, P. S. Sap flow sensors: construction, quality control and comparison. **Sensors**, Basel, v. 12, n. 1, p. 954-971, 2012.

DELGADO-ROJAS, J.S.; RIGHI, C.A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; BERNARDES, M.S.; FOLEGATTI, M.V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 722-729, 2006.

DELGADO-ROJAS, J. S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração em plantas jovens de lima ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

DO, F.; ROCHETEAU, A. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probe. 1. Field observation and possible remedies. **Tree Physiology**, Oxford, v. 22, n. 9, p. 641-648, 2002.

EDWARDS, W. R. N.; BOOKER, R. E. Radial variation in the axial conductivity of *Populus* and its significance in heat pulse velocity measurement. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 551-561, 1984.

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. Mogno Africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo. **Embrapa Amazônia Oriental Documentos**, Belém, n. 4, 52 p., 1999.

FALESI, I. C.; BITTENCOURT, T. C. F. P. M.; Pragas e doenças da *Khaya ivorensis* A. Chev. – Mogno Africano. In: Workshop Brasileiro de Mogno Africano, 1, Goiânia, 2011.

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

FERREIRA, M. I.; SILVESTRE, J.; CONCEIÇÃO, N.; MALHEIRO, A. C. Crop and stress coefficients in rainfed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. **Irrigation Science**, Berlin, v. 30, n. 5, p. 433-447, 2012.

FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T.; LENA, B. P. Test of a microlysimeter for measurement of soil evaporation. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 80-90, 2012.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. IPHAN/MONUMENTA, Cadernos Técnicos, 246 p., Brasília, 2006.

GRANIER, A. Une nouvelle method pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annals of Science Forestry**, Paris, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

GRANIER, A. Mesure du flux de seve brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle method thermique. **Annals of Science Forestry**, Paris, v. 44, n.1, p. 1-14, 1987.

GREEN, S. R.; MCNAUGHTON, K. G. Modelling effective stomatal resistance for calculating transpiration from an apple tree. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 83, n. 1/2, p. 1-26, 1997.

JAMES, S. A.; CLEAWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G. Heat dissipation sensors of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood. **Tree Physiology**, Amsterdam, v. 22, n .4, p. 277-283, 2002.

JIMÉNEZ, M. S.; NADEZHDINA, N. CÉRMAK, J.; MORALES, D. Radial variation in sap flow in five laurel trees species in Tenerife, Canary Islands. **Tree Physiology**, Amsterdam, v.20, n. 17, p. 1149-1156, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 550 p., 2006.

LEITE, N. B. **Entrevista exclusiva: Nelson Barboza Leite fala da silvicultura brasileira**. Entrevistador: Celulose Online. Ribeirão Preto: Celulose online, 2014. Disponível no endereço: < <http://celuloseonline.com.br/entrevista-exclusiva-o-engenheiro-agronomo-e-silvicultor-nelson-barboza-leite-deixa-diretoria-da-eco-brasil-florestas/> > Acesso em: 10/12/2015.

LEMMENS, R. H. M. J. **Khaya ivorensis A. Chev.** 2008. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. **Prota 7(1): Timbers/Bois d’œuvre 1**. Wageningen: PROTA – Plant Resources of Tropical Africa. Disponível no endereço: <<http://www.prota4u.org/search.asp>> Acesso em 15/setembro/2015.

LUNDBLAD, M.; LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 58, n. 6, p. 625-638, 2001.

MA, L.; LU, P.; ZHAO, P.; RAO, X. Q.; CAI, X. A.; ZENG, X. P. Diurnal, daily, seasonal and annual patterns of sap-flux-scaled transpiration from an *Acacia mangium* plantation in South China. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 65, n. 4, 2008.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida “Tahiti”**. Piracicaba, 2000. 74 fl. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, 2000.

MARIN, F. R.. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003, 118 fl. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MARSHALL, D. C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 33, n. 6, p. 386-396, 1958.

MCCULLOH, K. A.; WINTER, K.; MEINZER, F. C.; GARCIA, M.; ARANDA, J.; LACHENBRUCH, B. A comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot-grown saplings. **Tree Physiology**, Oxford, v. 27, n. 9, p. 1355-1360, 2007.

MILLER, D. R.; VAVRINA, C. A.; CHRISTENSEN, T. W. Measurement of sap flow and transpiration in ring-porous oaks using a heat pulse velocity technique. **Forestry Science**, Maryland, v. 26, n. 3, p.485-494, 1980.

PAÇO, M. T. G. A. **Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos: programação da rega em pomar de pessegueiro**. 2003. 251 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônoma) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2003.

PHILLIPS, N.; OREN, R.; ZIMMERMANN, R. Radial pattern of xylem sap flow in non-, diffuse- and ring-porous tree species. **Plant Cell and Environment**, New York, v. 19, n. 8, p. 983-990, 1996.

PHILLIPS, N.; OREN, R. Intra- and inter-annual variation in transpiration of a pine forest. Washington: **Ecological Applications**, Washington, v. 11, n. 2, p. 385-396, 2001.

PINHEIRO, V. **Madeira nobre – Garantia de compra de madeira nobre**. 2015. Celulose online. Disponível no endereço: <<http://celuloseonline.com.br/madeira-nobre-vitor-pinheiro-garantia-de-compra-de-madeira-nobre/>>, Acesso em: 13/12/2015.

POLTRONIERI, L. S.; ALBUQUERQUE, F. C.; TRINDADE, D. R.; DUARTE, M. L. R. Identificação de doenças em Mogno Africano no estado do Pará. **Circular Técnica n. 18**, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 13 p., 2000.

ROSA, F. O. **Zoneamento edafoclimático e resposta de plantas jovens de Mogno Africano às condições do Cerrado**. 2014. 85 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 37, n. 1, p. 9-17, 1981.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. Califórnia: Wadsworth Publishing, ed. 4, 682 p., 1992.

SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L. M. G.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B. Assessment of corn water uptake based on sap heat tracing, under water-stressed conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 145-149, 1999.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 71 fl. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2009.

SMITH, D. M.; ALLEN, S. J. Measurement of sap flow in plant stems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 12, p. 1833-1844, 1996.

SUGIURA, H.; SAKAMOTO, D.; SUGIURA, T.; ASAKURA, T.; MORIGUCHI, T. Evaluation of the use of the Granier sap flow method in japanese pear by comparison with transpiration by the weighing method. **Acta Horticultural**, Leuven, v. 46, n. 1, p. 121-126, 2009.

SWANSON, R. H. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agricultural Forestry Science**, Berlin, v. 72, n. 1/2, p. 113-132, 1994.

TREMACOLDI, C. R.; LUNZ, A. M.; COELHO, I. L.; BOARI, A. J. Cancro em Mogno Africano no estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 74, p. 221-225, 2013.

TURNER, I. M. **The ecology of trees in the tropical rain forest**. Cambridge University Press, v. 10, 316 p., 2004.

VELLAME, L. M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e sensor de balanço de calor caulinar**. 2007. 67 fl. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, 2007.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VELLAME, L. M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo**. 2010, 130 fl. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

VILLA NOVA, N. A.; ANGELOCCI, L. R.; VALACONGNE, C.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R. Estimativa da transpiração máxima de macieiras, em pomares irrigados, pelo método de Penman adaptado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.2, p.245-250, 2002.

XUE, B. L.; KOMATSU, H.; KUMAGAI, T.; KOTANI, A.; OTSUKI, K.; OTHA, T. Interannual variation of evapotranspiration in an eastern Siberian larch forest. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 26, n. 15, p. 2360-2368, 2012.

ZHANG, D.; BEADLE, C. L.; WHITE, D. A. Variation of sap flow velocity in *Eucalyptus globules* with position in sapwood and use of a correction coefficient. **Tree Physiology**, Oxford, v. 16, n. 8, p. 697-703, 1996.

ZHANG, H.; SIMMONDS, L.; MORISON, J. I. L.; PAYNE, D. Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 87, n. 2/3, p. 155-169, 1997.

ZHANG, J. G.; GUAN, J. H.; SHI, W. Y.; YAMANAKA, N. DU, S. Interannual variation in stand transpiration estimated by sap flow measurement in a semi-arid Black Locust plantation, Loess Plateau, China. **Ecophysiology**, v. 8, n. 1, p. 137-147, 2015.

### 3 AJUSTE DO MÉTODO DE GRANIER E TRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DO MOGNO AFRICANO

#### RESUMO

O conhecimento da transpiração de plantas jovens de Mogno Africano na região cerrado é fundamental no monitoramento do déficit hídrico e no manejo da irrigação adequado. O método de Granier (sonda de dissipação térmica - SDT) é utilizado em estudos de consumo hídrico de espécies lenhosas baseando-se no fluxo de seiva para estimativa da transpiração, todavia seu uso requer validação do modelo para cada nova espécie. Objetivou-se ajustar o modelo proposto por Granier para estimativa da transpiração em Mogno Africano no município de Goiânia-GO, no período entre out-nov/2014 e fev-mai/2015, validando os ajustes a partir de medidas de transpiração de plantas cultivadas em lisímetros e, sobretudo, medir a transpiração potencial. Monitorou-se a transpiração e fluxo de seiva em três plantas de 2,5 anos de idade de Mogno Africano em lisímetros de lençol freático constante, preenchidos com latossolo vermelho. Avaliou-se: a área de xilema ativo (AS), a área foliar (AF), a transpiração potencial diária medida pelo lisímetro ( $T_{LIS}$ ) e estimada pelo fluxo de seiva ( $T_{FS}$ ). Monitoraram-se as variáveis meteorológicas temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar e precipitação. O xilema ativo compreendeu 55,24% da área da seção transversal do caule. A área foliar média foi de 11,3 m<sup>2</sup>.  $T_{LIS}$  e  $T_{FS}$  variaram entre 6,6 e 26,0 L dia<sup>-1</sup> e 3,8 e 24,9 L dia<sup>-1</sup>, respectivamente. O modelo de fluxo de seiva subestimou a transpiração do Mogno Africano em 39,1%. O modelo ajustado  $F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS$  foi significativo ( $p < 0,05$ ). A transpiração potencial média foi de 13,0 L dia<sup>-1</sup>, apresentando relação positiva com déficit de pressão de vapor diurno,  $ET_{PM}$ , radiação solar e temperatura média do ar.

*Palavras-chave:* *Khaya ivorensis*, fluxo de seiva, transpiração, lisimetria, xilema ativo.

#### ABSTRACT

Knowledge of the African Mahogany's relationships governing water consumption is essential to monitor the water deficit and establish proper water management. The Granier method (thermal dissipation probe – SDT) is used in water consumption studies in tree species based on sap flux to estimate tree transpiration, however its model requires calibration to each new specie. This paper aimed to adjust the Granier sap flux model to measure African Mahogany's transpiration in Goiânia-GO, by

the period between oct-nov/2014 and feb-may/2015, validate the method by measuring potential transpiration using lysimeter, and measure potential tree transpiration. Transpiration and sap flux were monitored in three units of 2.5 years old African mahogany trees in constant water table lysimeter, filled with red oxisol. Were avalued: sapwood area (AS), leaf area (AF), transpiration measured by lysimeter ( $T_{LIS}$ ) and estimated by sap flux ( $T_{FS}$ ). Were also monitored the meteorological conditions air average temperature, air relative moisture, wind speed, solar radiation and rain. The AS comprised 55.24% of the trunk's transversal section. The average AF was 11.3 m<sup>2</sup>.  $T_{LIS}$  e  $T_{FS}$  varied between 6.6-26.0 L day<sup>-1</sup> and 3.8-24.9 L day<sup>-1</sup>, respectively. Granier's sap flux equation underestimated African mahogany's transpiration by 39.1% and the adjusted equation  $F = 268.25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1.231} \cdot AS$  was significant ( $p < 0.05$ ). The average potential transpiration was 13.4 L day<sup>-1</sup>, showing positive relations with daily vapor pressure deficit,  $ET_{PM}$ , global radiation and average daily temperature.

*Key words:* *Khaya ivorensis*, sap flux, transpiration, lysimeter, sapwood.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A exploração do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) no Centro-oeste brasileiro tem se intensificado na última década em razão do alto valor agregado da madeira produzida, utilizada em substituição da madeira nativa para ornamentação, instrumentos musicais, móveis, pisos, laminados, esquadrias, construção civil e naval. Porém, ainda são escassas as informações necessárias para definir o sistema de produção da espécie para a região, sobretudo em relação ao uso da água.

A suspeita sobre a limitação da produtividade do Mogno Africano em decorrência do déficit hídrico estimulou o uso da irrigação, entretanto a literatura disponível não fornece informações suficientes para definir a necessidade hídrica real de plantas de Mogno Africano em diferentes fases do seu desenvolvimento. Sabe-se que plantas de Mogno Africano irrigada até os dois anos de idade apresentam melhor desempenho que plantas não irrigadas (Rosa, 2014; Barbosa, 2014). Ainda que estas plantas apresentem respostas fisiológicas ao déficit hídrico que indicam tolerância moderada (Albuquerque et al., 2013).

A quantificação da transpiração é fundamental no monitoramento do déficit hídrico em plantios perenes, permitindo a partição da evapotranspiração de cultura sob condições específicas de molhamento do solo (Allen et al., 1998), tendo em vista que a irrigação de plantas perenes, que geralmente possuem um espaçamento maior entre

plantas, exige um ajuste no coeficiente de cultura, sendo substituído por coeficiente localizado ou  $K_{Loc}$ , que pode ser melhor ajustado quando são conhecidos fenômenos biofísicos que regem a transpiração de determinada espécie vegetal. A transpiração pode ser obtida a partir da lisimetria ou por câmaras gasosas. No entanto, há uma dificuldade na utilização destes métodos no monitoramento de árvores lenhosas de grande porte, sobretudo devido ao alto custo para confecção, instalação e manutenção dos lisímetros (Allen et al., 2011) e pelos distúrbios causados no ambiente aéreo, quando se insere a folha na câmara de medição, bem como pelo baixo grau de representatividade nestas medidas (Angelocci, 2001).

As medidas de densidade de fluxo de seiva têm sido utilizadas para estimar a transpiração de espécies lenhosas, sendo possível o acompanhamento do funcionamento hídrico das plantas no seu meio ambiente natural e em condições não perturbadas, durante períodos prolongados (dias, meses), com aquisição de dados em intervalos de tempo menor (horas, minutos e segundos) (Vellame, 2007). Desta forma surgiu o método desenvolvido por Granier (1985), que estima a transpiração a partir do fluxo de seiva, medido a partir de sondas de dissipação térmica (SDT) inserida no segmento de caule. Sua precisão está relacionada às propriedades térmicas e hidráulicas da madeira de cada espécie (Cohen et al., 1981; Edwards & Booker, 1984; Phillips et al., 1996; Zhang et al., 1996).

A partir do método de Granier recomenda-se o modelo exponencial para estimativa da transpiração de diferentes espécies (Delgado-Rojas et al., 2007; Bush et al., 2010), e que o mesmo seja calibrado ou ajustado para cada nova espécie (Lundblad et al., 2001; Bush et al., 2010; Vellame et al., 2009; Seixas, 2009; Vellame, 2010; Cabral, 2013)

Contudo, objetivou ajustar a equação de fluxo de seiva proposto por Granier para o Mogno Africano.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

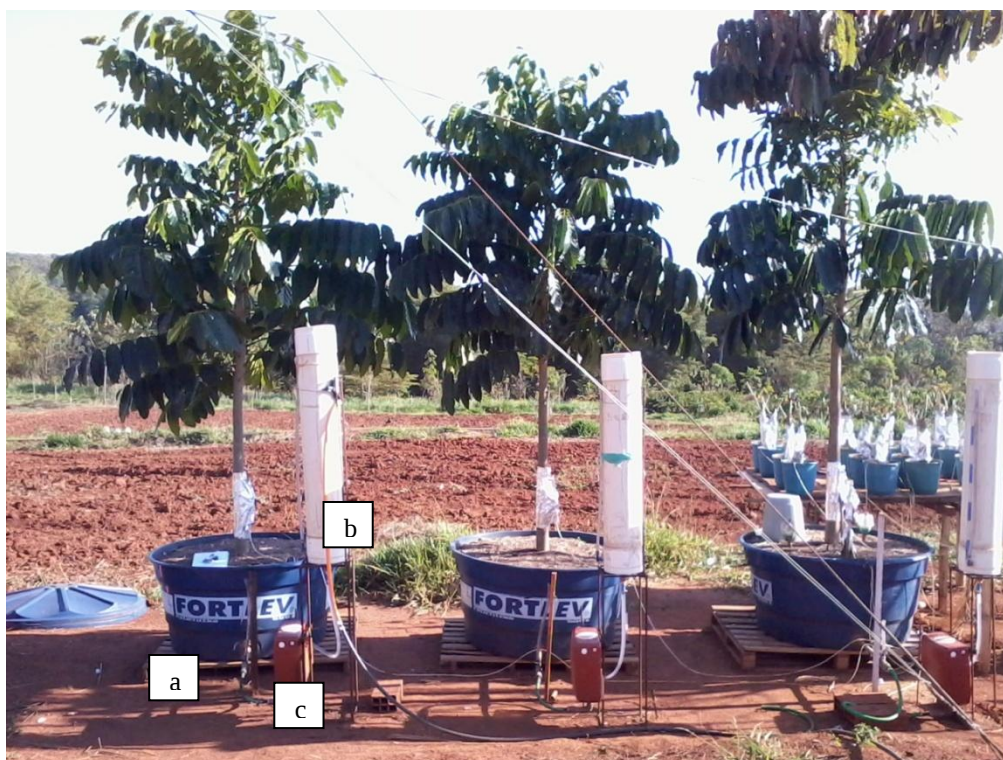
O experimento foi conduzido na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, localizada em Goiânia-GO (16° 35' 53"S; 49° 16' 40" W; 735 m). O clima da região foi classificado, segundo Köppen, como Aw, tropical de savana, megatérmico, com estação seca (maio-setembro) e chuvosa (outubro-abril) bem definidas. As normais climatológicas de temperatura e precipitação pluvial são de 22,1 °C e 1481,1 mm ano<sup>-1</sup> (Lobato, 2005).

Os dados meteorológicos (radiação solar global, umidade relativa e temperatura do ar, velocidade do vento e pluviometria) foram obtidos na estação meteorológica automática da Escola de Agronomia da UFG, localizada a aproximadamente 500 m da área experimental. A evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>) foi determinada pelo modelo de Penman-Monteith ( $ET_{OP-M}$ ) (Allen et al., 1998).

Para o ajuste do modelo de Granier foi necessário determinar as seguintes variáveis: fluxo de seiva, transpiração diária e área ativa do xilema. O fluxo de seiva foi monitorado em intervalos de 15 minutos e integrado para o intervalo de 24 horas (transpiração estimada –  $T_{FS}$ ). A transpiração medida pelo lisímetro ( $T_{LIS}$ ) foi monitorada em escala de 24 horas. A área ativa do xilema foi estimada ao fim de cada período de avaliação. A transpiração potencial ( $T_{FS}$  e  $T_{LIS}$ ) das planas de Mogno Africano foi garantida pela manutenção do teor de água no solo na capacidade de campo. Esta variou apenas em função do estágio fenológico da planta (IAF, sistema radicular, arquitetura de plantas) e das condições atmosféricas atuais: déficit de pressão de vapor do ar no período diurno ( $DPV_{diurno}$ ), evapotranspiração de referência ( $ET_{PM}$ ), radiação solar global incidente ( $R_g$ ) e temperatura média do ar ( $T_{ar}$ ). As relações entre transpiração potencial e as variáveis meteorológicas foram analisadas pela regressão linear.

