

JOSÉ EDUARDO MACEDO PEZZOPANE

**CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA, ECOFISIOLÓGICA E
FITOSSOCIOLÓGICA EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
SECUNDÁRIA, EM VIÇOSA, MG.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de "Doctor Scientiae".

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P522c
2001

Pezzopane, José Eduardo Macedo, 1965-
Caracterização microclimática, ecofisiológica
e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual
secundária, em Viçosa, MG / José Eduardo Macedo
Pezzopane. – Viçosa : UFV, 2001.
255p. : il.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis
Tese (doutorado) – Universidade Federal de
Viçosa

1. Microclimatologia florestal – Mata Atlântica. 2. Mata
Atlântica – Ecofisiologia. 3. Mata Atlântica –
Fitossociologia. 4. Florestas – Regeneração natural. 5.
Floresta secundária. I. Universidade Federal de Viçosa. II.
Título.

CDO adapt. CDD 634.911184

JOSÉ EDUARDO MACEDO PEZZOPANE

**CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA, ECOFISIOLÓGICA E
FITOSSOCIOLÓGICA EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL
SECUNDÁRIA, EM VIÇOSA, MG.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 03 de agosto de 2001

Prof^a. Maria das Graças Ferreira Reis
(Conselheira)

Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Conselheiro)

Prof. Niro Higuchi

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Geraldo Gonçalves dos Reis
(Orientador)

Aos meus pais,

Athenogenes e Marisa ...

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade.

À Universidade Federal do Espírito Santo, por permitir meu afastamento para treinamento.

À CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas e à V & M Florestal LTDA, pelo empréstimo de instrumentos.

Aos professores Geraldo Gonçalves dos Reis e Maria das Graças Ferreira Reis, pela confiança, orientação, ensinamentos e amizade.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pela colaboração na elaboração da tese.

Aos professores membros da banca examinadora, Niro Higuchi e Júlio César Lima Neves, pelas sugestões finais.

Aos professores Aristides Ribeiro e Carlos Alberto Martinez Y Human, pela colaboração no exame de qualificação e auxílio e sugestões na coleta dos dados.

Ao funcionário Germano Ferreira, pela ajuda na identificação do material botânico. Infelizmente, o Sr. Germano faleceu quando o presente estudo ainda se encontrava em desenvolvimento, mas prestou considerável colaboração.

À equipe do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, pela amizade e pela alegre convivência, em especial a José Humberto, Cassiano, Sílvio, Pedro, Crodoaldo, Moacir, Dione e Karina, pelo auxílio na coleta de dados no campo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial à Ritinha, José Mauro e Francisco, pela constante ajuda.

À Minha esposa, Joaquina, aos meus filhos, Anderson e Rafaela, aos meus irmãos, Beto, Mônica, Fernando, Ricardo e Cleusa, aos meus cunhados, Eliete e Natal e aos meus sobrinhos, Murilo, Guilherme e Izadora, pelo apoio incondicional.

BIOGRAFIA

JOSÉ EDUARDO MACEDO PEZZOPANE, filho de Athenogenes Pezzopane e Marisa Macedo Pezzopane, nasceu na cidade de Campinas, SP, em 10 de setembro de 1965.

Cursou primeiro grau no Colégio Estadual “Professor Benedito Sampaio”, e segundo grau no Colégio Técnico da Universidade Estadual de Campinas.

Graduou-se em Engenharia Florestal, em março de 1992, pela Universidade Federal de Viçosa.

Em janeiro de 1994, após aprovação em concurso público, foi contratado como professor pela Universidade Federal do Espírito Santo, para atuar no Departamento de Engenharia Rural. Em agosto do mesmo ano, concluiu o Curso de Mestrado em Agrometeorologia, pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.

Em agosto de 1997, iniciou o Curso de Doutorado em Ciência Florestal, na área de Silvicultura, subárea Ecologia Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos para obtenção do título de “Doctor Scientiae” em agosto de 2001.

ÍNDICE

RESUMO..	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	01
OBJETIVOS	04
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	06
CAPÍTULO 1: “ <i>Caracterização da radiação solar fotossinteticamente ativa e do índice de área foliar em uma floresta estacional semidecidual secundária</i> ”	08
1. INTRODUÇÃO	09
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. Radiação solar: aspectos qualitativos e quantitativos	12
2.2. Radiação solar em florestas	13
2.2.1. Refletividade (albedo)	13
2.2.2. Radiação solar dentro do dossel	14
2.3. Influência do relevo na disponibilidade energética	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Descrição da área de estudo	20

3.2. Área de amostragem	22
3.3. Coleta de dados de radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 2: “ <i>Caracterização microclimática em uma floresta estacional semidecidual secundária</i> ”	55
1. INTRODUÇÃO	56
2. REVISÃO DE LITERATURA	58
2.1. Balanço de radiação em comunidades vegetais	58
2.1.1. Balanço de radiação em florestas	60
2.1.2. Mudanças na superfície e o balanço de radiação	62
2.2. Fatores que determinam o microclima	64
2.2.1. Microclima no interior e exterior de florestas	66
3. MATERIAL E MÉTODOS	70
3.1. Descrição da área de estudo	70
3.2. Avaliações microclimáticas	70
3.3. Dados complementares	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
4.1. Saldo de radiação	76
4.2. Radiação solar	80
4.3. Temperatura do solo	86
4.4. Temperatura do ar	96
4.5. Umidade do ar	100
5. CONCLUSÕES	106
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
CAPÍTULO 3: “ <i>Caracterização ecofisiológica em uma floresta estacional semidecidual secundária</i> ”	114
1. INTRODUÇÃO	115
2. REVISÃO DE LITERATURA	117
2.1. Aspectos estruturais e fisiológicos das folhas das plantas em florestas tropicais	117

2.1.1. Estrutura foliar e pigmentos	118
2.1.2. Aspectos fisiológicos	120
2.1.3. Acimação da planta	122
2.2. “Sunflecks” e fotossíntese em floresta tropical	123
2.2.1. Fatores que regulam a utilização dos “sunflecks”	124
2.2.2. Ocorrência de “sunflecks” e fotossíntese	125
3. MATERIAL E MÉTODOS	128
3.1. Descrição da área de estudo	128
3.2. Avaliações ecofisiológicas	128
3.2.1. Avaliações ecofisiológicas sob luz artificial	129
3.2.2. Avaliações ecofisiológicas sob luz natural	132
3.3. Determinação de picos de PAR em curto espaço de tempo (“sunflecks”)	132
3.4. Determinação do perfil de PAR	133
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	134
4.1. Ecofisiologia das plantas no sub-bosque	134
4.2. “Sunflecks” e fotossíntese líquida de plantas no sub-bosque	143
4.3. Ocorrência de “sunflecks” no sub-bosque	146
4.4. Perfil da PAR no sub-bosque da floresta	152
5. CONCLUSÕES	154
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156
CAPITULO 4: “ <i>Caracterização fitossociológica e estudo da interação ambiente x vegetação em uma floresta estacional semidecidual secundária</i> ”	
	161
1. INTRODUÇÃO	162
2. REVISÃO DE LITERATURA	164
2.1. Análise florística e fitossociológica	164
2.2. Fatores ambientais e a regeneração natural	166
2.3. Ambiente e ocorrência de espécies	169
2.3.1. Fatores fisiográficos e edáficos	169
2.3.2. Radiação solar	171
2.4. Classificação de espécies florestais	172
2.4.1. Grupos ecofisiológicos	172
2.4.2. Classificação ecológica de espécies florestais	174
3. MATERIAL E MÉTODOS	177
3.1. Descrição da área de estudo	177
3.2. Amostragem e coleta de dados da vegetação	177
3.3. Caracterização ambiental dos locais estudados	178
3.4. Análises florística e fitossociológica	180

3.4.1. Diversidade florística	181
3.4.2. Estimativa da densidade por classe de tamanho de planta .	181
3.4.3. Estimativa da frequência por classe de tamanho de planta .	182
3.4.4. Estimativa da regeneração natural	183
3.5. Interação ambiente X vegetação	183
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	185
4.1. Composição florística	185
4.2. Análise fitossociológica da regeneração natural	190
4.2.1. Local 1	190
4.2.2. Local 2	190
4.2.3. Local 3	193
4.2.4. Local 4	194
4.2.5. Local 5	195
4.2.6. Local 6	197
4.2.7. Local 7	198
4.2.8. Local 8	200
4.2.9. Local 9	201
4.2.10. Local 10	202
4.3. Análise de correspondência canônica	204
4.4. Radiação solar e as espécies florestais	209
5. CONCLUSÕES	217
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	219

RESUMO

PEZZOPANE, José Eduardo Macedo, D.S.; Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2001. **Caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG.** Professor Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Professores Conselheiros: Maria das Graças Ferreira Reis e José Maria Nogueira da Costa.

O presente estudo foi realizado em dez locais distintos quanto à declividade, exposição e posição topográfica, na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG (latitude = 20°45' Sul, longitude = 42°55' Oeste e altitude média de 690 m). A caracterização espacial e temporal da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) e do índice de área foliar (IAF) foi realizada em quatro épocas: 23 de abril a 16 de maio (época 1), 31 de julho a 20 de agosto (época 2), 26 de novembro a 21 de dezembro de 1999 (época 3) e 26 de fevereiro a 31 de março de 2000 (época 4). Realizou-se, também, um estudo microclimático e ecofisiológico detalhado, em três, dos dez locais

estudados, e em uma área aberta adjacente a floresta, em duas épocas do ano: 02 a 26 de setembro de 1999, final da estação seca, e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000, meio da estação chuvosa. A análise fitossociológica foi realizada utilizando-se dados da regeneração natural, compreendendo plantas com DAP menor que 5 cm. A transmissividade média da PAR no fragmento florestal foi 4,1% e o IAF foi 4,5. A perda de folhas em algumas espécies, no período frio e seco do ano, promoveu flutuação temporal do IAF da floresta, entre 3,8 (época 2) e 5,1 (época 4). As alterações temporais nos valores de IAF e o movimento aparente do sol promoveram variação na transmissividade média anual da PAR pela floresta, entre 2,8 (época 1) e 6,5% (época 3). A temperatura média do solo (a 2 cm de profundidade) no interior da floresta foi 5,6°C menor do que na área aberta adjacente, sendo, no entanto, verificada sazonalidade em função da disponibilidade energética, umidade do solo e IAF. As maiores diferenças de temperatura do solo e do ar e umidade atmosférica, entre o interior da floresta e a área aberta, foram mais evidentes em dias de céu limpo, em especial nos horários mais quentes do dia. O estudo ecofisiológico mostrou que as espécies sob dossel aberto, em relação às espécies sob dossel fechado, apresentaram valores mais elevados de fotossíntese líquida, ponto de saturação lumínico, condutância estomática e transpiração. Verificou-se, também, que os “sunflecks” são importantes para a assimilação de carbono pelas plantas no sub-bosque. A análise da composição florística e fitossociológica revelou a ocorrência de 128 espécies, distribuídas em 43 famílias, existindo variação relevante da diversidade florística entre os dez locais. A análise de correspondência canônica separou os locais em três grupos, e, ainda, permitiu identificar as exigências ecológicas das espécies estudadas. A correlação entre os índices de regeneração natural e a transmissividade da PAR permitiu identificar a tolerância das espécies à sombra, sendo possível, assim, agrupar as espécies em cinco grupos, em função do regime de radiação solar fotossinteticamente ativa disponível no sub-bosque.

ABSTRACT

PEZZOPANE, José Eduardo Macedo, D.S.; Universidade Federal de Viçosa, August 2001. **Microclimatic, ecophysiological and phytosociological characterization of a secondary semideciduous seasonal forest, in Viçosa, MG, Brazil.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Committee Members: Maria das Graças Ferreira Reis and José Maria Nogueira da Costa.

A study in the domain of the Atlantic Forest was carried out in ten sites with different slope, aspect and topographic position at the Estação Experimental Mata do Paraíso, in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil (20°45' Latitude South, 42°55' Longitude West and an average altitude of 690 m). The spatial and temporal characterization of the photosynthetically active radiation (PAR) and leaf area index (LAI) were measured in four occasions: April 23 to May 16; July 31 to August 20; November 26 to December 21, 1999 and February 26 to March 31, 2000. A detailed microclimatic and ecophysiological study was also done in three of these areas, and in an open area close to the forest, in two periods of the year: September 02 to 26, 1999, at the end of the dry season, and January 08 to February 14, 2000, in the middle of the rainy season. The phytosociological analysis was carried out using

natural regeneration data, which included all plants with DBH less than 5 cm. The mean transmissivity of the PAR in the forest fragment was 4.1%, and the LAI was 4.5. Some species shed the leaves in the cold and dry period of the year (July/August) which caused a temporal oscillation of the forest LAI from 3.8 (July/August) to 5.1 (February/March). The temporal changes of the LAI values and the apparent movement of the sun caused variations in the mean annual PAR transmissivity in the forest, which varied from 2.8% (April/May) to 6.5% (November/December). The mean soil temperature (at 2 cm depth) inside the forest was 5.6°C lower than at the open area, although a seasonality was observed in relation to the energetic availability, soil moisture and LAI. The greater differences of soil and air temperatures, and air moisture between the interior of the forest and the open area outside of the forest were most evident on clear day, specially at the warmest hours of the day. An ecophysiological study showed that the species growing under open canopies, in relation to those under closed canopies, presented higher values of net photosynthesis, luminic saturation, stomatal conductance and transpiration. Sunflecks were important for carbon assimilation by the understory plants. The floristic and phytosociological composition analysis showed the occurrence of 128 species, distributed among 43 families with an remarkable variation in floristic diversity among the ten areas. The canonical correspondence analyses distinguished the areas in three groups. The correlation between natural regeneration index and PAR transmissivity allowed to determine the tolerance of the species to shade.

INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Atlântica apresenta grande diversidade vegetal, possibilitando disponibilizar enorme quantidade de recursos naturais. Porém, a demanda por madeira e a expansão das fronteiras agrícolas, dentre outros, promoveram drástica redução na área com cobertura florestal. Considerando-se apenas a vegetação primária, os remanescentes dessa floresta se encontram, em sua maioria, em unidades de conservação e áreas inacessíveis ao longo da área denominada Floresta Atlântica. Atualmente, de acordo com a FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA e INPE (1993), apenas 8% da área total dessa floresta permanecem com a cobertura original, e, no caso específico do Estado de Minas Gerais, que tem um dos códigos florestais mais modernos do País, esse percentual é de apenas 1,5%.

De acordo com PEREIRA (1999), no Município de Viçosa, MG, a cobertura florestal, levando-se em conta a vegetação secundária, corresponde a 20 % de sua área, e o tamanho médio dos fragmentos é de apenas 13 ha. Essa intensa fragmentação torna o ecossistema frágil, despertando preocupações, evidenciando a necessidade de estudos visando subsidiar ações para manter a sustentabilidade dos fragmentos. É oportuno salientar que a sociedade civil e o poder público têm se mobilizado no sentido de obter a conservação desses fragmentos remanescentes.

Muitos fragmentos de Floresta Atlântica encontram-se em fase de recomposição natural através do processo de sucessão, o que aumenta a necessidade de compreender a dinâmica dessa recomposição, para se estabelecerem planos de manejo adequados de modo a possibilitar a conservação de sua biodiversidade. Em uma primeira etapa, os estudos têm procurado caracterizar a densidade de fragmentos de uma região, tamanho médio, fator de forma e distância entre fragmentos, dentre outros, destacando-se os trabalhos de PEREIRA (1999) e ALBANEZ (2001), para a Zona da Mata Mineira. Esses estudos possibilitam a elaboração de planos de manejo através, por exemplo, da técnica de interligação de fragmentos, que favorece a conservação ou aumento da biodiversidade. Em outra etapa, são realizados estudos que envolvem a caracterização de bancos de sementes e levantamentos florísticos e fitossociológicos, objetivando conhecer a diversidade florística e a dinâmica sucessional da floresta. Na Zona da Mata Mineira, destacam-se os estudos de LEAL FILHO (1992), VOLPATO (1994), ALMEIDA (1996), MEIRA NETO (1997), FERNANDES (1998) e ALMEIDA JÚNIOR (1999).

Estudos recentes incluem, juntamente com os levantamentos florísticos e fitossociológicos, a caracterização ambiental no interior da floresta, envolvendo aspectos microclimáticos e edáficos, buscando estabelecer correlações entre tais características e a ocorrência das espécies. Dentre as variáveis ambientais, deve-se dar ênfase à radiação solar, uma vez que está associada ao processo fotossintético. Flutuações da radiação solar em comunidades vegetais devem promover alterações nas demais variáveis microclimáticas que controlam o crescimento e desenvolvimento das plantas, e, portanto, devem ser incluídas em estudos para avaliar a interação entre a vegetação e o ambiente.

O conhecimento das respostas ecofisiológicas das plantas sob diferentes condições ambientais facilita, também, o esclarecimento da dinâmica de sucessão na floresta. Os estudos ecofisiológicos envolvem, geralmente, a caracterização do potencial fotossintético e comportamento estomático, além de características estruturais e da concentração de pigmentos nas folhas,

resultantes da interação entre planta e ambiente. Entretanto, ainda é pequeno o número de estudos microclimáticos e ecofisiológicos em floresta tropical, principalmente em se considerando sua complexa estrutura horizontal e vertical, variações de estádios serais, fenologia das espécies, além da influência do relevo e da exposição sobre as variáveis ambientais.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma caracterização microclimática, ecofisiológica e fitossociológica em floresta estacional semidecidual secundária, sob o domínio da Floresta Atlântica. O estudo foi dividido em quatro capítulos. No primeiro procurou-se realizar uma caracterização espacial e temporal do comportamento da radiação solar fotossinteticamente ativa e do índice de área foliar, ao longo de um ano, em dez locais, em diferentes estádios serais de sucessão e posições topográficas. O segundo capítulo englobou um estudo microclimático detalhado em três dos dez locais citados anteriormente. O terceiro capítulo incluiu a caracterização das respostas ecofisiológicas das espécies com maior índice de regeneração natural, nos três locais estudados no capítulo anterior. No quarto capítulo, foi abordada a composição florística e as estruturas horizontal e vertical da regeneração natural, nos dez locais estudados, através de análise fitossociológica, procurando, através dos índices da regeneração natural, estabelecer interações entre características ambientais e a ocorrência das espécies arbóreas na fase inicial de estabelecimento na floresta.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo geral realizar uma caracterização fitossociológica, microclimática e ecofisiológica em uma floresta estacional semidecidual secundária, na Zona da Mata Mineira, sob o domínio da Floresta Atlântica.

Objetivos específicos

- a) coletar informações básicas sobre a composição florística e estrutura horizontal e vertical da regeneração natural;
- b) realizar análise fitossociológica, através de estudos da diversidade florística, densidade e frequência por classe de tamanho e estimativa de índices da regeneração natural;
- c) caracterizar, detalhadamente, o microclima nas parcelas de estudo e a céu aberto;

- d) estudar aspectos ecofisiológicos de algumas espécies sob diferentes condições ambientais, buscando informações sobre autoecologia de tais espécies;
- e) caracterizar as interações entre características ambientais e a ocorrência de espécies arbóreas na fase inicial de desenvolvimento.
- f) propor classificação ecológica das espécies arbóreas com base nos dados obtidos no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBANEZ, A.C. M.P. **Caracterização dos fragmentos florestais a partir de estudos de ecologia da paisagem para o Município de Ponte Nova, Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 2001. 147p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- ALMEIDA, D.S. **Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Atlântica no Município de Juiz de Fora, Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 1996. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- ALMEIDA JÚNIOR, J.S. **Florística e fitossociologia de fragmentos da floresta estacional semidecidual, Viçosa, Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 148p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica.** Viçosa, MG: UFV, 1998. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE. **Atlas: evolução de remanescentes florestais e ecossistemas associados do domínio da Mata Atlântica no período 1985-1990.** São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 1993, 199p.

LEAL FILHO, N. **Caracterização do banco de sementes de três estádios de uma sucessão vegetal na Zona da Mata de Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 1992. 116p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.

MEIRA NETO, J.A.A. **Estudos florísticos, estruturais e ambientais nos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo de uma floresta estacional semidecidual.** Campinas, SP: UNICAMP, 1997. 152p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 1997.

PEREIRA, R.A. **Mapeamento e caracterização de fragmentos de vegetação arbórea e alocação de áreas preferenciais para sua interligação no Município de Viçosa, MG.** Viçosa, MG: UFV, 1999. 236p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

VOLPATO, M.M.L. **Regeneração natural em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica: uma análise fitossociológica.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA E DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SECUNDÁRIA

1. INTRODUÇÃO

A radiação solar é um dos principais fatores ambientais que controlam a sucessão ecológica em uma floresta secundária, sendo a regeneração natural dependente da disponibilidade energética nos sítios. A interação entre a radiação solar e a vegetação em florestas tropicais tem sido avaliada em diversos trabalhos (BROWN, 1996; CULF et al., 1996; NICOTRA et al., 1999; GUARIGUATA, 2000). FERNANDES (1998) analisou a correlação entre a ocorrência de vegetação arbórea (DAP > 5 cm), em Viçosa, MG, e a avaliação qualitativa de abertura do dossel (dossel muito aberto, aberto, fechado e muito fechado), possibilitando classificação preliminar dos sítios e das espécies em função da abertura do dossel. Aquele estudo indicou a necessidade de avaliações quantitativas de variáveis microclimáticas, principalmente relacionadas com a radiação solar.

É importante destacar que a transmissividade da radiação solar através do dossel de uma floresta é afetada pela presença de clareiras e exposição e inclinação da encosta, uma vez que o movimento aparente do sol pode alterar a disponibilidade energética em função das características de relevo. Assim, um estudo, para ser representativo, deve apresentar uma amostragem sensível

em relação as possíveis variações temporais e espaciais da radiação solar no interior da floresta.

A análise da disponibilidade energética, principalmente da radiação solar fotossinteticamente ativa que atravessa o dossel da floresta, condiciona o processo fotossintético e a adaptação das plantas em comunidades. Dentre outros, o índice de área foliar (IAF) da floresta pode alterar a transmissividade, uma vez que modifica o caminho ótico da radiação solar ao longo do dossel da vegetação (LARCHER, 1995).

O presente estudo teve como objetivo realizar uma caracterização espacial e temporal detalhada do comportamento da radiação solar fotossinteticamente ativa e a caracterização do índice de área foliar em uma floresta estacional semidecidual secundária, na Zona da Mata de Minas Gerais, no domínio da Floresta Atlântica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os estudos microclimáticos em comunidades vegetais têm focado medidas de radiação solar, uma vez que o balanço de radiação determina a disponibilidade energética para processos como evapotranspiração, aquecimento e resfriamento do ar e solo e a fotossíntese. Na Amazônia, VILLA NOVA e REICHARDT (1989) estimaram que a evapotranspiração consome cerca de 73% da radiação líquida, medida acima do dossel.

O estudo da radiação solar disponível para o processo fotossintético é complexo, especialmente em uma floresta tropical, pois são vários estratos que interceptam essa radiação, condicionando, inclusive, a distribuição vertical das espécies arbóreas, sendo difícil a medição dessa radiação nos vários estratos. Outra dificuldade comum em estudo microclimático sob o dossel, principalmente em avaliações de radiação solar, é a representatividade da amostragem devido à heterogeneidade do ambiente na floresta (LEE, 1987; RICH et al., 1993; BELLINGHAM et al., 1996; WALTER e TORQUEBIAU, 1997).

2.1. Radiação solar: aspectos qualitativos e quantitativos

O sol emite energia na forma de ondas eletromagnéticas na faixa de comprimento entre 0,2 a 3,2 μm . Entretanto, devido à camada de ozônio presente na atmosfera terrestre, a radiação solar incidente em uma superfície na terra está compreendida na faixa espectral que varia entre 0,4 e 3,2 μm , podendo ser separada em radiação fotossinteticamente ativa (0,4 a 0,7 μm) e infravermelho próximo (0,7 a 3,2 μm). Do total de energia incidente na superfície terrestre, cerca de 44% corresponde à radiação disponível ao processo fotossintético. Para os vegetais, a radiação solar na faixa do visível é a mais importante, uma vez que fornece energia para o processo fotossintético. Entretanto, o infravermelho próximo também exerce papel fundamental fornecendo energia para os demais processos. As folhas dos vegetais são seletivas quanto à radiação solar, absorvendo os raios na faixa do visível e refletindo ou transmitindo os raios infravermelho próximo (ROSENBERG et al., 1983).

O total de radiação solar incidente no topo da atmosfera em dada latitude varia ao longo do ano devido a inclinação do eixo da Terra em relação aos raios solares, variando também ao longo do dia devido ao movimento aparente do sol. Quanto menor a latitude, ou seja, quanto mais próximo da linha do equador, maior a disponibilidade energética e menor sua flutuação. Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é atenuada, através dos processos de reflexão e absorção, onde as nuvens exercem um papel muito importante. Parte da radiação solar global é refletida pela superfície e volta para a atmosfera, ainda na forma de ondas curtas e, parte é absorvida, tornando-se a fonte primária de energia. A quantidade de energia refletida pelo sistema é controlada pelo seu albedo (VIANELLO e ALVES, 1991).

Com relação às plantas, um outro aspecto relevante é a fração da radiação solar global distribuída em radiação solar direta e difusa. A radiação solar difusa é mais aproveitada pelas folhas em razão de seu caráter multi-direcional.

2.2. Radiação solar em florestas

A radiação solar ao incidir sobre uma comunidade florestal pode ser refletida, absorvida ou transmitida para as camadas inferiores do dossel. Esses processos são controlados pelos coeficientes de refletividade (r), absorvidade (a) e transmissividade (t), onde, de acordo com a conservação da energia, tem-se que:

$$a + r + t = 1$$

2.2.1. Refletividade (albedo)

Parte da radiação solar global que incide sobre uma comunidade vegetal não fica retida na vegetação e retorna à atmosfera como radiação refletida. A quantidade de radiação refletida é caracterizada pelo coeficiente de reflexão da superfície vegetal, ou seja, pelo seu albedo. O valor do albedo de uma comunidade vegetal varia em função do ângulo de incidência dos raios solares, condições atmosféricas, propriedades da própria comunidade (principalmente das folhas) e do solo (se exposto). No caso de florestas, o arranjo das folhas também influencia na quantidade de radiação refletida (ROSENBERG et al., 1983).

Com relação aos raios solares, quanto maior a elevação do sol, menor a inclinação dos mesmos e menor o albedo, que atinge os menores valores ao meio-dia. Na realidade, pesquisas em superfícies vegetadas mostram valores elevados de albedo apenas ao amanhecer e ao entardecer, prevalecendo no restante do dia valores muito semelhantes. SHUTTLEWERTH et al. (1984) observaram um albedo de 12% e, PINKER et al. (1980), valores entre 12,5 e 14,5%, em florestas tropicais. Logicamente, mudanças na paisagem local podem alterar o albedo. Estudos realizados na Amazônia mostram que as pastagens introduzidas na região possuem um albedo maior em relação as florestas (RIBEIRO, 1994).

A floresta é seletiva em relação à refletividade, sendo menor na faixa visível do espectro-eletromagnético e maior na porção do infravermelho próximo. Trabalhando na Floresta Amazônica, LEITÃO (1994) mostra que, no horário de maior fluxo energético, o albedo para a radiação solar total é 10%, sendo 20% para a radiação na faixa infravermelho próximo e apenas 2% para a radiação fotossinteticamente ativa.

2.2.2. Radiação solar dentro do dossel

Como foi discutido anteriormente, ao incidir sobre uma superfície qualquer, a radiação solar global (R_s) pode ser absorvida, refletida ou transmitida. No caso da folha de uma planta, o processo é seletivo, ocorrendo uma alta absorção na faixa espectral da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e baixa absorção na faixa espectral da radiação infravermelho próximo. Sendo assim, à medida que a radiação solar passa através do dossel de uma floresta a fração PAR/ R_s diminui acentuadamente. LEE (1987), trabalhando em floresta na América Central, verificou, com auxílio de um espectro-radiômetro, que esta razão diminuiu de 0,54, em média, acima da floresta, para 0,17 ao nível do solo, devido a alta absorção na faixa visível do espectro-eletromagnético.

A Lei de Beer, proposta para estudos atmosféricos, explica como a radiação solar atravessa a atmosfera. Em 1953, Monsi e Saeki, citados por CANFALONE (1998), propuseram uma adaptação da Lei de Beer para descrever a maneira como a radiação solar atravessa um dossel, através de um modelo exponencial que determina a energia fotossinteticamente ativa (PAR) abaixo do dossel (T), em função da PAR acima do mesmo (S) e do índice de área foliar (IAF):

$$T = S e^{-k \cdot \text{IAF}}$$

em que:

k = coeficiente de extinção.

A densidade do dossel de uma floresta determina a quantidade de radiação solar incidente na superfície do solo. Como as florestas tropicais são caracterizadas como matas densas, com grande presença de massa vegetal, a atenuação da radiação solar nesse tipo de ambiente é bem acentuada. Medidas realizadas por AYLETT (1985), ao nível do solo, em florestas pluviais na Jamaica, mostram que 95% da radiação solar foi absorvida ou refletida. Trabalhos realizados em outros tipos de florestas também indicam valores reduzidos de transmissividade da radiação solar. JANUÁRIO et al. (1992), trabalhando em uma floresta tropical úmida na Amazônia, encontraram uma transmissividade de 4,7%. Em florestas temperadas, ECK e DEERING (1992) observaram valores entre 2,9 e 4,2%. Entretanto, HUBER et al. (1988), estudando separadamente a radiação solar direta e a difusa em bosque adulto de *Pinus* no Chile, observaram uma transmissividade muito maior para a radiação solar difusa, variando entre 10,4% (dias nublados) e 30,2% (dias claros).

Muitos trabalhos em comunidades vegetais destacam-se pela caracterização da radiação solar na porção visível (0,4 a 0,7 μm) que é determinante para o processo fotossintético. As medidas são feitas diretamente através de sensores lineares que determinam a PAR, ou de maneira indireta, comumente utilizada em estudos de comunidades florestais, através de fotografias hemisféricas obtidas próximo ao solo que procuram quantificar o índice de área foliar (IAF) e, conseqüentemente, a absorção da radiação solar (LEE, 1987).

São raros os estudos do perfil de radiação solar no interior de florestas tropicais. Para florestas temperadas, BALDOCCHI et al. (1984), realizando medidas micrometeorológicas em sete alturas dentro de uma floresta de *Quercus* sp. e *Carya* sp., verificaram redução drástica na transmissividade para a radiação solar global, PAR e saldo de radiação no período de maior IAF (verão), quando comparado com o inverno e outono, em razão da queda das folhas das plantas. Algumas medidas realizadas no outono e no inverno mostram, inclusive, que a razão PAR/Rs é praticamente a mesma ao longo do perfil da floresta (ao redor de 0,50), devido a ausência de folhas, ao contrário

do período primavera/verão (0,25 próximo ao solo). Condições semelhantes foram observadas para a radiação solar global e o saldo de radiação. Neste trabalho, os autores concluem que o movimento aparente do sol, a fenologia das plantas e a pigmentação das folhas promoveram uma variação sazonal no comportamento da radiação solar no interior da floresta.