Utilizaram-se três lisímetros de lençol freático constante (Figura 3.1), preenchidos com latossolo vermelho distrófico, característico da região, garantindo uma densidade de aproximadamente 1.300 kg m<sup>-3</sup>, mantendo-se o solo na capacidade de campo. Em cada lisímetro foi implantada uma planta de Mogno Africano de 2,5 anos de idade. Cada lisímetro era composto por uma caixa d'água de PVC com capacidade de 500 L, onde o abastecimento de água era feito por meio de um conjunto de reservatório e controlador de nível, conectados ao lisímetro pela parte inferior por meio de uma tubulação de PVC. Internamente ao lisímetro acondicionou-se uma camada de brita e areia, que

serviram como um sistema de filtro. Assim, o nível do lençol freático foi mantido até a camada de um centímetro de solo ultrapassando, de baixo para cima, a camada filtro.



**Figura 3.1** Lisímetros de lençol freático constante, onde: (a) caixa d'água de PVC (capacidade para 500 L), (b) tanque reservatório de água em PVC (tubo de 200 mm x 1,50 m de altura), (c) caixa de descarga.

O consumo de água foi monitorado a partir de uma coluna de nível, construída por uma mangueira transparente e flexível, colada a uma fita métrica. Esta coluna foi colocada na lateral do reservatório de abastecimento de água do lisímetro. O solo do lisímetro foi coberto com uma lona plástica a fim de evitar perdas de água por evaporação, sendo contabilizadas, diariamente, apenas as perdas por transpiração.

O fluxo de seiva foi estimado pelo modelo exponencial de Granier (Eq. 3.1) (Granier, 1987):

$$F = 118,99 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS \quad (3.1)$$

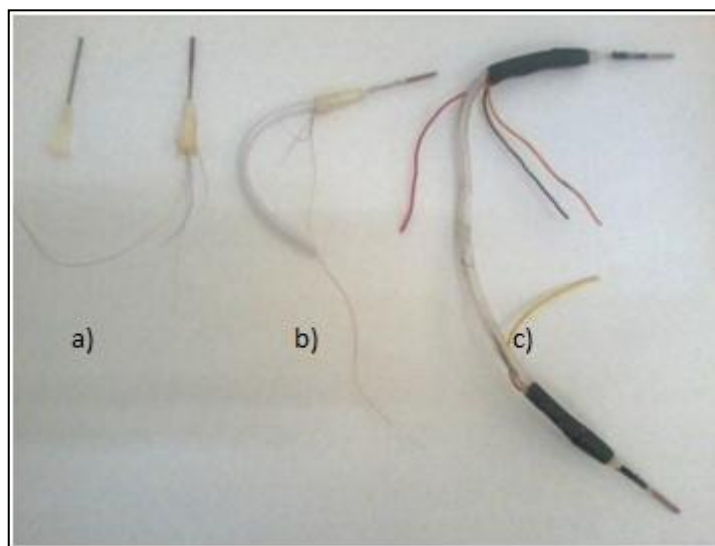
Sendo  $F$  o fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $k$  a densidade de fluxo de seiva, e  $AS$  a área da seção efetiva do xilema ( $\text{m}^2$ ).

A densidade de fluxo de seiva ( $k$ ) é relacionada empiricamente à diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) entre os dois sensores (Eq. 3.2):

$$k = \frac{[(\Delta T_m - GTN) - (\Delta T - GTN)]}{\Delta T - GTN} \quad (3.2)$$

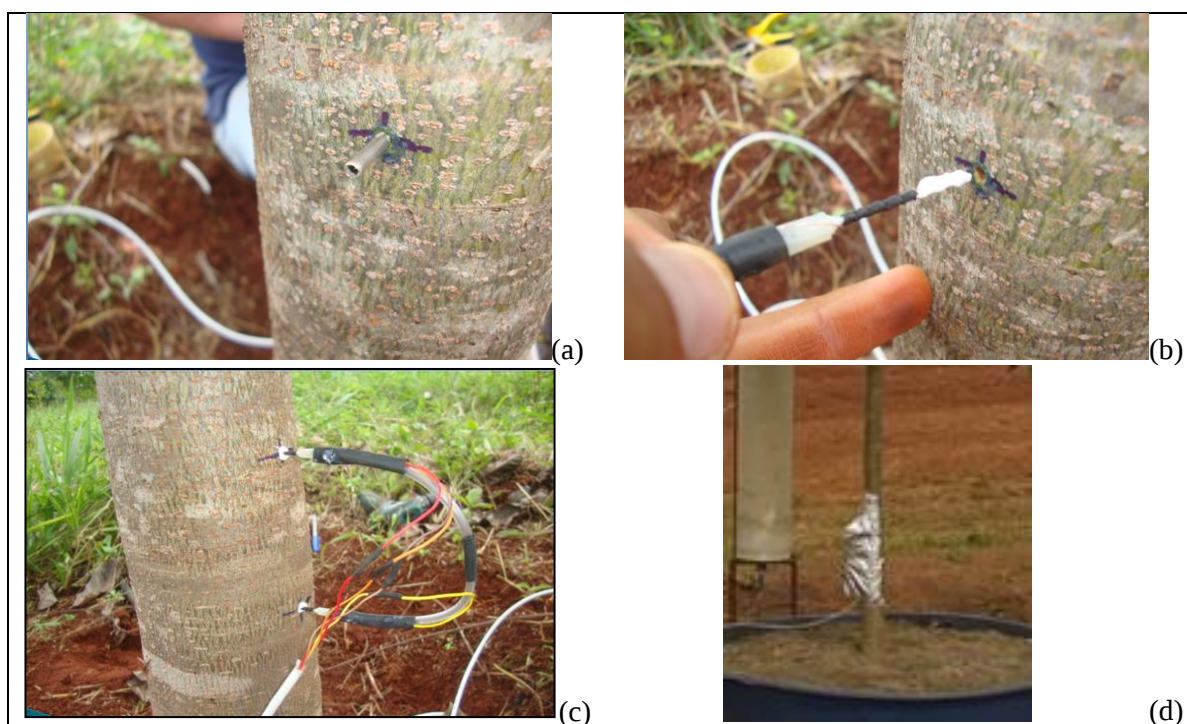
Sendo  $k$  o índice de fluxo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ),  $\Delta T_m$  a diferença de temperatura entre os sensores a fluxo nulo ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta T$  diferença de temperatura instantânea ( $^{\circ}\text{C}$ ), e  $GTN$  o gradiente térmico natural instantâneo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

As diferenças de temperatura foram medidas pela Sonda de Dissipação Térmica (SDT). Cada sensor foi composto por uma agulha hipodérmica de 2,0 mm de diâmetro e 10,0 mm de comprimento, envolta por uma resistência elétrica de constantan, dentro da qual foi inserida uma junção de termopar de cobre-constantan. A haste dos sensores foi feita com equipo de soro soldado com cola quente na base da agulha hipodérmica. Após a junção dos sensores com solda de estanho, uniram-se as hastes com adesivo de contato, os fios foram soldados a cabos elétricos para conexão com o sistema de aquisição de dados, e o feito isolamento elétrico com isolante termoretrátil (Figura 3.2). As SDTs foram ligadas a um datalogger (CR21X e AM 16/32, Campbell Sci. In., Logan. UT), alimentado pela rede de energia elétrica local.



**Figura 3.2** Etapas de construção da sonda de dissipação térmica (SDT): (a) envolvimento da resistência na agulha e inserção do termopar; (b) inserção da haste do sensor; (c) junção dos sensores, adição de cabos para conexão ao datalogger, e isolamento elétrico.

Uma SDT foi instalada no tronco de cada árvore. Conforme estabelecido por Clearwater et al. (1999), cada SDT deve ser instalada a uma distância mínima de 0,20 m do nível do solo a fim de reduzir a interferência da radiação direta, e os sensores separados entre si por uma distância vertical de 0,10 m. Desta forma, com auxílio de uma furadeira com broca nº 3,0 mm, furou-se o tronco de cada árvore nas posições definidas à profundidade de 1,0 mm + a espessura da casa, inseriu-se um tubo de aço carbono com diâmetro de 3,0 mm e comprimento de 1,0 mm. Os sensores foram envolvidos com pasta térmica e então posicionados dentro dos respectivos tubos. Posteriormente o segmento de caule foi envolvido com folhas de alumínio de modo a formar uma “saia” de isolamento, além de uma faixa de folha de alumínio envolvendo o caule na porção inferior à SDT, no intuito de minimizar o efeito da incidência da radiação e de correntes de vento sobre as leituras (Figura 3.3). Os gradientes térmicos naturais (GTN) foram determinados pelo uso de uma SDT não aquecida inserida em uma árvore de referência. A leitura das diferenças térmicas ocorreu em intervalos de 30 segundos e armazenadas a média a cada 15 minutos.



**Figura 3.3** Instalação da sonda de dissipação térmica (SDT) em Mogno Africano, onde: (a) inserção da cápsula de aço carbono 3,0 mm no furo do tronco; (b) inserção do sensor envolvido em pasta térmica na cápsula; (c) SDT devidamente instalada; (d) isolamento de folhas de papel alumínio tipo “saia”.

Para minimizar o GTN em segmentos de caule expostos, Vellame et al. (2011) apontam como ideal o uso de neoprene acima e abaixo do sensor, e proteção com laminado. Apesar disso, os autores afirmam que o isolamento de folhas de alumínio em formato de saia proporciona os mesmos valores de GTN que o isolamento com neoprene, a desvantagem está somente na ocorrência de GTNs ao longo do dia com amplitude em média três vezes maior do que o isolamento de neoprene.

O simulador de fluxo, utilizando no trabalho original de Granier (1985) como método de referência para calibração, permite a coleta de dados de fluxo e de  $k$  (índice de fluxo) em escala de minutos, com eliminação da exposição do segmento de caule e do sistema de medição às interferências do vento e da radiação solar. A escala de tempo menor (minutos ou segundos) permite o ajuste tanto do coeficiente angular ( $\alpha$ ) quanto do potencial ( $\beta$ ) da equação de Granier (1987). Entretanto consiste num método destrutivo (necessita de um segmento de tronco ou galho) e trabalha com pressões às vezes acima da pressão exercida pela planta em campo, para realizar o movimento de seiva. Apesar disso, a literatura garante que os valores de  $k$  obtidos são similares ao encontrado em campo (Bush et al., 2010).

A lisimetria é um método que, por outro lado, está condicionada ao tempo de resposta da planta à demanda da atmosfera e à água no solo. No caso do lisímetro de lençol freático constante construído neste experimento, permite a avaliação em escala diária, e com isso é possível corrigir somente o coeficiente angular ( $\alpha$ ); além disso, requer um sistema robusto e está mais suscetível a erros sistemáticos. Em contra partida, quando instalado em campo, sofre as interferências externas (incidência de radiação, ventos, precipitação, temperatura do ar) que permitem representar melhor a realidade.

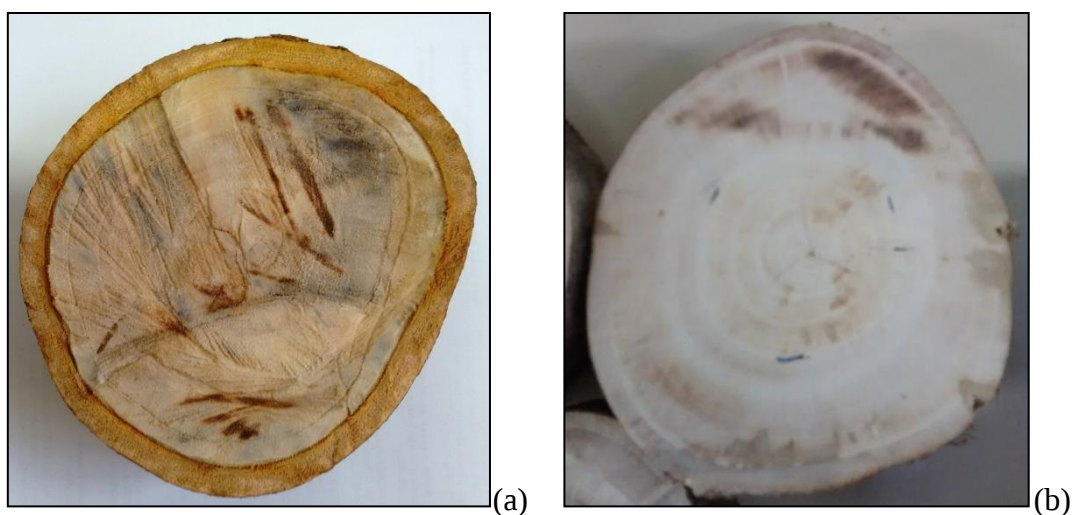
Levando em consideração a garantia de um resultado consistente e os recursos disponíveis para realização deste trabalho, optou-se pelo ajuste somente do coeficiente angular do modelo desenvolvido por Granier (1985). Estudos com diversas espécies apontam que o ajuste do coeficiente angular ( $\alpha$ ) é suficiente para corrigir a equação de Granier, enquanto que o ajuste do coeficiente potencial ( $\beta$ ) não é significativo (Taneda & Sperry, 2008; Bush et al., 2010).

A constatação de fluxo de seiva no período noturno é inviabilizada pela lisimetria de lençol freático constante, permitindo avaliações somente na escala de 24 horas em decorrência da defasagem na resposta entre o consumo registrado pelo lisímetro, cujo processo ocorre pela ascensão capilar, e o fluxo de seiva. Segundo um levantamento

feito por Marin et al. (2008), diversas espécies realizam em algum momento a transpiração noturna, e que discrepâncias entre medidas lisimétricas e de fluxo de seiva podem ser causadas pela desconsideração do fluxo de seiva noturno, responsável pela redistribuição de água na planta. Todavia, em razão das limitações do presente estudo, o fluxo de seiva noturno (das 20:00h às 06:00h) foi arbitrariamente igualado à zero.

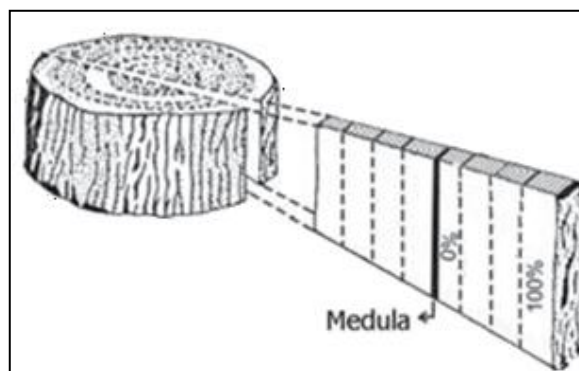
O ajuste do modelo de Granier procedeu-se com base no coeficiente angular do modelo linear com intercepto igual a zero obtido via análise de regressão, ajustado pela minimização dos desvios absolutos entre a integração do fluxo de seiva média de cinco dias e a transpiração média de cinco dias medida pelo lisímetro. O fluxo de seiva foi avaliado no período de outubro a novembro de 2014 e de fevereiro a maio de 2015. A normalidade dos dados foi testada através do teste Kolmogorov-Smirnov.

Com o fim do período de monitoramento do fluxo de seiva, as árvores foram colhidas e retiraram-se discos de seção transversal da base e da posição a um metro da base (Figura 3.4 a). A análise visual foi realizada em busca da detecção do limite entre cerne (xilema inativo) e albúrneo (xilema ativo), para isso as amostras foram secas ao ar ambiente e posteriormente foram lixadas e polidas (Figura 3.4 b). Os discos foram fotografados e, com auxílio do software de análise de imagens Image Pro Plus ® determinou-se a proporção de casca, albúrneo e cerne.



**Figura 3.4** Disco de Mogno Africano aos 3,5 anos de idade, cultivado em lisímetro de lençol freático constante (a) recém-cortado e (b) após a remoção da casca, secagem e polimento (cerne em tom amarelado).

Procedeu-se a caracterização dos vasos no sentido radial e longitudinal. De cada disco retiraram-se duas amostras de dimensões 1,0 x 1,0 x 2,0 cm, tomadas de pontos equidistantes, correspondentes a 0 e 100 % da seção radial, destinadas para medição do diâmetro tangencial e frequência dos vasos (Figura 3.5).



**Figura 3.5** Esquema de amostragem para caracterização anatômica da madeira.

O procedimento de preparo e análise das seções histológicas fez-se conforme descrito por França et al. (2015). As amostras foram cozidas em água para amolecimento durante 1 hora. Com auxílio de um micrótomo de deslize, realizaram-se seções histológicas da seção transversal (18 a 20  $\mu\text{m}$  de espessura) para se medir o diâmetro tangencial e a frequência de poros. As seções foram submetidas ao processo de coloração com safranina aquosa a 1%, posteriormente montadas as lâminas. Utilizou-se um microscópio ótico com sistema de aquisição de imagens, através de uma câmera acoplada, possibilitando a captura da imagem e posterior análise no software Image Pro Plus <sup>®</sup>.

Em um plantio comercial com espaçamento 5,0 x 5,0 m, localizado no município de Bonfinópolis – GO escolheu-se uma árvore de *Khaya ivorensis* de 2,5 anos de idade e altura de 4,5 m. Desta árvore todas as folhas foram retiradas, suas áreas medidas com auxílio do integrador LI-COR 3000. Os folíolos foram digitalizados por meio de um scanner de mesa e, utilizando o software de processamento de imagens Image Pro Plus, e ainda foram medidos: área de folíolos, comprimento de folíolos e largura de folíolos.