O comportamento da radiação solar no interior de um ecossistema tropical depende de sua estrutura. Na região Amazônica, de acordo com BRAGA (1979), em geral, há predomínio de floresta densa, mas, também, ocorrem formações denominadas campinarana e campina. A área de mata densa (93% da Amazônia) apresenta elevada biomassa, com árvores de grande porte, amplas copas e sub-bosque com pouca iluminação. A campinarana é um ecossistema que também apresenta alta biomassa, mas existe uma maior penetração de luz, existindo muitas espécies endêmicas, apresentando um sub-bosque mais rico. Este tipo de vegetação é também chamado de caatinga alta ou campina alta. A campina é pobre em biomassa, apresentando uma vegetação de pequeno porte, ocorrendo principalmente em solos arenosos. As diferentes estruturas verticais, além da diversidade de espécies nestes três ecossistemas florestais tropicais, alteram consideravelmente o regime de radiação na vegetação. Segundo LEITÃO (1994), na base do dossel da campina chega cinco vezes mais radiação de ondas curtas e infravermelha, e seis vezes mais radiação fotossinteticamente ativa, em relação à base do dossel da mata densa, verificando-se também uma grande variação espacial e temporal nas medidas de radiação solar. Comparando a campinarana e a mata densa, o comportamento é o mesmo para radiação de ondas longas e infravermelha, mas, em valores percentuais, a radiação fotossinteticamente ativa incidente na base do dossel é o dobro no ecossistema menos denso. Como, de acordo com esse autor, o percentual da energia refletida é praticamente o mesmo nos três ecossistemas para as faixas espectrais estudadas: 11, 21 e 1,7% em média para ondas curtas, infravermelha e PAR, respectivamente, conclui-se que as diferenças entre esses tipos de vegetação ocorrem nos componentes absorção e transmissividade da PAR.

O exemplo citado anteriormente mostra que o regime de radiação solar depende da estrutura do ecossistema. Portanto, a análise temporal e espacial do comportamento da radiação solar em uma floresta secundária deve presumir que o estabelecimento de novas espécies modifica o estrato superior da floresta e altera significativamente a disponibilidade energética no sub-bosque.

Estudos microambientais realizados em clareiras no interior de florestas naturais indicam que no interior de clareiras, geradas em consequência da exploração de madeira ou devido a fenômenos naturais, o regime de radiação solar é determinante no processo de regeneração natural. O tamanho da clareira é muito importante na determinação da transmissividade da radiação solar. O monitoramento da PAR em clareiras de floresta tropical, ao longo de um ano, pode detectar uma variação sazonal da radiação solar, em razão da flutuação de energia disponível, ângulo de incidência dos raios solares e mudança na arquitetura do dossel, em função justamente da dinâmica da regeneração. Na análise de clareiras em florestas da Jamaica (BELLINGHAM et al., 1996) e de Porto Rico (FERNANDEZ e FETCHER, 1991) foi observada uma diminuição exponencial da PAR ao longo dos anos, em consequência do surgimento de espécies pioneiras, e segundo FERNANDEZ e FETCHER (1991) houve, também, uma diminuição significativa da heterogeneidade espacial da radiação solar no sub-bosque, analisada a partir de medições utilizando-se de sensores espalhados pela clareira.

RICH et al. (1993), estudando PAR em diversos sítios no sub-bosque de floresta tropical na Costa Rica, verificaram transmissividade média de apenas 1,5% contra 9,7% observado em áreas com clareiras, tendo sido observada uma variação sazonal da PAR no sub-bosque, o que foi atribuído à mudança do ângulo de incidência dos raios solares, mudança do nível de radiação solar acima da floresta e alteração da geometria das clareiras, esta última devido ao processo de sucessão ecológica. O comportamento da PAR no interior de uma clareira é complexo, variando com seu tamanho e localização. ASHTON et al. (1992) e FERNANDEZ e MYSTER (1995) mostram,

inclusive, variações significativas no interior das clareiras devido principalmente ao movimento aparente do sol e posição topográfica das clareiras.

As pesquisas mostram que a determinação da disponibilidade energética para o processo fotossintético no interior de uma floresta tropical depende de uma boa amostragem espacial e temporal. Este tipo de estudo é de extrema importância no entendimento da sucessão ecológica na floresta, tornando possível estabelecer uma relação entre as condições microambientais e a ocorrência de espécies vegetais.

2.3. Influência do relevo na disponibilidade energética

Em regiões com relevo acidentado, o balanço de radiação pode ser alterado. Em superfície inclinada, o regime de radiação é modificado provocando aumento ou diminuição da energia disponível a depender da exposição dessa superfície, ocasionando, assim, alterações no balanço de energia e, conseqüentemente, no microclima local. Desta forma, essa mudança no regime de radiação varia com a inclinação e exposição do terreno, sendo significativa em maiores latitudes. O relevo acidentado cria um mosaico de ambientes que pode influenciar o microclima e afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Por exemplo, na latitude de 20° Sul a influência do fator fisiográfico, como exposição das encostas, entre outros, pode alterar as condições microambientais devido à variação no regime de radiação solar incidente. Nesta latitude, no dia de solstício de inverno (22 de junho), uma rampa voltada para o norte, com 30° de inclinação, recebe, ao meio dia, um acréscimo de cerca de 25% da radiação solar incidente em uma superfície plana, enquanto que em uma rampa voltada para o Sul, com a mesma inclinação, ocorre a redução de 55% (ALVES et al., 1981).

No cálculo da radiação solar potencialmente disponível em encostas, considera-se a declividade e o azimute das mesmas, tornando-se, assim, uma questão apenas de aplicação de geometria, como mostram os trabalhos de SHARP (1982) e SKARTVEIT e OLSETH (1986).

Entretanto, quando os raios solares atravessam uma vegetação qualquer, o modelo que explica o comportamento da radiação solar deverá considerar as propriedades óticas dessa vegetação. NOBEL e LINTON (1997), estudando a interação entre microclima e vegetação em um deserto na latitude 33° N, verificaram que a PAR na encosta Norte, no dia de solstício de inverno, foi apenas 31% daquela observada em encosta Sul, de mesma declividade. ROWLAND e MOORE (1992), estudando a radiação solar no interior de uma floresta temperada no Canadá (latitude 46° N), observaram diferenças significativas entre sítios em encostas voltadas para as exposições Norte e Sul, mesmo aquelas que apresentavam baixa declividade. Porém, comparando os resultados nesses dois trabalhos citados, as diferenças microclimáticas foram bem acentuadas no estudo realizado na região desértica (NOBEL e LINTON, 1997), em relação a região com floresta (ROWLAND e MOORE, 1992), provavelmente em razão do dossel da floresta atenuar o efeito da exposição da encosta relativo à disponibilidade energética.

É também, relevante destacar que a influência da exposição das encostas na disponibilidade energética será ainda mais marcante quanto maior a declividade e a latitude dessa encostas, principalmente no período de menor densidade de fluxo de radiação solar, ou seja, no inverno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado na Estação Experimental Mata do Paraíso, com área de 196 ha, pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, localizada no Município de Viçosa, MG (latitude = 20°45' Sul, longitude = 42°55' Oeste e altitude média de 690 m).

De acordo com a classificação de Koppén, o clima da região é classificado como *Cwb*, apresentando chuva mal distribuída ao longo do ano, com verão chuvoso e inverno seco (Figura 1). O total pluviométrico anual médio é 1.221 mm e a temperatura média anual é 19,4°C. No inverno a temperatura mínima média mensal atinge 10,1°C e, no verão, a temperatura máxima média mensal chega a 30,0°C em fevereiro, de acordo com informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Na região onde se encontra a área de estudo, a geologia é caracterizada pela predominância do substrato gnaissico-granítico, com relevo forte ondulado, constituindo-se parte do chamado “Mar de Morros”, que é uma paisagem comum ao longo da costa atlântica. Quanto ao aspecto fisiográfico,

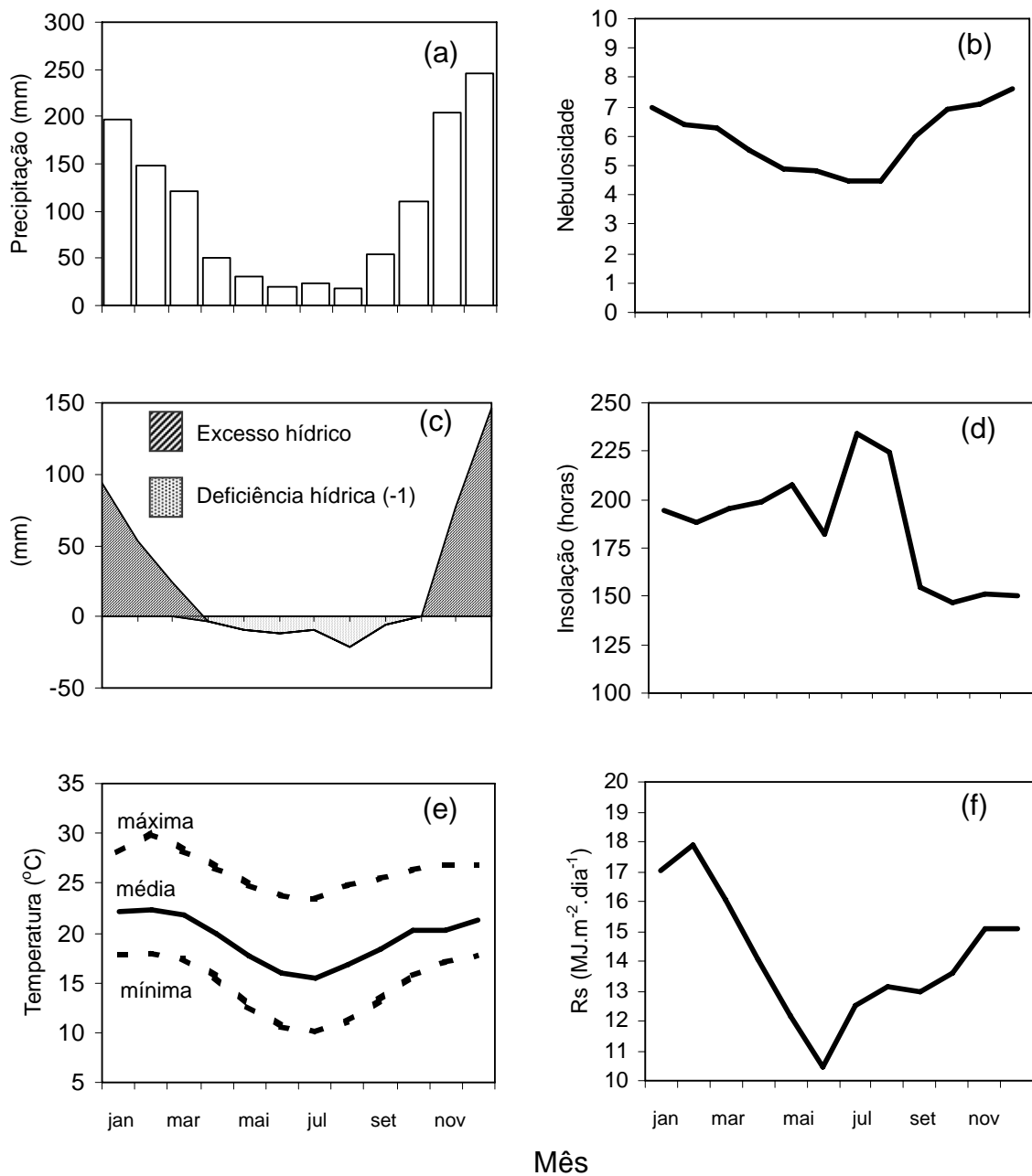


Figura 1 – Precipitação (a), nebulosidade (b), extrato do balanço hídrico (c), insolação mensal (d), temperatura do ar (e) e radiação solar global (f), em Viçosa, MG (baseado em dados observados no período de 1961 a 1990, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia).

a região é dominada por encostas de perfil côncavo-convexo. Quanto aos tipos de solo, no topo de morros predomina o LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, nas encostas das elevações o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, nos terraços o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Câmbico e no fundo dos vales, o NEOSSOLO FLÚVICO associado aos GLEISSOLOS (REZENDE, 1971; RESENDE, 1985; CORREA, 1984, EMBRAPA, 1999).

A vegetação natural da região de Viçosa é classificada como floresta estacional semidecidual, ou seja, parte das espécies arbóreas perde folhas no período correspondente ao inverno. Este tipo de vegetação é condicionado pelo comportamento estacional do clima, que apresenta verão quente com chuvas intensas, seguido de inverno seco com queda acentuada da temperatura. O percentual de árvores caducifólias, no conjunto florestal, varia entre 20 e 50% (IBGE, 1991; VELOSO et al., 1991).

Segundo FERNANDES (1998), não tem havido exploração de madeira na área de estudo há aproximadamente 35 anos. Atualmente, a área engloba uma floresta secundária residual, apresentando diversos estádios serais, uma vez que, no passado, sofreu intervenção de diferentes níveis, variando entre exploração seletiva de madeira até o corte raso para estabelecimento da cultura cafeeira e pastagem.

3.2. Área de amostragem

Com o objetivo de realizar um estudo sobre regeneração natural, VOLPATO (1994) identificou dez sítios na área da Estação Experimental em função de características fisiográficas, notadamente exposição e declividade. Foram alocadas parcelas permanentes nos sítios selecionados (Figura 2), onde, desde 1992, são realizados levantamentos fitossociológicos da regeneração natural (indivíduos arbóreos com DAP < 5 cm). FERNANDES (1998), também, utilizou estes dez sítios para um estudo de dinâmica e distribuição de espécies arbóreas com DAP superior a 5 cm, avaliando inclusive a interação vegetação-ambiente em função, principalmente, da declividade, abertura de dossel, fertilidade e umidade do solo.

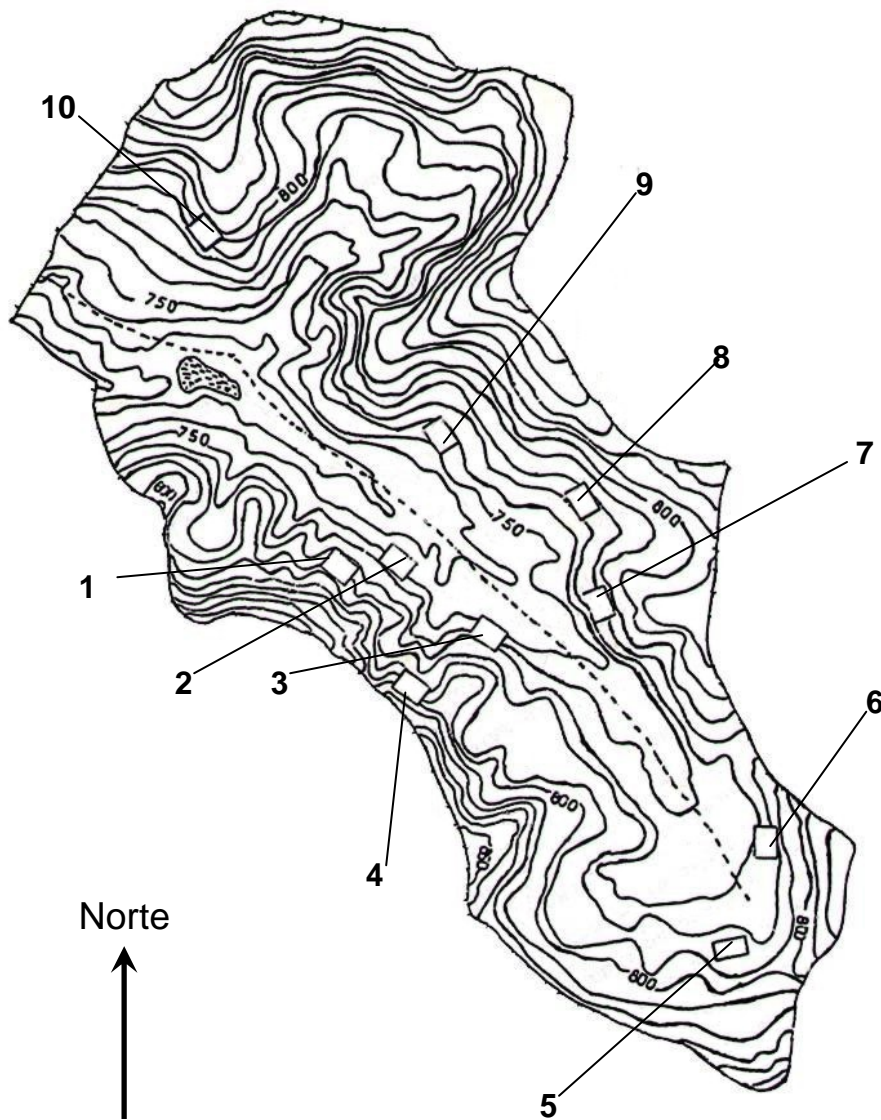


Figura 2 – Locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG, evidenciando a declividade, exposição e posição topográfica de cada local (Fonte: VOLPATO, 1994).

A caracterização da declividade, exposição e posição topográfica dos locais do estudo é mostrada no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização da declividade, exposição e posição topográfica dos dez locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

Local	Declividade (%)	Exposição*	Posição Topográfica
1	40	NE	Terço superior
2	21	NE	Meia encosta
3	43	NE	Terço inferior
4	80	NE	Meia encosta
5	3	-	Baixada
6	51	SO	Terço inferior
7	45	SO	Meia encosta
8	20	SO	Meia encosta
9	14	SO	Terço inferior
10	45	SO	Terço superior

* - NE = nordeste; SO = sudoeste
Fonte: VOLPATO (1994)

3.3. Coleta de dados de radiação solar fotossinteticamente ativa e índice de área foliar

A radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida no interior dos dez locais, durante dois ou mais dias para cada local, em quatro épocas do ano (Quadro 2), totalizando, no mínimo, oito dias de medições durante , procurando realizar uma amostragem em diferentes condições de densidade de fluxo de radiação, posição do sol e estágio fenológico da vegetação.

Quadro 2 - Épocas de medição da radiação fotossinteticamente ativa e do índice de área foliar, em dez locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

Época	Período de medição	Dia central
maio 99	23 de abril a 16 de maio de 1999	4 de maio
agosto 99	31 de julho a 20 de agosto de 1999	10 de agosto
dezembro 99	26 de novembro a 21 de dezembro de 1999	8 de dezembro
março 00	26 de fevereiro a 31 de março de 2000	13 de março

A PAR foi medida através de sensores lineares, modelo LI-191, marca LI-COR, conectados a registradores automáticos (Figura 3). As medidas foram realizadas em cinco pontos no interior de cada local, a um metro de altura do solo. Esta altura foi escolhida por coincidir com o limite entre as classes de tamanho de planta I e II utilizadas no estudo da regeneração natural realizado, também, nesses sítios (Capítulo 4). Os sensores foram instalados no centro de cinco, dentre seis subparcelas de 200 m² (10 x 20 m) estabelecidas por VOLPATO (1994) em área total de 1200 m² (20 x 60 m) em cada local.

Para fins de comparação, a PAR também foi medida em área aberta, dentro da Estação Experimental, através de sensor pontual, modelo LI-190, marca LI-COR. Na aquisição de dados foram utilizados os “dataloggers” modelos LI-1000 e LI-1400, marca LI-COR. Os “dataloggers” foram programados para leitura a cada cinco segundos com cálculo de média a cada quinze minutos. São, também, apresentados dados de insolação extraídos de registros heliográficos obtidos na Estação Meteorológica de primeira classe, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na Universidade Federal de Viçosa, distante cerca de 4 km da área de estudo.

As medições da PAR durante apenas cerca de dois dias em cada local, dentro de uma mesma época, visaram evitar variação significativa da densidade de fluxo de radiação solar entre o primeiro e o último dia da coleta de dados. Entretanto, isto é válido quando se trata da radiação solar extraterrestre, ou seja, quando os raios solares ainda não interagiram com a



Figura 3 – Sensor linear de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), modelo LI-191, marca LI-COR.

atmosfera terrestre. A presença de nuvens, mesmo de menor densidade, altera significativamente o total de radiação solar que atinge a superfície. Assim, os resultados comparando o comportamento da PAR no interior da floresta, nos 10 locais estudados, foram analisados através do percentual de transmissividade da radiação solar pelo dossel, uma vez que as medidas foram realizadas simultaneamente no interior e exterior da floresta.

A presença de nuvens modifica, inclusive, a proporção entre radiação solar direta e difusa e a resposta do dossel vegetativo pode ser diferenciada, como observado por HUBER et al. (1988). Assim, para analisar o comportamento da transmissividade da PAR pelo dossel da floresta, foi escolhido apenas o dia com maior densidade de fluxo de radiação solar para cada local e época do ano. Durante a coleta de dados em épocas com maior nebulosidade houve, inclusive, a necessidade de maior tempo de permanência dos sensores em alguns locais para que as medidas obtidas fossem realizadas, pelo menos, durante um dia com pouca ou nenhuma nebulosidade.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado nos dez locais de estudo, nas mesmas épocas de medição da PAR, com o objetivo de caracterizar a variação espacial e temporal da densidade do dossel. A determinação do IAF foi feita através de dois sensores LI-2050, conectados a “dataloggers” LI-2000, marca LI-COR (Figura 4), sendo um sensor instalado em área aberta e outro no interior da floresta. As leituras instantâneas foram realizadas sob luz difusa, preferencialmente ao amanhecer ou no final da tarde, ou em dias nublados, nos mesmos pontos onde foram instalados os sensores para medir a radiação solar fotossinteticamente ativa.



(A)



(B)

Figura 4 – Analisador de dossel, modelo LAI-2050, com “datalogger” modelo LAI-2000, marca LI-COR (A) e sensor em leitura (B)

O estudo foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado. Os resultados de transmissividade da PAR e IAF foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância em que o fator época constituiu medidas repetidas, utilizando a “procedure” GLM, opção “repeated” do “software SAS”. A análise comparativa entre os valores de PAR e IAF entre épocas em um mesmo local (variabilidade sazonal) foi realizada através do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Devido ao elevado número, a comparação entre os valores médios obtidos nos dez locais estudados, dentro de uma mesma época, foi realizada de acordo com o critério de agrupamento proposto por SCOTT e KNOTT (1974), a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do ano, considerando as quatro épocas de coleta de dados, a transmissividade média da PAR na floresta foi 4,1% e o índice de área foliar médio foi 4,5 (Quadro 3). Valores semelhantes de transmissividade da PAR foram encontrados por AYLETT (1985), LEE (1987) e RICH et al. (1993) em floresta tropical. Por outro lado, LEITÃO (1994), trabalhando na Floresta Amazônica, encontrou transmissividade média da PAR de apenas 1,3%. Este comportamento diferenciado é explicado, provavelmente, pela ocorrência ou não de clareiras, que modificam significativamente o regime da PAR no interior da floresta. O trabalho de LEITÃO (1994) foi realizado em mata densa, apresentando o estrato superior bastante fechado, em sítio com vegetação primária. Nos outros trabalhos citados anteriormente, bem como no presente estudo, ocorreu algum tipo de perturbação, pelo menos em alguns pontos, originando, assim, a presença de clareiras, que facilitam a penetração dos raios solares, ou seja, aumentam a transmissividade. O conhecimento desse tipo de informação em florestas é importante para o entendimento da partição da radiação solar nesses ecossistemas. Assim, admitindo um coeficiente de reflexão de 2,0% para a PAR, segundo trabalho de LEITÃO (1994), os resultados do presente estudo permitem concluir que a floresta estudada

absorve cerca de 93,9% da radiação solar na faixa do visível que incide sobre a mesma.

A análise de variância indicou interação significativa entre os locais e as épocas (Quadros 3 e 4). Os Quadros 5 e 6 mostram que existe flutuação espacial significativa da transmissividade e do IAF no fragmento florestal estudado. A transmissividade média mínima foi de 1,6% (local 7) e a máxima de 9,3% (local 4) e, o IAF médio mínimo foi 3,6 (locais 1 e 4) e o máximo foi 5,2 (locais 5 e 7). Nota-se que os locais com menor IAF apresentaram maior transmissividade, demonstrando, assim, forte influência da massa ótica, ou seja, galhos e folhas, a ser atravessada pelos raios solares. Os resultados obtidos no presente trabalho são similares àqueles encontrados por RICH et al. (1993), que mediram uma transmissividade média da PAR de 1,5% em dosséis fechados e 9,7% em sítios com presença de clareiras. JARDIM et al. (1993) citam pesquisas realizadas em clareiras de floresta tropical, onde a transmissividade da radiação solar incidente passa de 1 a 3,5%, para 5 a 13% quando ocorre a abertura de clareiras de tamanho médio.

Quadro 3 - Análise de variância para a transmissividade da PAR, em dez locais, em quatro épocas do ano, no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Local	9	1.547,4350	171,9372	16,9**
Resíduo A	40	405,4729	10,1368	
Época	3	542,3716	180,7905	29,13**
Época x Local	27	523,1534	19,3760	3,12**
Resíduo B	120	744,6349	6,2053	
Total	199	3.763,0670		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade

Quadro 4 - Análise de variância para o índice de área foliar (IAF), em dez locais, em quatro épocas do ano, no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG

Fonte de variação	GL	Soma de quadrados	Quadrado médio	F
Local	9	60,2770	6,6974	15,79**
Resíduo A	40	16,9630	0,4241	
Época	3	56,3202	18,7734	186,23**
Época x Local	27	12,5378	0,4644	4,61**
Resíduo B	120	12,0970	0,1008	
Total	199	158,1950		

**significativo ao nível de 1% de probabilidade

Quadro 5 - Valores médios de transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel (%) em dez locais, em quatro épocas do ano, no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG

Local	Maio 99	Agosto 99	Dezembro 99	Março 00	Média
1	5,4 <i>b</i>	12,3 <i>a</i>	13,4 <i>a</i>	4,4 <i>b</i>	8,9
2	4,1 <i>b</i>	7,0 <i>b</i>	11,2 <i>a</i>	1,5 <i>c</i>	6,0
3	1,5 <i>c</i>	3,2 <i>c</i>	4,3 <i>c</i>	1,7 <i>c</i>	2,7
4	11,5 <i>a</i>	11,3 <i>a</i>	6,4 <i>b</i>	8,1 <i>a</i>	9,3
5	0,9 <i>c</i>	2,0 <i>c</i>	2,9 <i>c</i>	0,9 <i>c</i>	1,7
6	0,8 <i>c</i>	1,3 <i>c</i>	4,3 <i>c</i>	0,9 <i>c</i>	1,8
7	0,4 <i>c</i>	1,7 <i>c</i>	3,3 <i>c</i>	1,1 <i>c</i>	1,6
8	1,4 <i>c</i>	3,7 <i>c</i>	7,8 <i>b</i>	2,0 <i>c</i>	3,7
9	1,1 <i>c</i>	1,5 <i>c</i>	6,8 <i>b</i>	1,7 <i>c</i>	2,8
10	0,6 <i>c</i>	2,6 <i>c</i>	4,9 <i>c</i>	1,8 <i>c</i>	2,5

* médias seguidas da mesma letra, no sentido vertical, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

Quadro 6 - Valores médios de índice de área foliar (IAF) em dez locais, em quatro épocas do ano, no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG

Local	Maio 99	Agosto 99	Dezembro 99	Março 00	Média
1	4,2 <i>c</i>	3,0 <i>c</i>	3,3 <i>d</i>	4,5 <i>c</i>	3,7
2	4,9 <i>b</i>	3,6 <i>b</i>	4,2 <i>c</i>	5,4 <i>a</i>	4,5
3	5,3 <i>a</i>	4,0 <i>a</i>	4,7 <i>b</i>	5,5 <i>a</i>	4,9
4	3,7 <i>c</i>	3,1 <i>c</i>	3,4 <i>d</i>	4,2 <i>c</i>	3,6
5	5,8 <i>a</i>	4,5 <i>a</i>	4,6 <i>b</i>	5,7 <i>a</i>	5,2
6	5,9 <i>a</i>	4,1 <i>a</i>	4,8 <i>b</i>	5,1 <i>b</i>	5,0
7	5,8 <i>a</i>	4,2 <i>a</i>	5,5 <i>a</i>	5,1 <i>b</i>	5,2
8	4,4 <i>b</i>	3,6 <i>b</i>	3,9 <i>c</i>	4,9 <i>b</i>	4,2
9	5,6 <i>a</i>	4,6 <i>a</i>	4,2 <i>c</i>	5,8 <i>a</i>	5,1
10	4,5 <i>b</i>	3,4 <i>b</i>	4,2 <i>c</i>	5,0 <i>b</i>	4,3

* médias seguidas da mesma letra, no sentido vertical, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

A maior transmissividade observada nos locais 1 e 4, classificados sempre nos grupos de maior transmissividade em todas as épocas, é explicada pelos baixos valores de IAF devido a presença de grande número de clareiras. Uma análise visual de campo identificou que, no local 1, era constante a presença de um grande número de pequenas clareiras, e que o local 4 apresentava menor quantidade de clareiras, entretanto, de maior tamanho. Os dados de radiação obtidos no local 4 corroboram a existência de grandes clareiras, visto que os valores de radiação solar observados sob o dossel, em alguns sensores instalados neste sítio, foram próximos aos observados no exterior da floresta. Vale destacar que na literatura existem diversas definições para clareira. Entretanto, no presente trabalho, clareira é definido como abertura no dossel da floresta, independente de tamanho, onde o regime de radiação solar próximo ao solo não é controlado exclusivamente pelas copas das árvores dominantes. Esse conceito é semelhante ao proposto por BAZZAZ e PICKETT (1980).

O local 2, apesar de apresentar valores altos de IAF em algumas épocas do ano, apresentou alta transmissividade da PAR. Entretanto, este local deve ser observado como caso especial, pois, de acordo com estudo de FERNANDES (1998), neste sítio ocorre domínio marcante das espécies *Anadenanthera peregrina* e *Piptadenia gonoacantha* no estrato superior da floresta, que possuem folíolos pequenos, estabelecendo uma arquitetura que, possivelmente, permita maior penetração da radiação solar.

Os demais locais estudados, apesar de apresentarem variações de IAF entre os mesmos, foram classificados nos grupos de maior transmissividade da PAR, a exceção dos locais 8 e 9 em dezembro de 1999. Isto pode ser explicado pela atenuação exponencial da PAR pelo dossel, ou seja, existe um ponto a partir do qual o aumento do IAF não afeta significativamente a transmissão da radiação solar, que já atingiu valor mínimo.

Analisando o fragmento florestal como um todo, ou seja, considerando todos os locais estudados, foi possível perceber uma flutuação temporal do IAF (Figura 5a). Essa variação do IAF ao longo do ano é esperada em consequência da perda de folhas em algumas espécies, no período frio e seco do ano, por se tratar de uma floresta semidecidual estacional. O IAF foi alto em maio de 1999, atingindo um valor mínimo em agosto, época em que ocorre queda parcial devido a influências climáticas. Com o reenfolhamento em dezembro, em razão do início do período chuvoso, ocorreu aumento do IAF, que atingiu valores mais elevados na última época de avaliação (março de 2000).

A transmissividade da PAR também apresentou flutuação temporal ao longo do ano (Figura 5b). Os baixos valores observados em maio de 1999 aumentaram até o final do ano, diminuindo nas medições realizadas em março de 2000.

É interessante destacar que a percepção dessas variações temporais e espaciais da transmissividade da radiação solar pelo dossel da floresta é de extrema importância no estudo da dinâmica da regeneração natural, uma vez que a radiação interfere no crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais no sub-bosque. Os resultados mostram, por exemplo, que a época de maior fixação de carbono pelas espécies em regeneração ocorreu,

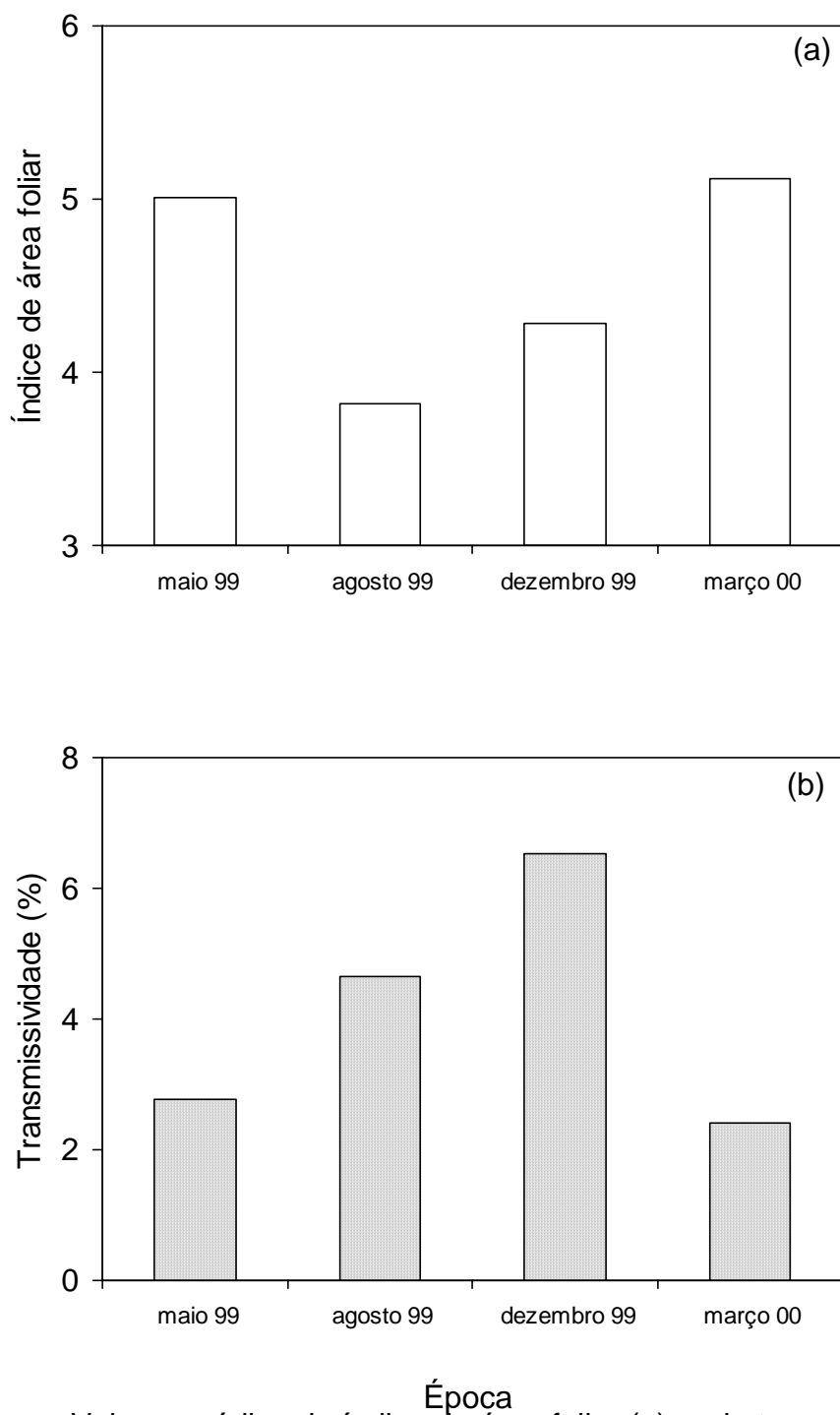


Figura 5 – Valores médios de índice de área foliar (a) e de transmissividade da radiação solar fotossinteticamente ativa (b) em floresta secundária, em Viçosa, MG.

provavelmente, entre outubro e dezembro, em razão da maior transmissividade da radiação. É importante observar que a radiação solar não é o único fator ambiental que controla a ocorrência e o estabelecimento de plantas no sub-bosque de uma floresta. Outros fatores ambientais, como, por exemplo, disponibilidade hídrica, temperatura do ar e solo, déficit de pressão de vapor e disponibilidade de nutrientes no solo, dentre outros, devem, também, ser considerados.

A transmissividade do dossel de uma floresta está intimamente ligada ao IAF, uma vez que este determina a massa vegetal que irá interceptar, absorvendo ou refletindo a radiação solar incidente. Assim, existe uma tendência de que épocas ou locais que apresentem altos valores de IAF transmitam menos energia para os estratos inferiores da floresta. Entretanto, analisando a Figura 5 é possível observar que o pico de transmissividade da PAR não ocorre na época de menor IAF e sim no final do ano, quando a emissão de novas folhas promovera um aumento do IAF. Isto ocorre devido a influência de um outro fator sobre a transmissividade que é a trajetória aparente do sol, que varia ao longo do ano na latitude onde se encontra o fragmento florestal estudado. Espera-se que a transmissividade da radiação solar seja maior quanto menor o ângulo de incidência dos raios solares.

A Figura 6 ilustra a trajetória aparente do sol, na latitude de $20^{\circ}45'$ Sul, para o dia central de cada época de coleta de dados. Nos dias 4 de maio e 10 de agosto, o sol apresenta, praticamente, a mesma trajetória, permanecendo inclinado para a direção norte ao longo de todo o dia, apresentando, ao meio-dia, um ângulo zenital ao redor de 35° , dificultando, assim, a penetração dos raios solares ao longo do dossel da floresta. Entretanto, comparando as duas primeiras épocas, observa-se um aumento da transmissividade da radiação solar devido a diminuição do IAF em agosto de 1999 (Figura 5), apesar de se ter mesma trajetória aparente do sol. No dia 8 de dezembro, o sol apresentou movimento bem mais verticalizado, com ângulo zenital próximo a zero, ao meio-dia, resultando em aumento da transmissividade, mesmo porque o IAF ainda não havia atingido valores máximos. No dia 13 de março, com o aumento

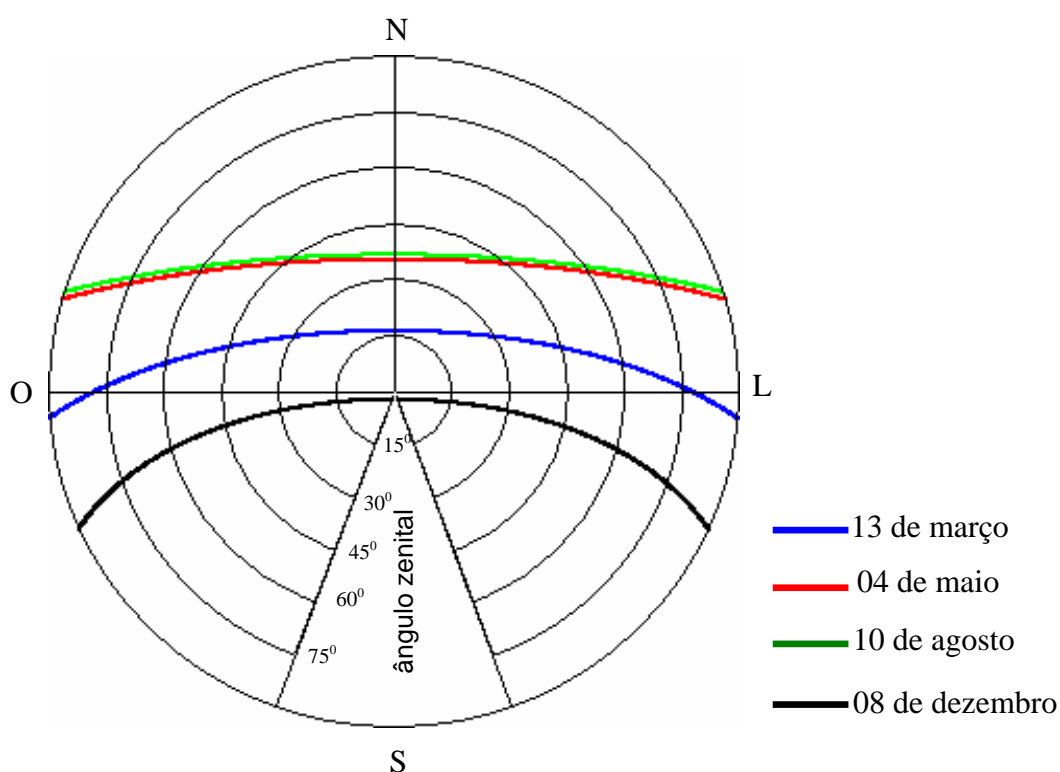


Figura 6 – Trajetória aparente do sol em 13 de março, 4 de maio, 10 de agosto e 8 de dezembro, em Viçosa, MG (latitude $20^{\circ}45'$ Sul).

do IAF e o sol apresentando, novamente, trajetória voltada para o norte, a transmissividade atingiu baixos valores.

A análise anterior leva em consideração valores médios observados em todos os dez locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso. Entretanto, devido aos diferentes valores de IAF e condições topográficas, como inclinação, exposição e posição do terreno, é esperado um comportamento diferente do regime de radiação solar em função do local.

Analisando-se individualmente cada um dos locais estudados, é possível perceber que ocorreu variação significativa dos valores de IAF ao longo do ano, para todos os locais (Figura 7). O menor IAF foi observado em agosto, coincidindo justamente com o período seco e frio do ano, para todos os locais, à exceção do local 9. Porém, nos locais 1, 4, 5, 8 e 9 não houve diferença estatística entre IAF de agosto e de dezembro apesar da tendência

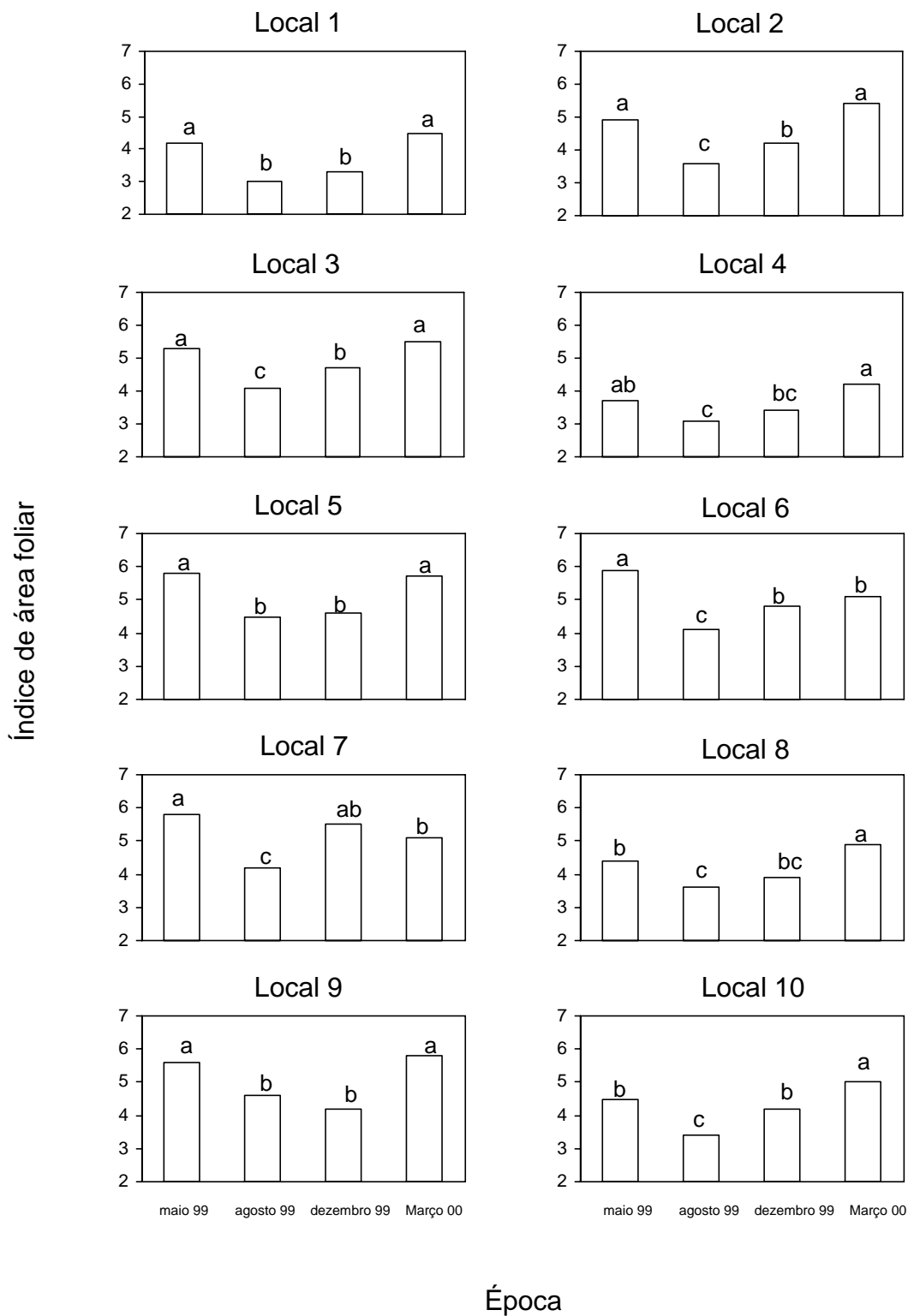


Figura 7 – Valores médios de índice de área foliar (IAF) em dez locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG (médias seguidas de uma mesma letra em cada gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade)

de aumento. Não foi possível observar diferença no comportamento da flutuação temporal do IAF em função da posição topográfica das parcelas.

Os locais com menores índices de área foliar e localizados em encostas voltadas para o nordeste (locais 1, 2 e 4) apresentam maior transmissividade (Figura 8). No local 1, por exemplo, a transmissividade aumentou significativamente entre maio e agosto devido a diminuição do IAF, mantendo-se em dezembro quando o IAF estava ainda baixo e o movimento aparente do sol favorecia ainda mais a penetração dos raios solares. A mesma tendência é percebida no local 3, ainda que as diferenças sejam menores devido aos altos valores de IAF. Já nos sítios voltados para o sudoeste (locais 6, 7, 8, 9 e 10), a diminuição do IAF em agosto pareceu não contribuir para o aumento da transmissividade, pois a trajetória do sol ainda estava voltada para a direção norte, dificultando a penetração dos raios solares no dossel da floresta. Nos locais voltados para o sudoeste a transmissividade tendeu a aumentar apenas em dezembro, quando o sol apresenta um movimento vertical (ângulo zenital próximo a zero) nas horas de maior intensidade de radiação solar. De qualquer maneira, a influência da trajetória aparente do sol parece ser limitada nos sítios com maior IAF.

Esses resultados indicam ser possível a realização de uma melhor análise da transmissividade, separando os sítios em função da orientação do terreno. A Figura 9 resume o comportamento do IAF e da transmissividade da PAR para os locais 1, 2, 3 e 4 (Figuras 9a e 9c), que estão situados em encostas voltadas para o nordeste e para os locais 6, 7, 8, 9 e 10 (Figuras 9b e 9d), localizados em encostas voltadas para o sudoeste. O comportamento do IAF ao longo do ano foi semelhante nos dois grupos, entretanto, nas encostas voltadas para o nordeste, o IAF médio foi de 4,2 e, no sudoeste, foi de 4,7. Com menor IAF e movimento aparente do sol mais favorável à penetração dos raios solares no dossel, o grupo de encostas nordeste apresentou maior transmissividade (6,7%) em relação ao grupo de encostas sudoeste (2,5%), e a flutuação ao longo do ano também foi diferente. Com a diminuição do IAF em agosto, a transmissividade aumentou nos locais voltados para nordeste em relação a maio, e permaneceu alta até dezembro. Por outro lado, os sítios em encostas sudoeste apresentaram pequeno aumento da transmissividade

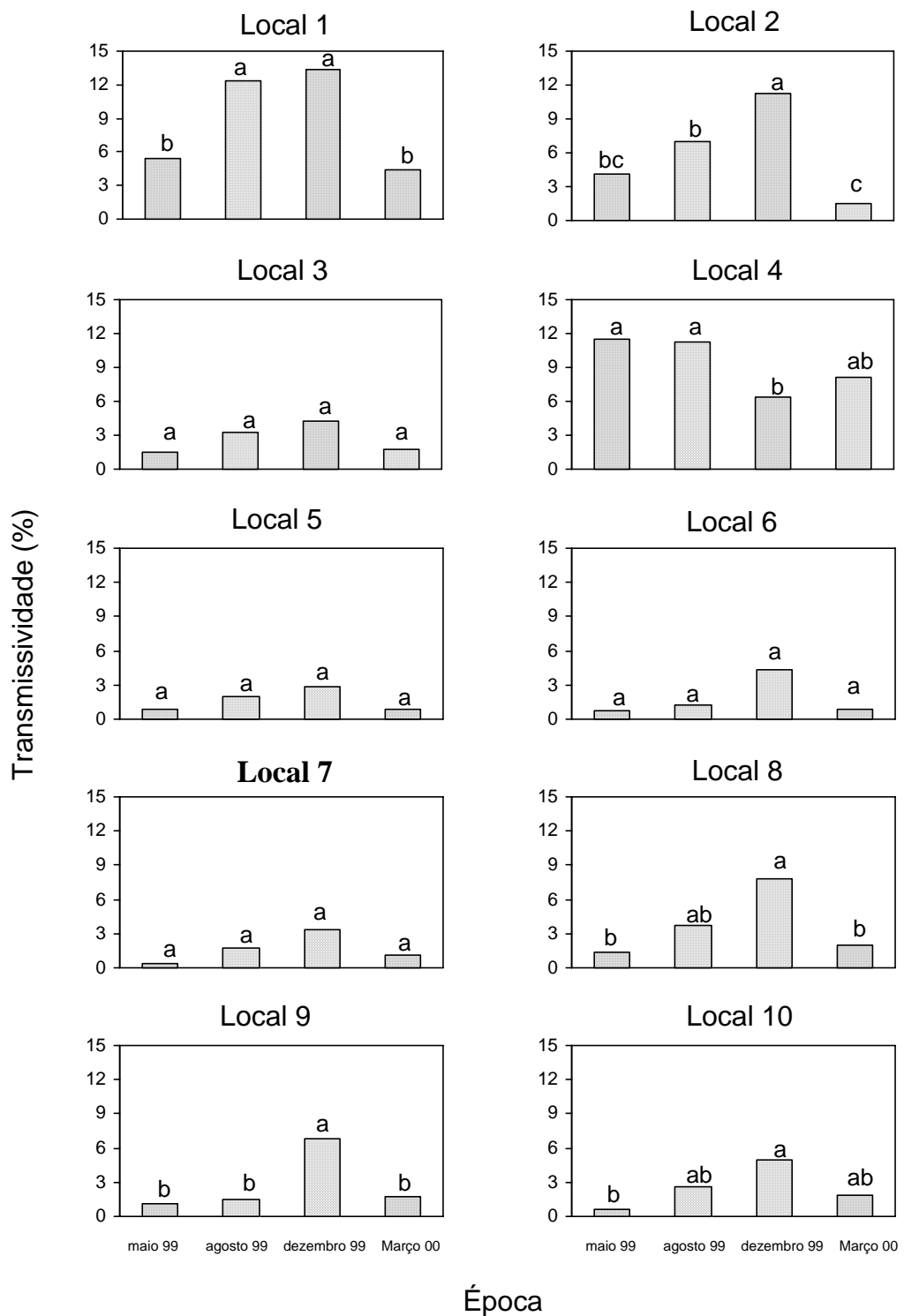


Figura 8 – Valores médios de transmissividade da radiação solar fotossinteticamente ativa em dez locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG (médias seguidas de uma mesma letra em cada gráfico não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade).

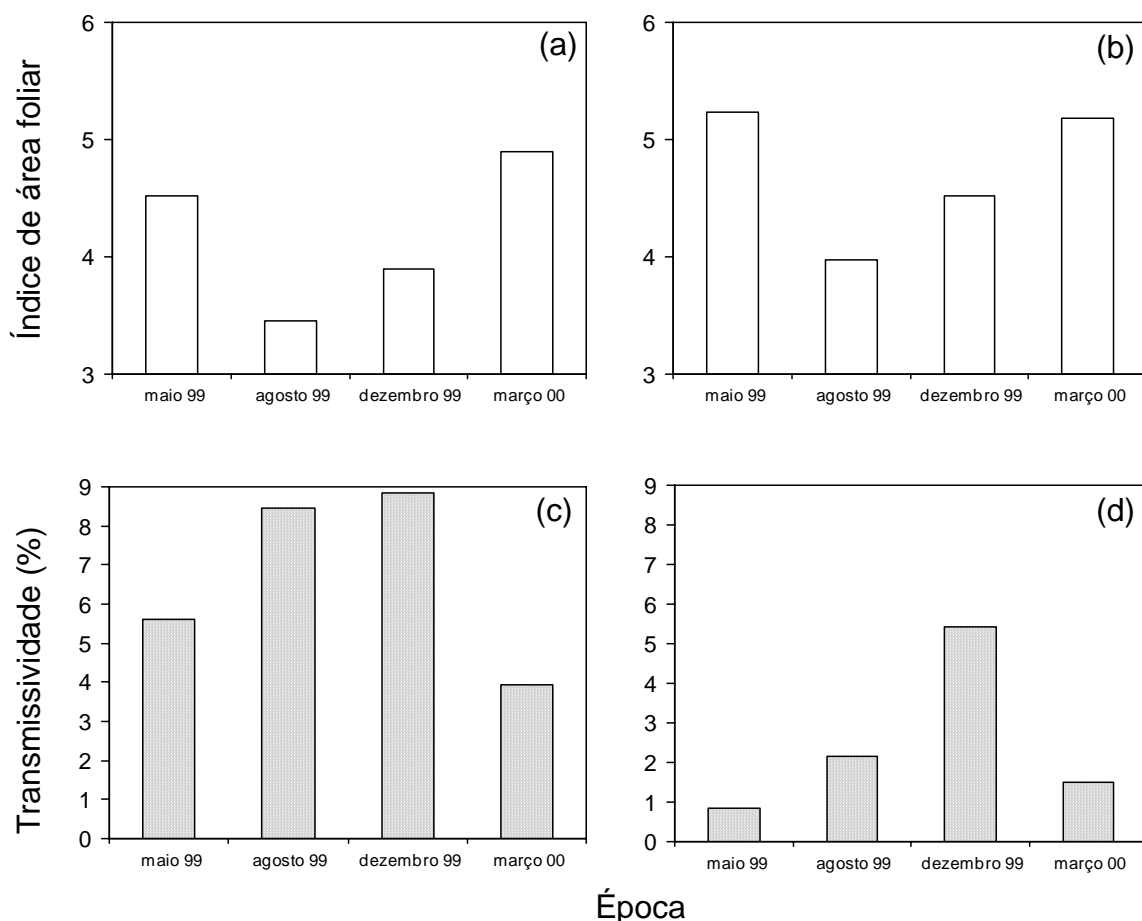


Figura 9 – Valores do índice de área foliar e de transmissividade da radiação solar fotossinteticamente ativa em encostas nordeste (a e c) e sudoeste (b e d), em floresta secundária, em Viçosa, MG.

devido à diminuição do IAF em agosto em relação a maio, mas o aumento mais evidente ocorreu somente em dezembro, devido ao movimento aparente do sol. Assim, os resultados mostram haver uma influência da orientação da encosta, do IAF e da época do ano na transmissividade do dossel da floresta estudada. Esta influência da trajetória aparente do sol e da orientação da encosta no comportamento da PAR, também, foi observada por RICH et al. (1993), no interior de floresta tropical na Costa Rica.

O comportamento do movimento aparente do sol ao longo do ano não é o mesmo para qualquer latitude ou hemisfério. No hemisfério sul, quanto maior a latitude, mais o sol apresenta uma trajetória voltada para o norte,

principalmente, entre os meses de maio a agosto. Dados extraídos de VIANELLO e ALVES (1991) mostram que, no dia de solstício de inverno (21 de junho), por exemplo, os ângulos zenitais, ao meio-dia, para as latitudes 5, 15, 25 35 e 45⁰, são respectivamente, 27, 37, 47, 58 e 70⁰, resultando em maior disponibilidade energética para as encostas voltadas para o norte, principalmente em maiores latitudes. Assim, assumindo a latitude 25⁰ como limite de ocorrência de florestas tropicais, a trajetória aparente do sol deve ser considerada nos estudos de transmissividade da radiação solar, pois esta influencia significativamente o regime da PAR, como mostrado no presente estudo.

Os resultados até aqui apresentados mostram a transmissividade calculada com base no total diário de PAR observado dentro e fora da floresta. Entretanto, rápidas flutuações no valor de transmissividade, principalmente nos horários de maior fluxo energético, podem provocar modificações microambientais significativas que certamente afetam o crescimento e desenvolvimento de plantas que habitam o sub-bosque da floresta. Dividindo a transmissividade medida entre 10:00 e 14:00 h, em classes, é possível perceber diferenças marcantes entre os sítios estudados (Figura 10). Nos locais 1, 2 e 4, por exemplo, em pelo menos 47% do tempo, a transmissividade está acima de 4%. Por outro lado, nos locais 6, 7 e 10, em mais de 80% do tempo, a transmissividade encontra-se abaixo de 4%. É interessante observar que apesar apresentarem valores semelhantes de transmissividade média (Quadro 5), os locais 3, 8 e 9 apresentam valores nas classes de maior transmissividade quando comparados aos locais 5, 6, 7 e 10. Esse comportamento diferenciado da transmissividade da PAR pode, inclusive, determinar o estabelecimento de algumas espécies vegetais, pois a ocorrência de altos valores de PAR em curtos intervalos de tempo podem contribuir significativamente para a fixação de carbono (CHADZON et al., 1996).

Este tipo de análise mostra mais detalhes quando o aspecto temporal também é considerado. Os sítios 1 e 7 apresentam a mesma declividade, entretanto, o local 1 tem menor IAF e é voltado para o nordeste, enquanto o local 7 é voltado para o sudoeste. No local 7, em qualquer época do ano, em pelo menos 80% do tempo, a transmissividade é menor que 4%, enquanto no

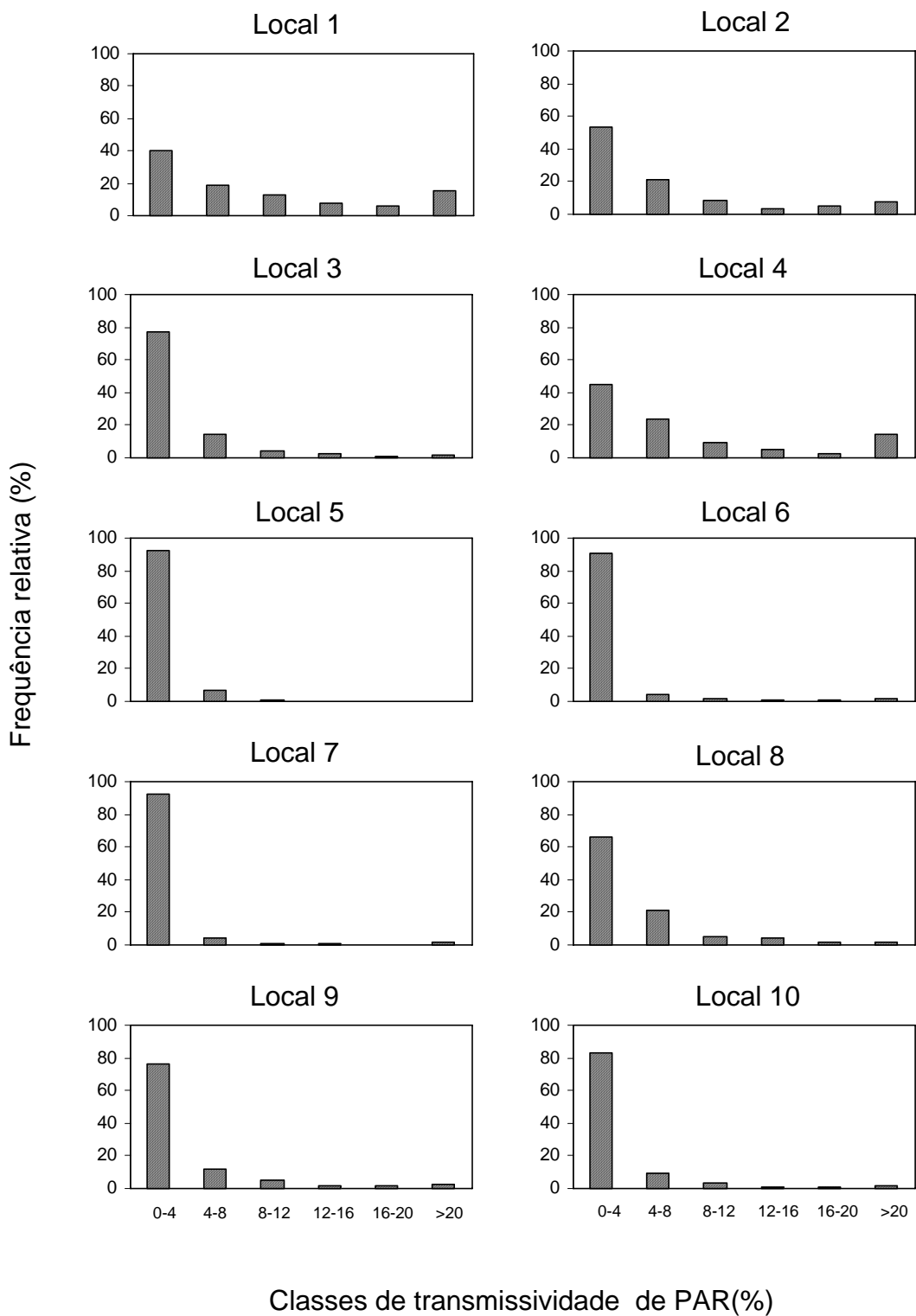


Figura 10 – Frequência relativa de ocorrência de classes de transmissividade média de PAR, entre 10:00 e 14:00 horas, ao longo de um ano, em dez locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

local 1, o comportamento da distribuição muda drasticamente dependendo da época do ano (Figura 11). No local 1, em agosto e dezembro de 1999, existe um período razoável de tempo (ao redor de 22%), entre 10 e 14 horas, dentro

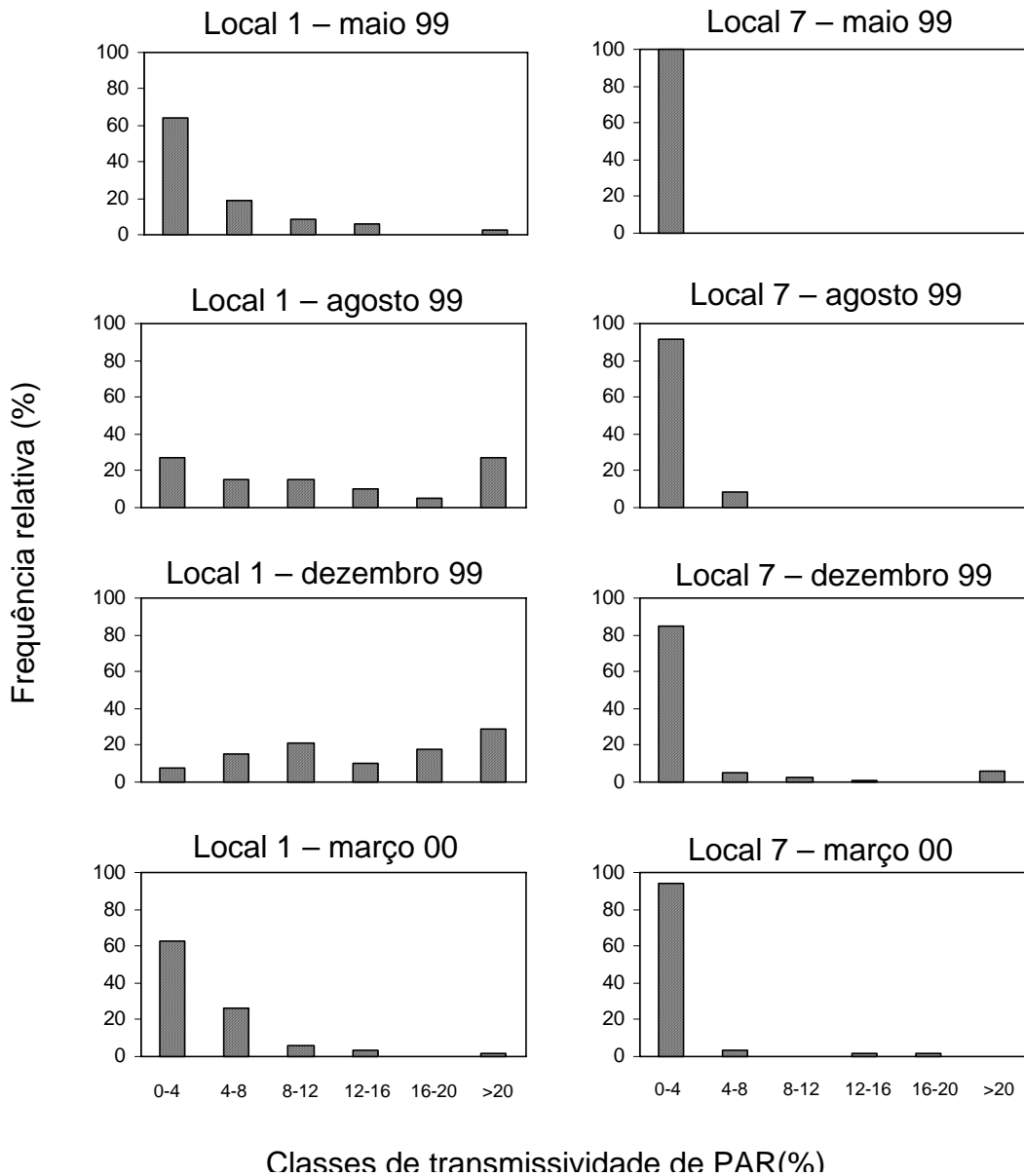


Figura 11 – Frequência relativa de ocorrência de classes de transmissividade de PAR, entre 10:00 e 14:00 horas, ao longo de um ano, em dois locais (1 e 7) no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

do qual a transmissividade é maior que 20%, indicando a ocorrência de altos valores de PAR nestas épocas do ano. Com relação aos demais locais, aqueles com menores índices de área foliar também apresentaram valores de transmissividade nas maiores classes, principalmente, no caso das encostas voltadas para o sul.