A relação entre área total da árvore e o produto entre número, comprimento e largura de folíolos foi obtida por regressão linear simples (Leroy et al., 2007). O modelo linear obtido, descrito na Eq. 3.3, é significativo na estimativa da área foliar total do Mogno Africano até os 2,5 anos de idade, com amostragem mínima de 60% dos folíolos e erro de estimativa de 3,59% ( $R^2 = 0,96$ ; d Willmott = 0,99):

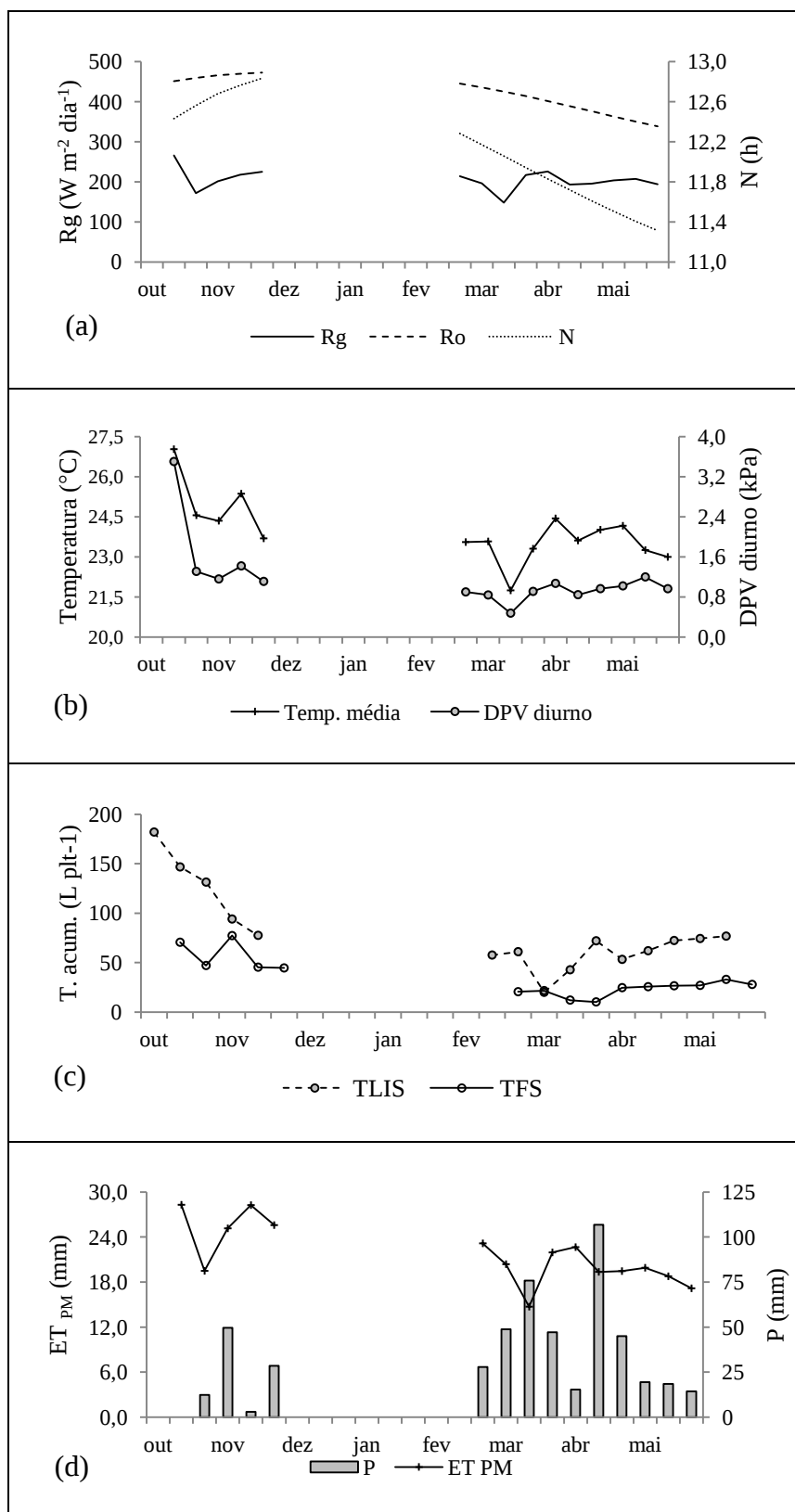
$$AF = N_f \cdot (0,7161 \cdot L_m \cdot C_m) \quad (3.3)$$

Sendo  $AF$  a área foliar da planta ( $m^2$ ),  $N_f$  o número de folíolos,  $L_m$  a largura média de folíolos (m) e  $C_m$  o comprimento médio de folíolos (m).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de transpiração  $T_{LIS}$  e  $T_{FS}$  variaram entre 6,6 e 26,0  $L\ dia^{-1}$  e 3,8 e 24,9  $L\ dia^{-1}$ , respectivamente. A  $ET_{PM}$  manteve-se entre 2,1 e 4,0  $mm\ dia^{-1}$  e a  $P$  diária atingiu 60,8 mm. As radiações solares  $R_g$  e  $R_o$  variaram entre 147,7 e 266,0  $W\ m^{-2}$  e 338,5 e 472,4  $W\ m^{-2}$ , respectivamente, com fotoperíodo entre 11,3 e 12,8 horas. A  $T_a$  manteve-se entre 21,7 e 27,0  $^{\circ}C$ . O  $DPV_{diurno}$  variou entre 0,47 e 3,50 kPa (Figura 3.6).

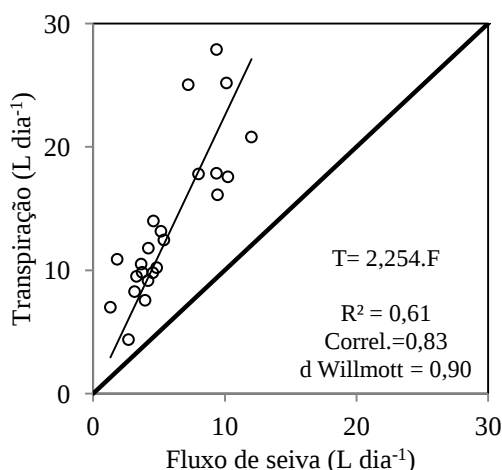
A área foliar medida não diferiu entre os dois intervalos de monitoramento (out-nov/2014 e fev-mai/2015), permanecendo na média de 11,30  $m^2$  em decorrência do confinamento do sistema radicular. A árvore utilizada na obtenção do modelo de estimativa de área foliar, cuja idade era a mesma das utilizadas nos lisímetros, porém instalada a campo, apresentou área foliar 3,34 vezes maior. Netto et al. (2006) observaram redução na área foliar em plantas jovens de *Coffea canephora* Pierre em condições de confinamento do sistema radicular. A redução no crescimento da parte aérea, neste caso, é associada às possíveis alterações na condutividade hidráulica do sistema radicular em decorrência do impedimento físico e na concentração de fito-hormônios responsáveis pelo controle do fechamento estomático, reduzindo indiretamente as taxas de assimilação líquida e de transpiração (Figueiredo et al., 2014).



**Figura 3.6** (a) Rad. solar média global ( $\text{W m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), extraterrestre ( $\text{W m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) e fotoperíodo (horas); (b) temp. média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e DPVdiurno (kPa); (c) transp. potencial acumulada de cinco dias (L) medida pela lisimetria (TLIS) e

estimada pelo fluxo de seiva (TFS); (d)  $ET_{PM}$  (mm) e precipitação (mm) acumulados de cinco dias. (período 11/10 a 23/11/14 e 28/02 a 10/05/15).

O fluxo de seiva, estimado pelo método de Granier, apresentou transpiração 39,1% inferior à encontrada no lisímetro (Figura 3.7).



**Figura 3.7** Relação entre médias de cinco dias de fluxo de seiva (SDT) e de transpiração real (lisimetria) em Mogno Africano a partir de 2,5 anos de idade.

A partir disto, o ajuste foi feito a partir do produto do coeficiente angular da reta de regressão ( $\alpha = 2,254$ ) pelo coeficiente linear da equação original (118,99), obtendo-se a Eq. 3.5:

$$F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS \quad (3.5)$$

O ajuste apresentou-se adequado com a transpiração observada na lisimetria (Tabela 3.1).

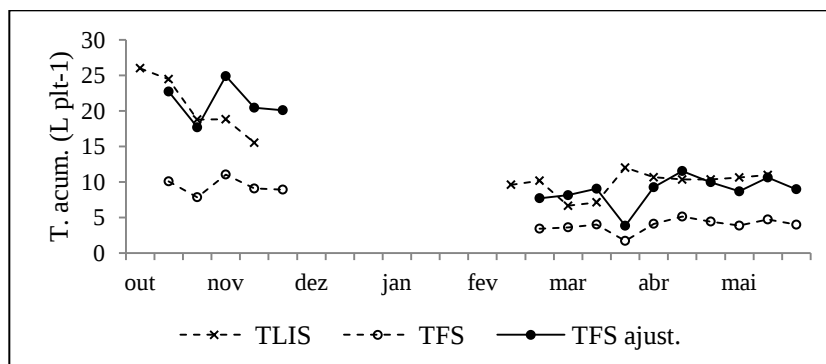
**Tabela 3.1** Análise de variância da regressão.

| Fonte de variação | SQ     | F de significação |
|-------------------|--------|-------------------|
| Regressão         | 4902,0 | 3,36E-14*         |
| Resíduo           | 336,1  | -                 |
| Total             | 5238,1 | -                 |

\* significativo a 5% de probabilidade de erro.

A  $T_{FS}$  antes do ajuste da equação de Granier apresentou valores médios entre 2,6 e 16,6 litros ou 40,0 e 76,2% menores que a  $T_{LIS}$ . Após o ajuste, a  $T_{FS}$  apresentou valores médios até 6,8 litros ou 46,2% menores e 6,1 litros ou 36,3% maiores que a  $T_{LIS}$ . As

maiores diferenças entre  $T_{FS}$  e  $T_{FSajust}$  ocorreram nos meses de outubro e novembro/2014, no qual foram registradas maiores transpirações diárias (acima de  $15 \text{ L dia}^{-1}$ ) (Figura 3.8).



**Figura 3.8** Curso da transpiração acumulada por sete dias do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade, estimada pela equação de fluxo de seiva de Granier (TFS), equação ajustada (TFS ajust.) e medida pela lisimetria (TLIS) (período 11/10 a 23/11/14 e 28/02 a 10/05/15).

A escala de tempo das avaliações (diária) impediu detalhar as possíveis causas da perda de sensibilidade do sistema de medição. Supõe-se a partir da literatura que a subestimativa dos picos de fluxo durante as medições pode ter sido ocasionada em função desta redução de sensibilidade. O fluxo máximo registrado nos dias de menor e maior transpiração, respectivamente, variou entre  $0,29$  e  $3,66 \text{ L h}^{-1}$ , considerando a equação ajustada o para cálculo do fluxo de seiva. Lundbland et al. (2001) constataram a perda de sensibilidade da SDT na medida da densidade de fluxo em *Pinus* sob condição máxima transferência de água para a atmosfera (fluxo acima de  $1,8 \text{ L h}^{-1}$ ) subestimando em 50% a transpiração, enquanto que sob déficit hídrico a SDT apresentou leituras precisas. Vellame et al. (2009), após realizado o ajuste dos parâmetros do modelo de Granier, relataram que o método apresentou falha na medida do fluxo transpiratório a partir de  $0,24 \text{ L h}^{-1}$ , promovendo subestimativa do volume de água transpirado diariamente de 6,5% em relação ao método do balanço de calor.

A análise de imagem digital dos discos de madeira detectou casca, alburno e cerne nas proporções de 29,08, 55,24 e 15,68% respectivamente. Desse modo, a área ativa de condução de seiva do Mogno Africano foi definida pela Eq. 3.4:

$$AS = 0,5524 \cdot A_T \quad (3.4)$$

Sendo AS a área de alburno ( $\text{m}^2$ ) e  $A_T$  a área total da seção.

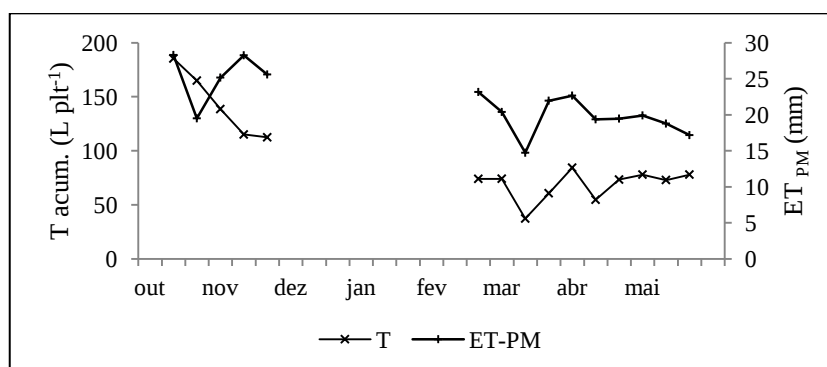
Não se observaram nós ou heterogeneidades na madeira. A espessura média de alburno (7,03 cm) encontrada pela análise digital dos discos de madeira permite concluir que os sensores foram inseridos totalmente na área ativa de condução de seiva. Isso significa que a subestimativa do fluxo não está associada ao fato dos sensores estarem em contato com xilema inativo. Na calibração do método da dissipação térmica para *Eucalyptus*, quando mais da metade do sensor esteve em contato com xilema inativo, o índice de fluxo (k) foi subestimado em 48%, para *Anacardium* a subestimativa de 'k' foi de 17% quando 10% do sensor esteve em contato com xilema inativo (Clearwater et al., 1999).

Em árvores adultas, o alburno apresenta em torno de cinco centímetros de espessura (Lemmens, 2008), e pode apresentar variabilidade na densidade de fluxo no sentido radial, conforme observado em *C. alliodora*, *A. excelsum*, *S. morotoni*, *F. insípida* (James et al., 2002), pinho e abeto (Lundbland et al., 2001), e no sentido azimutal, conforme observado em manga (Lu et al., 2000), cipreste (Oren et al., 1999). De fato, a ocorrência de erros sistemáticos (de -90% a +300%) é frequente na integração do fluxo de seiva em um único ponto em árvores adultas assumindo fluxo de seiva uniforme no sentido radial no tronco (Lu, 1997; Nadezhdina et al., 2002).

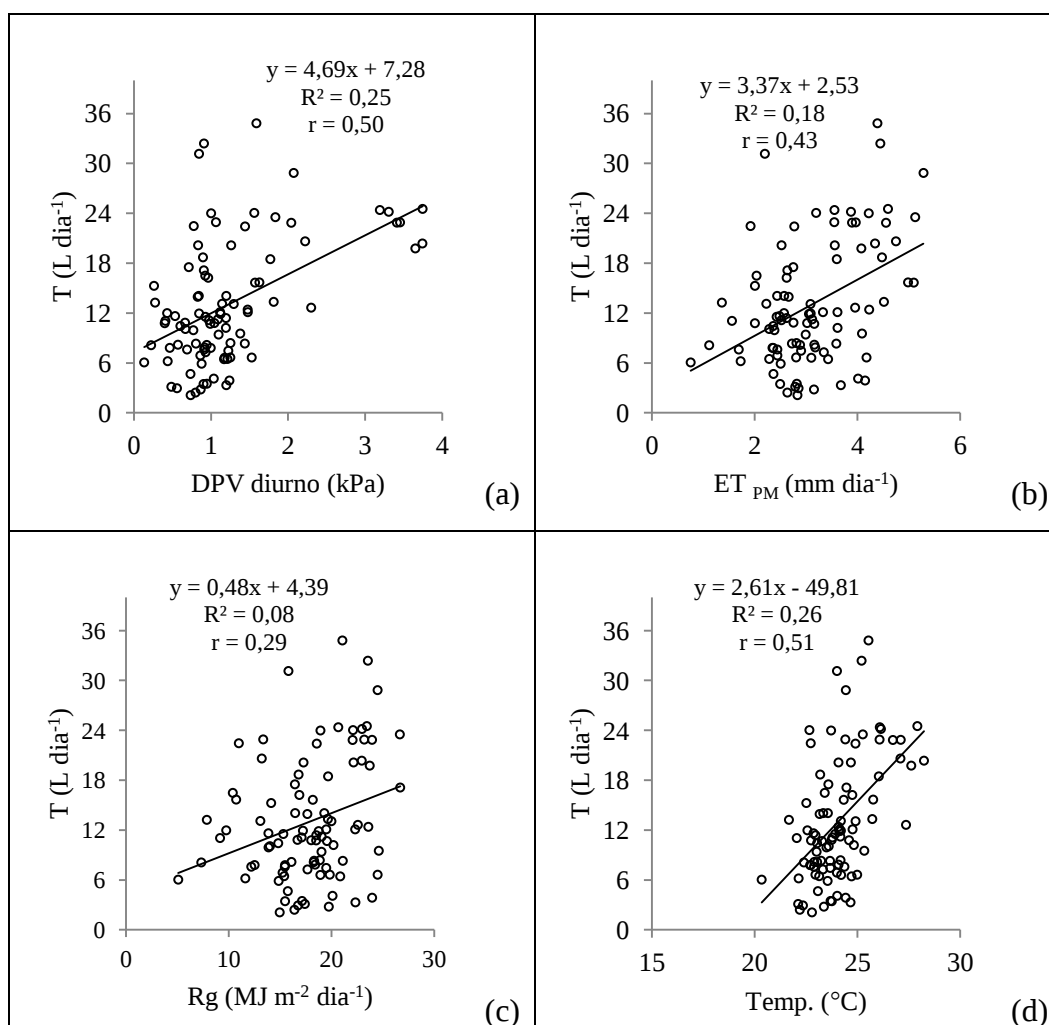
Por meio da análise anatômica da madeira verificou-se que o diâmetro tangencial médio variou significativamente no sentido radial (56,9 e 80,8  $\mu\text{m}$  nas posições 0 e 100 respectivamente), porém a frequência dos vasos e não foi significativamente influenciada (10,5 e 8,6 vasos  $\text{mm}^{-2}$ ). França et al. (2015) observou ocorrência de menor frequência de vasos (5,9 vasos  $\text{mm}^{-2}$ ) com diâmetro tangencial médio de 132,3  $\mu\text{m}$  em indivíduos *Khaya ivorensis* aos 19 anos de idade, provenientes de plantio no estado do Pará. Em amostras extraídas de indivíduos com idade superior a 40 anos, o diâmetro tangencial de vasos do lenho tardio varia entre 100 e 200  $\mu\text{m}$ , com frequência de 5 a 20 vasos  $\text{mm}^{-2}$  (Lemmens, 2008). Sob o aspecto fisiológico, as alterações nas características anatômicas são interpretadas pela necessidade das plantas pelo aumento da capacidade de transporte de água e sais minerais, à medida que se processam o seu crescimento e o consequente aumento de suas dimensões (Sette Jr. et al., 2012).

O Mogno Africano transpirou entre 2,1 e 34,8  $\text{L dia}^{-1}$ , com média de 13,0  $\text{L dia}^{-1}$ . Devido à constante disponibilidade de água no solo dos lisímetros, tornando nulo o efeito direto da precipitação (P), as árvores responderam com maior transpiração no período de maior demanda evaporativa ( $\text{ET}_{\text{PM}}$ ) (Figura 3.9). Em espécies avaliadas a

campo, geralmente é observada maiores taxas de transpiração no período chuvoso, devido à ocorrência do excedente hídrico (Tatagiba et al., 2007).



2010; Zhang et al., 2015). A explicação para este comportamento está na necessidade de manutenção do status hídrico da planta e adequação ao fluxo de água no solo (Pataki et al., 2000).



**Figura 3.10** Relação linear da transpiração potencial diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (T) ( $\text{L m}^{-2}$  de folha) com o DPVdiurno, ETo e Rg, nos períodos de 11 de outubro a 30 de novembro de 2014 e 28 de fevereiro a 11 de maio de 2015.

### 3.4 CONCLUSÃO

O modelo de Granier subestima em 39,1% a transpiração diária do Mogno Africano, sendo o modelo ajustado  $F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS$  mais adequado para a estimativa.

A transpiração potencial do Mogno Africano aos 2,5 anos de idade variou entre 2,1 e 34,8 L dia<sup>-1</sup>, com média de 13,0 L dia<sup>-1</sup>.

A transpiração do Mogno Africano respondeu positivamente ao estímulo da radiação solar global, déficit de pressão de vapor diurno, temperatura média do ar e evapotranspiração sob as condições climáticas do município de Goiânia-GO.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-Africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO, **Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, 1998.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n.6, p. 899-920, 2011.

ANGELOCCI, L. R. **Métodos e técnicas de estudo das relações água-planta-atmosfera**. ESALQ/USP, Departamento de Ciências Exatas, Piracicaba, 104 fl., 2001.

BARBOSA, L. H. A. **Irrigação na cultura do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) na região do Cerrado**. 2014. 70 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

BUSH S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHRLINGER, J. R. Calibration of a thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 12, p. 1545-1554, 2010.

CABRAL, G. A. **Calibração da sonda de dissipação térmica e estimativa da transpiração do cacaueiro cultivado a pleno sol**. 2013. 82 fl. Dissertação (Mestrado) –

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2013.

CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; ANDRADE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Oxford, v. 19, n. 10, p. 681-687, 1999.

COELHO FILHO, M. A.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Transpiração máxima de plantas de mamão (*Carica papaya* L.) em pomar fertirrigado, nas condições de Cruz das Almas BA. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 13, Juazeiro, **Anais...** Viçosa: ABID, 2003. CD-ROM.

COHEN, Y. M.; FUCHS, M.; GREEN, G. C. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. **Plant Cell and Environment**, New York, v. 4, n. 5, p. 391-397, 1981.

DAVID, T. S.; FERREIRA, I.; PEREIRA, J. S.; COHEN, S.; DAVID, J. S. Transpiração em árvores isoladas de um montado de azinho. Evolução sazonal e condicionantes hidráulicas. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, n. 2, p. 133-149, 2002.