Para se ter uma noção do potencial energético em cada sítio, é interessante uma análise em termos de unidade de fótons de luz por unidade de área e tempo. Neste caso, a condição atmosférica, ou seja, a nebulosidade, é determinante no comportamento da PAR no interior do dossel da floresta. Em dias com céu limpo é comum a presença de picos de radiação solar no interior da floresta ao longo do dia. A Figura 12 ilustra duas situações típicas: um dia com céu limpo e outro nublado. No dia totalmente nublado o comportamento foi semelhante nos cinco sensores instalados no sub-bosque da floresta, que apresentaram baixos valores. Por outro lado, no dia com céu limpo, os cinco sensores apresentaram comportamento diferente, sendo comum a ocorrência de picos acima de $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No dia com céu limpo é possível observar a enorme variabilidade ambiental no interior do sítio, principalmente considerando-se que foram utilizados sensores lineares com um metro de comprimento, distantes, uns dos outros, no máximo em 40 m.

A ocorrência de picos de radiação solar é condicionada ao IAF e a posição topográfica, esperando-se, de acordo com os resultados apresentados anteriormente, ocorrência de número maior de picos de radiação solar no interior de floresta, em dias claros, nos locais com menor IAF e em encostas com exposição que favoreça a penetração dos raios solares. Na Figura 13 observa-se o comportamento da PAR em dois sítios distintos quanto a exposição da encosta e IAF. No local 6, voltado para o sudoeste, os picos de radiação só ocorrem em dezembro, enquanto nas demais épocas do ano não foram observados picos. No local 2 a ocorrência de picos é evidente em três épocas, sendo bastante pronunciada em dezembro, em razão de sua localização em encosta voltada para o nordeste, com valores muito baixos de IAF em agosto e dezembro. Neste local, dominam espécies arbóreas que, além de possuírem folíolos pequenos, perdem, quase que totalmente, as folhas no período seco e frio do ano, explicando assim a redução drástica do IAF.

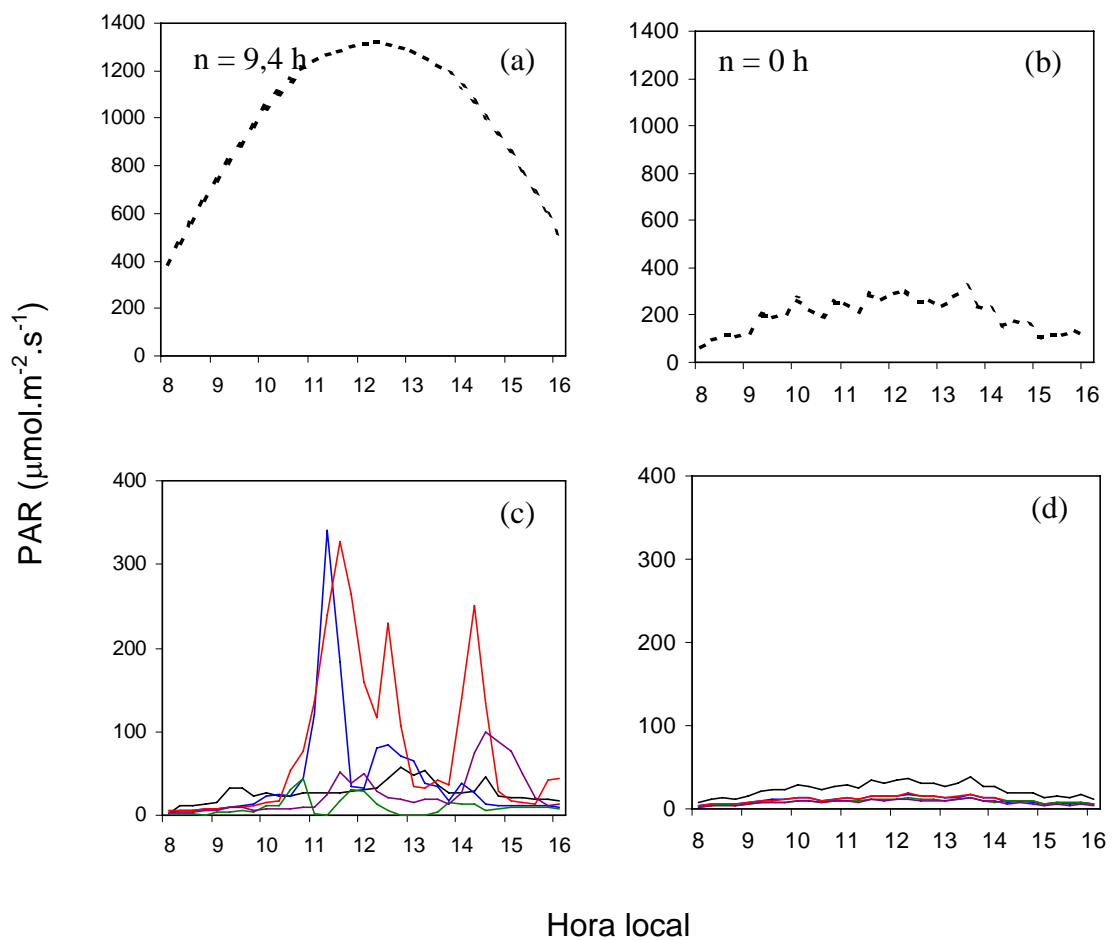


Figura 12 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) no exterior (a, b) e no interior (c, d) de uma floresta secundária (local 8) em dia com céu claro (a, c) e nublado (b, d), em agosto de 1999, em Viçosa, MG (linhas coloridas em c e d representam os valores observados em cada um dos cinco sensores). Para cada dia é indicado o total de horas com brilho solar (n).

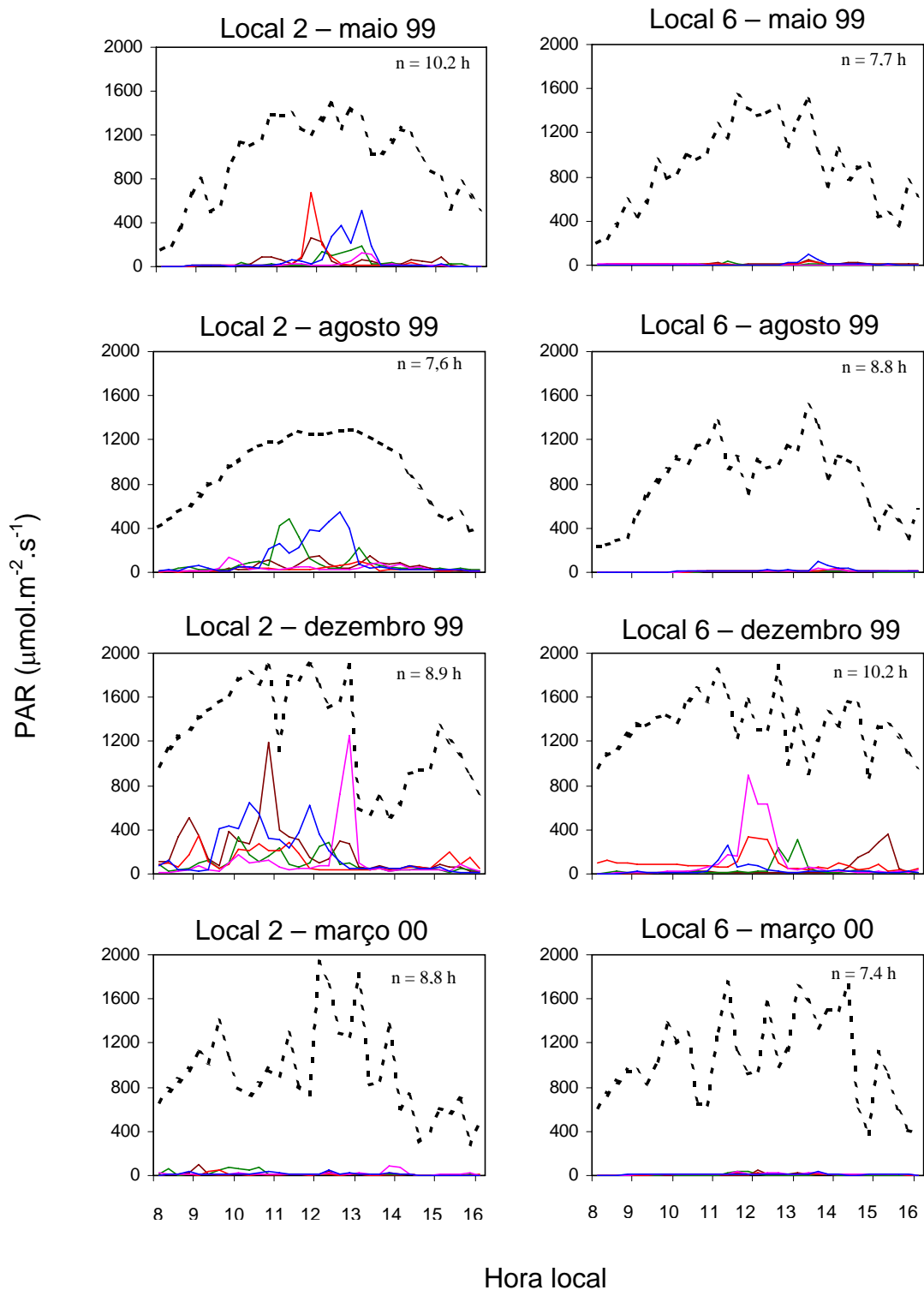


Figura 13 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) no exterior (linha pontilhada) e no interior de uma floresta secundária (linhas coloridas) nos locais 2 e 6, em quatro épocas do ano, em Viçosa, MG (linhas coloridas representam os valores observados em cada um dos cinco sensores). Para cada dia é indicado o total de horas com brilho solar (n).

Os dados apresentados nas Figuras 12 e 13 evidenciam a heterogeneidade do dossel da floresta, que constitui-se de uma floresta secundária em diferentes estádios de sucessão. Essa heterogeneidade da radiação solar no sub-bosque também foi evidenciada por LEE (1987), RICH et al. (1993), BELLINGHAM et al. (1996) e WALTER e TORQUEBIAU (1997). A constatação de heterogeneidade espacial da disponibilidade energética é indicativo da existência de elevada diversidade vegetal entre os sítios estudados, conforme detectado por VOLPATO (1994) e FERNANDES (1998).

Em razão dessa heterogeneidade, especialmente em razão de se terem diferentes estádios sucessionais e, conseqüentemente, clareiras de diferentes tamanhos, maior deve ser o número de sensores de radiação solar para que a amostragem seja suficiente para a caracterização satisfatória da disponibilidade energética no sub-bosque. Como a radiação solar é importante para o processo de regeneração natural em florestas, o estudo desta variável pode facilitar a compreensão da interação ambiente x planta, especialmente quando se tem o conhecimento do comportamento temporal e espacial da transmissividade da PAR pelo dossel no fragmento florestal estudado.

5. CONCLUSÕES

- A transmissividade média da PAR observada na floresta estudada apresentou baixo valor, semelhante ao relatado em pesquisas desenvolvidas em floresta tropical secundária, mas, acima do valor observado em floresta tropical primária.
- Existiu flutuação espacial do IAF (entre 3,8 e 5,1) devido, principalmente, ao histórico diferenciado de ação antrópica nos diversos locais estudados.
- A variabilidade do IAF e da exposição das encostas promoveram flutuação espacial significativa da transmissividade média da PAR, entre 1,8 e 9,3%, na floresta estudada, o que evidencia a influência da área foliar e do movimento aparente do sol na trajetória dos raios solares ao longo do dossel da floresta.
- Ocorreu flutuação temporal do IAF na área estudada, por se tratar de uma floresta estacional semidecidual, onde algumas espécies perdem folhas no período frio e seco do ano. Consequentemente, foi observada, também, a variação da transmissividade da PAR ao longo do ano. No entanto, a época

de maior transmissividade (dezembro de 99) não coincidiu com a época de menor IAF (agosto 99) devido a influência do movimento aparente do sol.

- Os sítios com menores índices de área foliar, e localizados em encostas voltadas para o nordeste, apresentaram maior transmissividade da PAR.
- A presença ou não de nuvens foi determinante no comportamento da radiação solar no sub-bosque da floresta. Em dias nublados os valores registrados em todos os sensores de radiação foram semelhantes, não ocorrendo picos. Em dias com céu limpo observou-se enorme variabilidade ambiental, com presença constante de picos de PAR.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A.R., VIANELLO, R.L., SEDIYAMA, G.C. et al. Irradiância solar global sobre superfícies inclinadas, em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Experimentiae**, v. 27, p.195-210, 1981.

ASTHON, P.M.S. Some measurements of the microclimate within a Sri Lanka tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 59, p. 217-235, 1992.

AYLETT, G.P. Irradiance interception, leaf conductance and photosynthesis in Jamaica upper montane rain forest trees. **Photosynthesis**, v. 19, n. 3, p. 323-337, 1985.

BALDOCCHI, D., HUTCHINSON, B., MATT, D. et al. Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33, p.177-191, 1984.

BAZZAZ, F.A., PICKETT, S.T.A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. **Annual Review of Ecology Systematics**, v. 15, p.287-310, 1980.

- BELLINGHAM, P.J., TANNER, P.M., RICH, P.M. et al. Changes in light below the canopy of a Jamaica montane rainforest after a hurricane. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, p. 699-722, 1996.
- BRAGA, P.I.S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário da floresta amazônica. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 4, p. 53-80, 1979.
- BROWN, N. A gradient of seedling growth from the centre of a tropical rain forest canopy gap. **Forest Ecology and Management**, v. 82, n. 1-3, p. 239-244, 1996.
- CANFALONE, A.E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- CHAZDON, R., PEARCY, R., LEE, D., FETCHER, N. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: Mulkey, S.S. Chazdon, R.L. Smith, A.P. **Tropical forest plant ecophysiology**. New York: Chapman & Hall, 1996. 5-55p.
- CORREA, G.F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa**. Viçosa, MG: UFV, 1984. 187p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- CULF, A.D., ESTEVES, J.L., MARQUES FILHO, A.O., ROCHA, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonian. In: Gash, J.H.C. et al., **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 175-191p.
- ECK, T.F., DEERING, D.W. Canopy albedo and transmittance in a spruce-hemlock forest in mid-September. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 59, p. 237-248, 1992.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p.

- FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FERNANDEZ, D.S., FETCHER, N. Changes in light availability following Hurricane Hugo in Subtropical Montane Forest in Puerto Rico. **Biotropica**, v. 23, n. 4, p. 393-399, 1991.
- FERNANDEZ, D.S., MYSTER, R.W. Temporal variation and frequency distribution of photosynthetic photon flux densities and landslide in Puerto Rico. **Tropical Ecology**, v. 36, n. 1, p. 73-87, 1995.
- GUARIGUATA, M.R. Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forest: management implications. **Ecological Applications**, v. 10, n. 1, p. 145-154, 2000.
- HUBER, A.W., OYARZUN, C.E., ALVAREZ, L.A. et al. Características de la radiación solar en un bosque de *Pinus radiata*, en Valdivia, Chile. **Bosque**, v. 9, n. 2, p. 115-121, 1988.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1991. 92p.
- JANUÁRIO, M., VISWANADHAM, Y., SENNA, R.C. Radiação solar total dentro e fora de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazonica**, v. 22, p. 335-340, 1992.
- JARDIM, F.C.S., VOLPATO, M.M.L., SOUZA, A.L. **Dinâmica de sucessão natural em clareiras de florestas tropicais**. Viçosa: SIF, 1993. 60p. (Documento SIF, 10)
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. Berlin: Springer, 1995. 506p.
- LEE, D.W. The spectral distribution of radiation in two neotropical rainforests. **Biotropica**, v. 19, n. 2, p. 161-166, 1987.

- LEITÃO, M.M.V.B.R. **Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta amazônica: campina, campinarana e mata densa.** São José dos Campos, SP: INPE, 1994. 135p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 1994.
- NICOTRA, A.B., CHAZDON, R.L., IRIARTE, S.V.B. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. **Ecology**, v. 80, n. 6, p. 1908-1926, 1999.
- NOBEL, P., LINTON, M.J. Frequencies, microclimate and root properties for three codominant perennials in the Northwestern Sonoran Desert on north- vs. south-facing slopes. **Annals of Botany**, p. 731-739, 1997.
- PINKER, R.T., THOMPSON, O.E., ECK, T.F. The albedo of a tropical evergreen forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 106, n. 449, p. 551-558, 1980.
- RESENDE, M. Clima e solo: suas relações com o ambiente agrícola. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 138, p. 43-49, 1985.
- REZENDE, S.B. **Estudo de crono-sequência em Viçosa – Minas Gerais.** Viçosa, MG: UFV, 1971. 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1971.
- RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- RICH, P.M., CLARCK, D.B., CLARCK, D.A. et al. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, p. 107-127, 1993.
- ROSENBERG, N., BLAD, B.L., VERNA, S.B. **Microclimate: the biological environment.** New York: Wiley-Interscience Publication, 1983. 495p.
- ROWLAND, J.D., MOORE, R.D. Modelling solar irradiance on sloping surface under leafless deciduous forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 60, p.111-132, 1992.

- SCOTT, A.J., KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping mean in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 507-512, 1974.
- SHARP, K. Calculation of monthly average insolation on a shade surface at any tilt and azimuth. **Solar Energy**, v. 28, p. 531-538, 1982.
- SHUTTLEWERTH, W.J., GASH, J.H., LLOYD, C.R. et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, n. 46, p. 1163-1169, 1984.
- SKARTVEIT, A., OLSETH, J.A. Modelling slope irradiance at high latitudes. **Solar Energy**, v.36, p.333-344, 1986.
- VELOSO, H.M.P., RANGEL, A.L.R., LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123p.
- VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária - UFV, 1991. 449p.
- VILLA NOVA, N.A., REICHARDT, K. Evaporação/evapotranspiração de um ecossistema e suas relações com o meio ambiente. **Engenharia Hidrológica**, Rio de Janeiro. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, n. 2, p.145-197, 1989.
- VOLPATO, M.M.L. **Regeneração natural em uma floresta no domínio da Mata Atlântica: uma análise fitossociológica**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- WALTER, J.N., TORQUEBIAU, E.F. The geometry of the canopy of a dipterocarp rain forest in Sumatra. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, p. 99-115, 1997.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO MICROCLIMÁTICA EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SECUNDÁRIA

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das variáveis ambientais é importante no estudo da dinâmica sucessional da vegetação. A caracterização ambiental pode, inclusive, permitir correlação entre as variáveis ambientais e a ocorrência das espécies no ecossistema (SILVA JÚNIOR, 1984; OLIVEIRA FILHO et al., 1994b; FERNANDES, 1998).

A caracterização ambiental em floresta pode envolver aspectos climáticos, fisiográficos e edáficos. No entanto, as variáveis microclimáticas são pouco estudadas, principalmente no interior do dossel de florestas nativas, destacando-se apenas alguns trabalhos na Floresta Amazônica (GOLDMAN et al., 1989; JANUÁRIO et al., 1992; LEITÃO, 1994; CABRAL et al., 1996, SOUZA et al., 1996 e MARQUES FILHO, 1997).

As avaliações microclimáticas realizadas no interior de uma floresta são de relevância para se compreender a dinâmica das espécies no ecossistema florestal. Dentre as variáveis meteorológicas, destaca-se a radiação solar, que, inclusive, serve para subsidiar as classificações ecofisiológicas de espécies florestais (BUDOWSKI, 1965; WHITMORE, 1983). Entretanto, de acordo com KIMMINS (1987), as temperaturas do ar e do solo e a umidade atmosférica, dentre outras, também, influenciam o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento das espécies no interior da floresta.

No Capítulo I, deu-se ênfase à caracterização da radiação solar fotossinteticamente ativa sob o dossel da floresta. Mas há de se considerar que a disponibilidade de radiação solar influencia na variação da temperatura e umidade do ar e do solo no interior da floresta, uma vez que o balanço de energia é alterado, influenciando as respostas fisiológicas, principalmente das plantas em regeneração natural. Desta maneira, justifica-se um estudo mais detalhado das condições microclimáticas, levando em consideração o estágio sucessional da floresta e a exposição da encosta. É, também, importante destacar que a exposição da encosta influencia as condições microclimáticas, havendo poucos trabalhos publicados sobre o assunto, principalmente na latitude onde se encontra a área do presente estudo, mesmo para cultivos agrícolas ou pastagem.

O presente estudo teve como objetivo realizar a caracterização microclimática do sub-bosque de uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG, levando em consideração seu estágio de sucessão e a orientação das encostas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Balanço de radiação em comunidades vegetais

O estudo da radiação solar em comunidades vegetais é importante, uma vez que o seu balanço determina a disponibilidade energética para processos vitais às plantas, como a fotossíntese, a evapotranspiração, além do aquecimento e resfriamento do ar e do solo.

A radiação solar incidente na superfície terrestre, denominada radiação solar global (R_s), é a soma da radiação direta mais a difusa. Essa radiação engloba as ondas curtas, uma vez que estão na faixa entre 0,4 e 3,2 μm do espectro-eletromagnético. A medição da R_s é realizada através de radiômetros e, quando existe interesse em detectar a contribuição da radiação difusa, realiza-se o sombreamento do sensor da radiação direta. Entretanto, em muitas regiões, devido a inexistência de medições através de radiômetros, a radiação solar global é determinada indiretamente, por exemplo, através do método de Angstrom que utiliza dados de insolação e cálculo da radiação no topo da atmosfera (SELLERS, 1974).

O balanço de ondas curtas (BOC) em uma superfície vegetada é definido como a radiação solar global subtraindo-se a radiação refletida (R_r):

$$\text{BOC} = R_s - R_r$$

Como o albedo varia em função das características da superfície, o BOC pode ser diferente em um determinado local, mesmo que não se altere a energia incidente (BALDOCHI et al., 1984).

O balanço de radiação de ondas longas, outro componente do balanço de radiação, é definido como a radiação atmosférica em direção à superfície (contra-radiação - R_c), menos a radiação emitida pela superfície (R_t):

$$\text{BOL} = R_c - R_t$$

Esse balanço recebe a denominação de balanço de ondas longas, por se tratar de radiação com comprimento de onda superior a $4\mu\text{m}$. Em superfícies naturais, o BOL diário é negativo, podendo, entretanto, apresentar comportamento diferente em condição de alta nebulosidade, quando a contribuição da contra-radiação é grande. Este balanço é de difícil determinação através de instrumentos, sendo freqüente o uso de modelos que estimam o BOL ao longo de um dia. Dentre os modelos mais utilizados destaca-se a equação de Brunt, baseada na temperatura do ar, pressão de vapor e razão de insolação (SELLERS, 1974).

Finalmente, o saldo de radiação (R_n) é obtido pela soma dos balanços de radiação de ondas curtas e longas:

$$R_n = \text{BOC} + \text{BOL}$$

O conhecimento do saldo de radiação é de extrema importância para o entendimento do comportamento espacial e temporal de outras variáveis meteorológicas, sendo também um dos componentes do balanço de energia nos estudos micrometeorológicos, que influencia os fluxos de calor no solo, calor sensível e latente (ROSENBERG et al., 1983). Assim, a caracterização microclimática da floresta envolvendo avaliações dos termos do balanço de

radiação torna a caracterização física do ambiente bem mais completa e precisa.

2.1.1. Balanço de radiação em florestas

Uma variável muito importante no balanço de radiação é o albedo. Trabalhando em floresta tropical, SHUTTLEWORTH et al. (1984) determinaram um albedo de 12,1%, ao passo que PINKER et al. (1980), nas mesmas condições, obtiveram valores entre 12,5 e 14,5%. Estes valores são semelhantes aos relatados por RESCHKE (1997). Todavia, os valores de albedo variam em distintas formações florestais. Em florestas de Pinus, STEWART (1971) observou valores entre 8,7 e 9,5% e, em floresta temperada, ECK e DEERING (1992) obtiveram valores entre 9,2 e 10,7%.

A flutuação temporal do albedo pode ser analisada ao longo de um dia ou ano. Na escala diária, o albedo é dependente do ângulo zenital do sol, ou seja, quanto maior a elevação do sol, menor a inclinação dos mesmos e menor o albedo, o que implica em valores mínimos ao meio-dia. Na realidade, superfícies vegetadas produzem valores mais elevados de albedo apenas ao amanhecer ou ao entardecer, prevalecendo, no restante do dia, valores mais baixos e bem próximos. Em dias nublados, a variação diária do albedo quase desaparece (BASTABLE et al., 1993).

Em florestas decíduais, ou semidecíduais, onde ocorre queda total ou parcial das folhas em determinada época do ano, é esperada flutuação do albedo com o regime fenológico da floresta. Em floresta tropical decídua, no México, BARRADA e ADEM (1992) observaram que o albedo foi praticamente constante (ao redor de 16%) quando o índice de área foliar era máximo, mas apresentou elevação acentuada (cerca de 24%) no período de menor índice de área foliar. Nesse trabalho, os autores observaram, também, influência da precipitação pluvial na flutuação do albedo, possibilitando o desenvolvimento de modelo para estimativa do albedo em função da cobertura foliar e de chuvas. A avaliação do albedo é importante, uma vez que há relação com a absorção e transmissão de radiação pelo dossel da floresta.

CULF et al. (1996) realizaram um estudo dos componentes do balanço de radiação ao longo do ano em floresta próximo a Manaus, AM. O saldo de radiação foi proporcional à energia incidente (R_s) ao longo do ano, não apresentando flutuação muito grande devido a latitude local, ou seja, não houve sazonalidade da radiação no topo da atmosfera. No período estudado, ao longo de um ano, os valores mensais médios observados de R_n , R_s , R_r e BOL, foram, respectivamente, 11,1; 15,7; 1,9 e $-2,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Também, a relação entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global (R_s) é geralmente obtida através de equações de regressão semelhantes à equação:

$$R_n = a + b R_s$$

O coeficiente “b” indica que a relação R_n/R_s é dependente do albedo da superfície, ou seja, quanto menor o albedo, mais próximo de 1,0 será a relação R_n/R_s . O coeficiente “a” sugere a contribuição do balanço de ondas longas no saldo total de radiação, ou seja, quanto mais negativo, maior a perda de energia de ondas longas pela superfície e menor a contra-irradiação (RESCHKE, 1997).

Ajustando a equação anterior com dados de uma floresta tropical, RESCHKE (1997) encontrou valores de “a” iguais a -40,3 e -21,2 para a estação seca e chuvosa, respectivamente, indicando haver maior perda de radiação termal (ondas longas) com baixa nebulosidade. O valor do coeficiente “b” foi semelhante nas duas estações, 0,80 (estação seca) e 0,78 (estação chuvosa), indicando haver pequena flutuação do albedo da floresta durante o ano.

A contribuição da radiação solar global pode ser obtida pela correlação da razão de insolação com o saldo de radiação, uma vez que a razão de insolação indica o total de horas de brilho solar em relação ao máximo (comprimento astronômico do dia), explicando muito bem o comportamento da radiação total incidente, principalmente em regiões próximas ao equador onde a flutuação da radiação no topo da atmosfera é mínima. ANDRÉ et al. (1988) observaram que a R_n flutuou entre $5,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, para uma razão de

insolação de 0,2, até 16,5 MJ.m⁻².dia⁻¹, para uma razão de insolação ao redor de 0,9.

Na região equatorial, a energia radiativa que as florestas recebem não depende da influência das estações do ano, pois a radiação no topo da atmosfera é praticamente a mesma ao longo do ano. Um fator muito importante que altera completamente o total de radiação incidente na superfície nessa região é a condição de nebulosidade. Baseando-se em resultados de vários estudos de regimes de radiação em florestas tropicais, PEREIRA (1997) encontrou, em média, radiação solar global em torno de 18 MJ.m⁻².dia⁻¹, com, BOC igual a 15,6 MJ.m⁻².dia⁻¹ (assumindo albedo igual a 13%). Com BOL em torno de -5 MJ.m⁻².dia⁻¹, o saldo de radiação médio foi de 10,6 MJ.m⁻².dia⁻¹. Na estação chuvosa, 64% de R_n é convertido em fluxo de calor latente (evapotranspiração) e 29% em calor sensível, mas, na estação seca, os valores foram, respectivamente, de 13 e 80%.

Em floresta temperada, o balanço de radiação e, conseqüentemente, o balanço de energia é bem diferente em relação à floresta tropical. Em altas latitudes, o saldo de radiação é dependente da estação do ano. Em floresta temperada, o saldo de radiação atinge valores acima de 15 MJ.m⁻².dia⁻¹ no verão, reduzindo bruscamente no inverno até valores próximo a 5,0 MJ.m⁻².dia⁻¹, havendo, inclusive, alteração no balanço de energia que é influenciado, também, pela fenologia das árvores (KOZLOWSKI et al., 1991).

2.1.2. Mudanças na superfície e o balanço de radiação

Uma maneira de buscar o entendimento do comportamento do clima em decorrência de mudanças ambientais se dá através do desenvolvimento de modelos de circulação geral da atmosfera. Um estudo bastante freqüente é a estimativa do impacto do desmatamento sobre o clima local, regional e global (RIBEIRO, 1994). Neste caso, um aspecto que precisa ser abordado é a interação entre a superfície estudada e a atmosfera, sendo de fundamental importância a caracterização do balanço de radiação em função das modificações na superfície.

Comparando o balanço de radiação em floresta densa e pastagem na Região Amazônica, RIBEIRO (1994), CULF et al. (1995) e RESCHKE (1997) observaram valores maiores de albedo e menor de saldo de radiação nas áreas de pastagem. As avaliações indicaram que o albedo variou entre 12 e 14% em floresta, e 18 e 21% em pastagem.

Existe um gradiente de albedo na mudança de área de floresta para pastagem ou cultivo agrícola. A floresta secundária apresenta valor intermediário entre a vegetação primária e as áreas de agricultura e pastagem. Segundo GIAMBELLUCA et al. (1997), é interessante observar que logo após o corte da floresta, o albedo é bem inferior, possivelmente em razão da exposição do solo. Entretanto, áreas em avançada sucessão ecológica (acima de 10 anos de regeneração natural), em condição tropical, apresentam albedo semelhante ao de floresta primária.

Em floresta temperada, BOURQUE et al. (1995) também verificaram brusca alteração do albedo após o corte da floresta. Também, desenvolveram modelo semi-empírico que estima o albedo ao longo dos anos assumindo que ocorre, logo após o corte, a sua regeneração natural. Medidas anteriores ao corte da floresta indicaram albedo em torno de 17%. Após o corte, o albedo reduziu para 15%, provavelmente, em resposta às características do solo. Algum tempo depois observou-se elevação do albedo, atingindo valor máximo ao redor de 23,5%. Isto deve ter ocorrido devido às características das espécies que se desenvolveram após o corte raso possuir elevado albedo. Entretanto, após cerca de três a quatro anos do corte, começa a ocorrer queda do valor de albedo que, de acordo com o modelo, apresentará valor semelhante ao observado antes de corte, ao redor de 16 anos após a intervenção.

Os estudos relatados denotam a importância das características da superfície no cálculo do balanço de radiação, para que, por exemplo, modelos de simulação do clima ou do crescimento de plantas sejam ajustados corretamente.

As diferenças de albedo entre floresta e pastagem provocam diferenças significativas no balanço de ondas curtas e explicam, em grande parte, as diferenças no saldo de radiação. Como a pastagem apresenta albedo maior, o

balanço de ondas curtas será menor devido a maior reflexão, numa mesma intensidade de radiação incidente (R_s). Como consequência, o saldo de radiação na pastagem será menor em comparação à floresta. RESCHKE (1997) observou que o saldo de radiação em torno do meio-dia na floresta foi 22,6% na estação seca, e 10,7% na estação chuvosa, maior que na pastagem.

CULF et al. (1996) também observaram que o balanço de ondas longas foi maior, ou seja, menos negativo, sobre a floresta, contribuindo, também, para aumentar o saldo de radiação sobre a floresta. De acordo com os autores, o saldo de radiação foi 11,1% menor na pastagem, pois a radiação refletida foi maior (33,3%) e o balanço de ondas longas foi mais negativo (13,2%).

Assim, os resultados das pesquisas mostram que o desmatamento provoca redução na energia total absorvida pela superfície, o que deve alterar os demais componentes do balanço de energia, como os fluxos de calor sensível e calor latente.

Quando o balanço de radiação é feito em superfícies diferentes espera-se um comportamento diferenciado devido às características de cada superfície. Entretanto, LEITÃO (1994), pesquisando o balanço de radiação em três ecossistemas naturais (mata densa, campinarana e campina), não observou diferenças significativas com relação ao albedo, o que resultou em balanços de ondas curtas similares nos ecossistemas. Este aspecto é interessante, pois, no caso da campina, existe uma razoável proporção de solo exposto, que deveria alterar o comportamento da superfície em relação à reflexão.

2.2. Fatores que determinam o microclima

Microclima pode ser definido como o clima próximo à superfície. No caso de uma floresta, os estudos microclimáticos envolvem a caracterização do ambiente que se estende desde alguns metros acima das copas das árvores, até o interior destas, no sub-bosque ou nas primeiras camadas do solo. A caracterização do microclima de uma superfície qualquer envolve a análise do comportamento de variáveis como radiação solar, temperatura e umidade do ar

e solo, velocidade do vento, dentre outras. Em cultivos agrícolas, pastagem ou floresta, o microclima afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (JONES, 1992).

As condições microclimáticas em uma comunidade vegetal são controladas pelo balanço de energia em sua superfície. O balanço de energia pode ser definido como a partição do saldo de radiação (R_n), em fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor para o solo (S) além da energia utilizada no processo fotossintético (F) e do calor armazenado nas plantas. Porém, devido as respectivas grandezas, o balanço de energia pode ser resumido pela equação:

$$R_n = LE + H + G$$

No balanço de energia, a superfície passa a ser fonte ou dreno de energia em função do comportamento do saldo de radiação. Se R_n é positivo, a superfície comporta-se como fonte de calor, ou seja, fornece calor sensível para as camadas próximas (aquecendo o ar) e calor latente, através da evaporação, além de fornecer calor para o solo. Isto é o que ocorre durante o dia, pois como foi visto anteriormente R_n é positivo durante o dia. À noite, como R_n é negativo, a superfície comporta-se como sumidouro de energia, resfriando o ar adjacente a esta superfície e o solo. De maneira resumida, este é o balanço de energia que condiciona o microclima próximo a uma superfície qualquer (ROSENBERG et al., 1983). Porém, este balanço apresenta somente componentes verticais, podendo ser alterado pelos fluxos horizontais de energia, ou seja, pela advecção.

Por outro lado, duas superfícies podem apresentar saldos de radiação parecidos, mas com partição de energia completamente diferente, uma vez que características como a densidade de cobertura vegetal, área transpiracional, fisiologia das plantas, teor de água no solo, entre outras, podem modificar os fluxos de calor sensível, latente e de transferência de calor para o solo (GEIGER, 1960).

2.2.1. Microclima no interior e exterior de florestas

As diferentes características entre as superfícies promovem alterações no saldo de radiação e conseqüentemente no balanço de energia, modificando, assim, as características microclimáticas. Comparando o microclima acima da copa das árvores e sobre pastagem, BASTABLE et al. (1993), RIBEIRO (1994) e RESCHKE (1997) observaram amplitudes diárias da temperatura do ar e déficit de pressão de vapor maiores nas áreas de pastagens. Estes trabalhos relatam valores bem diferenciados, mas todos mostram maior amplitude térmica durante a estação seca.

Comparando a temperatura do ar observada sobre floresta e pastagem, RIBEIRO (1994) verificou que o comportamento ao longo do dia é bastante semelhante, mas a amplitude é significativamente diferente. Acima do dossel da floresta, a temperatura mínima é maior e a temperatura máxima é menor, o mesmo acontecendo com o déficit de pressão de vapor.

WRIGHT et al. (1996) estudaram o comportamento da amplitude térmica diária em três locais diferentes, ao longo do ano, acima de floresta e de pastagem. Em todos os locais, a amplitude térmica foi maior sobre a pastagem, tendo sido explicado, parcialmente, pela baixa rugosidade da pastagem e mudanças nos fluxos do balanço de energia. À noite, a temperatura sobre a pastagem é mais baixa devido a menor eficiência para quebrar a inversão térmica. Durante o dia, principalmente na estação seca, a maior temperatura diurna é observada sobre a pastagem devido a redução da evaporação (menor fluxo de calor latente), com conseqüente aumento do calor sensível (aquecimento do ar). As pequenas diferenças encontradas entre os locais estudados, acima do dossel da floresta, podem ser, também, devido à altura de instalação dos sensores, que não foi a mesma em todos os locais, e também devido a variação da rugosidade das superfícies.

Os trabalhos de BASTABLE et al. (1993), RIBEIRO (1994), WRIGHT et al. (1996) e RESCHKE (1997) compararam medidas realizadas em área de pastagem com medidas acima das copas das árvores dentro da camada limite. Medições no interior da floresta deverão apresentar,

provavelmente, diferenças ainda maiores pelo fato do dossel comportar-se como proteção.

O comportamento da radiação solar ao longo do perfil da floresta foi discutido no Capítulo I. Entretanto, a temperatura e umidade do ar e do solo, dentre outras variáveis, também devem ser analisadas, uma vez que podem influenciar direta ou indiretamente o crescimento e desenvolvimento de plantas na floresta.

CABRAL et al. (1996) relatam o comportamento do microclima dentro de uma floresta. Ao nascer e pôr-do-sol, as diferenças ao longo do perfil são pequenas, entretanto, nos horários mais quentes do dia ocorre um aumento da temperatura com a altura. Em determinado dia, a temperatura máxima a 5 m de altura atingiu cerca de 27,0 °C e a 35 m (topo da floresta), ao redor de 30 °C. Isto é esperado, uma vez que o ponto mais alto encontra-se próximo da superfície média da floresta, que, a este horário do dia, funciona como fonte de calor. Com relação ao perfil da umidade do ar, foram observados maiores valores no interior da floresta, com comportamento semelhante de déficit de umidade específica. Na menor altura de avaliação (5 m), o déficit de umidade específica atinge valor máximo de 3,8 g.kg⁻¹ contra 14,0 g.kg⁻¹, observado a 35 m de altura.

Comparando a temperatura do solo sob uma floresta em relação a solo desnudo ou coberto por uma camada menos densa, como, por exemplo, pastagem ou cultivo agrícola de pequeno porte, espera-se menor valor de temperatura no interior da floresta, além de uma menor amplitude térmica diária. Comparando floresta com pastagem, SOUZA et al. (1996) observaram que a temperatura do solo (a 20 cm de profundidade) sob pastagem foi 3,7 °C maior em relação a floresta, às 10:00 h, na estação seca, quando as diferenças são mais pronunciadas.

Estudando o fluxo de calor no solo sob floresta e em pastagem, RESCHKE (1997) verificou que as diferenças são maiores na estação seca, quando a pastagem apresenta flutuação significativa do fluxo de calor ao longo do dia. Isto é causado, provavelmente, pela presença de nuvens no verão, que reduz a radiação solar incidente, além de maior umidade no solo no período chuvoso que altera os componentes do balanço de energia.

Avaliações microclimáticas comparando o interior da floresta com áreas abertas, geralmente uma pastagem, são interessantes, para dar uma idéia das modificações ambientais provocadas pela retirada da floresta. Essa informação é importante para o entendimento do manejo da regeneração natural. Comparando o microclima, a um metro de altura do solo, dentro de uma floresta e sobre pastagem na Costa Rica, HOLL (1999) verificou que a área de pastagem apresentou maior temperatura do ar e maior déficit de pressão de vapor. CESTARO (1988), comparando medidas micrometeorológicas no interior de Mata de Araucária e pastagem, observou uma acentuada diminuição da amplitude térmica do solo na mata, além de pequenas alterações na temperatura e umidade relativa do ar.

As diferenças microclimáticas entre o interior da floresta e áreas abertas na região de clima temperado apresentam a mesma tendência observada nos trópicos, mas com diferente magnitude devido a modificação da disponibilidade energética. Em floresta na América do Norte (latitude 48°), CHEN et al. (1993) observaram um aumento significativo da temperatura do solo e do déficit de pressão de vapor após o seu corte em relação aos valores medidos no interior da floresta. Também verificaram que na zona de transição, entre a área explorada e a remanescente, existe um gradiente de radiação solar, no entanto, os valores de temperatura e déficit de pressão de vapor foram semelhantes aos da área explorada.

A abertura de clareira promove modificação microambiental importante para o processo de sucessão ecológica em floresta. A maior disponibilidade energética numa clareira favorece a ocorrência de maior temperatura do ar e do solo comparado à superfície abaixo de floresta fechada. Trabalhando em floresta tropical chuvosa, ASHTON (1992) verificou que as clareiras apresentaram maior amplitude térmica do ar, mas as maiores diferenças foram verificadas no solo, principalmente em dias claros, tendo sido observado aumento de até 9 °C na temperatura do solo na clareira, em comparação com o sub-bosque da floresta. Em floresta temperada, também, ocorrem modificações ambientais provocadas pelo surgimento de clareiras. FREITAS e ENRIGHT (1995) verificaram aumento de 3,5 °C na temperatura máxima do ar e de 7,6 hPa no déficit de pressão de vapor no interior de clareiras de maior

tamanho (250 m²). Por outro lado, uma clareira de menor porte apresentou comportamento intermediário entre a clareira maior e o sub-bosque no interior da floresta.

Como discutido no Capítulo I, as mudanças na declividade e orientação das encostas alteram a disponibilidade energética, dependendo da latitude e época do ano, podendo resultar em modificação do microclima próximo ao solo. GEIGER (1960) mostra a influência da inclinação e da exposição da encosta na produtividade, qualidade e tamanho do ciclo de culturas agrícolas. HANNAH (1968) mostra que, no hemisfério norte, a maior insolação na encosta sul resulta em maior evapotranspiração (consumo de água), com conseqüente deficiência hídrica. Logicamente, a ocorrência ou não de deficiência hídrica ocorre em função da maior ou menor disponibilidade de água no solo.

A magnitude da influência do relevo no microclima depende, dentre outros, da época do ano. NOBEL e LINTON (1997) verificaram que as diferenças na temperatura do ar e do solo entre encostas com exposições norte e sul foram significativas tanto no solstício de inverno, como no equinócio de primavera. No solstício de verão, devido ao movimento aparente do sol, a disponibilidade energética não variou em função da orientação da encosta, não havendo, portanto, diferenças microclimáticas.

A retirada total da floresta e a abertura de clareira provocam modificações ambientais significativas, que podem ser expressas por variações na radiação solar, temperatura e umidade do ar e solo. O conhecimento da magnitude dessas modificações é de extrema importância para o manejo da regeneração natural e da floresta como um todo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. A caracterização do tipo climático, relevo e histórico da área foram descritos, detalhadamente, no Capítulo I.

3.2. Avaliações microclimáticas

As avaliações microclimáticas foram realizadas em três locais (A, B e C) no interior do fragmento florestal. Dois locais escolhidos apresentavam exposições diferentes, um ao norte e outro ao sul, com declividade, posição topográfica e estágio seral de sucessão ecológica semelhantes. Um terceiro local escolhido apresentava encosta sul, com declividade, posição topográfica semelhantes às encostas citadas anteriormente, mas apresentando vegetação em estágio seral de sucessão menos avançado (Quadro 1). Esses locais foram escolhidos após estudo dos dados obtidos na primeira avaliação da radiação fotossinteticamente ativa e do índice de área foliar, realizada no estudo descrito

Quadro 1- Caracterização da declividade, exposição, posição topográfica e índice de área foliar (IAF) nos três locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

	Local		
	A	B	C
Declividade (%)	40	43	45
Exposição	nordeste	nordeste	sudoeste
Posição topográfica	terço superior	terço inferior	meia encosta
IAF (setembro* -1999)	3,6	4,1	4,1
IAF (janeiro e fevereiro** –2000)	4,4	5,4	5,1

* - final da estação seca na região

** - meio da estação chuvosa na região

no Capítulo I. Os locais A, B e C correspondem, respectivamente, aos locais 1, 3 e 7, conforme Quadro 1 do Capítulo I.

As medidas microclimáticas foram realizadas em duas épocas, nos períodos de 02 a 26 de setembro de 1999 e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000. A escolha dessas épocas para a realização das avaliações visou caracterizar o ambiente em condições distintas de densidade de fluxo energético, declinação do sol e estágio fenológico da floresta, ou seja, plantas com elevada área foliar no verão e baixa área foliar no final do inverno e início da primavera, correspondendo, respectivamente, à estação chuvosa e ao final da estação seca na região. Na primeira época o total pluviométrico observado foi 50,7 mm, com apenas um dia apresentando chuva acima de 5 mm. Na segunda época o total de chuva foi 350,8 mm, com 13 dias apresentando chuva acima de 5 mm.

O estudo microclimático envolveu a medição das seguintes variáveis:

- a) saldo de radiação;
- b) radiação solar global;
- c) radiação fotossinteticamente ativa;
- d) temperatura do ar;
- e) umidade relativa do ar;
- f) temperatura do solo.

Os sensores de saldo de radiação e da radiação solar foram instalados a um metro de altura do solo, com o objetivo de caracterizar as condições ambientais em que se encontra a maioria das plantas em regeneração natural na floresta estudada. O saldo de radiação foi determinado com radiômetro modelo Q-7, marca REBS. A radiação solar global foi medida com radiômetro, modelo LI-200, e a radiação fotossinteticamente ativa com sensor pontual, modelo LI-190, ambos marca LI-COR. Todos os radiômetros foram previamente calibrados sempre contra aquele mais novo, com o objetivo de corrigir possíveis alterações no fator de calibração em função do tempo de construção.

A temperatura do solo foi medida através de termistores, modelo 108B, marca Campbell, a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade. A temperatura e a umidade relativa do ar foram determinadas a um metro de altura acima do nível do solo, através de um conjunto psicrométrico, modelo HPM 35, marca Vaisala, em abrigo ventilado.

Na aquisição de dados foram utilizados “dataloggers”, modelo CR10, marca Campbell, e modelos LI-1000 e LI-1400, marca LI-COR. Estes sistemas permitem leitura em curto intervalo de tempo, com armazenamento em módulo de memória para posterior transferência dos dados para microcomputadores. Os “dataloggers” foram programados para leitura a cada cinco segundos com cálculo de média a cada 60 minutos. As Figuras 1 e 2 mostram como alguns instrumentos e coletores de dados foram instalados no campo e utilizados no presente trabalho.

Visando possibilitar comparação, as avaliações microclimáticas foram realizadas simultaneamente nos três locais, e, também, em área aberta adjacente à floresta, dentro da Estação Experimental. Na área aberta, o saldo-radiômetro e os sensores de temperatura do ar e do solo e de umidade relativa do ar foram instalados sobre uma pequena área de solo descoberto (7 m²), circundada por capim de porte baixo (até um metro de altura).

Foram ajustados modelos de regressão para explicar o comportamento da PAR nos locais no interior da floresta em função dos valores observados na área aberta. Também, foram ajustados modelos para explicar o comportamento da temperatura máxima do solo no interior da floresta em função da

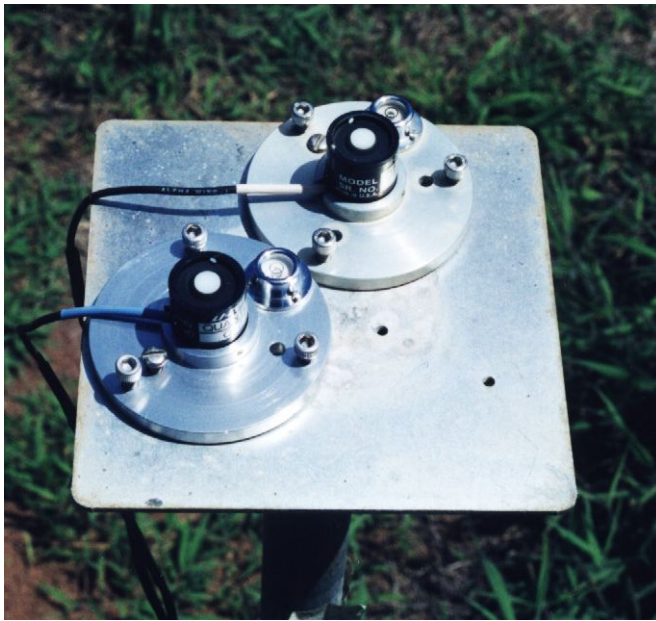


(a)

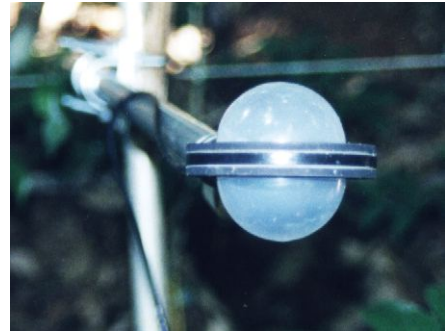


(b)

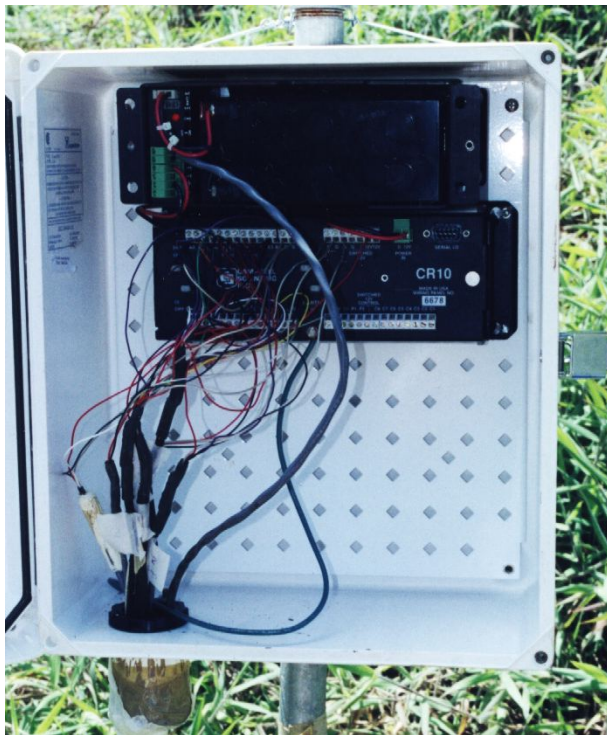
Figura 1 – Aspecto da instalação de alguns instrumentos em área aberta (a) e no interior de uma floresta secundária (b), em Viçosa, MG.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 – Radiômetros para determinação da radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa (a), saldo-radiômetro (b), “datalogger” (c) e abrigo ventilado com sensor de temperatura e umidade do ar (d), instalados em área aberta e no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

disponibilidade energética na área aberta. A escolha da temperatura máxima do solo deu-se em função dessa variável microclimática apresentar os maiores contrastes entre a área aberta e o interior da floresta. Os modelos apresentados foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Após os ajustes dos modelos, foi aplicado o teste de identidade de modelo, segundo FREESE (1964), com o objetivo de avaliar a igualdade de equações dentro de uma mesma época de estudo.

3.3. Dados complementares

Com o objetivo de subsidiar a discussão dos resultados obtidos no presente trabalho, foram utilizados dados da Estação Meteorológica de primeira classe, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na Universidade Federal de Viçosa, distante cerca de 4 km da área de estudo.

Também foram coletadas amostras de solo (0 a 10 cm de profundidade) nos locais escolhidos para o estudo, visando a determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico.

Para subsidiar a discussão do comportamento da umidade atmosférica, foram calculados a pressão de saturação e a pressão atual de vapor, visando a determinação do déficit de pressão de vapor. As equações utilizadas estão de acordo com VIANELLO e ALVES (1991).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Saldo de radiação

O dossel da floresta promoveu forte redução no saldo de radiação (R_n), comparado com valores observados em área aberta, nas duas épocas de estudo (Quadro 2). O saldo médio de radiação durante o período estudado foi $1,25 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no interior da floresta, contra $9,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na área aberta, resultando numa redução média de 86,5% da energia disponível no interior da floresta, que, certamente, irá refletir em mudanças nos fluxos de calor sensível, latente e de calor para o solo.

A radiação solar que passa através do dossel da floresta é reduzida à medida que aumenta a densidade desse dossel. Essa densidade do dossel pode ser expressa pelo índice de área foliar (IAF), que, no presente estudo, variou entre os três locais (Quadro 1). O local A apresentou menor valor de IAF por tratar-se de área que fora, no passado, bastante explorada, encontrando-se, assim, em estágio sucessional inicial, com predomínio de espécies pioneiras e secundárias iniciais, de acordo com trabalhos de VOLPATO (1994) e FERNANDES (1998). Houve, também, aumento do IAF nos três locais estudados, em janeiro/fevereiro de 2000, em relação a setembro de 1999, uma

Quadro 2- Valores médios de saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG.

Época do ano	Área aberta	Interior da floresta			
		Local A	Local B	Local C	Média
02 a 26 de setembro 1999	7,7	2,3	1,0	0,7	1,3
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	12,0	2,6	0,5	0,6	1,2

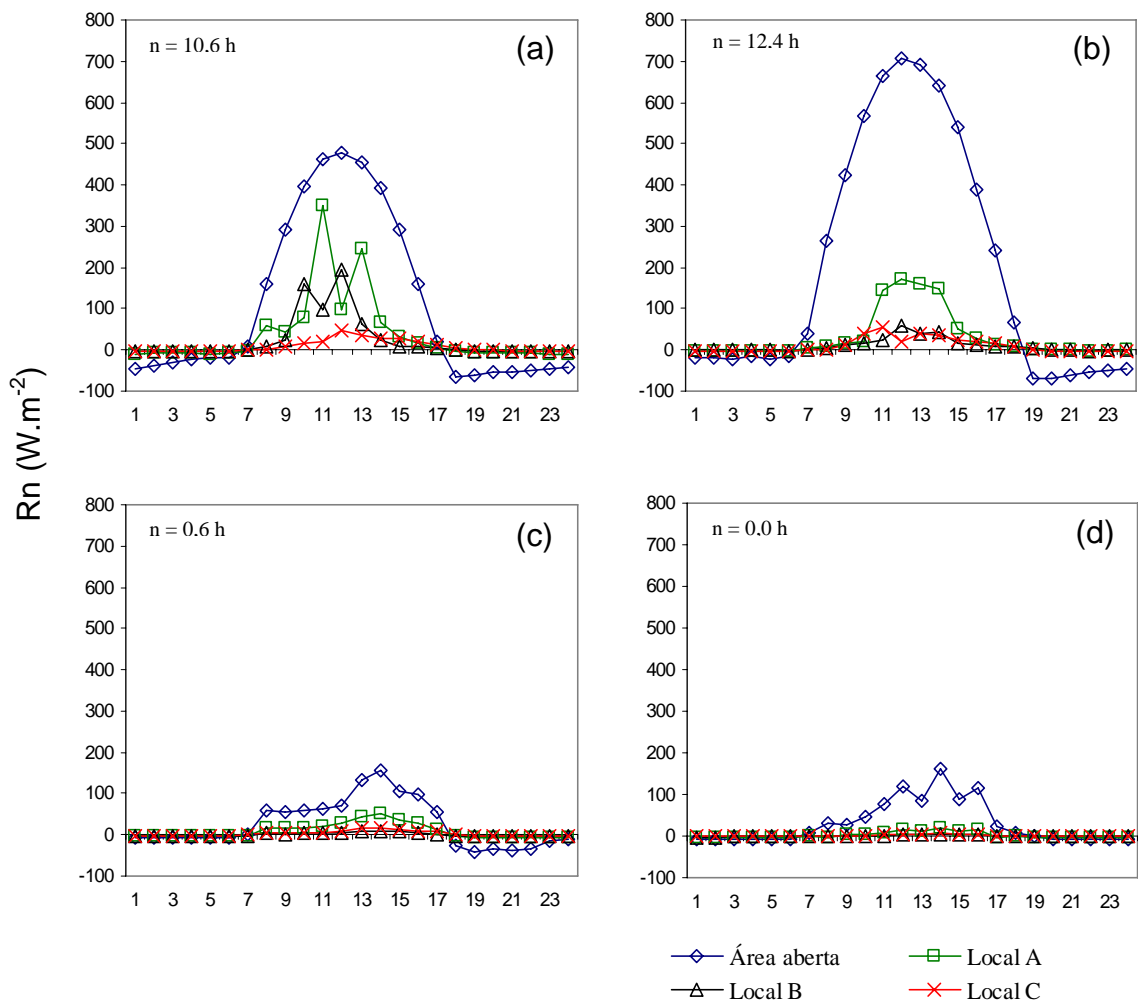
vez que há um número substancial de espécies que perdem as folhas no período seco e frio do ano.

A mudança dos valores de IAF entre as duas épocas determinou uma variação temporal na atenuação do saldo de radiação no interior da floresta. Apesar de se observar, praticamente, o mesmo valor médio no sub-bosque, nas duas épocas, o saldo de radiação em setembro de 1999 foi atenuado em 83,1%, e, em janeiro/fevereiro de 2000, a atenuação média foi de 90,0%, apesar do aumento do saldo de radiação na área aberta no período de verão. Esta diferença percentual da atenuação é explicada, principalmente, pelo aumento do IAF médio, que passou de 3,9, em setembro de 1999, para 5,5, em janeiro/fevereiro de 2000.

No caso de floresta temperada, a sazonalidade do IAF ao longo do ano é bastante pronunciada, fazendo com que a disponibilidade da radiação solar no sub-bosque varie bruscamente. Entretanto, na época em que o IAF apresenta valores mais elevados, a atenuação da radiação solar pelo dossel é semelhante ao observado no presente trabalho. BALDOCHI et al. (1984), estudando floresta temperada, verificaram que, com IAF de 4,9, a atenuação do saldo de radiação (R_n), a um metro de altura do solo, foi de 90%, diminuindo para 30% durante o inverno devido a completa ausência de folhas nas plantas.