DELGADO-ROJAS, J. S.; **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação.** 2003. 110 fl. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J. S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração em plantas jovens de lima ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

EDWARDS, W. R. N.; BOOKER, R. E. Radial variation in the axial conductivity of *Populus* and its significance in heat pulse velocity measurement. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 551-561, 1984.

EWERS, B. E.; MACKAY, D. S.; GOWER, S. T.; AHL, D. E.; BURROWS, S. N.; SAMANTA, S. S. Tree species effects on stand transpiration in northern Wisconsin. **Water Resources Research**, Washington, v. 38, n. 7, 2002.

FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; CAMPOSTRINI, E.; THIEBAUT, J. T. L.; BARROSO, D. G. Condutividade hidráulica de raiz e capacidade fotossintética de mudas clonais de eucalipto com indução de deformações radiculares. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 277-287, 2014.

FRANÇA, T. S. F. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; BARAÚNA, E. E. P. Características anatômicas e propriedades físico-mecânicas das madeiras de duas espécies de mogno Africano. **Cerne**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 633-640, 2015.

GRANIER, A. Une nouvelle method pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annals of Science Forestry**, Paris, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

GRANIER, A. Mesure du flux de seve brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle method thermique. **Annals of Science Forestry**, Paris, v. 44, n.1, p. 1-14, 1987.

JAMES, S. A.; CLEAWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G. Heat dissipation sensors of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood. **Tree Physiology**, Oxford, v. 22, n. 4, p. 277-283, 2002.

LEMMENS, R. H. M. J. Khaya ivorensis A. Chev. 2008. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. **Prota 7(1): Timbers/Bois d'oeuvre 1**. Wageningen: PROTA – Plant Resources of Tropical Africa. Disponível no endereço: <<http://www.prota4u.org/search.asp>> Acesso em 15/setembro/2015.

LEROY, C.; SAINT-ANDRÉ, L.; AUCLAIR, D. Practical methods for non-destructive measurement of tree leaf area. **Agroforestry Systems**, Rotterdam, v. 71, n. 2, p. 99-108, 2007.

LOBATO, E. J. V. **Estação evaporimétrica de Goiânia – Normais climatológicas (1975-2004)**. Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 57 fl., 2005.

LU, P. A direct method for estimating the average sap flux density using modified Granier measure system. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 24, n. 1, p. 701-705, 1997.

LU, P. MÜLLER, W. J.; CHACKO, E. K. Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 683-692, 2000.

LUNDBLAD, M.; LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 58, n. 6, p. 625-638, 2001.

MARIN, F. R.; RIBEIRO, R. V.; ANGELOCCI, L. R.; RIGHI, E. Z. Fluxo de seiva pelo método do balanço de calor: base teórica, qualidade das medidas e aspectos práticos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 1-14, 2008.

NADEZHDINA, D.; CÉRMÁK, J.; CEULEMANS, R. Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors. **Tree Physiology**, Oxford, v. 22, n. 13, p. 907-918, 2002.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M. M. A. Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de *Coffea canephora* Pierre. **Revista Brasileira de Agrociências**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 295-303, 2006.

OLIVEIRA, G. X. S.; COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. C.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; CASTRO NETO, M. T. Relações entre transpiração máxima,

evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 20-27, 2009.

OREN, R.; PHILLIPS, N.; EWERS, B. E.; PATAKI, D. E.; MEGONICAL, J. P. Sap-flux-scaled transpiration responses to light, vapour pressure deficit, and leaf area reduction in a flooded *Taxodium distichum* forest. **Tree Physiology**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 337-347, 1999.

PATAKI, D. E.; OREN, R.; SMITH, W. K. Sap flux co-occurring species in a western subalpine forest during seasonal soil drought. **Ecology**, Washington, v. 81, n. 9, p. 2557-2566, 2000.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; PIRES, L. F.; ALFARO, A. T. Transpiration of irrigated apple trees and citrus from water potential gradient approach in the leaf-atmosphere system. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 181-188, 2011.

PHILLIPS, N.; OREN, R.; ZIMMERMANN, R. Radial pattern of xylem sap flow in non-, diffuse- and ring-porous tree species. **Plant Cell and Environment**, New York, v. 19, n. 8, p. 983-990, 1996.

ROSA, F. O. **Zoneamento edafoclimático e resposta de plantas jovens de Mogno Africano às condições do Cerrado**. 2014. 85 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 71 fl. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2009.

SETTE JUNIOR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012.

TANEDA, H.; SPERRY, J. S. A case-study of water transport I co-occurring ring- versus diffuse-porous trees: contrasts in water status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. **Tree Physiology**, Oxford, v. 28, n. 11, p. 1641-1651, 2008.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M. C. J. D.; EFFGEN, T. A. M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

VELLAME, L. M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e sensor de balanço de calor caulinar**. 2007. 67 fl. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, 2007.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VELLAME, L. M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo**. 2010, 130 fl. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

ZHANG, D.; BEADLE, C. L.; WHITE, D. A. Variation of sap flow velocity in *Eucalyptus globules* with position in sapwood and use of a correction coefficient. **Tree Physiology**, Oxford, v. 16, n. 8, p. 697-703, 1996.

ZHANG, J. G.; GUAN, J. H.; SHI, W. Y.; YAMANAKA, N. DU, S. Interannual variation in stand transpiration estimated by sap flow measurement in a semi-arid Black Locust plantation, Loess Plateau, China. **Ecohidrology**, v. 8, n. 1, p. 137-147, 2015.

#### 4      **TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO DO MOGNO AFRICANO EM FLORESTA INICIADA SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS**

##### RESUMO

Informações técnicas são necessárias para a definição do processo produtivo do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) na região Centro-oeste do Brasil. O conhecimento das relações hídricas para a espécie é fundamental no monitoramento do déficit hídrico e no manejo adequado da água. A medida do fluxo de seiva na estimativa da transpiração é utilizada nos estudos de consumo hídrico em cultivos perenes, sendo destacado para este fim o uso do método de Granier (sonda de dissipação térmica – SDT) devido sua simplicidade e praticidade. Objetivou-se com o trabalho verificar a transpiração e o crescimento do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) a partir dos 2,5 anos de idade, em um plantio em Bonfinópolis-GO, sob dois regimes hídricos distintos. Os tratamentos foram definidos com base no regime hídrico imposto na formação da floresta, sendo T1: com irrigação até os dois anos de idade; T2: sem irrigação. O crescimento foi monitorado entre fev-ago/2015, por meio de medidas de altura (Alt), DAP, volume de tronco ( $V_{TR}$ ) área foliar (AF) e biomassa de folhas ( $BM_F$ ). A transpiração (transpiração por unidade de área foliar – T) foi monitorada por meio da SDT, entre out/2014 e out/2015. A superioridade do crescimento em AF, DAP e  $BM_F$  prevaleceu para o tratamento T1. Porém o incremento em Alt e  $V_{TR}$  foi similar nos dois grupos avaliados. A T variou entre 10,2 e 24,2 L m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, exceto em jul e ago/2015, nos quais T2 apresentou maior T. A combinação entre maior área foliar e baixo armazenamento de água no solo (a partir de 33,6 mm) promoveu menor transpiração à T1 devido ao esgotamento precoce da água do solo.

*Palavras-chave:* *Khaya ivorensis*, crescimento vegetativo, fluxo de seiva, método de Granier.

##### ABSTRACT

Technical information is needed to define African mahogany's (*Khaya ivorensis*) productive process in the Brazilian Midwest. Knowledge of the African mahogany's relationships governing water consumption is essential to monitor the water deficit and establish proper water management. The transpiration measurement is widely used in studies of water consumption in forest species, highlighting the sap flow measurement Granier method (thermal dissipation probe – TDP) due its simplicity and

practicality. This paper aimed to verify African mahogany's (*Khaya ivorensis*) stand transpiration and growth on a 2.5 years old forest under two different water regimes, located in Bonfinópolis-GO. The treatments were based on the water regime imposed at the beginning of the forest, as T1: upland forest irrigated up to two years old; and T2: upland forest without irrigation. The growth was monitored by height (Alt), diameter at the breast height (DAP), trunk volume ( $V_{TR}$ ), leaf area (AF) and leaf area biomass ( $BM_F$ ) measurements between fev-ago/2015. The water consumption (transpiration by leaf area unit – T) was monitored using the TDP, between oct/2014 and oct/2015. The highest DAP, AF and  $BM_F$  were observed in T1, while Alt and  $V_{TR}$  did not vary between treatments. The growth rate also did not vary. Monthly transpiration rates were equal among treatments, varying 10.2 and 24.2 L m<sup>-2</sup>, but pointed differences in jul-aug/2015, which T2 transpiration was higher. The combination of bigger leaf area and low soil water storage (under 33.6 mm) promoted lower T1's transpiration due early depletion of ground water.

**Key words:** *Khaya ivorensis*, vegetative growth, sap flux, Granier method.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A expansão do cultivo do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) no Brasil foi impulsionado pelo valor agregado da madeira e fácil adaptação da espécie às condições edafoclimáticas do país. A região Centro-Oeste se destacou nas últimas décadas pela expansão da produção agropecuária e da variedade de culturas exploradas, sendo as culturas florestais utilizadas na recuperação de áreas degradadas e em sistemas de integração.

A pluviosidade é fator limitante para produtividade do *Khaya ivorensis*, sendo que a sazonalidade climática da região Centro-oeste levanta questionamentos a respeito da necessidade de irrigação para suprir as suas necessidades hídricas. Os estudos da necessidade hídrica voltados para culturas perenes permanecem em segundo plano quando comparado às culturas anuais e bianuais. A robustez, a longa duração do ciclo de vida, e a menor sensibilidade às variações espaciais, climáticas e de cultivo, justificam esta realidade. Dentro desta categoria, existe ainda a priorização dos estudos de espécies frutíferas em detrimento das florestais.

Os cultivos voltados para produção de madeira, quando comparados à produção de frutas, por exemplo, podem suportar os veranicos típicos da região Centro-Oeste sem apresentar prejuízos na qualidade do produto final, entretanto a investigação

sobre os efeitos da irrigação ou falta dela no crescimento e desenvolvimento da cultura é necessária para validar esta afirmação.

O consumo hídrico de um cultivo é comumente determinado por métodos diretos (lisímetros) ou estimado por modelos agrometeorológicos de evapotranspiração (Penman-Monteith, Thorntwaite, Hargreaves, entre outros). Todavia, as configurações de cobertura descontínua do solo em plantios perenes proporcionam uma caracterização mais realista do consumo hídrico pelo estudo da transpiração do que da evapotranspiração. Os métodos de medidas de fluxo de seiva ganharam espaço nas estimativas de transpiração em plantios perenes por garantir melhor representatividade. Estes se baseiam na influência da demanda evaporativa da atmosfera sobre o movimento ascendente de água na planta, e permitem o monitoramento da água na componente arbórea do sistema solo-planta-atmosfera.

A transpiração reflete a influência de condicionantes atmosféricas (de natureza energética e aerodinâmica), das disponibilidades hídricas do solo/subsolo junto ao sistema radicular, da estrutura física do coberto (nomeadamente, a sua rugosidade aerodinâmica e índice de área foliar) e de características morfológicas e mecanismos de resposta fisiológica que controlam a perda de água pelas folhas (Calder, 1990). O fato de quantificar somente a componente transpiratória pode ser uma vantagem quando se precisa medir o uso de água pela planta, mas uma desvantagem na projeção da evaporação total de uma superfície heterogênea (Allen et al., 2011).

Este trabalho analisa o crescimento e o processo transpiratório do Mogno Africano sob as condições climáticas do município de Bonfinópolis – GO, e as relações com as suas principais condicionantes. Objetivou-se, essencialmente, caracterizar os padrões sazonais de variação da transpiração e crescimento vegetativo do Mogno Africano, e sua relação com as variáveis meteorológicas durante os anos de 2014 e 2015.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

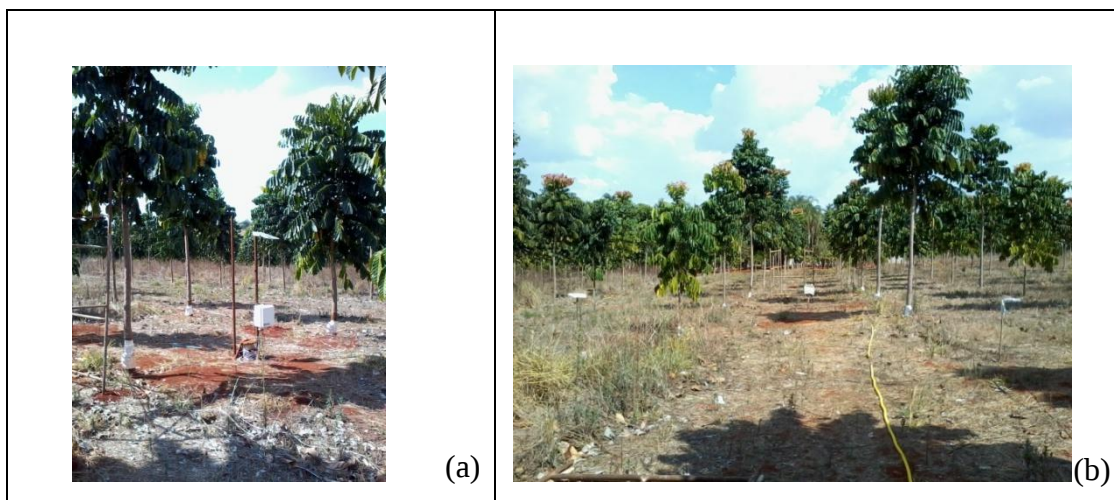
O experimento foi instalado em um plantio comercial (Figura 4.1) localizado no município de Bonfinópolis - GO (Latitude 16°35'33"S Longitude 49°01'47"W, altitude de 871 m).



**Figura 4.1** Delimitação do plantio de Mogno Africano em Bonfinópolis – GO, pelo polígono em laranja; sendo a área experimental composta por árvores plantadas em mar/2012, representada pelo marcador em branco.

O clima da região foi classificado, segundo Köppen, como Aw, tropical de savana, megatérmico, com estação seca (maio-setembro) e chuvosa (outubro-abril) bem definidas. As normais climatológicas de temperatura e precipitação pluvial são de 22,1 °C e 1481,1 mm ano<sup>-1</sup> (Lobato, 2005). O solo predominante é Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa, fase cerradão subperenifólio, de relevo plano (Silva et al., 2007). A análise física do solo apontou: Areia = 38,0 e 47,0%; Silte = 24,0 e 23,0%; e Argila = 38,0 e 30,0% (textura franco argilosa) nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m respectivamente (Barbosa, 2014).

A floresta foi implantada em março de 2012, utilizando mudas seminais, oriundas de sementes do Pará, do gênero *Khaya ivorensis* já em formação, em espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. As árvores foram submetidas a diferentes regimes hídricos nos dois primeiros anos de idade. A coleta de dados para o presente estudo foi iniciada aos 1084 dias após o plantio, quando a floresta atingiu aproximadamente 2,5 anos de idade (Figura 4.2). Os tratamentos foram definidos como: TI – árvores que receberam irrigação até os dois anos de idade; e TS – árvores que não receberam irrigação. Avaliaram-se seis árvores em cada tratamento.



**Figura 4.2** Floresta de Mogno Africano avaliada no presente estudo, aos 2,5 anos de idade, no município de Bonfinópolis-GO: (a) tratamento TI e (b) tratamento TS.

Os dados meteorológicos temperatura ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa do ar (UR), radiação solar global ( $R_g$ ), velocidade do vento ( $U_2$ ) e precipitação ( $P$ ) foram obtidos na estação meteorológica instalada a aproximadamente 50 metros do experimento, cujas médias foram armazenadas a cada 15 minutos. As falhas dos dados foram preenchidas utilizando interpolação tendo como referência os dados meteorológicos da estação automática da Escola de Agronomia da UFG (temperatura e umidade do ar) e base de dados do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da UFG (precipitação).

A evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) foi calculada pela equação de Hargraeves & Samani. A demanda evaporativa da atmosfera foi definida pela razão entre a evapotranspiração de cultura e a evapotranspiração real. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado em intervalos de 30 minutos, a partir da temperatura e umidade relativa do ar. O déficit de pressão de vapor médio ocorrente no período diurno ( $DPV_{diurno}$ ) foi obtido pela média do DPV referente ao intervalo das 06:00 às 18:00 horas.

O balanço hídrico de cultura foi elaborado para período mensal no intervalo compreendido entre março de 2014 e outubro de 2015. Para isso, estimou-se a evapotranspiração de cultura a partir da evapotranspiração de referência utilizando o coeficiente de cultivo para coníferas ( $K_c = 1,0$ ) (Allen et al., 1998). A capacidade de água disponível (CAD) estabelecida como 300 mm, com base nas recomendações para espécies perenes.

As avaliações biométricas foram realizadas entre 1084 e 1249 dias após o plantio, no período entre fevereiro e agosto/2015. A altura foi medida com auxílio de clinômetro florestal eletrônico. O diâmetro à altura do peito (DAP) foi medido com auxílio de suta florestal manual. O acúmulo de biomassa de folhas (BM<sub>F</sub>) e incremento no volume de tronco (V<sub>TR</sub>) foram estimados pelas equações alométricas desenvolvidas por Heryati et al. (2011), específicas para o *Khaya ivorensis* e validadas para o presente estudo, definidas pelas Eqs. 4.1 e 4.2:

$$BM_F = 0,02248 \cdot DAP^{2,23872} \quad (4.1)$$

$$V_{TR} = 0,00014 \cdot (DAP^2 \cdot H)^{0,84469} \quad (4.2)$$

Sendo BM a biomassa seca de folhas (kg), DAP o diâmetro a altura do peito (m), H a altura total da árvore (m) e V<sub>TR</sub> o volume do tronco (m<sup>3</sup>).

Em uma árvore próxima às parcelas experimentais, retiraram-se todas as folhas e mediu-se a área de folíolos com auxílio de um integrador LI-COR 3000. Posteriormente os folíolos foram secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C por 48 horas e a biomassa seca foi registrada. O modelo de estimativa da BM<sub>F</sub> por Heryati et al. (2011) foi ajustado à biomassa seca real obtida a campo. A área foliar foi estimada pela relação linear com a biomassa seca de folhas (BM<sub>F</sub>) a estimada a partir do modelo de Heryati et al. (2011), medida conforme a Eq. 4.3:

$$AF = 7,1 \cdot BM_F \quad (4.3)$$

Sendo AF a área foliar da planta (m<sup>2</sup>) e BM<sub>F</sub> a biomassa de folhas estimada pelo modelo de Heryati et al. (2011).

O crescimento foi avaliado em esquema fatorial 2x5 (A: dois regimes hídricos, irrigado até os dois anos de idade e não irrigado; e B: cinco tempos de avaliação). A taxa de crescimento foi avaliada em esquema fatorial 2x4 (A: dois regimes hídricos, irrigado até os dois anos de idade e não irrigado; e B: quatro intervalos de avaliação). O pacote estatístico Action Stat foi utilizado para a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade de erro.

Devido à necessidade de monitoramento contínuo e por longo período, optou-se pelo método de Granier (1987) para quantificar a transpiração das árvores estudadas. Este método trabalha com o fornecimento de calor ao tronco, e baseia-se no fato de o

sensor aquecido arrefecer progressivamente à medida que o fluxo de seiva no xilema aumenta (David et al, 2002). Utilizou-se o modelo de fluxo de seiva ajustado para o Mogno Africano (Eq. 4.4).

$$F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS \quad (4.4)$$

Sendo  $F$  o fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ),  $k$  a densidade de fluxo ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ) e  $AS$  a área ativa do xilema ( $\text{m}^2$ ).

A densidade de fluxo de seiva ( $k$ ) é relacionada empiricamente à diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) entre os dois sensores (Eq. 4.5):

$$k = \frac{(\Delta T_{\text{máx}} - GTN) - (\Delta T - GTN)}{(\Delta T - GTN)} \quad (4.5)$$

Sendo  $\Delta T_{\text{máx}}$  a diferença de temperatura máxima observada no dia ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta T$  a diferença de temperatura no instante ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $GTN$  o gradiente térmico natural instantâneo ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para fins de estimativa do fluxo de seiva a área ativa de condução foi estimada pela Eq. 4.6, obtida previamente.

$$AS = 0,5524 \cdot A_T \quad (4.6)$$

Sendo  $AS$  a área de alburno ( $\text{m}^2$ ) e  $A_T$  a área total da seção.

O fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) foi medido de outubro de 2014 a outubro de 2015. O sistema de aquisição de dados utilizado foi o CR-1000 (Campbell Scientific Ltd), associado a um multiplexador AM 1632 Relay Multiplexer, locado entre as árvores monitoradas, alimentado pela rede de energia elétrica local. As leituras foram feitas em intervalos de 30 segundos e armazenadas as médias a cada 15 minutos.

Os sensores foram construídos a partir de agulhas hipodérmicas de 2,0 mm de diâmetro, 10 mm de comprimento, dotadas externamente de um enrolamento de constantan, e em seu interior um termopar do tipo T (cobre-constantan). A alimentação da resistência dos sensores de montante fez-se com potência constante de 0,1 W, regulada por uma fonte de alimentação. Através da ligação dos termopares de cobre-constantan dos dois sensores obteve-se a diferença de temperatura.

Uma SDT foi instalada no tronco de cada árvore. Conforme estabelecido por Clearwater et al. (1999), cada SDT deve ser instalada a uma distância mínima de 0,20 m do

nível do solo a fim de reduzir a interferência da radiação direta, e os sensores separados entre si por uma distância vertical de 0,10 m. Desta forma, com auxílio de uma furadeira com broca nº 3,0 mm, furou-se o tronco de cada árvore nas posições definidas à profundidade de 1,0 mm + a espessura da casa, inseriu-se um tubo de aço carbono com diâmetro de 3,0 mm e comprimento de 1,0 mm. Os sensores foram envolvidos com pasta térmica e então posicionados dentro dos respectivos tubos.

Posteriormente o segmento de caule foi envolvido com folhas de alumínio de modo a formar uma “saia” de isolamento (Vellame et al., 2011), além de uma faixa de folha de alumínio envolvendo o caule na porção inferior à SDT, no intuito de minimizar o efeito da incidência da radiação e de correntes de vento sobre as leituras. Os gradientes térmicos naturais (GTN) foram determinados pelo uso de uma SDT não aquecida inserida em uma árvore de referência. A leitura das diferenças térmicas ocorreu em intervalos de 30 segundos e armazenadas a média a cada 15 minutos.

A transpiração diária ( $T_{dia}$ ) foi obtida pela integração do fluxo de seiva horário. A variação diurna do  $DPV_{diurno}$  e da  $R_g$  foi utilizada para avaliar o curso do fluxo transpiratório em escala horária. O fluxo transpiratório é mais bem avaliado quando se compara árvores de mesma área foliar, pois o processo ocorre em sua superfície e proporcionalmente em função da sua extensão. Sabendo que esta característica biométrica não é constante entre os indivíduos monitorados, utilizou-se a área foliar como parâmetro de escala para facilitar a comparação entre os tratamentos ( $T_{AF} = L \text{ dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de área foliar).

A padronização da transpiração pela área foliar, neste caso, possibilita a comparação entre indivíduos de portes variados em uma mesma escala representativa, e tem sido aplicada com sucesso em estudos com espécies tropicais (Meinzer et al., 1997), nativas norte americanas (Ewers et al., 2002), lima ácida (Marin et al., 2002), café (Marin, 2003), nim indiano (Seixas, 2009) entre outros. Santiago et al. (2000) afirmam que a variação na área foliar dentro de uma mesma espécie indica alteração no comportamento fisiológico em nível foliar.

As relações entre a  $T_{AF}$ , variáveis meteorológicas ( $T_{ar}$ ,  $R_g$ ,  $ET_o$  e  $DPV_{diurno}$ ) e armazenamento de água no solo foram avaliadas por meio da regressão linear, pelo coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson.

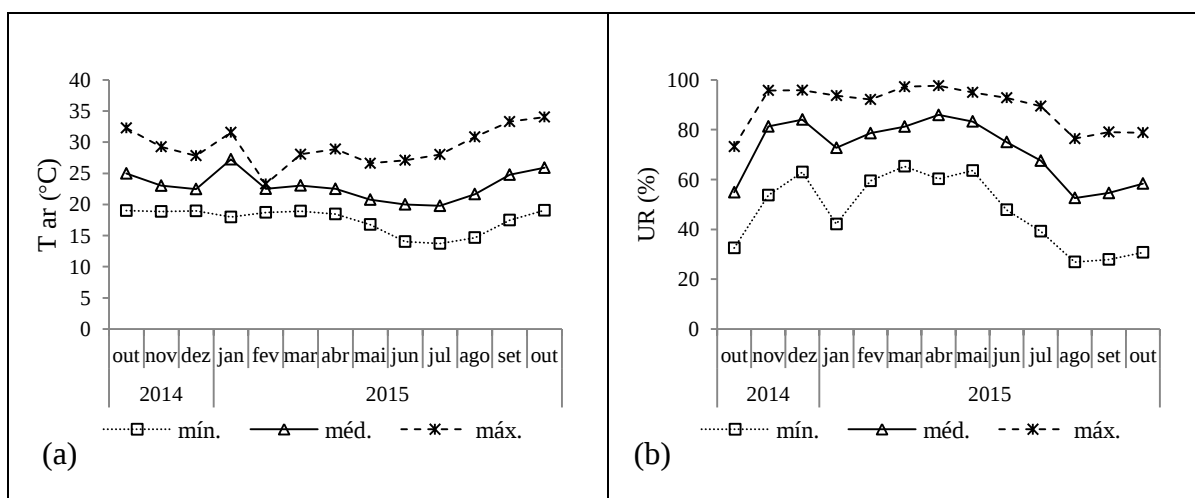
A eficiência parcial no uso da água ( $EUAp$ ) foi utilizada para comparar o incremento em volume de tronco entre os tratamentos, calculada para o intervalo entre fevereiro e agosto de 2015, por meio da Eq. 4.7:

$$EUAp = \frac{IV_{TR}}{T} \quad (4.7)$$

Sendo EUAp a eficiência parcial no uso da água ( $\text{dm}^3 \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ ),  $IV_{TR}$  o incremento no volume de tronco ( $\text{dm}^3$ ) e  $T$  a transpiração ( $\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ ) acumulados no período.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

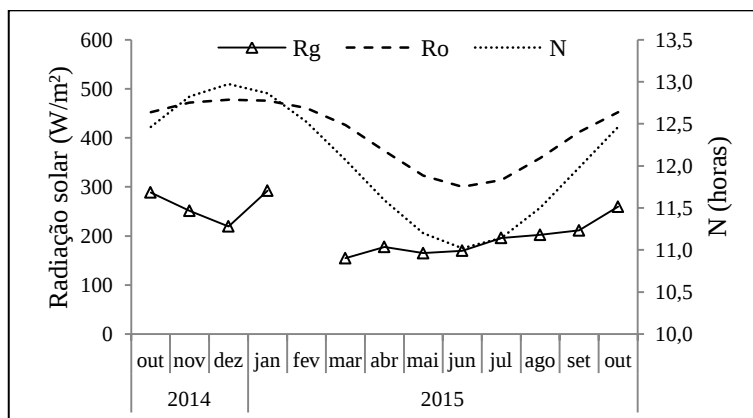
A  $T_{ar}$  ao longo dos dois anos de avaliação oscilou entre 16,7 e 29,2 °C, com média de 22,4 °C (Figura 4.3). A amplitude térmica média anual registrada foi de 12,4 °C, com menores variações mensais ocorridas nos intervalos de novembro a maio de cada ano. A amplitude mínima foi observada em dezembro (8,9 °C) no ano de 2014 e, em 2015, em fevereiro (4,6 °C), enquanto que a maior amplitude ocorreu em agosto nos dois anos (20,0 e 16,2 °C). A UR permaneceu na média de 72,1% ao longo dos meses de avaliação, com valores máximos registradas em abril e mínimos em agosto de ambos os anos (Figura 4.3).



**Figura 4.3** Variação mensal da (a) temperatura do ar e (b) umidade relativa do ar registrada na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO.

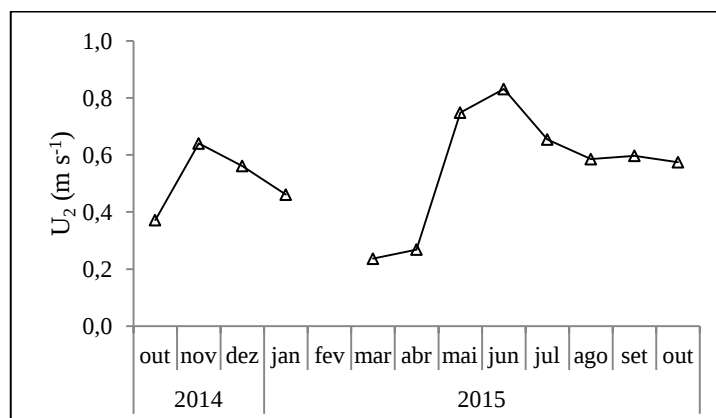
A  $R_g$  diária apresentou padrão bem definido, com valores máximos entre 12:00 e 13:00 nos dias sem chuva. O maior valor diário foi obtido em outubro de 2014 ( $446,8 \text{ W m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) num período caracterizado pelos altos índices de radiação, dias longos e quentes na região. A menor  $R_g$  diária foi registrada em julho de 2015 ( $36,3 \text{ W m}^{-2}$ ) num dia nublado com ocorrência de precipitação. A média mensal para o intervalo de monitoramento do Mogno Africano variou entre  $154,6 \text{ W m}^{-2}$  em março de 2015 e  $292,3$

$\text{W m}^{-2}$  em janeiro de 2015 (Figura 4.4). O fotoperíodo da região se apresenta máximo em dezembro (13 horas) e mínimo em junho (11 horas).



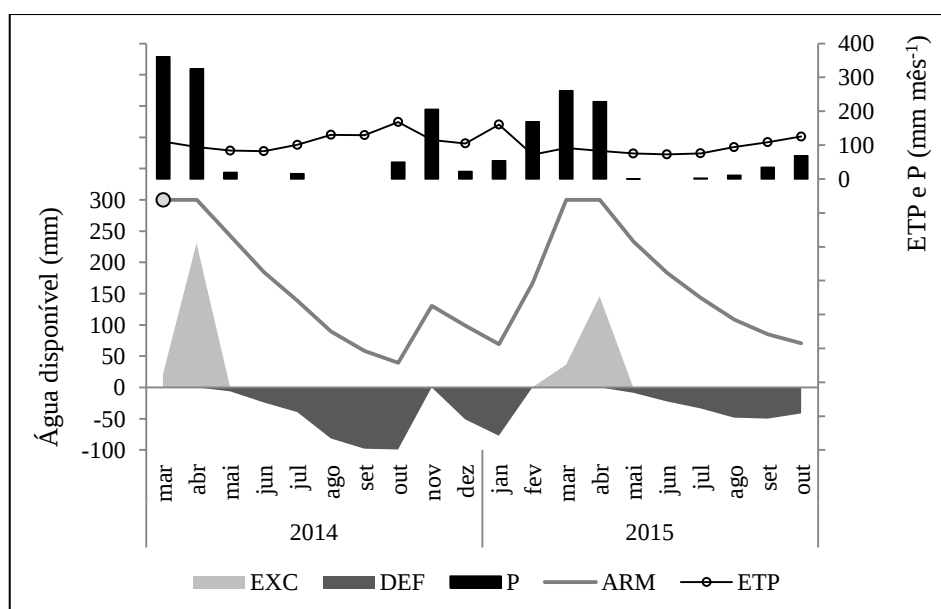
**Figura 4.4** Curso da radiação solar global (Rg), extraterrestre (Ro) ( $\text{W m}^{-2}$ ), e fotoperíodo (N - horas) entre os anos de 2014 e 2015, na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO.

A  $U_2$  diária variou entre  $0,24 \text{ m s}^{-1}$  (março/2015) e  $0,83 \text{ m s}^{-1}$  (junho/2015). Com relação à diferença entre ventos diurnos e noturnos, as velocidades tenderam a aumentar no decorrer do dia e diminuir após o início da tarde. Selecionando apenas o período diurno, a velocidade mínima foi de  $0,41 \text{ m s}^{-1}$  e a máxima de  $1,50 \text{ m s}^{-1}$ . Os maiores valores de velocidade média do vento coincidem com a estação seca da região, enquanto que na estação chuvosa ocorreram os menores valores (Figura 4.5). Os ventos de leste-sudeste (ESE – 21,5%) e leste (E – 19,7%) predominaram no período seco monitorado, sendo que a predominância foi atribuída aos ventos de sudeste (SE - 12,7%) no período chuvoso.



**Figura 4.5** Velocidade do vento média mensal ( $U_2$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ) diária registrada na área experimental, no município de Bonfinópolis-GO.

A ETo anual média entre os dois anos de avaliação foi de 1636 mm. A pluviosidade 1100 mm, abaixo da precipitação média para a região (1480 mm). Em dez/2014 e jan/2015 ocorreram precipitações atípicas, abaixo da normal considerada para os meses (Figura 4.6). Nos anos anteriores ao ano de avaliação do presente estudo o excedente hídrico estendeu-se de dezembro a junho. Em decorrência de precipitação 85% menor que a normal para o período de dezembro de 2014 a janeiro de 2015 (76,5 mm), o excedente hídrico ocorreu em menor duração e com início tardio, ocasionando déficit hídrico acentuado no período seco em 2014 e baixo armazenamento de água no solo (145,0 mm) no período chuvoso em 2015.



**Figura 4.6** Evapotranspiração potencial (ETP), Precipitação (P) e Balanço hídrico climatológico sequencial pelo método de Thornthwaite & Matter (1955) para o período de mar/2014 a out/2015, utilizando armazenamento de água no solo de 300 mm, no município de Bonfinópolis-GO.

Mesmo após um ano de interrupção da irrigação no tratamento T1 observou-se ainda superioridade sobre o incremento de DAP, área foliar (AF) e biomassa de folhas (BM<sub>F</sub>) (Tabela 4.1). A semelhança entre os tratamentos foi constatada para altura (Alt) e volume de tronco (V<sub>TR</sub>), apresentando ainda diferenciação no tempo.

**Tabela 4.1** Variáveis biométricas do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO: altura (Alt, m), área foliar (AF, m<sup>2</sup>), biomassa de folhas (BM<sub>F</sub>, kg), volume de tronco (V<sub>TR</sub>, m<sup>3</sup>) e diâmetro na altura do peito (DAP, cm).

| Dia    | Alt    | BM <sub>F(1)</sub> | V <sub>TR</sub> | Tratamento | DAP    | AF     | BM <sub>F</sub> |
|--------|--------|--------------------|-----------------|------------|--------|--------|-----------------|
| 1084   | 6,57c  | 5,03c              | 0,036b          | T1         | 12,26a | 53,63a | 6,45a           |
| 1175   | 7,68bc | 6,10bc             | 0,049b          | T2         | 10,43b | 40,71b | 4,85b           |
| 1226   | 8,63ab | 6,79ab             | 0,058ab         |            | -      | -      | -               |
| 1249   | 10,07a | 7,89a              | 0,074a          |            | -      | -      | -               |
| CV (%) | 25,38  | 21,19              | 46,58           |            | 20,12  | 39,01  | 38,70           |

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O crescimento e o desenvolvimento de um organismo, segundo Lucchesi (1984), resultam da ação conjunta de três níveis de controle: intracelular (controle genético), intercelular (envolve substâncias reguladoras) e extracelular (condições do ambiente, envolvendo fatores do meio físico e biológico). Assim, a heterogeneidade nas características biométricas, evidenciada por coeficientes de variação entre 20 e 46%, também é atribuída à possível variação genética, uma vez que as mudas utilizadas no plantio eram seminais. Silva (2010) destaca como principais desvantagens do uso de mudas seminais a produção irregular e a formação de populações heterogêneas. As árvores de *Khaya ivorens* se reproduzem sexuadamente, provavelmente via alogamia que possibilita alta diversidade dentro de populações (heterozigosidade = 0,56) (Soares, 2014), porém menor que outras plantas silvestres como *Pinus taeda* 0,45 (Mercer, 2011), *Tectona grandis* 0,35 (Alcântara, 2009).

O tratamento T2 apresentou área foliar 24,1% menor que o tratamento T1. Na formação da floresta em estudo, aos 120 dias após o plantio o Mogno Africano não irrigado apresentou área foliar 97% menor que o irrigado, chegando a 81,4% após a estação chuvosa, aos 540 dias (Rosa, 2014). Os reflexos da irrigação nos dois anos iniciais continuam evidentes no crescimento/desenvolvimento da área foliar do Mogno Africano aos 1249 dias.

O crescimento superior da parte aérea em T1 está relacionado à melhor oferta de água nos dois primeiros anos da floresta. Em contrapartida, a área foliar reduzida de T2 é tida como um mecanismo de resistência à seca, tomado na formação da floresta, como

uma estratégia para limitar a superfície de transpiração e aumentar a eficiência do uso da água, a fim de garantir a manutenção do status hídrico da planta.

Comparando o estudo realizado por Barbosa (2014), na mesma área experimental, observa-se que a diferença no DAP de T2 e T1 apresenta tendência de redução lenta de 19,6% aos 680 dias após o plantio para 14,9% aos 1249 dias. A irrigação claramente contribui na alteração da arquitetura hidráulica da planta, refletindo em aumento no crescimento em diâmetro e a formação de paredes celulares menos espessas (Nichols & Waring, 1977; Briskin & Murphy, 1970). Ainda que, para a Teca a irrigação não tenha alterado a densidade básica da madeira (Jesus et al., 2014), a diferenciação no porte dos indivíduos *Khaya ivorensis* pode estar atrelada à diferença na densidade da madeira, porém não foi possível fazer essa verificação. Todavia, a influência da irrigação pode ou não ser significativa sobre a qualidade da madeira, até mesmo quando se analisa variedades similares. Benites et al. (2015) constatou que a irrigação reduz a densidade do híbrido de eucalipto ‘grancam’ ao passo que para o híbrido ‘urograndis’ o mesmo não ocorreu. Sabe-se que indivíduos com densidade inferior possuem maiores taxas de crescimento, devido ao baixo custo na sua construção, consequentemente apresentam altas taxas de sequestro de carbono em curto espaço de tempo, aos indivíduos com alta densidade, possuem alto custo na sua construção e consequente menor taxa de crescimento (Larjavaara & Muller-Landau, 2010).

Apesar disso, as taxas de crescimento não diferiram entre os tratamentos (Tabela 4.2), porém também houve variação no tempo para todas elas, sendo que a última taxa de incremento de altura (TAlt), diâmetro na altura do peito (TDAP), área foliar (TAF), biomassa de folhas (TBM<sub>F</sub>) e volume de tronco (V<sub>TR</sub>) diferiu somente da primeira taxa, implicando na homogeneidade no ritmo de crescimento dos tratamentos, apesar das diferenças biométricas.