O saldo de radiação no interior da floresta e na área aberta, ao longo de um dia, com céu limpo (Figuras 3a e 3b) e de um outro dia completamente nublado (Figura 3c e 3d), variou substancialmente. A curva do saldo de radiação na área aberta exibiu um padrão típico daquele observado em

superfícies que se encontram a céu aberto em dias claros. Nas figuras 3a e 3b, os valores máximos do saldo de radiação, ao meio dia, foram de 490 e 690 $W.m^{-2}$, respectivamente, em setembro de 1999 e janeiro de 2000, mostrando, como esperado, uma maior disponibilidade energética no verão. À noite, como era de se esperar, o saldo foi negativo, resultado do balanço negativo entre a radiação emitida pela superfície (radiação terrestre) e a contra-radiação (radiação atmosférica). No interior da floresta, o total de energia



Hora local

Figura 3 – Valores médios horários de saldo de radiação (R_n) em dia com céu limpo (a e b) e em dia nublado (c e d) em setembro de 1999 (a e c) e em janeiro/fevereiro de 2000 (b e d), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG. Para cada dia é indicado o total de horas com brilho solar (n).

acumulada é reduzido durante o dia, em resposta ao efeito de proteção auferido pelo seu dossel, mas, em compensação, no período noturno, a perda é menor devido às trocas radiativas, atingindo valores quase nulos. O ambiente criado nestas condições é importante para a obtenção de um microclima ideal para o estabelecimento inicial das plantas em regeneração natural na floresta. Fica evidente que, com drástica redução de R_n no período diurno no interior da floresta, serão observados baixos fluxos de calor sensível, latente e calor para o solo, que, por sua vez, deverão promover uma menor elevação da temperatura do ar, reduzido consumo de água (evapotranspiração) e menor aquecimento do solo.

Em dia nublado, nas duas épocas estudadas (Figuras 3c e 3d), R_n diminuiu bruscamente na área aberta e os três locais no interior da floresta apresentaram respostas semelhantes, uma vez que só ocorre a incidência de radiação difusa, que tem característica multi-direcional e de baixa energia, impossibilitando a ocorrência de picos acentuados, como os observados nos dias com céu limpo.

É interessante observar que em dia de céu limpo em setembro de 1999 (Figura 3a) ocorrem picos de radiação nos locais A e B em alguns horários do dia, o mesmo não ocorrendo no local C, que apresenta baixos valores de R_n ao longo de todo o dia. O maior saldo de radiação no local A é explicado pelo menor valor de IAF que possibilitou maior penetração dos raios solares ao longo do dossel. A diferença entre os locais B e C, que apresentaram valores de IAF similares, é devido a exposição das encostas nestes dois locais, pois, nesta época do ano, a disponibilidade energética é maior nas encostas voltadas para o norte, em razão do movimento aparente do sol. No dia mostrado na Figura 3a, o ângulo zenital do sol, ao meio dia solar, é de 30° , voltado para o norte, facilitando, assim, a penetração dos raios solares em encosta norte.

No verão, apesar da elevada disponibilidade energética na área aberta e do movimento do sol mais vertical, que favoreceria a penetração dos raios solares, não ocorreu picos de R_n nos locais B e C, o mesmo acontecendo com o local A, apesar dos maiores valores observados neste local entre 11 e 15 horas (Figura 3b), em função dos elevados valores de área foliar. O local A foi

o único que apresentou maior R_n , apesar do aumento de IAF, possivelmente pelo fato do sensor ter sido instalado em local com presença de clareira. Devido à heterogeneidade do dossel da floresta, este é um tipo de problema que pode surgir quando se usam sensores pontuais.

PEZZOPANE et al. (2000) verificaram variação espacial marcante da disponibilidade energética sobre a floresta na área do presente estudo, em função da inclinação e orientação das encostas. Entretanto, a presença de densa cobertura sobre o solo, como acontece numa área florestada, parece diminuir o efeito da orientação da encosta no total de radiação incidente na superfície, devido a forte atenuação dos raios solares pelo dossel. Assim, as modificações microclimáticas observadas no presente estudo não foram tão perceptíveis como as relatadas por GEIGER (1960), ROSENBERG et al. (1983) e HOLL (1999), onde os estudos foram realizados em solo descoberto ou em vegetação menos densa.

4.2. Radiação solar

As transmissividades médias da radiação solar global (R_s) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foram de 12,3 e 8,0%, respectivamente, denotando a influência dos estratos superiores na disponibilidade energética no sub-bosque da floresta (Quadro 3). Elevados valores de atenuação da radiação solar pelo dossel de florestas nativas em regiões tropicais também foram observados por AYLETT (1985), LEE (1987), JANUÁRIO et al. (1992), RICH et al. (1993), LEITÃO (1994) e BELLINGHAM et al. (1996), porém, os valores são diferentes devido à formação de clareiras, estrutura do dossel, entre outros fatores que afetam a transmissividade da radiação solar.

Comparando a radiação solar global com a radiação fotossinteticamente ativa, é possível notar que sua transmissividade foi menor quando tomada em relação à radiação na faixa visível do espectro (PAR). A acentuada atenuação da PAR ocorre porque o processo de interação entre a radiação solar e as folhas é seletivo, ocorrendo elevada absorção na faixa

Quadro 3- Valores médios de radiação solar global (R_s - $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR - $\text{mol.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG

Época do ano		Área aberta	Interior			
			Local A	Local B	Local C	Média
02 a 26 de setembro 1999	Rs	17,5	6,2	1,8	1,7	3,2
	PAR	31,4	8,8	2,1	1,8	4,2
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	Rs	20,4	1,4	0,8	1,6	1,3
	PAR	33,2	0,9	0,5	1,3	0,9

espectral da radiação fotossinteticamente ativa e baixa absorção no infravermelho próximo.

Semelhante ao ocorrido com R_n , a mudança dos valores de IAF também provocou uma variação sazonal da radiação solar incidente no sub-bosque da floresta. Em setembro de 1999, as transmissividades de R_s e PAR foram, respectivamente, 18,8 e 13,4%, contra 5,9 e 2,7% em janeiro/fevereiro de 2000.

FERNANDEZ e FETCHER (1991), TURTON (1992) e BELLINGHAM et al. (1996), também, observaram variação temporal da transmissividade em floresta tropical, não devido a queda de folhas das plantas, mas em decorrência da regeneração natural ocorrida após distúrbio.

Em floresta temperada, as mudanças de IAF são bruscas e provocam sazonalidade marcante da transmissividade da radiação solar, mas, no período de maior IAF, os valores de transmissividade tornam-se baixos. ECK e DEERING (1992), por exemplo, relatam que a transmissividade da radiação solar variou entre 2,9 a 4,2%, em uma floresta temperada, para um IAF de 3,9.

Os valores médios de R_s e PAR foram diferentes entre os locais estudados no interior da floresta, evidenciando uma variação espacial dos termos do balanço de radiação no interior do sub-bosque (Quadro 3). Essa diferença pode ser notada mais nitidamente em setembro de 1999 quando se compara o local A, dossel mais aberto, com os locais B e C, dossel mais fechado, que apresentaram menor transmissividade de R_s e PAR (Figura 4).

Esta resposta pode ser explicada pela ocorrência de um menor índice de área foliar, permitindo maior penetração da radiação solar ao longo do dossel da floresta. Na segunda época de medição (janeiro/fevereiro de 2000), a atenuação de Rs e PAR foi uniforme nos três locais com valores abaixo de 10%.

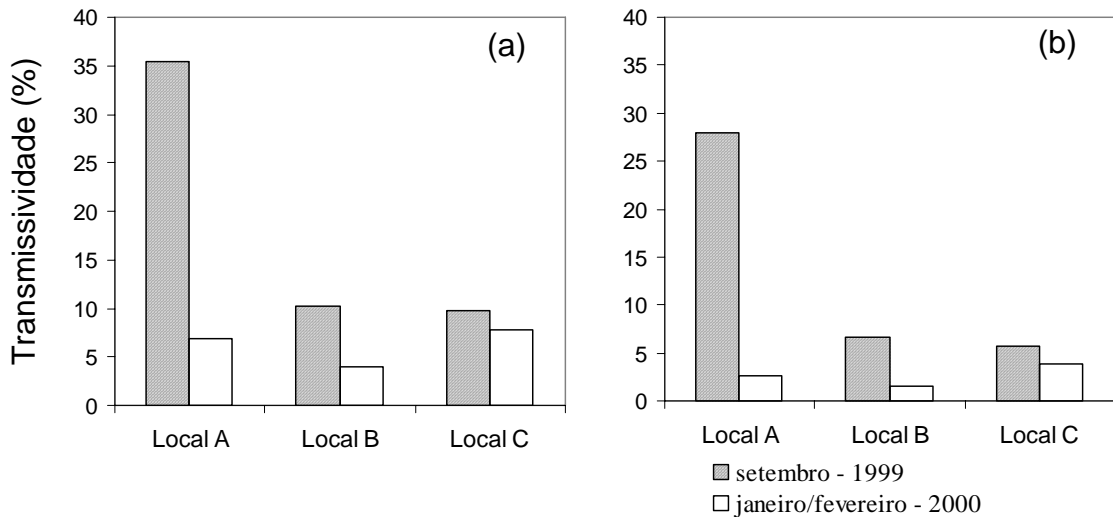
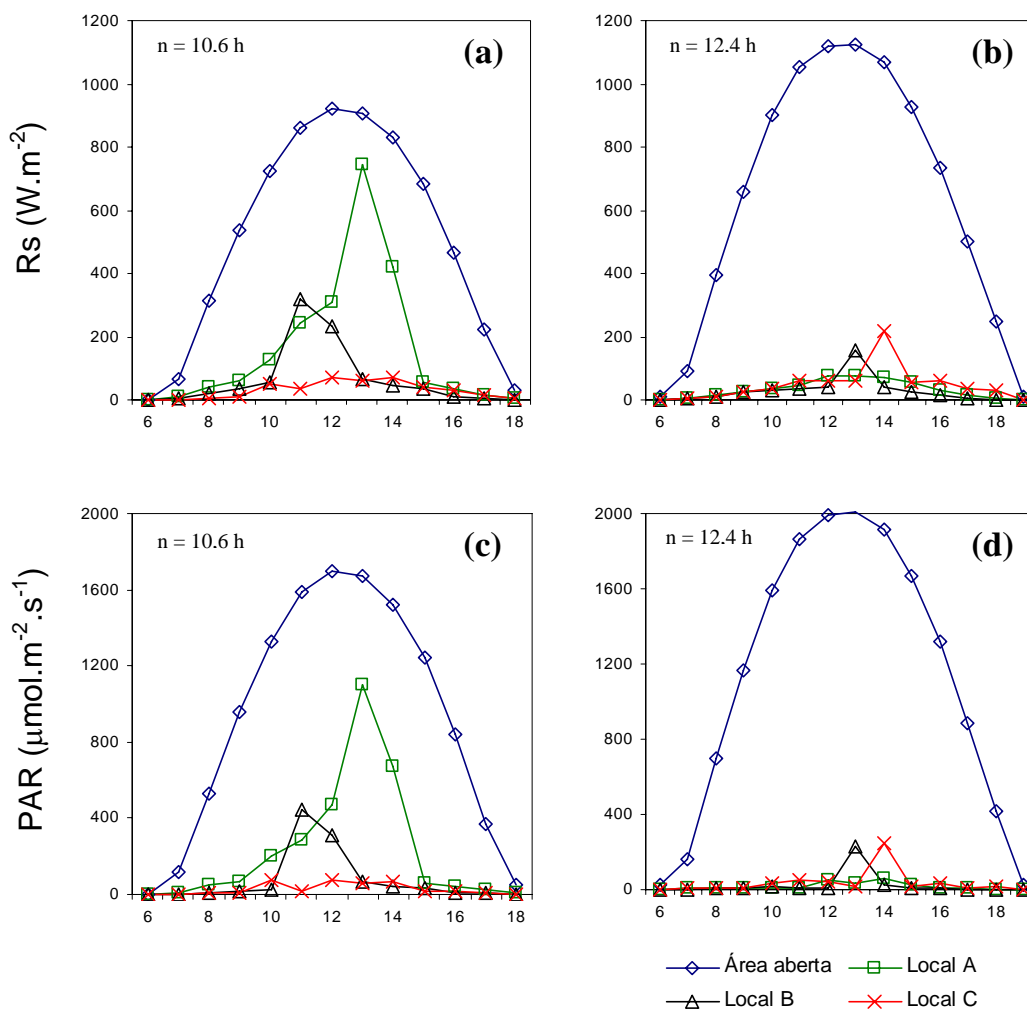


Figura 4 – Transmissividade da radiação solar global (a) e da radiação fotossinteticamente ativa (b) em uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG.

No estudo envolvendo a interação entre radiação solar e a planta é interessante analisar detalhadamente alguns componentes do balanço de radiação devido a sua influência sobre o processo de fixação de carbono pelas plantas. A Figura 5 ilustra o comportamento da radiação solar global (Rs) e da fotossinteticamente ativa (PAR), em dia de céu limpo (os mesmos dias representados na Figura 3). Em um dia no mês de setembro de 1999 (Figuras 5a e 5c), os locais A e B apresentaram picos de radiação incidente em alguns horários do dia. É interessante notar que os picos ocorrem em horários diferentes, nos dois locais, justamente devido a diferenças de estrutura de dossel que possibilitam a maior ou menor penetração da radiação solar, resultando, nesse dia, em PAR total igual a 10,7; 3,5 e 1,3 mol.m⁻².dia⁻¹, nos



Hora Local

Figura 5 – Valores médios horários de radiação solar global (Rs) e de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em dia com céu limpo, em setembro de 1999 (a e c) e janeiro/fevereiro de 2000 (b e d), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG. Para cada dia é indicado o total de horas com brilho solar (n).

locais A, B e C, respectivamente. Semelhante ao observado no caso de R_n , a diferença entre os locais B e C, apesar de mesmo IAF, é justamente causada pelo movimento aparente do sol, pois o local B situa-se em encosta voltada para a direção norte. Apesar de não ser suficiente para provocar alterações microclimáticas marcantes, esta diferença entre os locais B e C pode ser muito

importante para as plantas, do ponto de vista fisiológico, uma vez que diversos estudos mostram que um pequeno acréscimo na PAR resulta em aumento significativo da fotossíntese líquida de espécies de sub-bosque de floresta tropical, como mostram PEARCY et al. (1985) e CHADZON et al. (1996).

Por outro lado, no dia com céu limpo que representou o verão (Figuras 5b e 5d), ocorreu apenas um pico de radiação nos locais B e C, mas os totais diários no interior da floresta foram bem menores, apesar da maior disponibilidade energética na área aberta. Nesse dia a PAR total foi igual a 0,8; 1,0 e 1,5 mol.m⁻².dia⁻¹, nos locais A, B e C, respectivamente. A diferença entre o local C (encosta sudoeste) e os locais A e B (encostas nordeste) pode ser explicada pelo fato da trajetória aparente do sol ser levemente voltada para o sul, nesta época do ano, o que facilitaria a penetração dos raios solares no local C. Entretanto, esse efeito foi bem menor nesta época comparado com setembro de 1999, quando o ângulo zenital do sol é bem maior.

Semelhante ao ocorrido com R_n, em dias nublados, devido a ocorrência de radiação difusa, o comportamento de R_s e PAR foi semelhante nos três locais, ou seja, sem a ocorrência de picos. A diferença entre valores de PAR é de extrema importância no estabelecimento e adaptação das plantas, uma vez que esta pode condicionar um ganho maior ou menor de carbono pelas plantas em processo de regeneração. Por se tratar de ambiente com reduzida disponibilidade de luz, aquelas plantas mais eficientes na interceptação da radiação solar deverão apresentar sucesso no estabelecimento nesse sítio.

Como os resultados mostraram comportamento diferente da radiação solar no interior da floresta em função da nebulosidade, foi estabelecida uma relação linear correlacionando a radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) fora e dentro de cada um dos locais estudados (Figura 6). Em setembro de 1999 (Figura 6a), no caso do local A (encosta com orientação nordeste e baixo IAF), a reta apresenta maior coeficiente angular, ou seja, a disponibilidade energética será mais elevada em dias com céu limpo. A mesma tendência é percebida no local B (encosta com orientação nordeste e alto IAF), entretanto, com coeficiente angular menor, devido ao alto IAF. Para o local C (encosta com orientação sudoeste e alto IAF), como o coeficiente angular não foi significativo, conclui-se que a ocorrência de dias com céu limpo não contribuem para um

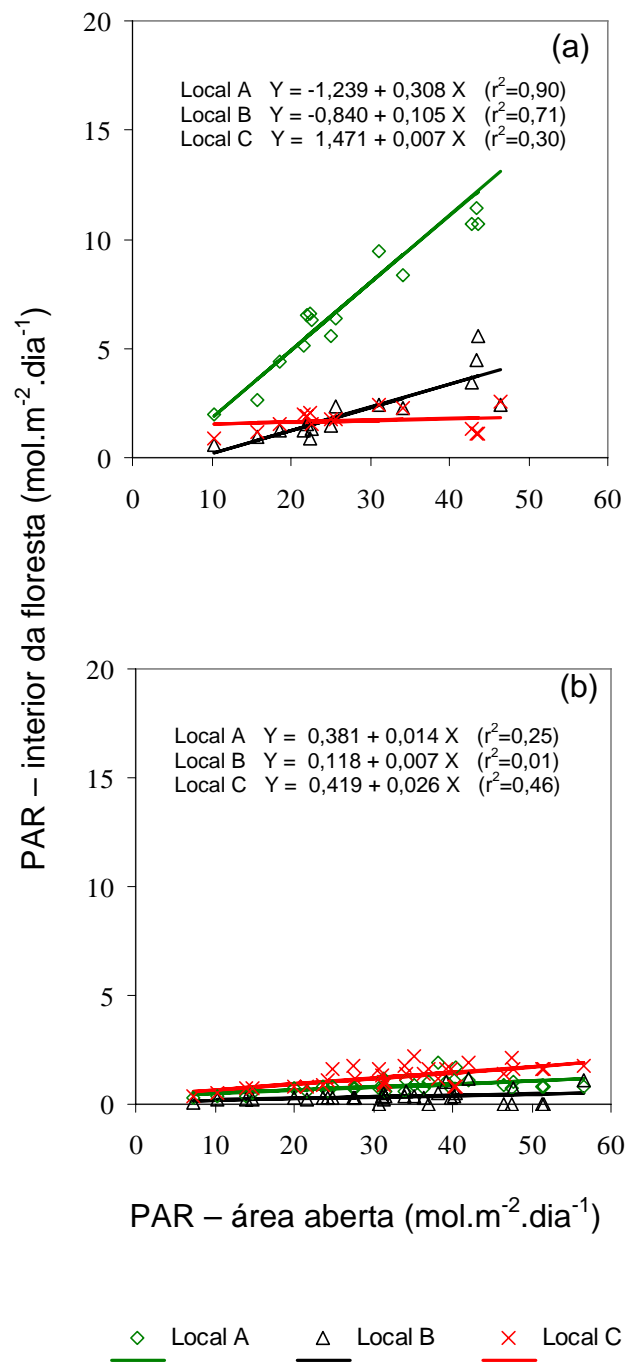


Figura 6 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, em função dos valores observados em área aberta, no período de 2 a 26 de setembro de 1999 (a) e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000 (b), em Viçosa, MG.

aumento da PAR no interior da floresta. No período de janeiro/fevereiro de 2000 (Figura 6b) praticamente não houve resposta da PAR no interior da floresta, nos três locais, em decorrência de um aumento da PAR no exterior, mostrando que, neste período do ano, a disponibilidade da radiação solar na faixa visível do espectro-eletomagnético é muito baixa no interior da floresta, o que deve refletir em baixo crescimento de plantas no sub-bosque apesar de ser uma época com alta disponibilidade hídrica e condições térmicas apropriadas para as espécies.

Em cada uma das épocas estudadas, os modelos mostrados na Figura 6 foram comparados através de teste de identidade. Na época representada por setembro de 1999 houve diferença significativa entre os modelos estudados. Em janeiro/fevereiro de 2000 não houve diferença significativa entre os modelos que estimam o total de PAR no interior da floresta em função do valor observado na área aberta, ou seja, um único modelo poderia ser utilizado para explicar a relação.

Informações sobre a radiação solar no interior de uma floresta secundária possibilitam compreender sua influência na dinâmica de sucessão, mostrando que deve ser considerada uma flutuação espacial e temporal da disponibilidade energética em função de variações do estágio de sucessão e exposição do terreno, uma vez que apresentam, inclusive, comportamento diferenciado em função da condição atmosférica.

4.3. Temperatura do solo

Os resultados evidenciaram diferenças marcantes entre a temperatura média na camada superficial do solo (2 cm de profundidade) na área aberta em relação ao interior da floresta. Considerando as duas épocas de estudo, a temperatura média do solo foi 5,2 °C maior na área aberta (Quadro 4). Entretanto, as maiores diferenças foram observadas nos valores diurnos extremos de temperatura do solo. A temperatura máxima foi 16,2 °C maior na área aberta em relação ao valor médio observado nos três locais no sub-bosque da floresta. Como a temperatura mínima do solo foi ligeiramente inferior

Quadro 4 - Valores médios de temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e

mínima (T_{min}) do solo e amplitude térmica diária (Amp) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a 2 cm de profundidade, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG (valores em $^{\circ}C$).

Época do ano		Área aberta	Interior			Média
			Local A	Local B	Local C	
02 a 26 de setembro 1999	Tmed	23,4	19,2	17,2	16,9	17,8
	Tmax	39,2	21,6	18,2	18,4	19,4
	Tmin	14,3	17,6	16,4	15,6	16,5
	Amp	24,9	4,0	1,8	2,8	2,9
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	Tmed	26,0	21,1	21,3	21,1	21,2
	Tmax	34,6	22,1	21,8	22,4	22,1
	Tmin	20,8	19,6	20,8	20,0	20,1
	Amp	13,8	2,5	1,0	2,4	2,0

na área aberta, a amplitude térmica média diária do solo neste local, considerando as duas épocas, foi $19,3^{\circ}C$ contra apenas $2,4^{\circ}C$ no interior da floresta. Essa elevação da temperatura do solo durante o dia, com conseqüente aumento da amplitude térmica diária em área aberta em relação ao interior da floresta, também foi observada por CESTARO (1988), CHEN et al. (1993), SOUZA et al. (1996) e HOLL (1999).

Essa variação da temperatura fora e dentro da floresta é explicado pelo fluxo de calor no solo, um dos componentes do balanço de energia. A diferença entre os ambientes é causada justamente pela presença do dossel da floresta que funciona como anteparo, impedindo trocas intensas de energia. O solo desprotegido apresenta maior flutuação do fluxo de calor, com valores bem mais elevados durante o dia, indicando um fluxo energético alto da superfície em direção ao interior do solo, que resulta em altas temperaturas diurnas. Por outro lado, durante a noite, com a inexistência de um anteparo na área aberta, o fluxo energético também é razoavelmente alto, mas em direção contrária, ou seja, do solo para a superfície ("fluxo negativo"), resultando em baixas temperaturas noturnas. Assim, é esse comportamento do fluxo de calor que

explica a maior amplitude térmica do solo, com maior temperatura máxima e menor temperatura mínima no solo na área aberta.

As variações entre as temperaturas do solo na área aberta e no interior da floresta foram diferentes entre as épocas estudadas. Em janeiro/fevereiro de 2000, devido a maior disponibilidade energética, a temperatura média do solo foi maior, tanto na área aberta quanto no interior da floresta. Entretanto, na área aberta houve acentuada diminuição da temperatura máxima e elevação da temperatura mínima, fazendo com que a amplitude térmica diária média fosse reduzida em 11,1 °C. No interior da floresta, houve um pequeno aumento das temperaturas máxima e mínima em janeiro/fevereiro de 2000, mas a amplitude térmica, que já fora pequena em setembro de 1999, reduziu-se ainda mais neste período (Quadro 4).

Esta redução da amplitude térmica no verão, apesar da maior disponibilidade energética, deve-se ao maior teor de água no solo, que altera a magnitude dos componentes do balanço de energia, além de modificar as propriedades de condução de calor pelo solo. Amostras de solo coletadas em 15 de setembro de 1999 e 28 de janeiro de 2000, na área aberta, indicaram, respectivamente, teores de água de 12 e 21 g.100g⁻¹. No interior da floresta, os valores foram, respectivamente, 24 e 32 g.100g⁻¹. De acordo com dados da Estação Meteorológica, próximo a área de estudo, em setembro de 1999 só ocorreu chuva no dia 23 (43 mm), sendo que a chuva anterior (acima de 10 mm) ocorrera em 15 de abril (26,8 mm), caracterizando um período extremamente seco. Por outro lado, durante a segunda época de estudo, o total de chuva foi 350,8 mm, distribuídos ao longo de todo período, justificando o alto teor de água no solo.

Com relação ao balanço de energia, a disponibilidade hídrica no solo altera o fluxo de calor latente, uma vez que quanto maior o teor de água no solo maior será a porção do saldo de radiação gasto no processo de evapotranspiração e, conseqüentemente, menor será o fluxo de calor sensível (aquecimento do ar) e de calor para o solo (aquecimento do solo). Durante o dia, o maior teor de água observado no verão fez com que o fluxo de calor latente (evaporação) aumentasse, diminuindo, assim, o fluxo de calor para o solo. Além disso, o preenchimento do espaço poroso do solo pela água

aumenta sua condutividade térmica, fazendo com que a transferência de calor para as camadas mais profundas seja mais eficiente evitando maior aquecimento das camadas superficiais. Durante a noite, no solo úmido, a taxa de resfriamento é menor, pois a água possui calor específico maior que o ar.

RESCHKE (1997), comparando áreas sob floresta e pastagem, verificou que o fluxo de calor para o solo foi menor no verão, atribuindo o fato à maior presença de nuvens nos horários de maior intensidade de radiação solar e ao maior teor de água no solo. De fato, no presente estudo, a constante presença de nuvens nos horários de maior intensidade de radiação solar parece ter contribuído para a diminuição da temperatura máxima no solo descoberto. Dados coletados através de fitas heliográficas na Estação Meteorológica próxima à área de estudo indicaram que a insolação média diária no período entre 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000 foi de 4,5 horas contra 6,2 horas entre 02 e 26 de setembro de 1999.

O fato do solo estar desnudo na área aberta contribuiu, ainda mais, para a elevação da amplitude térmica do solo, uma vez que a presença de alguma cobertura poderia diminuir significativamente esta amplitude, como mostram trabalhos realizados em áreas de cultivo agrícola, citados por STRECK et al. (1994). Na Costa Rica, HOLL (1999) também observou diferenças marcantes entre o solo sob floresta e área aberta. Entretanto, quando o solo em área aberta foi coberto com grama, a temperatura média foi semelhante a observada sob a floresta.

Em razão de estar mais próximo da superfície, que é fonte e sumidouro de energia, a camada superficial do solo (0-2 cm) apresentou as maiores variações diurnas de temperatura. Como tais variações dependem da disponibilidade energética, as maiores diferenças entre a condição exterior e o sub-bosque da floresta ocorreram em dias com céu limpo como ilustra a Figura 7. O solo na área aberta apresentou enorme flutuação diária, atingindo valor máximo de quase 50 °C e mínimo ao redor de 12 °C, ou seja, amplitude térmica de 38 °C, no dia que representa o período seco (Figura 7a). No dia de verão (Figura 7b), apesar da maior disponibilidade energética, houve uma redução da temperatura máxima e elevação da mínima, devido ao maior teor de água no solo. No interior da floresta a flutuação diária foi menos marcante,

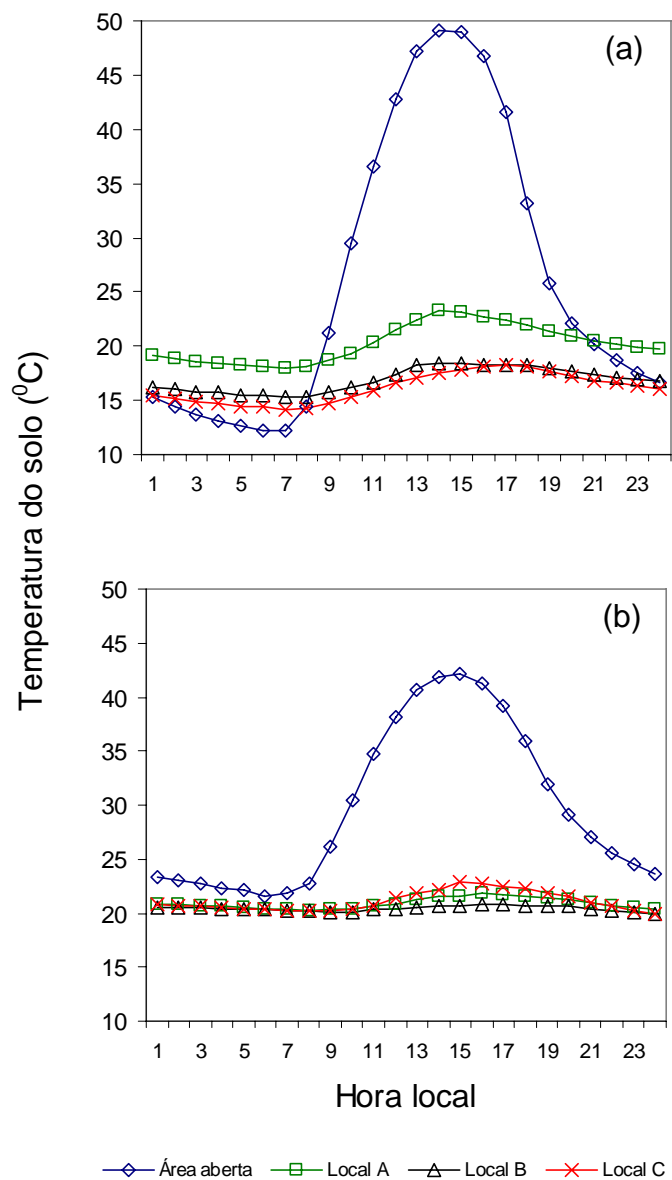


Figura 7 – Valores médios horários de temperatura do solo, a 2 cm de profundidade, em dia com céu limpo em setembro de 1999 (a) e em janeiro/fevereiro de 2000 (b), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

principalmente, no dia de verão, quando ocorre uma situação bem próxima de isotermia.

As camadas mais profundas também refletiram, em menor intensidade, as trocas energéticas ocorridas na superfície (Figura 8). É interessante observar que a cobertura florestal propiciou uma condição próxima à isotermia entre 2 e 20 cm de profundidade, nas duas épocas estudadas, sendo mínimo, também, o deslocamento da curva representando as temperaturas máximas e mínimas, ou seja, pode-se dizer que, no solo coberto pela floresta, as flutuações temporais e espaciais diárias são mínimas. Por outro lado, as curvas dos perfis de temperaturas máximas e mínimas no solo na área aberta apresentam o comportamento típico de solo desnudo, ou seja, elevadas amplitudes espaciais (no sentido vertical) e temporais (noite e dia).

Com relação a temperatura do solo, parece não existir diferença marcante entre os locais estudados no interior da floresta. A diferença mais sensível foi observada em setembro de 1999, quando o local A apresentou pequena elevação da temperatura do solo em relação aos locais B e C (Quadro 4). De certa maneira, isto já era esperado, pois o estudo de radiação solar mostrou maior disponibilidade energética no local A em setembro de 1999. Este fato, também, pode ser observado na curva diária da temperatura a 2 cm de profundidade (Figura 7a) e no perfil da temperatura que mostrou um deslocamento das curvas de temperaturas máxima e mínima do local A em setembro de 1999 (Figura 9a), não sendo possível observar o mesmo em janeiro/fevereiro de 2000 (Figura 9b).