**Tabela 4.2** Taxa de crescimento do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO: altura (TAlt, cm dia<sup>-1</sup>), diâmetro na altura do peito (TDAP, cm dia<sup>-1</sup>), área foliar (TAF, m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>), biomassa de folhas (TBM<sub>F</sub>, kg dia<sup>-1</sup>), volume de tronco (TV<sub>TR</sub>, cm<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>).

| Intervalo | TAlt  | TDAP  | TAF   | TBM <sub>F</sub> | TV <sub>TR</sub> |
|-----------|-------|-------|-------|------------------|------------------|
| 1175      | 0,01b | 0,01b | 0,08b | 0,011b           | 135,18b          |
| 1226      | 0,02b | 0,01b | 0,10b | 0,012b           | 191,89b          |
| 1249      | 0,06a | 0,03a | 0,30a | 0,036a           | 659,74a          |

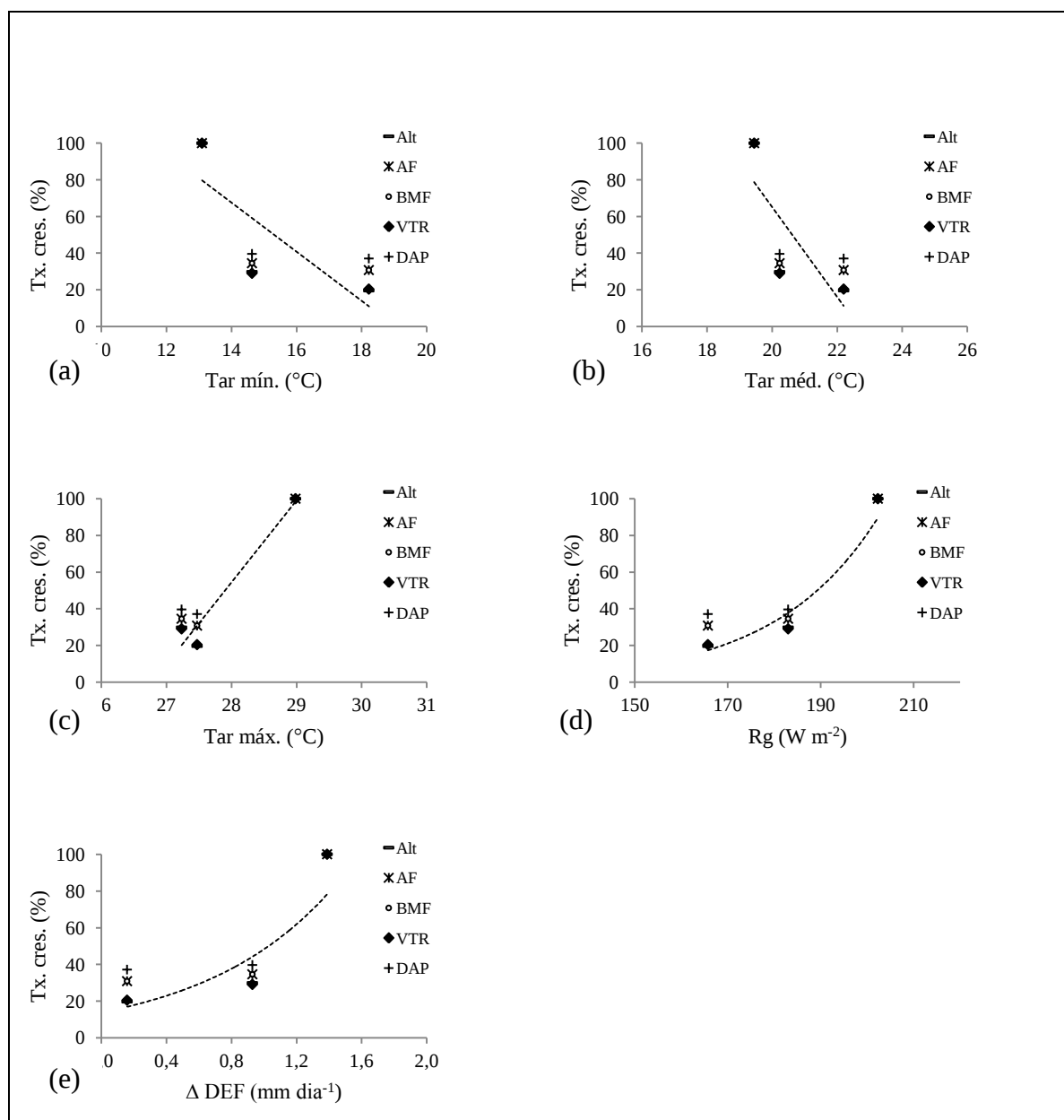
\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No último intervalo de monitoramento (entre julho e agosto) foi constatado maior desenvolvimento de área foliar e surgimento inicial de ramos, interferindo positivamente na taxa de crescimento de forma excepcional. O cenário caracterizou-se pelo aumento no fotoperíodo e na oferta de radiação solar, menor demanda evaporativa registrada após o período de excedente hídrico (abril/2014), ocorrência discreta de precipitação (2,0 mm em julho e 10,0 mm em agosto), e taxa crescente de déficit hídrico. O aumento na taxa de crescimento relacionada à área foliar, diâmetro de caule e número de folhas, neste período também foi relatado em cultivo de Mogno Africano em sequeiro no primeiro ano de implantação, corroborando com a expansão foliar notada no presente estudo, embora sem diferença estatística para área foliar (Rosa, 2014).

Em relação ao potencial produtivo do Mogno Africano, as condições impostas permanecem insuficientes para alterar o desempenho no incremento em volume de tronco. O mesmo foi constatado por Rosa (2014), no qual embora houvesse superioridade visual no crescimento e desenvolvimento de indivíduos sob irrigação, a quantidade de madeira por planta não apresentou diferença, mesmo quando não irrigadas. Acredita-se que se o sistema de irrigação permanecesse em funcionamento, a discrepância entre os tratamentos pudesse ser detectada na fase atual de desenvolvimento da floresta. Gentil (2010) observou que o eucalipto irrigado se mostrou eficiente no uso da água para fixação de carbono e que o seu incremento de biomassa ultrapassou em 60% o incremento de biomassa do eucalipto não irrigado. Fernandes et al. (2012) verificaram a irrigação no eucalipto até os cinco anos de idade favorece o crescimento mais fortemente que a própria adubação, embora ambos influenciem ajam positivamente sobre o crescimento.

A relação de crescimento por unidade de tempo e a temperatura do ar mostra que o crescimento do Mogno Africano é favorecido em situação de maior amplitude

térmica (Figura 4.7 a, b e c). A faixa de temperatura média ótima para o desenvolvimento da espécie é entre 23,5 e 29,5 °C (Rosa, 2014), intervalo este semelhante aos valores médios obtidos no presente estudo. Os efeitos da temperatura na fisiologia das plantas têm consequências para o crescimento, o qual é o resultado do balanço entre a fotossíntese e a respiração. O aumento da temperatura do ar durante o dia, associado ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, influencia na taxa de fotossíntese (Dias, 2009), porém, estimula exponencialmente a fotorrespiração (Saxe et al., 2001). Destaca-se nos períodos de menores taxas de crescimento a ocorrência de temperaturas mínimas mais altas, responsáveis, segundo Severino et al. (2006), por intensificar o metabolismo respiratório durante a noite, o que provoca consumo das reservas acumuladas durante o dia.



**Figura 4.7** Efeito da temperatura do ar (a) mínima, (b) média e (c) máxima, (d) radiação solar global, e (e) variação no déficit de armazenamento de água no solo na taxa crescimento do Mogno Africano a partir dos 1084 dias de idade, cultivado em Bonfinópolis-GO. A escala das taxas foi ajustada em porcentagem, tendo a maior taxa obtida no período de avaliação de cada indicador de crescimento fixada em 100%.

O crescimento também está relacionado à oferta de radiação líquida (Figura 4.7 d). A radiação líquida é a principal fonte de energia para o processo de fotossíntese, evapotranspiração e aquecimento (Pereira et al., 2002) e a ocorrência de vegetação na entrelinha no período chuvoso pode ter promovido a concorrência por água e energia com a cultura principal.

O déficit no armazenamento de água (48,4 mm em agosto) não foi suficiente para limitar o crescimento do Mogno Africano aos três anos de idade (Figura 4.7 e), provavelmente em razão da subestimativa da capacidade de armazenamento disponível (CAD) para a fase de desenvolvimento dos indivíduos. Segundo Taiz & Zeiger (2004) a parte aérea cresce até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante. A oscilação do conteúdo de água geralmente ocorre em maior intensidade nas camadas superficiais, sobretudo quando o solo se encontra vegetado, em razão da evapotranspiração. No primeiro ano de implantação, as taxas de incremento de altura dos indivíduos em sequeiro responderam mais sensivelmente ao padrão de ocorrência das chuvas (Barbosa, 2014), entretanto, com o decorrer do seu desenvolvimento, o Mogno Africano demonstra sofrer menor influência imediata da água no solo em seu crescimento, indicando o aprofundamento do sistema radicular. O sistema radicular do Nim indiano (*Meliaceae*) adulto, por exemplo, pode apresentar 15 metros de profundidade (Neves et al., 2003), assim como observado em espécies florestais tropicais perenes, com profundidades entre 6,5 m a nível global (Canadell et al., 1996) e 18 m a nível de Brasil (Nepstad et al., 1994).

A sensibilidade do crescimento do Mogno Africano frente à precipitação corrobora com Morellato (1991), que atribui a maior influência nos padrões fenológicos das espécies tropicais à precipitação, principalmente em situações de sazonalidade evidente na precipitação anual. A forte resposta ao estímulo da radiação neste caso proporcionou a expansão foliar e o aumento no incremento em altura, provavelmente em razão do consequente acréscimo no fluxo de fótons fotossintéticos. De fato, em ambientes tropicais, a sustentabilidade da produção florestal é governada, principalmente, pelos fluxos de água e nutrientes no solo, uma vez que, geralmente, temperatura e radiação solar não são limitantes (Barros & Comerford, 2002), entretanto a luminosidade é tida como um dos principais fatores ambientais que determinam a produtividade das plantas, em razão da sua influência sobre a fotossíntese, exercendo em alguns casos maior influência que a precipitação (Graham et al., 2003; Huete et al., 2006).

O crescimento do DAP se apresentou similar ao comportamento da Andiroba (*Carapa guianensis*), na qual a redução na oferta de água na estação seca, na região da Amazônia Central, foi compensada pelo aumento na irradiância, proporcionando uma mesma taxa de crescimento do DAP ao longo do ano (Camargo & Marengo, 2012). A diferença nos regimes pluviométricos na região do presente estudo e na região observada por Camargo & Marengo (2012) indica que os indivíduos *Khaya ivorensis* possam ter

acesso à água mesmo na estação seca, condicionando-os a continuar o crescimento sem demonstrar prejuízos, e/ou desenvolveram mecanismos de resistência ao déficit hídrico.

O Mogno Africano, nos tratamentos T1 e T2, respectivamente, transpirou entre 18-32 e 5-37% da evapotranspiração potencial mensal, com média de 24 e 16% ao longo do período de avaliação. Esta razão foi superior ao observado em acácia negra (*R.pseudocacia*) de 10-16% (Zhang et al., 2015), e inferior ao observado em *M. polymorpha* de 79-89% (Santiago et al., 2000), e está condicionada à extensão da área foliar.

Segundo Vieira (2004) o porte das árvores influencia sobre o processo transpiratório. Árvores de maior diâmetro têm alta capacidade de armazenamento de água, mas também podem experimentar transpiração mais intensa nos horários mais quentes do dia, assumindo que as árvores de maiores diâmetros apresentam também maior altura e, portanto, são mais expostas às mudanças que ocorrem no dossel da floresta (por exemplo, o vento); inclusive na época seca.

A área foliar justifica o maior consumo de água pelas árvores do T1, uma vez que a energia disponível para a mudança de fase da água no processo transpiratório depende da extinção da radiação solar pelo dossel vegetativo (Reis et al., 2014) (Tabela 4.3). Entretanto, quando se considera transpiração por unidade de área foliar ( $L\ m^{-2}$  de folha), na maior parte do tempo não houver diferenças, exceto em julho e agosto de 2015, nos quais T2 se mostrou superior.

**Tabela 4.3** Transpiração mensal do Mogno Africano a partir de 2,5 anos de idade, cultivado em Bonfinópolis – GO, por unidade de área foliar ( $L\ m^{-2}$ ) e unidade de área vegetada (mm) – e seus respectivos desvios padrão. Sendo os tratamentos: T1 – irrigado até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigado.

| Ano  | Mês | T1            |        |        |        | T2            |        |        |        |
|------|-----|---------------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|
|      |     | $L\ m^{-2}$ * | Desvio | mm**   | Desvio | $L\ m^{-2}$ * | Desvio | mm**   | Desvio |
| 2014 | out | 33,0 A        | 21,0   | 32,5 A | 18,8   | 15,4 A        | 5,4    | 9,0 B  | 7,4    |
|      | nov | 24,3 A        | 10,0   | 27,3 A | 10,9   | 18,2 A        | 12,8   | 13,7 A | 12,1   |
|      | dez | 19,4 A        | 7,4    | 22,7 A | 9,5    | 14,0 A        | 9,2    | 10,0 B | 4,8    |
| 2015 | jan | -             | -      | -      | -      | -             | -      | -      | -      |
|      | fev | 13,3 A        | 4,1    | 21,5 A | 6,2    | 12,5 A        | 6,6    | 12,0 B | 7,3    |
|      | mar | 12,5 A        | 3,5    | 21,3 A | 5,9    | 13,7 A        | 5,1    | 14,7 A | 9,4    |
|      | abr | 10,2 A        | 5,4    | 17,2 A | 8,1    | 11,8 A        | 4,3    | 16,0 A | 11,4   |
|      | mai | -             | -      | -      | -      | -             | -      | -      | -      |
|      | jun | -             | -      | -      | -      | -             | -      | -      | -      |
|      | jul | 11,0 B        | 1,9    | 26,0 A | 5,2    | 20,5 A        | 6,7    | 29,9 A | 17,2   |
|      | ago | 9,7 B         | 1,2    | 26,8 A | 3,7    | 16,8 A        | 2,3    | 24,6 A | 16,7   |
|      | set | 12,8 A        | 4,2    | 33,9 A | 8,8    | 10,5 A        | 5,2    | 27,9 A | 15,5   |
|      | out | 11,7 A        | 2,5    | 35,1 A | 7,3    | 8,6 A         | 1,8    | 21,3 B | 9,1    |

\* Valores acompanhados da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

\*\* Valores acompanhados da mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ).

A partir de março/2015 T2 mostrou aumento gradual da transpiração, superando T1 significativamente em julho e agosto/2015. Estes dois meses caracterizaram-se pelo acúmulo de déficit hídrico (33,6-48,4 mm) e pela baixa demanda evaporativa (ETR/ETC entre 0,49 e 0,56). Neste período, a transpiração de T1 foi inversamente proporcional ao  $DPV_{diurno}$ , respondendo numa taxa bem pequena ao estímulo da radiação solar, sem apresentar relações significativas com a evapotranspiração e temperatura média do ar (Tabela 4.4 e Tabela 4.5). T2, por sua vez, se mostrou independente às variáveis meteorológicas neste período, porém manteve a transpiração em taxa elevada.

**Tabela 4.4** Valores médios de DVP diurno (kPa) e temperatura média do ar (°C), e indicadores da regressão linear com a transpiração diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (estatística p ( $\alpha = 5\%$ ), coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson).

| Ano  | Mês | DPV diurno |                       |                |            | Temperatura do ar |                       |                |            |
|------|-----|------------|-----------------------|----------------|------------|-------------------|-----------------------|----------------|------------|
|      |     | Média      | p-valor               | R <sup>2</sup> | C. Pearson | Média             | p-valor               | R <sup>2</sup> | C. Pearson |
| 2014 | out | 2,1        | 6,8E-07*              | 0,65           | 0,81       | 24,9              | 1,5E-03*              | 0,35           | 0,59       |
|      | nov | 0,9        | 2,5E-04*              | 0,41           | 0,57       | 23,0              | 1,9E-02*              | 0,19           | 0,36       |
|      | dez | 0,8        | 1,7E-06*              | 0,64           | 0,80       | 22,5              | 2,4E-07*              | 0,69           | 0,83       |
| 2015 | jan | -          | -                     | -              | -          | -                 | -                     | -              | -          |
|      | fev | 0,9        | 8,7E-01 <sup>ns</sup> | 0,00           | 0,01       | 23,0              | 2,7E-01 <sup>ns</sup> | 0,07           | 0,22       |
|      | mar | 0,6        | 3,1E-03*              | 0,39           | 0,53       | 23,1              | 1,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,12           | 0,23       |
|      | abr | 0,8        | 2,9E-01*              | 0,14           | 0,37       | 22,5              | 6,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,03           | 0,17       |
|      | mai | -          | -                     | -              | -          | -                 | -                     | -              | -          |
|      | jun | -          | -                     | -              | -          | -                 | -                     | -              | -          |
|      | jul | 1,5        | -                     | -              | -          | 19,8              | -                     | -              | -          |
|      | T1  | -          | 8,1E-03*              | 0,52           | -0,72      | -                 | 8,5E-01 <sup>ns</sup> | 0,00           | -0,06      |
|      | T2  | -          | 8,1E-01 <sup>ns</sup> | 0,01           | -0,08      | -                 | 3,6E-01 <sup>ns</sup> | 0,09           | -0,29      |
|      | ago | 2,2        | -                     | -              | -          | 21,7              | -                     | -              | -          |
|      | T1  | -          | 5,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,02           | 0,04       | -                 | 7,7E-02 <sup>ns</sup> | 0,18           | -0,39      |
|      | T2  | -          | 2,2E-01 <sup>ns</sup> | 0,61           | -0,78      | -                 | 1,9E-01 <sup>ns</sup> | 0,66           | -0,81      |
|      | set | 2,4        | 1,4E-05*              | 0,64           | 0,79       | 24,8              | 1,7E-03*              | 0,41           | 0,44       |
|      | out | 2,4        | 7,4E-01 <sup>ns</sup> | 0,01           | -0,11      | 25,9              | 5,6E-01 <sup>ns</sup> | 0,03           | -0,18      |

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro.

**Tabela 4.5** Valores médios de Evapotranspiração de referência (mm) e Radiação global ( $\text{W m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), e indicadores da regressão linear com a transpiração diária do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade (estatística p ( $\alpha = 5\%$ ), coeficiente de determinação e coeficiente de correlação de Pearson).

| Ano  | Mês | ET o  |                       |                |            | Radiação global |                       |                |            |
|------|-----|-------|-----------------------|----------------|------------|-----------------|-----------------------|----------------|------------|
|      |     | Média | p-valor               | R <sup>2</sup> | C. Pearson | Média           | p-valor               | R <sup>2</sup> | C. Pearson |
| 2014 | out | 5,4   | 5,6E-04 *             | 0,40           | 0,63       | 258,0           | 3,9E-04 *             | 0,70           | 0,72       |
|      | nov | 3,8   | 3,9E-01 <sup>ns</sup> | 0,03           | 0,12       | 206,0           | 5,0E-02 *             | 0,77           | 0,88       |
|      | dez | 3,4   | 1,2E-07 *             | 0,71           | 0,84       | 216,6           | 3,4E-05 *             | 0,80           | 0,90       |
| 2015 | jan | -     | -                     | -              | -          | -               | -                     | -              | -          |
|      | fev | 2,8   | 1,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,12           | 0,32       | -               | -                     | -              | -          |
|      | mar | 3,0   | 1,1E-01 <sup>ns</sup> | 0,14           | 0,26       | 154,6           | 3,8E-03 *             | 0,90           | 0,66       |
|      | abr | 2,8   | 9,8E-01 <sup>ns</sup> | 0,00           | -0,01      | 177,7           | 3,8E-01 <sup>ns</sup> | 0,19           | -0,44      |
|      | mai | -     | -                     | -              | -          | -               | -                     | -              | -          |
|      | jun | -     | -                     | -              | -          | -               | -                     | -              | -          |
|      | jul | 2,5   | -                     | -              | -          | 294,8           | -                     | -              | -          |
|      | T1  | -     | 7,0E-01 <sup>ns</sup> | 0,02           | -0,13      | -               | 6,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,02           | -0,16      |
|      | T2  | -     | 5,9E-01 <sup>ns</sup> | 0,03           | -0,17      | -               | 7,1E-01 <sup>ns</sup> | 0,01           | 0,12       |
|      | ago | 3,0   | -                     | -              | -          | 202,3           | -                     | -              | -          |
|      | T1  | -     | 5,7E-01 <sup>ns</sup> | 0,02           | 0,17       | -               | 3,7E-04 *             | 0,85           | 0,86       |
|      | T2  | -     | 8,1E-01 <sup>ns</sup> | 0,04           | 0,19       | -               | -                     | -              | -          |
|      | set | 3,6   | 2,0E-07 *             | 0,77           | 0,91       | 211,2           | 4,2E-06 *             | 0,68           | 0,88       |
|      | out | 4,0   | 4,8E-01 <sup>ns</sup> | 0,05           | -0,22      | 259,5           | 2,3E-01 <sup>ns</sup> | 0,13           | -0,36      |

\* Significativo a 5% de probabilidade de erro.

As diferenças nos meses de julho e agosto de 2015 apontam a menor área foliar como mecanismo de garantia da transpiração em níveis elevados de T2, sobretudo em condição de déficit hídrico acentuado. De fato, a transpiração de T2 nestes meses foi equivalente ao observado entre outubro e dezembro de 2014, onde foi registrado déficit hídrico máximo acumulado (seis meses de déficit – 124,7 mm).

Em contrapartida, T1 apresentou dificuldade na recuperação da taxa transpiratória em período de déficit, visto na resposta negativa da transpiração ao DPV diurno, sendo a recuperação observada somente em setembro, após a ocorrência de precipitação (35 mm). Evidentemente, em valores absolutos (mm), T1 e T2 tenham perdido volume de água igual durante os meses de déficit (Tabela 4.3), sugerindo que ambos aproveitaram a água contida no solo na mesma proporção para atender à demanda

atmosférica. A similaridade nas propriedades hidráulicas nos tratamentos foi constatada pela semelhança na razão AF/AS (área foliar/área de condução de seiva) constante ao longo do tempo, igual a  $1,50 \text{ m}^2 \text{ cm}^{-2}$ , descartando a possibilidade de ocorrência de modificação nas resistências internas ao movimento da água. A relação AF/AS descreve, segundo Meinzer et al. (1997), a capacidade relativa de transporte de água em relação à demanda transpiratória.

Todavia, a maior área foliar em T1 promoveu maior fluxo transpiratório e consequente adiantamento da condição de déficit hídrico devido ao esgotamento da água do solo. A combinação da alta demanda evaporativa da atmosfera e a alta taxa de transpiração requer maior fluxo de água no solo, caso contrário ocorre limitação do fluxo transpiratório. Sob condições de déficit hídrico, as plantas realizam o fechamento estomático como forma de evitar a perda excessiva de água e de sua turgescência (Albuquerque et al., 2013). Costa et al. (2015) notaram redução na transpiração em plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) de 92%, em consequência do ajuste estomático sob condição de déficit hídrico acentuado.

Considerando os meses em que não houve diferença na transpiração entre os tratamentos (out, nov e dez/2014; fev, mar, abr, set e out/2015) a transpiração variou em média  $0,09\text{-}1,38 \text{ L m}^{-2}$  de folha  $\text{dia}^{-1}$ , numa faixa de ocorrência menos ampla do que observado em cultivos irrigados com variedades de manga ( $0,36$  a  $3,00$ ) (Oliveira et al., 2009) e mamão ( $0,26$  a  $3,06$ ) (Coelho Filho et al., 2003), e maior que o observado em lima ácida Tahiti ( $0,4\text{-}1,1$ ) (Delgado-Rojas, 2003) e macieira ( $0,78\text{-}1,78$ ) (Pereira et al., 2011).

Em relação a outras espécies lenhosas a campo, o Mogno Africano transpirou  $0,27\text{-}1,07 \text{ mm dia}^{-1}$  dentro da faixa observada em *M. polymorpha*  $0,17\text{-}1,17 \text{ mm dia}^{-1}$  (Santiago et al., 2000), *Acer sacharum* Marsh  $0,6 \text{ mm dia}^{-1}$  e *Abies balsamea*  $0,9 \text{ mm dia}^{-1}$  (Ewers et al., 2002), *Pinus silvestris*  $0,69\text{-}2,62$  (Tang et al., 2015). A transpiração do Mogno Africano, entretanto, foi inferior ao observado em nim indiano ( $0,5\text{-}4,5 \text{ L m}^{-2}$  de folha) cultivado em condição de umidade do solo na capacidade de campo (Seixas, 2009), e em eucalipto não irrigado ( $4,4\text{-}8,7 \text{ mm dia}^{-1}$ ) (Gentil, 2010).

Estudos com diversas outras espécies lenhosas, a transpiração de indivíduos manteve-se limitada pelo déficit de pressão de vapor e pela água disponível, por meio do ajuste estomático (Ewers et al., 2002; David et al., 2002; Vellame, 2010; Zhang et al., 2015). A explicação para este comportamento está na necessidade de manutenção do status hídrico da planta e adequação ao fluxo de água no solo (Pataki et al., 2000). Oren et al.

(1996) observaram que a taxa transpiratória diária sob o efeito do DPV é maior em períodos pós ocorrência de precipitação, enquanto que nos dias secos esta taxa é reduzida. Isso ocorre devido à recarga instantânea do solo após a precipitação.

O aumento na resistência estomática devido ao aumento no déficit de saturação de vapor do ar provavelmente não foi suficiente para reduzir a transpiração (Tabela 4.4 e Tabela 4.5), apontando condições não limitantes de água no solo, conforme observado para citrus (Hall et al., 1975; Meyer & Green, 1981) e macadâmia (Lloyd, 1991). Nos meses os quais não foram observadas diferenças, as árvores responderam mais ao  $DPV_{diurno}$  e à  $R_g$ , enquanto que a resposta direta à  $ETo$  ocorreu nos meses com relação  $ETR/ETC$  abaixo de 1,0. As temperaturas média e máxima do ar também causaram efeitos positivos no processo nesse período.

O déficit de pressão de vapor afeta diretamente na transpiração diária porque a diferença entre a pressão de vapor na câmara estomática e o ar adjacente à folha é o fator determinante para a perda de água em forma de vapor para o ambiente. Zhang et al. (2015) observaram que em escala diária e mensal,  $DPV_{diurno}$  e  $R_g$  afetam diretamente a transpiração de espécies florestais, entretanto, quando se analisa em escala sazonal a influência destes fatores climáticos torna-se limitada, passando a ser regida por fatores fenológicos e ambientais.

Para Zhang et al. (2015), a relação da transpiração com o conteúdo de água no solo é mais facilmente observado em escala interanual, devido principalmente ao fato da recarga realizada via precipitação no decorrer dos anos anteriores ser responsável pela condição hídrica do solo atual. A nebulosidade, frequente em dias chuvosos, contudo, explica a limitação da transpiração observada no período de maior disponibilidade de água no solo (fevereiro a abril). Salati (1987) afirma que a nebulosidade acarreta menor irradiância acumulada no dia, e esta pode limitar a fotossíntese, e processos simultâneos a ela, nas folhas que geralmente são expostas diretamente à radiação solar.

A velocidade do vento não apresentou efeito direto sobre o processo transpiratório na escala diária, porém apresentou uma tendência positiva em alguns períodos. Conforme a Escala de Beaufort, os ventos diurnos registrados estiveram entre zero e  $2,9 \text{ m s}^{-1}$ , classificados como “calmo” e “brisa leve”, respectivamente. Dessa forma o perfil da velocidade do vento na região não atinge valores médios o suficiente para que se pudesse notar alguma resposta nos processos fisiológicos do Mogno Africano avaliados no presente estudo. A ação do vento de fato interfere diretamente na taxa de transpiração

por meio da remoção do vapor d'água próximo às folhas (Pereira et al., 2002), todavia o seu excesso aumenta proporcionalmente a transpiração ao ponto de induzir o fechamento estomático (Taiz & Zeiger, 2004; Ataíde et al., 2015).

Numa avaliação integrada dos resultados obtidos no presente estudo, o desenvolvimento da floresta conduzida com irrigação nos dois anos iniciais e sem irrigação a partir do segundo ano não foi suficiente para garantir melhor produtividade ao Mogno Africano, embora tenha sido observada maior área foliar e DAP no tratamento T1 e a eventual transpiração superior no tratamento T2 ( $\text{L m}^{-2}$ ). Ainda, as diferentes respostas da transpiração dos tratamentos perante os estímulos do meio (armazenamento de água no solo e condições climáticas) são bem melhor explicadas pela influência da área foliar no processo transpiratório do que pelos dois regimes hídricos considerados.

A evolução no crescimento em volume de tronco ( $V_{\text{TR}} - \text{m}^3$ ) combinado ao consumo hídrico absoluto (mm), semelhante em ambos os tratamentos no intervalo entre fevereiro e agosto de 2015, corresponderam à eficiência no uso da água de aproximadamente  $2,33 \text{ dm}^{-3} \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$  (volume de tronco produzido por volume de água transpirada), semelhante ao observado em indivíduos de *Acacia mangium* ( $2,3 \text{ dm}^{-3} \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ ) e inferior ao *Eucalyptus grandis* ( $4,3 \text{ dm}^{-3} \text{ m}^{-3} \text{ H}_2\text{O}$ ), ambos com idade entre 2,8 e 3,8 anos (Deus Junior, 2014).

#### 4.4 CONCLUSÃO

O plantio de Mogno Africano sem irrigação promove maior heterogeneidade do dossel e menores indicadores de crescimento. Apesar disso, a altura e o volume de madeira produzida, nas condições de não irrigado e irrigado até os dois anos de idade, avaliada entre 2,5 e 3,5 anos de idade não é prejudicado pela ausência de irrigação.

A transpiração do Mogno Africano responde aos estímulos da radiação solar global, do déficit de pressão de vapor diurno, da evapotranspiração e da temperatura média do ar.

Considerando os meses em que não houve diferença na transpiração entre os tratamentos em campo (out, nov e dez/2014; fev, mar, abr, set e out/2015) a transpiração variou em média  $0,09\text{-}1,38 \text{ L m}^{-2}$  de folha  $\text{dia}^{-1}$ , ou  $0,27\text{-}1,07 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Em valores absolutos, o Mogno Africano cultivado sem irrigação consome menos água em seus processos fisiológicos em decorrência da menor área foliar, entretanto a transpiração por unidade de área foliar é proporcional em ambos os sistemas avaliados, na maior parte do tempo.

A menor área foliar garante menor perda de água pelo Mogno Africano em situação de déficit no armazenamento de água no solo, enquanto que a maior área foliar promove maior transpiração e esgotamento da água do solo com mais rapidez, levando ao déficit hídrico mais rapidamente.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de Mogno-Africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

ALCÂNTARA, B. K. **Caracterização da diversidade genética de Teca (*Tectona grandis*) de diferentes procedências usando marcadores microssatélites**. 2009. 92 fl. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. In: United Nations FAO, **Irrigation and Drainage Paper 56**, FAO, 1998.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, n. 6, p. 899-920, 2011.

ATAÍDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; CORREIA, A. C. G.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; ROSADO, A. M. Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-536, 2015.

BARBOSA, L. H. A. **Irrigação na cultura do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) na região do Cerrado**. 2014. 70 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. Ed. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Folhas de Viçosa, v. 2, p. 487-592, 2002.

- BENITES, P. K. R. M.; LOPES, A. S. L.; LEITE, N. L. A.; GOUVÊA, A. F. G.; SILVA, F. C. Efeito da irrigação e fertirrigação na densidade básica em híbridos de eucalipto. In: Simpósio Brasileiro Florestal, 2, e Simpósio Florestal Sul-Mato-Grossense, 3, **Anais...** Aquidauana, 2015.
- BRISKIN, R. L.; MURPHEY, W. K. Influence of sewage effluent irrigation on physical and mechanical properties of plantation-grown red pine. **Research Briefs**, Washington, v. 1, 772 p., p. 1-3, 1970.
- CALDER, I. A. **Evaporation in the uplands**. Chichester: John Wiley and Sons, 166 p., 1990.
- CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Growth, leaf and stomatal traits of crabwood (*Carapa guianensis* Aubl.) in central Amazonia. **Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 7-16, 2012.
- CANADELL, J. JACKSON, R. B.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A.; SALA, O. E.; SCHULZE, E. D. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. **Oecologia**, Berlin, v. 108, n. 4, p. 583-595, 1996.
- CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; ANDRADE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Oxford, v. 19, n. 10, p. 681-687, 1999.
- COELHO FILHO, M. A.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Transpiração máxima de plantas de mamão (*Carica papaya* L.) em pomar fertirrigado, nas condições de Cruz das Almas BA. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 13, Juazeiro, **Anais...** Viçosa: ABID, 2003. CD-ROM.
- COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.
- DAVID, T. S.; FERREIRA, I.; PEREIRA, J. S.; COHEN, S.; DAVID, J. S. Transpiração em árvores isoladas de um montado de azinho. Evolução sazonal e condicionantes hidráulicas. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, n. 2, p. 133-149, 2002.
- DELGADO-ROJAS, J. S.; **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. 2003, 110 fl. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- DEUS JUNIOR, J. C. **Transpiração e eficiência de uso da água em plantios puros e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2014. 69 fl. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Botucatu, 2014.
- DIAS, D. P. **Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia**

**Central**. 2009, 123 fl. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Manaus, 2009.

EWERS, B. E.; MACKAY, D. S.; GOWER, S. T.; AHL, D. E.; BURROWS, S. N.; SAMANTA, S. S. Tree species effects on stand transpiration in northern Wisconsin. **Water Resources Research**, Washington v. 38, n. 7, p. 8-1 8-11, 2002.

FERNANDES, A. L. T.; FLORÊNCIO, T. M.; FARIA, M. F. Análise biométrica de florestas irrigadas de eucalipto nos cinco anos iniciais de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 505-513, 2012.

GENTIL, M. S. **Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de *Eucalyptus* aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia**. 2010. 71 fl. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

GRAHAM, E. A.; MULKEY, S. S.; KITAJIMA, K.; PHILLIPS, N. G.; WRIGHT, S. J. Cloud cover limits net CO<sub>2</sub> uptake and growth of a rainforest tree during tropical rainy seasons. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 100, n. 2, p. 572-576, 2003.

GRANIER, A. Mesure du flux de seve brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle method thermique. **Annals of Science Forestry**, Paris, v. 44, n.1, p. 1-14, 1987.

HALL, A. E.; CAMACHO-B, S. E.; KAUFMANN, M. R. Regulation of water loss by citrus leaves. **Tree Physiology**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 62-65, 1975.

HERYATI, Y.; BELAWAN, D.; ABDU, A.; MAHAT, M. N.; ABSUL-HAMID, H.; MAJID, N. M.; HASSAN, A.; HERIANSYAH, I. Growth performance and biomass accumulation of a *Khaya ivorensis* plantation in three soil series of ultisols. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, New York, v. 6, n. 1, p. 33-44, 2011.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; SHIMABUKURO, Y.; RATANA, P.; SALESKA, S. R.; HUTYRA, L. R.; YANG, W.; NEMANI, R. R.; MYNENI, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 33, n. 6, p. 1-4, 2006.

JESUS, R. B.; SILVA, J. P. M.; MOREIRA, J. L.; LACERDA, T. H. S.; HEIN, P. R. G. Efeito da irrigação nas características da madeira de *Tectona grandis* cultivada no semi-árido. Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira, 14, **Anais...** Natal 2014.

LARVAJAARA, M.; MULLER-LANDAU, H. C. Rethinking the value of high wood density. **Functional Ecology**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 701-705, 2010.

LLOYD, J. J. Modelling stomatal responses to environment in *Macadamia integrifolia*. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 18, n. 6, p. 649-660, 1991.

LOBATO, E. J. V. **Estação evaporimétrica de Goiânia – Normais climatológicas (1975-2004)**. Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 57 fl., 2005.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 41, n. 1, p.181-202, 1984.

MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida “Tahiti”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 219-228, 2002.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003, 118 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MEINZER, F. C.; ANDRADE, J. L.; GOLDSTEIN, G.; HOLBROOK, N. M.; CAVELIER, J.; JACKSON, P. Control of transpiration from the upper canopy of a tropical forest: the role of stomatal, boundary layer and hydraulic architecture components. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 1242-1252, 1997.

MERCER, J. R. **Estrutura genética de uma população selecionada de *Pinus taeda* Linnaeus**. 2011. 112 fl. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MEYER, W. S.; GREEN, G. C. Comparison of stomatal action of orange, soybean and wheat field contidions. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.8, n. 1, p. 65-76, 1981.

MORELLATO, L. P. C.; **Estudo da fenologia de árvores, arbustos e lianas em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil**. 1991. 176 fl. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

NEVES, B. P.; OLIVEIRA, I. P.; NOGUEIRA, J. C. M. Cultivo e utilização do Nim indiano. **Circular técnica n. 62**, EMBRAPA/CNPAP, Santo Antônio de Goiás, 12 p., 2003.

NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, C. R.; DAVIDSON, E. A.; JIPP, P. H.; LEFBVRE, P. A.; NEGREIROS, G. H.; SILVA, E. D.; STONE, T. A.; TRUMBORE, S. E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, Londres, v. 372, n. 6507, p. 666-669, 1994.

NICHOLS, J. W. P.; WARING, H. D. Tree effect of environmental factors on wood characteristics. **Silvae Genetica**, Berlin, v. 26, n. 2, p. 107-111, 1977.

OLIVEIRA, G. X. S.; COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. C.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; CASTRO NETO, M. T. Relações entre transpiração máxima, evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 20-27, 2009.

OREN, R.; ZIMMERMANN, R.; TERBORGH, J. Transpiration in upper Amazonia floodplain and upland forests in response to drought-breaking rains. **Ecology**, Washington, v. 77, n. 3, p. 968-973, 1996.

PATAKI, D. E.; OREN, R.; SMITH, W. K. Sap flux co-occurring species in a western subalpine forest during seasonal soil drought. **Ecology**, Washington, v. 81, n. 9, p. 2557-2566, 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478p., 2002.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; PIRES, L. F.; ALFARO, A. T. Transpiration of irrigated Apple trees and citrus from water potential gradient approach in the leaf-atmosphere system. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 181-188, 2011.

REIS, M. G.; RIBEIRO, A.; BAESSO, R. C. E.; SOUZA, W. G.; FONSECA, S.; LOOS, R. A. Balanço hídrico de energia para plantios de eucalipto com cobertura parcial do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 117-126, 2014.

ROSA, F. O. **Zoneamento edafoclimático e resposta de plantas jovens de Mogno Africano às condições do Cerrado**. 2014. 85 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2014.

SALATI, E. The Forest and the hydrological cycle. In: DICKINSON, R. E. (Ed). **The geophysics of Amazonia – Vegetation and Climate Interactions**. Nova York: John Wiley and Sons, p. 273-296, 1987.

SANTIAGO, L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; FOWNES, J. H.; MUELLER-DOMBOIS, D. Transpiration and forest structure in relation to soil waterlogging in a Hawaiian montane cloud forest. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n. 10, p. 673-681, 2000.

SAXE, H.; CANNELL, M. G. R.; JOHNSEN, O.; RYAN, M. G.; VOURLITIS, G. Tree and forest functioning in response to global warming. **New Phytologist**, Oxford, v. 149, n. 3, p. 369-399, 2001.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de Nim Indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 71 fl. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2009.