De qualquer maneira, os resultados mostram que não é preciso uma mudança brusca, como a retirada total da floresta, para que ocorra uma alteração no regime de temperatura do solo. Uma pequena alteração de IAF, causada, por exemplo, por queda de folhas ou abertura de clareiras é suficiente para alterar este regime. ASTHON (1992) verificou que a ocorrência de uma pequena clareira modifica significativamente a temperatura do solo em resposta ao aumento da disponibilidade energética junto à superfície.

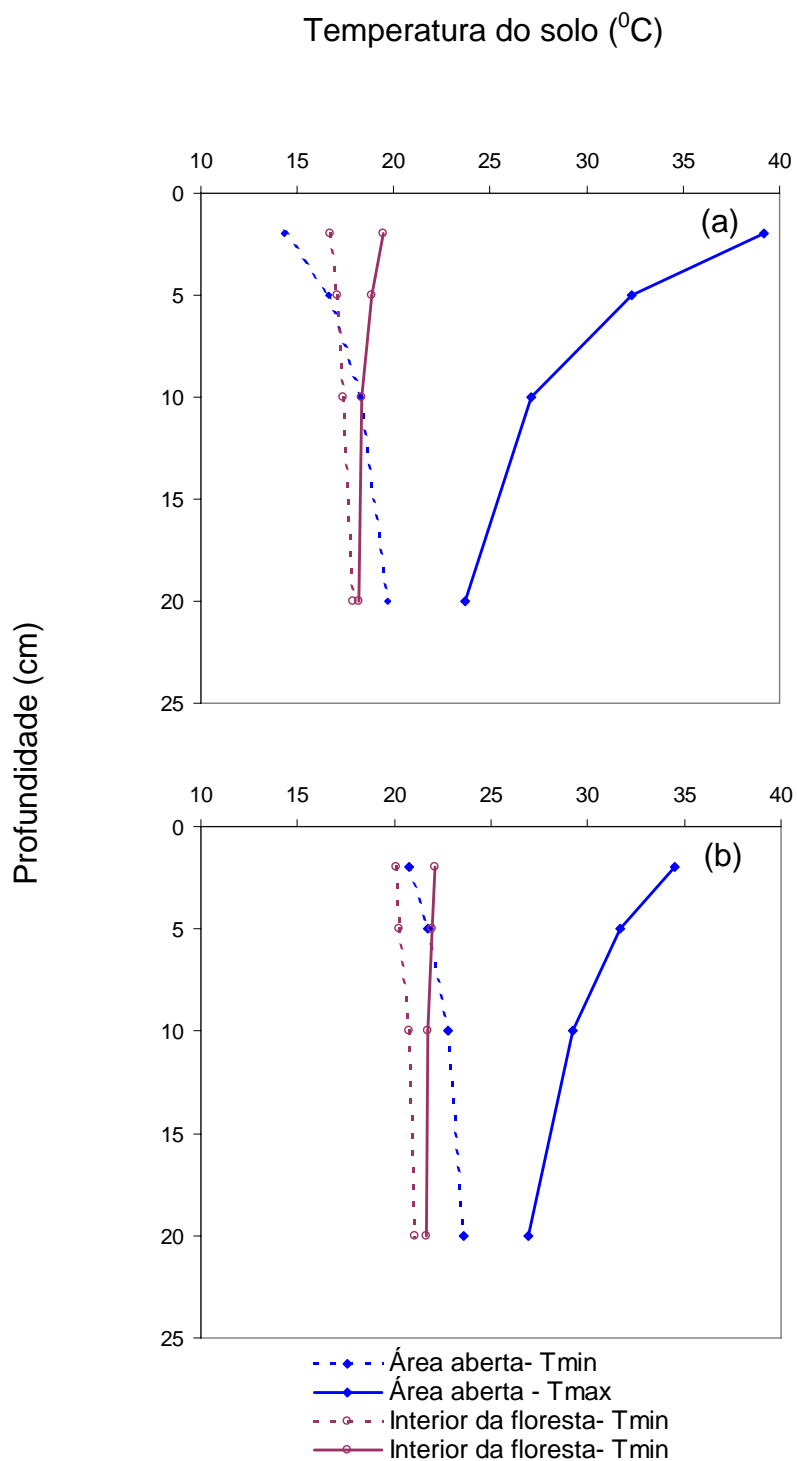


Figura 8 – Perfil da temperatura do solo, elaborado a partir de valores médios de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin), no período entre 02 e 26 setembro de 1999 (a) e entre 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000 (b), em área aberta e no interior (média de três locais) de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

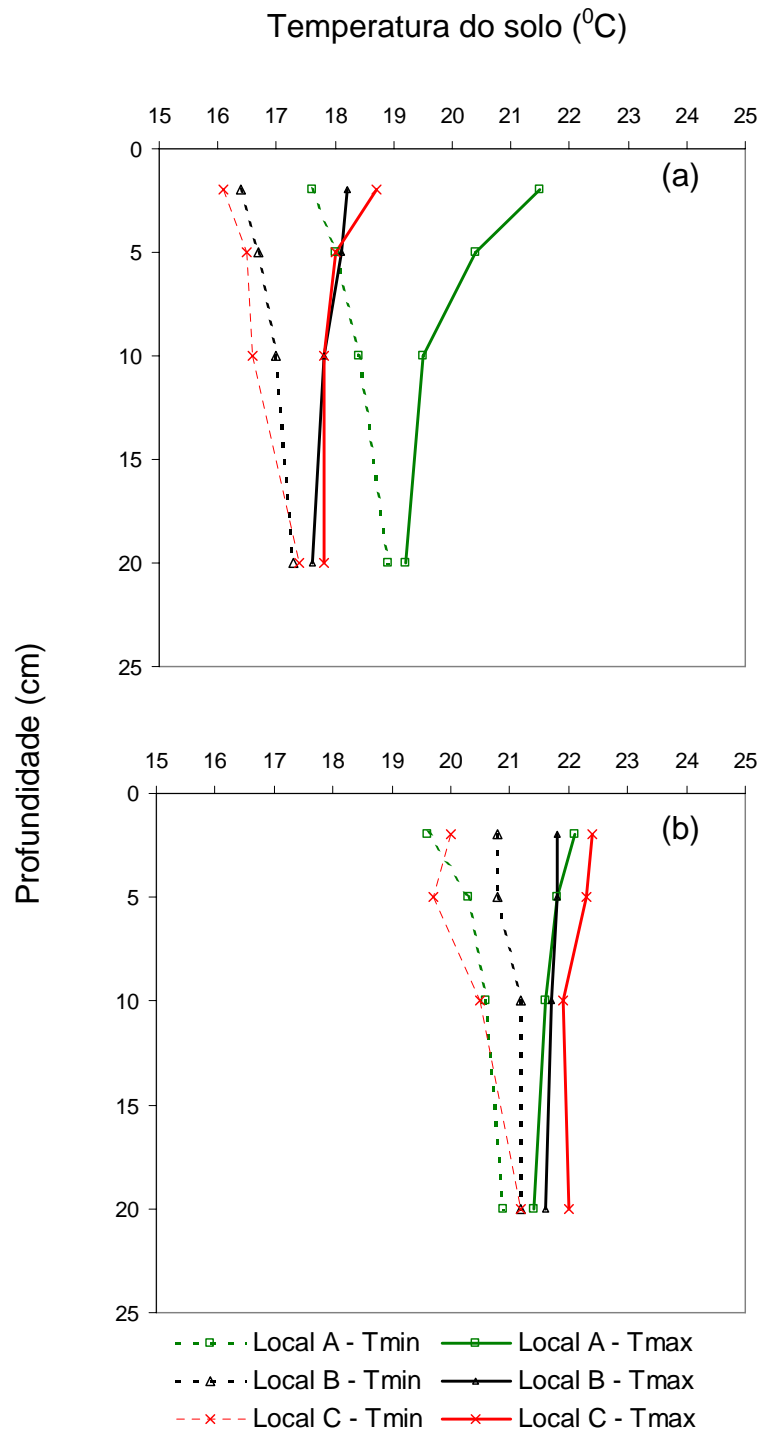


Figura 9 – Perfil da temperatura do solo, elaborado a partir de valores médios de temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin), no período entre 02 e 26 setembro de 1999 (a) e entre 08 de janeiro e 14 de fevereiro de 2000 (b), em três locais (A,B e C) no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

A análise e discussão dos resultados indicam que o comportamento da temperatura do solo depende da disponibilidade energética, que pode ser expressa pela radiação solar que atinge a superfície, ou seja, a radiação solar global (R_s). Também, foi observado que os maiores contrastes entre a área aberta e o interior da floresta foram em relação a temperatura máxima do solo. Assim, foram estabelecidos modelos que explicam as diferenças entre temperatura máxima observada na área aberta e no interior de cada local estudado na floresta, em função da radiação solar incidente a céu aberto (Figura 10).

As curvas obtidas com dados coletados em setembro de 1999 (Figura 10a) apresentam maior inclinação em relação aquelas que representam o período janeiro/fevereiro de 2000 (Figura 10b), evidenciando, que para uma mesma quantidade de energia solar disponível, as diferenças entre a área aberta e o interior da floresta serão maiores no período seco. Isto é esperado, pois, em setembro de 1999, o teor de umidade no solo foi menor, o que provoca altos valores de temperatura máxima na área aberta, como discutido anteriormente.

Uma análise mais detalhada da Figura 10a mostra que as diferenças entre a área aberta e o interior da floresta foram menores no local A, em setembro de 1999, justamente devido a maior disponibilidade energética neste local, nesta época. O teste de identidade de modelos mostrou não haver diferença significativa entre as equações para os locais B e C, mas houve diferença entre os mesmos e a equação do local A, em setembro de 1999. Em janeiro/fevereiro de 2000 (Figura 10b), a curva do local C parece mostrar uma menor diferença entre a área aberta e o interior da floresta, quando comparado com os locais A e B, o que pode ser explicado pela reduzida disponibilidade energética. Entretanto, o teste de identidade mostrou não haver diferença estatística entre os três modelos, ou seja, é possível explicar o comportamento da temperatura do solo em função da radiação solar global utilizando-se apenas um modelo para os três locais, no período de janeiro/fevereiro de 2000.

Este tipo de correlação é importante para que, por exemplo, partindo de uma série histórica de dados observados em condição padrão, seja possível modelar o comportamento da temperatura do solo no interior da floresta.

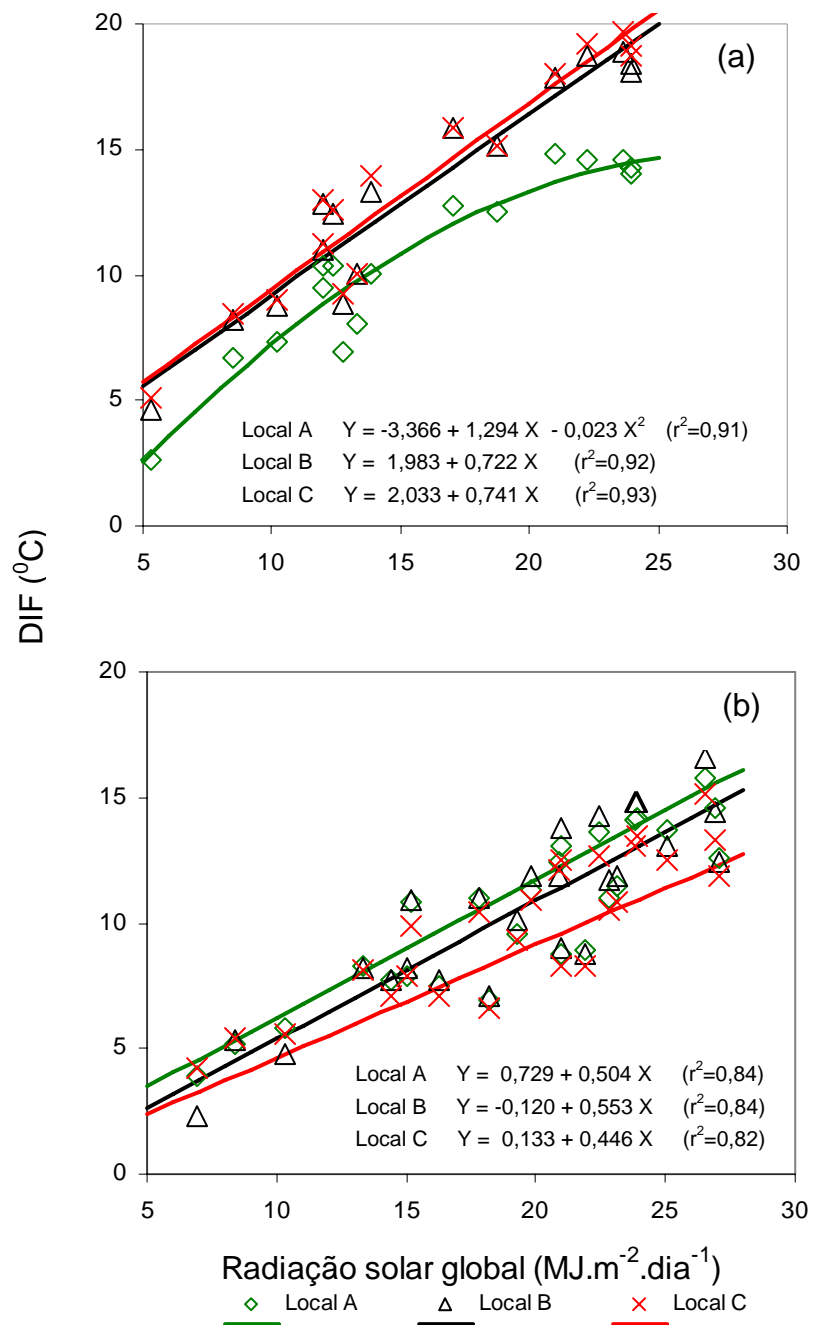


Figura 10 – Diferença entre a temperatura máxima do solo (DIF), a 5 cm de profundidade, na área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária em função da radiação solar global observada na área aberta, no período de 2 e 26 de setembro de 1999 (a) e 08 de janeiro a 14 de fevereiro de 2000 (b), em Viçosa, MG.

4.4. Temperatura do ar

Tomando como base as duas épocas estudadas, a temperatura média do ar observada na área aberta e no interior da floresta foram, respectivamente, 20,1 e 20,0 °C (Quadro 5), não demonstrando, a princípio, a diferença térmica observada no solo. Entretanto, a maior temperatura máxima e menor temperatura mínima observada na área aberta resultaram em amplitude térmica média de 15,1 °C, contra 8,3 °C no interior da floresta.

As diferenças entre os valores extremos de temperatura do ar na área aberta e no interior da floresta, também, não foram da mesma magnitude observada no solo. A temperatura máxima do ar no ambiente externo foi 4,2 °C maior e a temperatura mínima 2,3 °C menor em relação ao sub-bosque, nas duas épocas estudadas. CESTARO (1988), CHEN et al. (1993) e HOLL (1999) também observaram que a alteração da amplitude térmica foi menos marcante no ar próximo à superfície em relação às camadas menos profundas do solo.

Quadro 5 - Valores médios de temperatura média (Tmed), máxima (Tmax) e mínima (Tmin) do ar e amplitude térmica diária (Amp) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG (valores em °C).

Época do ano		Área aberta	Interior			Média
			Local A	Local B	Local C	
02 a 26 de setembro 1999	Tmed	18,2	19,4	18,3	17,6	18,4
	Tmax	28,6	26,5	24,2	23,6	24,8
	Tmin	10,9	14,4	13,6	13,2	13,7
	Amp	17,7	12,1	10,6	10,4	11,1
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	Tmed	22,0	21,6	22,1	20,9	21,5
	Tmax	29,7	25,1	25,5	24,4	25,0
	Tmin	17,3	19,1	19,6	18,5	19,1
	Amp	12,4	6,0	5,9	5,9	5,9

A diferença entre a temperatura do solo e do ar na camada atmosférica próxima à superfície é resultante dos processos de transferência de calor. No solo, a transferência de calor é através da condução, que é um processo lento, fazendo com que a energia se concentre mais próximo à superfície. Na atmosfera, o processo de transferência de calor é feito, principalmente, por convecção, cuja rapidez em remover o ar quente para as camadas superiores, durante o dia, impede um aquecimento excessivo do ar próximo a superfície. Porém, a explicação para a atenuação de valores extremos e, conseqüentemente, menor amplitude térmica do ar dentro da floresta é a mesma em relação a temperatura do solo. Durante o dia, o dossel diminui a disponibilidade energética no sub-bosque, reduzindo, assim, o fluxo de calor sensível da superfície em direção à atmosfera, resultando em menor elevação da temperatura do ar próximo àquela superfície. Por outro lado, à noite, as trocas radioativas (ondas longas) entre o dossel e a superfície do solo não permitem que R_n atinja valores muito abaixo de zero, não ocorrendo perda de energia atmosférica para a superfície, resultando em menor queda da temperatura noturna.

Durante o dia, o R_n diurno foi sempre maior na área aberta (Quadro 6). O maior saldo de radiação diurno faz com que se aumente o fluxo de calor sensível, elevando, assim, a temperatura do ar. Aqui, deve-se atentar para o fato de que um aumento do saldo de radiação diurno pode não provocar uma elevação proporcional da temperatura do ar, uma vez que é necessário analisar, em conjunto, os demais termos do balanço de energia. Assim, apesar de ocorrer um aumento substancial do R_n diurno em janeiro/fevereiro de 2000, o aumento da temperatura máxima do ar na área aberta foi de apenas 1 °C. Uma explicação para isso é o aumento do fluxo de calor latente no verão devido a maior disponibilidade de água para a evaporação.

No período noturno, em setembro de 1999, com exceção do local A, R_n foi sempre próximo a zero, indicando intensas trocas radioativas. Na área aberta, os valores noturnos foram mais negativos, principalmente em setembro de 1999, onde, devido a ausência de nuvens, a contra-radiação noturna não contribui para evitar a perda de energia radioativa. Assim, como o saldo de radiação é menos negativo no interior da floresta, menor quantidade de energia

Quadro 6 - Valores médios de saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) noturno (N) e diurno (D) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG

Época do ano		Área aberta	Interior			
			Local A	Local B	Local C	Média
02 a 26 de setembro 1999	N	-1,5	-0,9	-0,1	-0,1	-0,4
	D	9,2	3,2	1,1	0,8	1,7
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	N	-0,8	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
	D	12,8	2,7	0,6	0,7	1,3

será retirada do ar na forma de calor sensível para equilibrar o balanço noturno de energia, provocando menor queda da temperatura no sub-bosque.

No presente estudo, as medições de temperatura do ar foram realizadas apenas a um metro de altura do solo, devendo-se considerar que existe uma variação ao longo do perfil da floresta. A tendência é que o ar próximo às copas do estrato superior atinja temperaturas mais elevadas durante o dia e mais baixas durante à noite, como mostram CACHAN (1978) e CABRAL et al. (1996), justamente pelo fato de estarem próximos à fonte (durante o dia) e sumidouro (durante a noite) de energia.

Como a temperatura do ar varia em função da disponibilidade energética, os dias com céu limpo apresentaram maior amplitude térmica. A Figura 9 mostra que a temperatura do ar, a um metro de altura do solo, variou significativamente quando se comparam dias com céu limpo (Figuras 11a e 11b) e dias nublados (Figuras 11c e 11d). Nos dias com céu limpo existe uma forte amplitude térmica, em resposta ao balanço de radiação, sendo esta maior na área aberta, que apresentou menor temperatura mínima e maior temperatura máxima. É interessante observar que a amplitude térmica, tanto na área aberta como no interior da floresta, foi maior no dia representando a época seca (Figura 11a), justamente devido as modificações no balanço de energia, principalmente no que se refere ao fluxo de calor latente.

Por outro lado, em dias nublados, o comportamento da temperatura do ar ao longo do dia se aproximou bastante da condição de isotermia, além de

não exibir diferença entre a área aberta e o interior da floresta. Este é um aspecto importante, pois os resultados do estudo de radiação solar, temperatura do solo e do ar mostraram que as maiores diferenças microclimáticas entre a área aberta e o interior da floresta ocorrem em dias sem a presença de nuvens, sendo um fator a ser considerado em estudos baseados em medições a curto espaço de tempo.

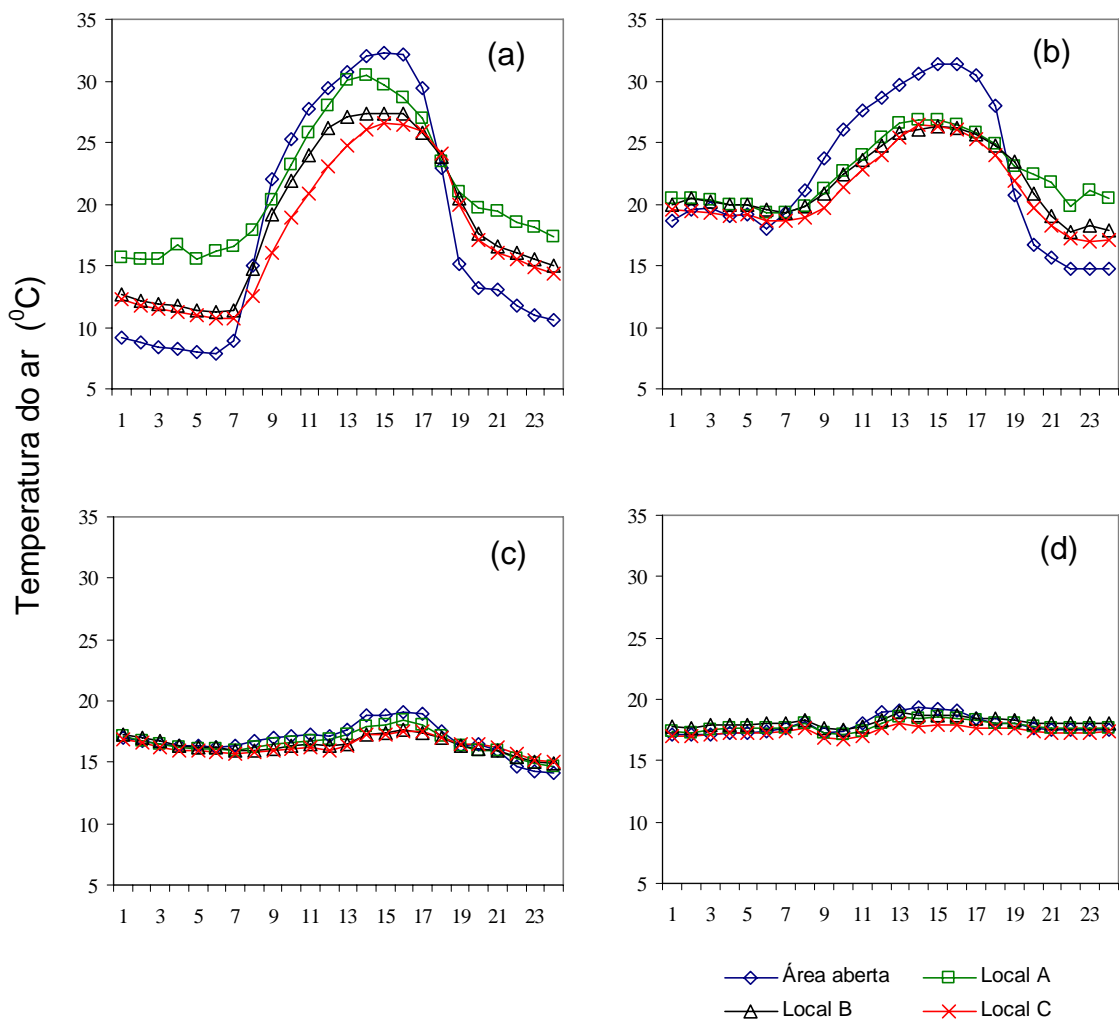


Figura 11 – Valores médios horários de temperatura do ar em dia com céu limpo (a e b) e em dia nublado (c e d) em setembro de 1999 (a e c) e janeiro/fevereiro de 2000 (b e d), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG.

Com relação a variação espacial da temperatura do ar no interior da floresta, as diferenças parecem ser menores do que as observadas na temperatura do solo. A diferença mais perceptível ocorreu em setembro de 1999, quando o local A apresentou pequena elevação da temperatura e amplitude térmica quando comparado com os locais B e C (Quadro 4). Como discutido anteriormente, isto, provavelmente, se deve ao maior R_n observado no local A nesta época do ano, pelo fato de apresentar um dossel mais aberto. Como em janeiro/fevereiro de 2000, praticamente, não houve diferença na disponibilidade energética entre os três locais estudados, a temperatura também não apresentou variação espacial. Isto também foi observado em dias com céu limpo, conforme ilustrado nas Figuras 11a e 11b. No dia com céu limpo, em setembro de 1999, houve um gradiente de temperatura do ar, no período diurno, entre os locais no interior da floresta devido a diferença na disponibilidade energética. Por outro lado, no dia com céu limpo em janeiro de 2000, a igualdade de disponibilidade energética não gerou diferenças de temperatura do ar entre os locais estudados no interior da floresta.

4.5. Umidade do ar

Semelhante ao ocorrido com a temperatura do ar, a umidade relativa média foi, praticamente, a mesma na área aberta e no interior da floresta (Quadro 7). Considerando as duas épocas de estudo, os valores de umidade relativa média na área aberta e no interior da floresta foram, respectivamente, 81 e 83%. Porém, na área aberta da floresta foi observado uma umidade relativa máxima ligeiramente superior (99,8 contra 96,1%), e a mínima mais baixa (45,4 contra 59,0%), a amplitude na área aberta foi 17,4 % maior em relação ao interior da floresta, o que pode ser importante para as plantas, do ponto de vista fisiológico.

A umidade relativa expressa a quantidade atual de vapor d'água em relação ao máximo de água que a atmosfera pode comportar no estado gasoso. A quantidade atual de vapor na atmosfera é expressa pela pressão atual de vapor, que apresenta pequena flutuação ao longo do dia. Como a

Quadro 7 - Valores médios de umidade relativa do ar média (Urmed), máxima (URmax) e mínima (URmin) e amplitude diária (Amp) em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG (Valores em %).

Época do ano		Área aberta	Interior			
			Local A	Local B	Local C	Média
02 a 26 de setembro 1999	URmed	74,9	71,2	71,5	80,0	74,2
	URmax	99,6	92,7	90,0	97,5	93,7
	URmin	35,6	42,3	44,4	49,8	46,3
	Amp	64,0	50,4	45,6	47,7	47,3
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	URmed	87,4	91,9	88,2	95,2	91,8
	URmax	100,0	99,3	96,1	100,0	98,5
	URmin	55,2	74,4	70,8	69,9	71,7
	Amp	44,8	24,9	25,3	30,1	26,8

capacidade máxima da atmosfera de reter vapor é determinada pela temperatura do ar, pode-se explicar, em parte, o comportamento da umidade relativa em função desta variável, mesmo porque esta relação é exponencial. Resumidamente, pode-se dizer que a umidade relativa apresenta um comportamento inverso da temperatura do ar, ou seja, valores elevados no período noturno e baixos valores no horário mais quente do dia, pois apesar de apresentar maior pressão de vapor, a pressão de saturação de vapor é muito alta (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980). Como, no presente estudo, no período noturno, a temperatura mínima foi menor na área aberta, a umidade relativa foi maior, sendo comum a saturação de vapor d'água na atmosfera. Porém, as diferenças entre a área aberta e o interior da floresta foram maiores no período diurno onde a maior elevação da temperatura do ar fez com que a umidade relativa atingisse valores bem mais baixos na área aberta (Quadro 7).

As medições nas duas épocas também mostraram uma sazonalidade da umidade relativa, como foi o caso do balanço de radiação e da temperatura do ar e do solo. O menor teor de vapor d'água na atmosfera, em setembro de 1999, em razão da ausência de chuva, proporcionou menor umidade relativa

tanto fora como dentro da floresta. A diferença foi marcante no valor mínimo médio, que na área aberta passou de 35,6%, em setembro de 1999, para 55,2% em janeiro/fevereiro de 2000, enquanto no sub-bosque passou, respectivamente, de 46,3 para 71,7%.

A sazonalidade da umidade relativa (UR) fica mais clara quando a comparação é feita entre dias com céu limpo (Figura 12). Durante o dia, na época seca, a UR atingiu valores extremamente baixos, inclusive no interior da floresta. Em um dia com céu limpo em setembro de 1999 (Figura 12a) a UR atingiu um valor mínimo de 14% na área aberta e de 25%, em média, no interior da floresta. Em um dia, também com céu limpo, em janeiro de 2000 (Figura 12b), a UR mínima foi 33 e 50%, respectivamente, na área aberta e no interior da floresta.

Outra maneira de expressar o teor de água na atmosfera é através do déficit de pressão de vapor (DPV), definido como a diferença entre a pressão de saturação e a pressão atual de vapor atmosférico. No estudo da relação planta x ambiente, o DPV é uma variável importante, uma vez que influencia na demanda evaporativa, afetando, assim, funções fisiológicas, como as respostas estomáticas. O DPV é influenciado pela temperatura do ar, uma vez que esta controla a pressão máxima de saturação de vapor. A área aberta apresentou maior déficit de pressão de vapor médio e máximo, ocorrendo uma grande variação, tanto fora como dentro da floresta, entre as épocas estudadas (Quadro 8).

Quadro 8 - Valores médios de déficit de pressão de vapor médio (Dmed) e máximo (Dmax), em área aberta e no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em duas épocas do ano, em Viçosa, MG (Valores em mb).