SEVERINO, L. S.; MILANI, M.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; CARDOSO, G. D. Avaliação da produtividade e teor de óleo de dez genótipos de mamoneira cultivados em altitude inferior a 300 metros. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 2, p. 188-194, 2006.

SILVA, M. P. S. **Qualidade das mudas produzidas por miniestaquia e produtividade de minicepas de cedro australiano, manejadas em canaletões e tubetes**. 2010. 49 fl.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Campo dos Goytacazes, 2010.

SOARES, S. D. **Diversidade genética em população de melhoramento de Mogno Africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2014, 69 fl. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás – Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, Goiânia, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3.ed., 2004.

TANG, Y.; JIN, S.; ZHANG, X.; WANG, M.; BUSSO, C. A. Estimating the transpiration on *Pinus sylvestris* trees: from an individual to a stand scale. **Biocell**, Mendonza, v. 39, n. 1, p. 14-23, 2015.

VELLAME, L. M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo**. 2010, 130 fl. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz +Queiroz, Piracicaba, 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

VIEIRA, S.; CAMARGO, P. B.; SELHORTS, D.; SILVA, R.; HUTYRA, L.; CHAMBERS, J. Q.; BROWN, I. F. HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; WOFSEY, S. C.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELL, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forest. **Oecologia**, Berlin, v. 140, n. 3, p. 468-479, 2004.

ZHANG, J. G.; GUAN, J. H.; SHI, W. Y.; YAMANAKA, N. DU, S. Interannual variation in stand transpiration estimated by sap flow measurement in a semi-arid Black Locust plantation, Loess Plateau, China. **Ecohydrology**, v. 8, n. 1, p. 137-147, 2015.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

O modelo exponencial de estimativa do fluxo de seiva proposto por Granier subestima a transpiração do Mogno Africano (*Khaya ivorensis*) em 39,1% em escala diária. O modelo ajustado para o Mogno Africano  $F = 268,25 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot AS$  estima a transpiração diária com 95% de confiança.

A transpiração potencial do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade varia entre 2,1 e 34,8 L dia<sup>-1</sup>, com média de 13,0 L dia<sup>-1</sup>, e responde diretamente à demanda evaporativa da atmosfera.

Em campo, o plantio de Mogno Africano sem irrigação promove maior heterogeneidade do dossel e menores indicadores de crescimento. Apesar disso, a altura e o volume de madeira produzida, nas condições de não irrigado e irrigado até os dois anos de idade, avaliada entre 2,5 e 3,5 anos de idade não é prejudicado pela ausência de irrigação.

A transpiração do Mogno Africano responde aos estímulos da radiação solar global, do déficit de pressão de vapor diurno, da evapotranspiração e da temperatura média do ar. Em valores absolutos, o Mogno Africano cultivado sem irrigação consome menos água em seus processos fisiológicos em decorrência da menor área foliar, entretanto a transpiração por unidade de área foliar é proporcional em ambos os sistemas avaliados, na maior parte do tempo.

Considerando os meses em que não houve diferença na transpiração entre os tratamentos em campo (out, nov e dez/2014; fev, mar, abr, set e out/2015) a transpiração variou em média 0,09-1,38 L m<sup>-2</sup> de folha dia<sup>-1</sup>, ou 0,27-1,07 mm dia<sup>-1</sup>.

A menor área foliar garante menor perda de água pelo Mogno Africano em situação de déficit no armazenamento de água no solo, enquanto que a maior área foliar promove maior transpiração e esgotamento da água do solo com maior rapidez, adiantando a condição de déficit hídrico.

Os resultados obtidos neste trabalho apontam para adaptação satisfatória do Mogno Africano nas condições edafoclimáticas do Centro-oeste brasileiro, evidenciando o potencial produtivo da espécie na produção de madeira.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Transpiração média mensal por unidade de área foliar ( $L\ m^{-2}$ ) do Mogno Africano a partir dos 2,5 anos de idade e variância, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Ano  | Mês | Tratamento T1 |           | Tratamento T2 |           |
|------|-----|---------------|-----------|---------------|-----------|
|      |     | $L\ m^{-2}$   | Variância | $L\ m^{-2}$   | Variância |
| 2014 | out | 33,04 a       | 439,56    | 15,42 a       | 29,33     |
|      | nov | 24,30 a       | 100,43    | 18,20 a       | 162,55    |
|      | dez | 19,44 a       | 54,44     | 14,00 a       | 83,88     |
| 2015 | jan | -             | -         | -             | -         |
|      | fev | 13,33 a       | 16,82     | 12,48 a       | 43,48     |
|      | mar | 12,47 a       | 12,31     | 13,69 a       | 26,17     |
|      | abr | 10,23 a       | 29,25     | 11,82 a       | 18,60     |
|      | mai | -             | -         | -             | -         |
|      | jun | -             | -         | -             | -         |
|      | jul | 11,04 b       | 3,70      | 20,51 a       | 44,99     |
|      | ago | 9,69 b        | 1,51      | 16,83 a       | 5,47      |
|      | set | 12,84 a       | 17,67     | 10,54 a       | 27,30     |
|      | out | 11,71 a       | 6,19      | 8,63 a        | 3,39      |

\* Valores de transpiração ( $L\ m^{-2}$ ) acompanhados da mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $\alpha=5\%$ ).

**Anexo 2.** Transpiração diária (L planta<sup>-1</sup>) do Mogno Africano a partir de 2,5 anos de idade, nos meses de outubro e novembro de 2014, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Mês     | Dia | Transpiração |       | Mês      | Dia | Transpiração |       |
|---------|-----|--------------|-------|----------|-----|--------------|-------|
| Outubro |     | T1           | T2    | Novembro |     | T1           | T2    |
|         | 1   | 20,65        | 6,04  |          | 1   | 18,10        | 6,37  |
|         | 2   | 32,08        | 15,71 |          | 2   | 17,03        | 10,45 |
|         | 3   | 35,75        | 21,38 |          | 3   | 13,49        | 8,63  |
|         | 4   | 34,16        | 12,10 |          | 4   | 14,28        | 10,98 |
|         | 5   | 31,98        | 11,21 |          | 5   | 15,92        | 6,82  |
|         | 6   | 33,87        | 13,48 |          | 6   | 20,83        | 12,40 |
|         | 7   | 36,54        | 11,55 |          | 7   | 23,81        | 12,87 |
|         | 8   | 34,86        | 11,07 |          | 8   | 18,84        | 10,33 |
|         | 9   | 31,35        | 9,79  |          | 9   | 24,89        | 13,22 |
|         | 10  | 36,85        | 12,03 |          | 10  | 16,96        | 10,06 |
|         | 11  | 35,30        | 11,85 |          | 11  | 24,54        | 14,02 |
|         | 12  | 37,15        | 12,21 |          | 12  | 14,54        | 10,83 |
|         | 13  | 34,41        | 16,50 |          | 13  | 18,94        | 8,44  |
|         | 14  | 36,69        | 13,24 |          | 14  | 17,60        | 11,65 |
|         | 15  | 39,58        | 13,30 |          | 15  | 27,53        | 15,16 |
|         | 16  | -            | -     |          | 16  | 35,75        | 20,40 |
|         | 17  | -            | -     |          | 17  | 38,75        | 22,86 |
|         | 18  | -            | -     |          | 18  | 31,46        | 21,09 |
|         | 19  | -            | -     |          | 19  | 25,57        | 18,13 |
|         | 20  | -            | -     |          | 20  | -            | -     |
|         | 21  | 18,52        | 3,83  |          | 21  | 33,94        | 11,80 |
|         | 22  | 18,94        | 3,78  |          | 22  | 13,49        | 5,80  |
|         | 23  | 8,26         | 3,11  |          | 23  | 12,83        | 6,22  |
|         | 24  | 15,83        | 3,25  |          | 24  | 24,87        | 9,30  |
|         | 25  | 5,45         | 2,82  |          | 25  | 17,64        | 7,45  |
|         | 26  | 10,88        | 2,91  |          | 26  | -            | -     |
|         | 27  | 18,01        | 3,71  |          | 27  | 29,60        | 9,37  |
|         | 28  | 29,06        | 4,22  |          | 28  | 38,65        | 8,85  |
|         | 29  | 18,26        | 3,27  |          | 29  | 37,61        | 9,54  |
|         | 30  | 15,71        | 6,75  |          | 30  | 20,90        | 11,48 |
|         | 31  | 17,10        | 4,88  |          | -   | -            | -     |

**Anexo 3.** Transpiração diária ( $L\ planta^{-1}$ ) do Mogno Africano a partir dos 20 meses de idade, nos meses de dezembro de 2014, janeiro e fevereiro de 2015, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Mês      | Data | Transpiração |       | Mês       | Data | Transpiração |       |
|----------|------|--------------|-------|-----------|------|--------------|-------|
| Dezembro |      | T1           | T2    | Janeiro   |      | T1           | T2    |
|          | 1    | 19,76        | 2,26  |           | 30   | 29,02        | 16,27 |
|          | 2    | 16,56        | 8,18  |           | 31   | 26,20        | 14,03 |
|          | 3    | 17,36        | 8,14  | Fevereiro |      |              |       |
|          | 4    | 23,46        | 7,27  |           | 1    | -            | -     |
|          | 5    | 14,55        | 6,06  |           | 2    | -            | -     |
|          | 6    | 18,33        | 6,22  |           | 3    | 22,14        | 10,50 |
|          | 7    | 11,15        | 4,61  |           | 4    | 19,32        | 7,95  |
|          | 8    | 8,37         | 3,63  |           | 5    | 19,73        | 8,92  |
|          | 9    | 7,19         | 8,80  |           | 6    | 16,52        | 5,18  |
|          | 10   | 19,95        | 10,37 |           | 7    | 7,80         | 5,87  |
|          | 11   | 10,28        | 5,62  |           | 8    | -            | -     |
|          | 12   | 20,36        | 6,05  |           | 9    | -            | -     |
|          | 13   | 19,65        | 3,75  |           | 10   | 17,02        | 8,43  |
|          | 14   | 18,16        | 5,45  |           | 11   | 16,96        | 8,94  |
|          | 15   | -            | -     |           | 12   | 33,12        | 13,75 |
|          | 16   | 24,98        | 7,21  |           | 13   | -            | -     |
|          | 17   | 19,72        | 5,56  |           | 14   | -            | -     |
|          | 18   | 21,51        | 6,42  |           | 15   | -            | -     |
|          | 19   | 19,05        | 11,37 |           | 16   | -            | -     |
|          | 20   | 23,24        | 6,47  |           | 17   | 18,68        | 8,05  |
|          | 21   | 15,39        | 4,86  |           | 18   | 14,86        | 11,67 |
|          | 22   | 20,48        | 6,50  |           | 19   | 9,02         | 5,42  |
|          | 23   | 13,42        | 5,84  |           | 20   | 14,62        | 7,89  |
|          | 24   | 21,69        | 12,51 |           | 21   | 20,71        | 11,83 |
|          | 25   | -            | -     |           | 22   | -            | -     |
|          | 26   | -            | -     |           | 23   | -            | -     |
|          | 27   | -            | -     |           | 24   | 21,55        | 14,02 |
|          | 28   | -            | -     |           | 25   | 26,27        | 15,54 |
|          | 29   | 30,58        | 10,18 |           | 26   | 21,03        | 12,88 |
|          | 30   | 22,75        | 10,97 |           | 27   | 18,64        | 11,56 |
|          | 31   | -            | -     |           | 28   | 18,16        | 12,75 |

**Anexo 4.** Transpiração diária ( $L\ planta^{-1}$ ) do Mogno Africano a partir dos 23 meses de idade, nos meses de março e abril de 2015, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Mês   | Data | Transpiração |       | Mês   | Data | Transpiração |       |
|-------|------|--------------|-------|-------|------|--------------|-------|
| Março |      | T1           | T2    | Abril |      | T1           | T2    |
|       | 1    | -            | -     |       | 1    | 16,65        | 16,09 |
|       | 2    | -            | -     |       | 2    | 18,01        | 16,04 |
|       | 3    | -            | -     |       | 3    | 13,70        | 12,58 |
|       | 4    | 10,17        | 7,13  |       | 4    | 11,58        | 10,02 |
|       | 5    | 12,99        | 10,12 |       | 5    | -            | -     |
|       | 6    | 18,11        | 10,45 |       | 6    | -            | -     |
|       | 7    | 20,61        | 12,71 |       | 7    | 10,61        | 10,70 |
|       | 8    | -            | -     |       | 8    | 7,39         | 11,39 |
|       | 9    | -            | -     |       | 9    | 6,84         | 12,21 |
|       | 10   | 14,83        | 13,40 |       | 10   | 8,16         | 14,95 |
|       | 11   | 21,31        | 19,72 |       | 11   | 10,03        | 15,08 |
|       | 12   | 24,36        | 13,29 |       | 12   | -            | -     |
|       | 13   | 17,77        | 10,86 |       | 13   | -            | -     |
|       | 14   | 13,12        | 7,99  |       | 14   | 9,56         | 14,35 |
|       | 15   | -            | -     |       | 15   | -            | -     |
|       | 16   | -            | -     |       | 16   | -            | -     |
|       | 17   | 20,03        | 16,07 |       | 17   | -            | -     |
|       | 18   | 5,10         | 5,92  |       | 18   | -            | -     |
|       | 19   | 9,40         | 9,37  |       | 19   | -            | -     |
|       | 20   | 19,26        | 16,92 |       | 20   | -            | -     |
|       | 21   | 17,86        | 18,56 |       | 21   | -            | -     |
|       | 22   | -            | -     |       | 22   | -            | -     |
|       | 23   | -            | -     |       | 23   | -            | -     |
|       | 24   | 14,77        | 13,43 |       | 24   | -            | -     |
|       | 25   | 17,07        | 12,96 |       | 25   | -            | -     |
|       | 26   | 14,84        | 13,88 |       | 26   | -            | -     |
|       | 27   | 13,01        | 11,90 |       | 27   | -            | -     |
|       | 28   | 20,51        | 16,10 |       | 28   | -            | -     |
|       | 29   | -            | -     |       | 29   | -            | -     |
|       | 30   | -            | -     |       | 30   | -            | -     |
|       | 31   | 21,68        | 17,12 |       | -    | -            | -     |

**Anexo 5.** Transpiração diária ( $L\ planta^{-1}$ ) do Mogno Africano a partir dos 27 meses de idade, nos meses de julho e agosto de 2015, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Mês   | Data | Transpiração |       | Mês    | Data | Transpiração |       |
|-------|------|--------------|-------|--------|------|--------------|-------|
| Julho |      | T1           | T2    | Agosto |      | T1           | T2    |
|       | 1    | -            | -     |        | 1    | 17,44        | 18,59 |
|       | 2    | -            | -     |        | 2    | -            | -     |
|       | 3    | -            | -     |        | 3    | -            | -     |
|       | 4    | -            | -     |        | 4    | -            | -     |
|       | 5    | -            | -     |        | 5    | -            | -     |
|       | 6    | -            | -     |        | 6    | -            | -     |
|       | 7    | -            | -     |        | 7    | 25,00        | 21,25 |
|       | 8    | -            | -     |        | 8    | 22,57        | 10,93 |
|       | 9    | -            | -     |        | 9    | -            | -     |
|       | 10   | -            | -     |        | 10   | -            | -     |
|       | 11   | -            | -     |        | 11   | 22,05        | 9,30  |
|       | 12   | -            | -     |        | 12   | 19,61        | -     |
|       | 13   | -            | -     |        | 13   | 29,86        | -     |
|       | 14   | -            | -     |        | 14   | 20,80        | -     |
|       | 15   | 22,67        | 15,88 |        | 15   | 20,15        | -     |
|       | 16   | 30,77        | 29,64 |        | 16   | -            | -     |
|       | 17   | 24,28        | 23,65 |        | 17   | -            | -     |
|       | 18   | -            | -     |        | 18   | 22,58        | -     |
|       | 19   | -            | -     |        | 19   | 22,21        | -     |
|       | 20   | -            | -     |        | 20   | 20,82        | -     |
|       | 21   | 19,66        | 24,41 |        | 21   | 20,46        | -     |
|       | 22   | 20,15        | 22,82 |        | 22   | 21,51        | -     |
|       | 23   | 22,68        | 27,52 |        | 23   | -            | -     |
|       | 24   | 21,43        | 26,24 |        | 24   | -            | -     |
|       | 25   | 21,17        | 24,78 |        | 25   | 20,45        | -     |
|       | 26   | -            | -     |        | 26   | 20,69        | -     |
|       | 27   | -            | -     |        | 27   | 21,16        | -     |
|       | 28   | 17,26        | 23,21 |        | 28   | 18,62        | -     |
|       | 29   | 18,13        | 24,38 |        | 29   | 22,83        | -     |
|       | 30   | 16,31        | 23,92 |        | 30   | -            | -     |
|       | 31   | 14,91        | 22,55 |        | 31   | -            | -     |

**Anexo 6.** Transpiração diária ( $L\ planta^{-1}$ ) do Mogno Africano a partir dos 29 meses de idade, nos meses de setembro e outubro de 2015, sendo os tratamentos: T1 – irrigados até o segundo ano de idade; e T2 – não irrigados.

| Mês      | Data | Transpiração |       | Mês     | Data | Transpiração |       |
|----------|------|--------------|-------|---------|------|--------------|-------|
| Setembro |      | T1           | T2    | Outubro |      | T1           | T2    |
|          | 1    | 27,78        | -     | 1       |      | 31,21        | 22,76 |
|          | 2    | 26,95        | -     | 2       |      | -            | -     |
|          | 3    | 29,59        | -     | 3       |      | 24,62        | 14,05 |
|          | 4    | 22,58        | -     | 4       |      | -            | -     |
|          | 5    | 29,15        | -     | 5       |      | -            | -     |
|          | 6    | -            | -     | 6       |      | 28,87        | 22,32 |
|          | 7    | -            | -     | 7       |      | -            | -     |
|          | 8    | 24,88        | -     | 8       |      | -            | -     |
|          | 9    | 7,38         | -     | 9       |      | 28,46        | 14,71 |
|          | 10   | 20,68        | -     | 10      |      | 26,74        | 13,30 |
|          | 11   | 20,01        | -     | 11      |      | -            | -     |
|          | 12   | 22,66        | -     | 12      |      | -            | -     |
|          | 13   | -            | -     | 13      |      | 25,85        | 13,52 |
|          | 14   | -            | -     | 14      |      | 26,84        | 11,57 |
|          | 15   | -            | -     | 15      |      | 27,91        | 14,34 |
|          | 16   | 29,49        | 31,83 | 16      |      | 26,83        | 13,58 |
|          | 17   | 32,65        | 35,01 | 17      |      | 26,00        | 13,94 |
|          | 18   | 32,75        | 39,67 | 18      |      | -            | -     |
|          | 19   | 32,22        | 40,38 | 19      |      | -            | -     |
|          | 20   | -            | -     | 20      |      | 35,37        | 23,67 |
|          | 21   | -            | -     | 21      |      | 30,37        | 22,24 |
|          | 22   | 29,79        | 25,26 | 22      |      | 33,15        | 23,54 |
|          | 23   | 27,15        | 19,00 | 23      |      | -            | -     |
|          | 24   | 29,19        | 18,71 | 24      |      | -            | -     |
|          | 25   | 29,19        | 18,71 | 25      |      | -            | -     |
|          | 26   | 31,16        | 19,39 | 26      |      | -            | -     |
|          | 27   | -            | -     | 27      |      | -            | -     |
|          | 28   | -            | -     | 28      |      | -            | -     |
|          | 29   | 14,10        | 12,86 | 29      |      | -            | -     |
|          | 30   | 22,70        | 19,48 | 30      |      | -            | -     |
|          | -    | -            | -     | 31      |      | -            | -     |