Época do ano		Área aberta	Interior			
			Local A	Local B	Local C	Média
02 a 26 de setembro 1999	Dmed	7,60	7,90	7,01	4,77	6,56
	Dmax	23,65	18,34	15,97	13,28	15,86
08 de janeiro a 14 fevereiro de 2000	Dmed	4,69	2,50	3,58	2,23	2,77
	Dmax	16,28	6,61	8,27	6,44	7,11

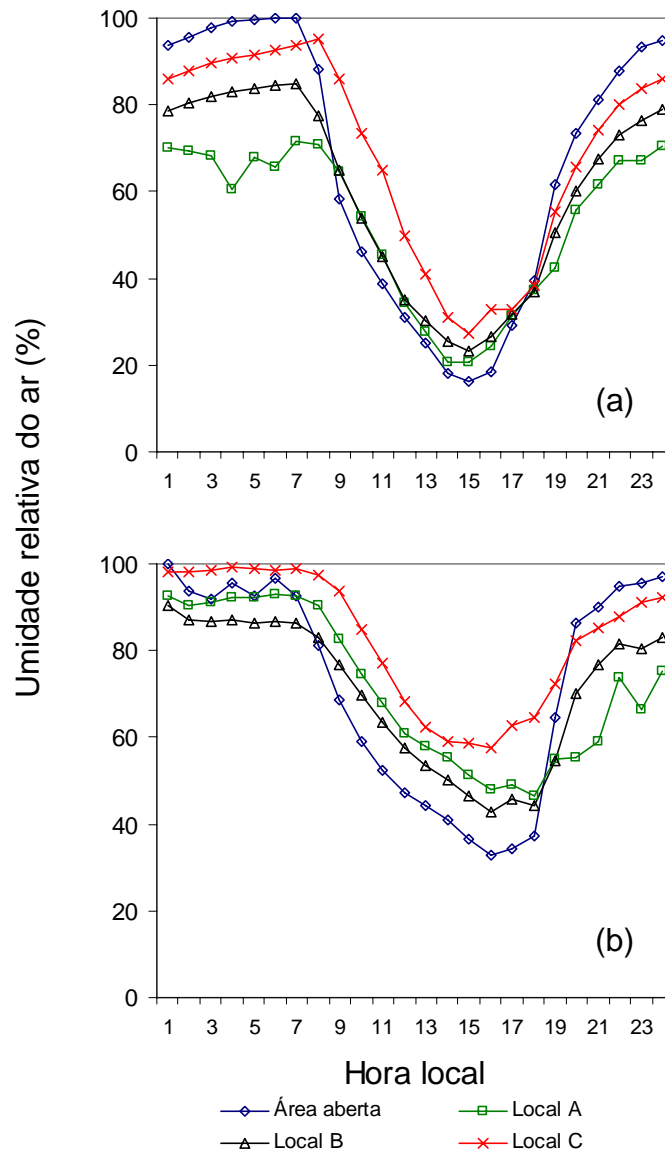
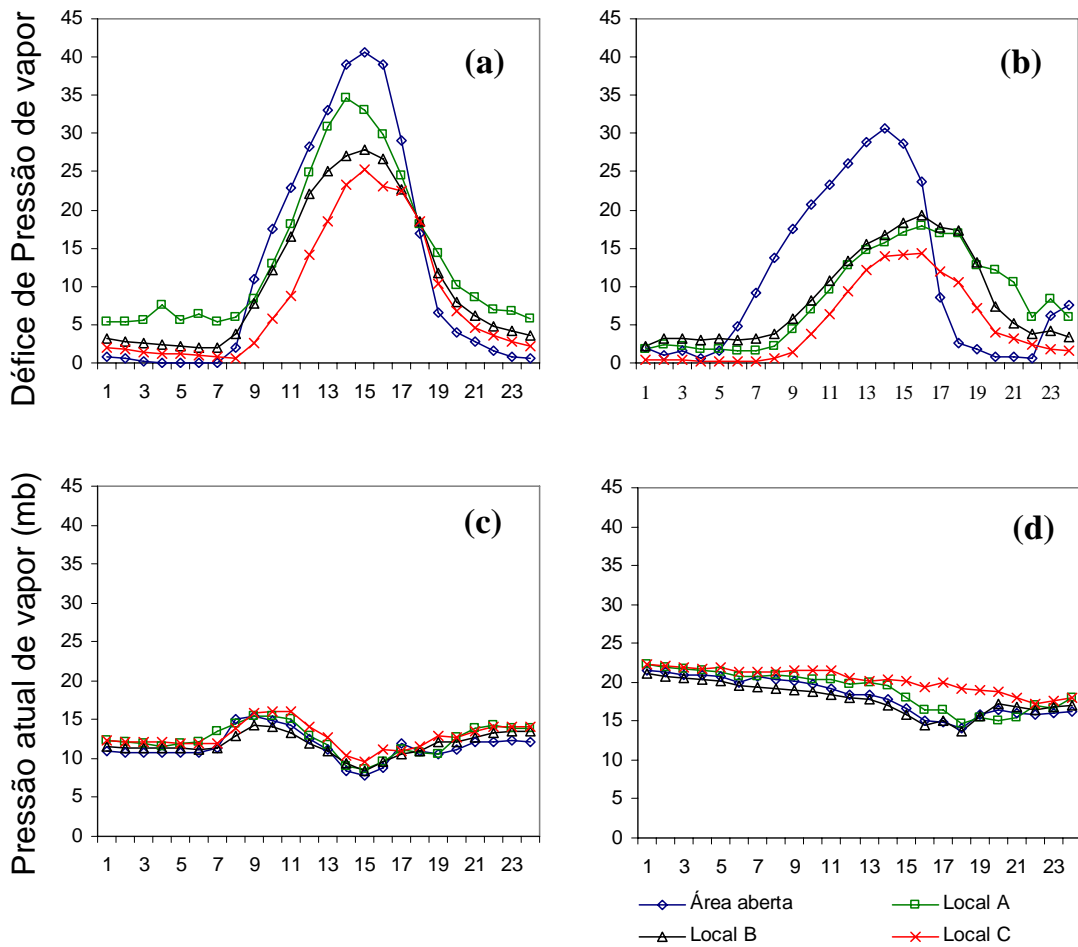


Figura 12 – Valores médios horários de umidade relativa (UR) em com céu limpo, em setembro de 1999 (a) e janeiro/fevereiro de 2000 (b), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura, em Viçosa, MG.

A variação sazonal do déficit máximo deve-se, principalmente, ao aumento da pressão de vapor no período chuvoso, pois a temperatura máxima variou pouco entre as épocas. CESTARO (1988), CHEN et al. (1993) e HOLL (1999) também relatam maior DPV em área aberta em relação ao interior da floresta. FREITAS e ENRIGHT (1995) mostram que a simples abertura de uma clareira já é suficiente para uma diminuição do déficit de pressão de vapor.

A pressão atual de vapor e o déficit de pressão de vapor, nos mesmos dias de setembro e janeiro/fevereiro mostrados na Figura 12 estão na Figura 13. Como a pressão atual de vapor varia pouco ao longo do dia, o comportamento do déficit de pressão de vapor foi controlado, basicamente, pela temperatura do ar, ou seja, os maiores valores foram observados nos horários mais quentes do dia. É interessante destacar que, como a temperatura foi menor e a pressão de vapor maior no dia de verão, o déficit de pressão de



Hora Local

vapor atingiu valores mais baixos em relação ao dia analisado no período seco.

Figura 13 – Valores médios horários de déficit de pressão de vapor (a e b) e pressão atual de vapor (c e d) em dia com céu limpo, em setembro de 1999 (a, c) e janeiro/fevereiro de 2000 (b, d), em área aberta e em três locais (A, B e C) no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura do solo, em Viçosa, MG.

O resultados apresentados neste trabalho mostram que as condições microclimáticas no interior da floresta são bem contrastantes em relação a área aberta e que, dentro da floresta, dependendo da abertura do dossel, exposição da encosta e umidade do solo, ocorre significativa variabilidade espacial. O entendimento dessa variabilidade ambiental é muito importante, uma vez que essas variáveis microclimáticas estão diretamente relacionadas com o sucesso do estabelecimento, crescimento e desenvolvimento as espécies na floresta.

5. CONCLUSÕES

- O dossel da floresta promoveu elevada redução (86%) do saldo de radiação (R_n) em relação a área aberta. O aumento da disponibilidade energética na área aberta em janeiro/fevereiro de 2000 não resultou em maior R_n no interior da floresta, em relação a setembro de 1999, devido ao aumento do IAF.
- As diferenças de disponibilidade energética entre os três locais estudados no interior da floresta foram mais evidentes em dias com céu limpo, sendo possível, inclusive, estabelecer uma relação matemática entre a radiação solar fotossinteticamente ativa em área aberta e a radiação no interior da floresta.
- Dentre os três locais estudados no interior da floresta, em setembro de 1999, o local A apresentou maior disponibilidade energética, devido ao menor IAF. Nos locais B e C a disponibilidade energética foi, praticamente, a mesma, mas o local B apresentou elevados picos de radiação solar, provavelmente, devido à exposição da encosta em que se encontrava.

- A atenuação da radiação solar pelo dossel da floresta alterou as demais variáveis microclimáticas estudadas. As diferenças entre a área aberta e o interior da floresta, e, mesmo entre os locais estudados dentro da floresta, foram mais expressivas em setembro de 1999, em relação a janeiro/fevereiro de 2000, devido a fatores como variações do IAF, movimento aparente do sol, nebulosidade e umidade do solo.
- Independentemente da época do ano, as diferenças microclimáticas entre os locais estudados foram mais evidenciadas em dias com céu limpo em comparação com dias nublados.
- A temperatura média do solo (a 2 cm de profundidade), considerando as duas épocas de estudo, foi reduzida em 5,6 °C, mas as alterações foram mais evidentes para a temperatura máxima, principalmente, em setembro de 1999, quando na área aberta o valor médio foi 39,2 °C, contra 19,4 °C no interior da floresta. Com temperaturas mínimas do solo ligeiramente inferiores em relação a floresta, a área aberta, também, apresentou elevadas amplitudes térmicas diárias.
- Na área aberta, observou-se temperatura média do ar semelhante a do interior da floresta, mas como apresentou temperatura máxima maior e mínima menor, a área aberta revelou amplitudes diárias bem mais elevadas.
- Os locais estudados apresentaram valores médios semelhantes de umidade relativa e déficit de pressão de vapor mas, nos horários mais quentes do dia, foi observado um menor valor de umidade relativa e, conseqüentemente, maior déficit de pressão de vapor na área aberta.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTHON, P.M.S. Some measurements of the microclimate within a Sri Lankan tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 59, p. 217-235, 1992.
- ANDRÉ, R.G.B., SILVA FILHO, V.P., MOLION, L.C. et al. Balanço de radiação sobre a floresta Amazônica (estação seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, p. 269-274, 1988.
- AYLETT, G.P. Irradiance interception, leaf conductance and photosynthesis in Jamaica upper montane rain forest trees. **Photosynthesis**, v. 19, n. 3, p. 323-337, 1985.
- BALDOCCHI, D., HUTCHINSON, B., MATT, D. et al. Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33, p. 177-191, 1984.
- BARRADAS, V.L., ADEM, J. Albedo model for a tropical dry deciduous forest in Western Mexico. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, p. 113-117, 1992.

- BASTABLE, H.G., SHUTTLEWORTH, W.J., DALLAROSA, R.L.G. et al. Observations of climate, albedo, and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. **International Journal of Climatotology**, v. 13, p. 783-796, 1993.
- BELLINGHAM, P.J., TANNER, P.M., RICH, P.M. et al. Changes in light below the canopy of a Jamaica montane rainforest after a hurricane. **Journal of Tropical Ecology**, v. 12, p. 699-722, 1996.
- BOURQUE, C.P.A., DAUGHARTY, D.A., DICKISON, R.B.B., ARP, P.A. Changes in albedo of a northern hardwood forest following clearcutting. **Forest Science**, v. 41, n. 2, p. 268-277, 1995.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.
- CABRAL, O.M.R., McWILLIAN, A.L.C., ROBERTS, J.M. In-canopy microclimate of Amazonian forest and estimates of transpiration. *In*: Gash, J.H.C. et al. **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 207-220p.
- CACHAN, P. Importancia ecológica de las variaciones verticales microclimáticas desde el suelo hasta las copas en el bosque tropical húmedo. *In*: Pesson, P. **Ecología forestal**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1978. 393p.
- CESTARO, L.A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na Estação Ecológica de Aracuri e Esmeralda, RS. **Revista Árvore**, v. 12, n. 1, p. 41-57, 1988.
- CHAZDON, R., PEARCY, R., LEE, D., FETCHER, N. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. *In*: Mulkey, S.S. Chazdon, R.L., Smith, A.P. **Tropical forest plant ecophysiology**. New York: Chapman & Hall, 1996. 5-55p.
- CHEN, J., FRANKLIN, J.F., SPIES, T.A. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 63, p. 219-237, 1993.
- CULF, A.D., ESTEVES, J.L., MARQUES FILHO, A.O., ROCHA, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonian.

In: Gash, J.H.C. et al., **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 175-191p.

CULF, A.D., FISCH, G., HODNETT, M.G. The albedo of Amazonian Forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, p. 1544-54, 1995.

ECK, T.F., DEERING, D.W. Canopy albedo and transmittance in a spruce-hemlock forest in mid-September. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 59, p. 237-248, 1992.

FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

FERNANDEZ, D.S., FETCHER, N. Changes in light availability following Hurricane Hugo in Subtropical Montane Forest in Puerto Rico. **Biotropica**, v. 23, n. 4, p. 393-399, 1991.

FREESE, F. **Linear regression methods for forest research**. Madison: USDA, 1964. 136p.

FREITAS, C.R., ENRIGHT, N.J. Microclimatic differences between and within canopy gaps in a temperate rainforest. **International Journal of Biometeorology**, v. 38, p. 188-193, 1995.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo**. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 1960. 556p.

GIAMBELLUCA, T.W., HÖLSCHER, D., BASTOS, T.X. et al. Observations of albedo and radiation balance over postforest surfaces in the Eastern Amazon basin. **Journal of Climate**, v. 10, p. 919-928, 1997.

GOLDMAN, G.H., FATTORI, A.P., JANUÁRIO, M. Variação espacial e temporal da irradiância solar e da razão entre vermelho-extremo que chegam ao solo em diferentes microhabitats na região de Tucuruí-PA. **Acta Amazonica**, v. 19, p. 243-248, 1989.

HANNAH, P.R. Estimating site index for white and black pine in Indiana from soil and topographical factors. **Journal of Forestry**, v. 66, p. 412-417, 1968.

- HOLL, K.D. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed rain, seed germination, microclimate, and soil. **Biotropica**, v. 31, n. 2, p. 229-242, 1999.
- JANUÁRIO, M., VISWANADHAM, Y., SENNA, R.C. Radiação solar total dentro e fora de floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazonica**, v. 22, p. 335-340, 1992.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge: University Press, 1992. 428p.
- KIMMINS, J.P. **Forest ecology**. New York: Macmillan, 1987. 531p.
- KOZLOWSKI, T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S.G. **The physiological ecology of woody plants**. London: Academic Press INC, 1991. 657p.
- LEE, D.W. The spectral distribution of radiation in two neotropical rainforests. **Biotropica**, v. 19, n. 2, p. 161-166, 1987.
- LEITÃO, M.M.V.B.R. **Balanco de radiação em três ecossistemas da floresta amazônica: campina, campinarana e mata densa**. São José dos Campos, SP: INPE, 1994. 135p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, 1994.
- MARQUES FILHO, A. O. Regime de radiação solar e características de vegetação-modelos de inversão. **Acta Amazonica**, v. 27, p. 119-133, 1997.
- NOBEL, P., LINTON, M.J. Frequencies, microclimate and root properties for three codominant perennials in the Northwestern Sonoran Desert on north- vs. south-facing slopes. **Annals of Botany**, p. 731-739, 1997.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., VILELA, E.A., CARVALHO, D.A. et al. Effects of soil and topography on distribution of tree species in a tropical riverine forest in South-Eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, p. 483-508, 1994.
- PEARCY, R.W., OSTERYOUNG, K., CALKIN, H.W. Photosynthetic responses to dynamic light environments by Hawaiian trees. **Plant Physiology**, v. 79, p. 896-902, 1985.

PEREIRA, A.P. Radiation regime of tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n.2, p. 1-8, 1997.

PEZZOPANE, J.E.M., RIBEIRO, A., REIS, G.G., REIS, M.G.F. Balanço de radiação em uma floresta em função da declividade e orientação das encostas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro, SBMET, 2000.

PINKER, R.T., THOMPSON, O.E., ECK, T.F. The albedo of a tropical evergreen forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 106, p. 551-558, 1980.

RESCHKE, G.A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 51p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.

RICH, P.M., CLARCK, D.B., CLARCK, D.A. et al. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 65, p. 107-127, 1993.

ROSENBERG, N., BLAD, B.L., VERNA, S.B. **Microclimate: the biological environment.** New York: Wiley-Interscience Publication, 1983. 495p.

SELLERS, W.D. **Physical climatology.** Chicago: University of Chicago Press, 1974. 272p.

SHUTTLEWORTH, W.J., GASH, J.H., LLOYD, C.R. et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 1163-1169, 1984.

SILVA JUNIOR, M.C. **Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG.** . Viçosa, MG: UFV, 1984. 130p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.

- SOUZA, J.R.S., PINHEIRO, F.M.A., ARAUJO, R.L.C. et al. Temperature and moisture profiles in soil beneath forest and pasture areas in eastern Amazonia. *In*: Gash, J.H.C. et al., **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley & Sons, 1996. 125-138p.
- STEWART, J.B. The albedo of pine forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 97, p. 561-564, 1971.
- STRECK, N.A., SCHNEIDER, F.M., BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, p. 131-142, 1994.
- TUBELIS, A., NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.
- TURTON, S.M. Understorey light environments in a north-east Australian rain forest before and after a tropical cyclone. **Journal of Tropical Ecology**, v. 8, p. 241-252, 1992.
- VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Impr. Univ., 1991. 449p.
- VOLPATO, M.M.L. **Regeneração natural em uma floresta secundária sob o domínio da Mata Atlântica: uma análise fitossociológica**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- WHITMORE, T.C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v. 70, n. 3, p. 536-538, 1983.
- WRIGHT, I.R., GASH, J.H.L., ROCHA, H.R., ROBERTS, J.M. Modelling surface conductance for Amazonian pasture and forest. *In*: Gash, J.H.C. et al. **Amazonian deforestation and climate**. John Wiley & Sons, 1996. 425-436p.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO ECOFISIOLÓGICA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL SECUNDÁRIA

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais apresentam elevada diversidade de espécies vegetais associada a uma enorme variabilidade ambiental, o que torna difícil e complexo seu entendimento. Entretanto, quando se procura o aproveitamento sustentável dessas florestas, é necessário conhecer a dinâmica da sua regeneração natural, o que implica em conhecer as respostas ecofisiológicas de suas espécies vegetais.

A fixação de carbono depende da energia radiante interceptada pelas folhas. A eficiência fotossintética de plantas no interior de uma floresta está intimamente ligada à disponibilidade de radiação solar no seu interior (AYLETT, 1985 e KÖNIGER et al., 1995). A interação radiação solar e planta é importante na dinâmica de sucessão em florestas e tem servido como base para classificações ecofisiológicas de espécies, como a realizada por BUDOWSKI (1965) e WHITMORE (1983).

Uma peculiaridade da floresta tropical é a ocorrência dos chamados “sunflecks”, que consistem dos raios solares que atravessam a parte superior do dossel incidindo nas folhas das plantas dos estratos inferiores da floresta. Esse gradiente de energia é muito importante, pois o processo fotossintético é intensificado, o que pode ser observado pela intensa absorção de CO₂ imediatamente após a incidência dos raios solares (PEARCY et al., 1985).

O presente estudo teve como objetivo avaliar aspectos ecofisiológicos de algumas espécies sob diferentes condições ambientais, além de

caracterizar a radiação fotossinteticamente ativa, em curto intervalo de tempo, no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária, em Viçosa, MG, de maneira a ajudar no entendimento da autoecologia de suas espécies.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos estruturais e fisiológicos das folhas das plantas em florestas tropicais

Numa floresta, a radiação solar, principalmente na faixa do visível (400 a 700 nm), pode afetar as respostas ecofisiológicas das plantas. A radiação nessa faixa espectral, denominada radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), é, geralmente, expressa em densidade de fótons por unidade de área e tempo, como, por exemplo, $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

A maquinaria fotossintética das plantas tem grande capacidade de adaptação dentro de uma ampla faixa de intensidade de luz incidente (PEARCY, 1998). No estrato superior do dossel da floresta, as folhas estarão expostas a uma flutuação da PAR que vai desde valores muito reduzidos ao nascer e pôr-do-sol, até valores muito elevados próximo ao meio-dia, desconsiderando as flutuações causadas pela presença de nuvens. No sub-bosque, as plantas recebem baixas intensidades de PAR, mas estão sujeitas a altos fluxos de radiação solar devido à presença de “sunflecks”, que são os raios solares que atravessam o dossel da floresta por curto espaço de tempo.

De acordo com PEARCY (1998), tais alterações do fluxo de energia são flutuações ocorridas em reduzida escala de tempo e, neste caso, as plantas devem apresentar elevada eficiência na utilização da radiação solar e, ao mesmo tempo, prevenir-se de danos causados pelo excesso de radiação incidente nas folhas. A resposta da planta engloba desde a ativação de enzimas envolvidas na fixação de carbono, o controle do movimento estomático, até mecanismos visando dissipar o excesso de energia nas folhas.

No caso de floresta, é interessante destacar que a presença de clareiras pode promover mudança no regime energético dentro de uma escala maior de tempo, exigindo aclimatação das plantas, de acordo com o novo regime de luz a que estão submetidas, implicando em ajuste nas folhas já existentes, além de mudanças nas características das novas folhas. Entretanto, a capacidade de aclimatação das plantas a um novo regime de luz varia entre as espécies (KAMALUDDIN e GRACE, 1992).

A capacidade de adaptação das plantas em relação à radiação solar local, além de estar relacionada com características genéticas, é influenciada pelas condições ambientais (LARCHER, 1995). A adaptação ambiental pode ser modulativa quando temporária, acontecendo, por exemplo, a movimentação das folhas, podendo, ainda, ser modificativa quando as plantas se adaptam a determinada condição lumínica, modificando a estrutura foliar, composição e concentração de pigmentos, além de outras respostas fisiológicas, como turgescência e abscisão foliar. Através de uma ampla revisão, LARCHER (1995) relaciona algumas diferenças entre folhas adaptadas a pleno sol (folhas de sol) e a baixas intensidades lumínicas (folhas de sombra). Essas adaptações têm envolvido mudanças anatômicas e no conteúdo de pigmentos foliares.

2.1.1. Estrutura foliar e pigmentos

De maneira geral, as folhas de sol, em relação às folhas de sombra, são menores, mais espessas, podendo apresentar pelos e camada de cera na superfície. As folhas de sol apresentam epiderme superior coberta por cutícula espessa, além de maior número de

camadas de células. As células do tecido paliçádico são mais alongadas e mais compactas, com reduzido espaço intercelular entre as células da camada inferior do mesófilo (WHATLEY e WHATLEY, 1982). A estrutura interna das folhas de sol visa um melhor aproveitamento dos fluxos de energia incidente, como também a reflexão do excesso de radiação solar e controle adequado da transpiração. Conforme trabalhos citados por ENGEL (1989), as folhas de sol apresentam, também, maior número de estômatos por unidade de superfície da folha. O aumento da densidade de estômatos pode estar associada a uma maior condutância estomática, visto que o potencial de fixação de carbono, e também de transpiração, são maiores em folhas de sol.

As diferenças entre folhas de sol e de sombra citadas anteriormente devem ser observadas com cautela, pois as plantas podem responder de maneira diferenciada à variação da intensidade luminosa, ou seja, podem possuir uma considerável plasticidade quanto a estrutura foliar, em relação a variação do regime de luz (THIELE et al., 1997; THIELE et al., 1998). Estudando a influência do sombreamento sobre aspectos anatômicos de folhas de quatro espécies florestais nativas da região Sudeste do Brasil (*Amburana cearensis*, *Zeybera tuberculosa*, *Tabebuia avellanedae* e *Erythrina speciosa*), ENGEL (1989) observou que a espessura total da folha e do parênquima paliçádico e, a densidade de estômatos diminuíram com o sombreamento. STRAUSS-DEBENEDETTI e BERLYN (1994) observaram comportamento semelhante, em relação a estas características, em cinco espécies da família Moraceae, porém houve diferença quanto a plasticidade entre as espécies estudadas.

Nas folhas de sol, os cloroplastos são mais numerosos, menores e com menor conteúdo de clorofila. Quanto ao total de clorofila por unidade de área, geralmente, não é possível perceber diferença significativa entre folhas de sol e de sombra, mas há diferenciação na composição e organização da clorofila. As folhas de sombra apresentam diminuição da relação clorofila a/b (TAIZ, 1995). Trabalhando com diversas espécies em uma floresta tropical, KÖNIGER et al. (1995), observaram relação clorofila a/b média de 2,9; 2,2 e 2,3 para espécies

do estrato superior, de clareiras e espécies típicas de sub-bosque, respectivamente.

Alguns pigmentos, também, apresentam papel importante na fotoproteção, amenizando os prejuízos provocados pelo excesso de energia radiante incidente sobre a folha. KÖNIGER et al. (1995) observaram que o conteúdo de carotenóides em espécies tropicais foi aproximadamente 30 e 34% menor, respectivamente, nas espécies de clareira e de sub-bosque, em relação às espécies totalmente expostas ao sol, no estrato superior da floresta.

2.1.2. Aspectos fisiológicos

As características estruturais citadas anteriormente resultam em valores diferenciados de capacidade fotossintética para folhas de sol e folhas de sombra. As folhas de sol apresentam características funcionais diferentes em relação às de sombra, como por exemplo, maior atividade fotossintética, maior velocidade de transporte de elétrons, maior atividade enzimática e maior respiração mitocondrial, por estarem adaptadas a elevada intensidade lumínica (PEARCY, 1998). Por outro lado, as folhas de sombra apresentam maior eficiência no aproveitamento da energia sob baixa intensidade de radiação solar.

De acordo com KIMMINS (1987), as folhas de sol apresentam pontos de compensação lumínico (PC) e de saturação lumínica (PS) mais elevados em relação às folhas de sombra. As folhas de sol de plantas de floresta tropical possuem, em média, PC entre 15 e 25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, contra 5 a 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para as folhas de sombra. O PS é de 600 a 1500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, para folhas de sol, e de 200 a 300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, para folhas de sombra.

Analisando o perfil vertical de plantas de floresta no Panamá, KÖNIGER et al. (1995) encontraram valores médios de capacidade fotossintética máxima de 26,0; 8,0 e 5,4 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ para, respectivamente, plantas do estrato superior, plantas presentes em clareiras e plantas de sub-bosque.

Variações de resposta ecofisiológica em relação ao regime de radiação típico também pode ser observada numa mesma espécie na floresta. O trabalho de ZOTZ e WINTER (1996) mostra que folhas do estrato superior da

copa de *Anacardium excelsum* apresentaram características estruturais típicas de folha de sol, com alta densidade estomática e maior massa específica, resultando em maior capacidade fotossintética, taxa de respiração e maior ponto de compensação lumínico em relação as folhas da mesma espécie no sub-bosque.

A condutância estomática pode ser, também, diferente entre folhas de sol e de sombra. Em condições em que a capacidade fotossintética da folha é elevada, sua condutância estomática deve ser elevada também, quando não ocorrer limitação por luz, para que a demanda de CO₂ seja suprida. MEINZER et al. (1995), trabalhando em floresta tropical, verificaram que a condutância estomática foi maior em espécies que ocupavam o estrato superior do dossel, observando uma alta correlação entre a condutância estomática e a taxa fotossintética das folhas. Em uma floresta tropical úmida, na Jamaica, AYLETT (1985) verificou condutância estomática máxima de 280, 300 e 190 mmolH₂O.m⁻².s⁻¹ para, respectivamente, espécie do estrato superior (*Clethra occidentalis*), do estrato médio (*Cyrrilla racemiflora*) e do sub-bosque (*Hedyosmum arborescens*).

REICH et al. (1995), estudando sucessão em florestas, mostram ser possível separar, em função da posição relativa da planta na sucessão, espécies de maior atividade fotossintética e condutância estomática, ou seja, maior potencial de troca de gases com a atmosfera. A fotossíntese máxima foi de 12,0; 9,0 e 6,5 μmolCO₂.m⁻².s⁻¹ para, respectivamente, espécies de floresta em sucessão inicial, média e tardia, enquanto as espécies colonizadoras apresentaram taxa assimilatória de 15,5 μmolCO₂.m⁻².s⁻¹.

Outro importante aspecto na determinação da capacidade fotossintética da folha é a taxa de respiração. As plantas de sombra têm baixo PC porque apresentam reduzida respiração mitocondrial. Em estudos com *Fagus sylvatica*, citado por LARCHER (1995), a respiração em folhas adaptadas a sombra foi três vezes menor em relação às folhas de sol.

2.1.3. Aclimação da planta

Segundo PEARCY (1998), a análise da aclimação de uma espécie envolve o balanço de carbono em toda a planta e a sua produtividade em ambientes com diferentes disponibilidades energéticas. Ou seja, deve ser feita uma ligação entre os processos que ocorrem na folha em relação ao crescimento de toda a planta. SIMS e PEARCY (1994), estudando a aclimação de *Alocasia macrorrhiza*, planta típica de sub-bosque de floresta tropical, verificaram que, apesar das folhas aclimatadas ao sol apresentarem capacidade fotossintética máxima acima do dobro das folhas de sombra, quando a análise de crescimento foi feita considerando a assimilação da planta como um todo, as taxas assimilatórias líquidas foram maiores nas plantas de sombra, para valores idênticos de PAR. METCALFE e GRUBB (1997), trabalhando com plântulas de espécies arbóreas e arbustivas de uma floresta tropical, verificaram marcante resposta da taxa de crescimento em relação a intensidade de luz, quando o tratamento simulando abertura do dossel foi aplicado em *Melastoma malabathricum*, espécie considerada intolerante à sombra. Quando o tratamento foi aplicado em *Ficus chartacea*, espécie tolerante a sombra, não houve resposta positiva da taxa de crescimento (produção de matéria seca) em relação ao aumento de luz.

Para haver regeneração natural em florestas, a aclimação das espécies que habitam o sub-bosque é essencial, uma vez que recebem baixa intensidade de radiação solar e, após abertura de uma clareira, passam a receber incidência de luz elevada. Entretanto, parece existir enorme flutuação da plasticidade entre as espécies de floresta tropical. CHAZDON et al. (1996) citam pesquisa na qual foram estudadas espécies da família Moraceae em uma mesma floresta, mostrando uma aclimação completa de algumas espécies à alta incidência de luz, mas duas espécies exibiram baixo ou nenhum aumento do potencial fotossintético. Estudos citados por STRAUSS-DEBENEDETTI e BAZZAZ (1996) mostraram que, de maneira geral, espécies adaptadas à sombra apresentam menor plasticidade em relação às espécies com baixa ou nenhuma tolerância à sombra.

2.2. “Sunflecks” e fotossíntese em floresta tropical

As plantas localizadas sob o dossel de uma floresta, principalmente aquelas em processo de regeneração natural, recebem, na maioria do tempo, radiação difusa devido a interceptação da radiação solar direta pela copa das árvores do estrato superior. Entretanto, em alguns horários do dia, os raios solares atravessam as copas do estrato superior incidindo sobre as plantas no sub-bosque. Essa incidência de raios solares no sub-bosque da floresta (“sunflecks”), apesar de, geralmente, acontecer em curto espaço de tempo, pode contribuir de maneira significativa para a radiação solar fotossinteticamente ativa total e, conseqüentemente, na fixação de carbono. Assim, é importante que se conheça como as plantas de sub-bosque respondem à ocorrência dos “sunflecks”, uma vez que a oferta de radiação solar ao longo do dia é diferente (quanto a freqüência de ocorrência e intensidade dos raios solares) daquela observada, por exemplo, em plantas totalmente expostas em um dia sem a presença de nuvens, onde a radiação solar começa com valores mínimos pela manhã, atinge valores máximos ao meio dia e diminui no final da tarde (CHAZDON et al., 1988).

O regime de radiação solar no sub-bosque de uma floresta apresenta enorme flutuação espacial e temporal. A flutuação espacial pode ser devido à diferença na arquitetura das copas que compõem o dossel, uma vez que a diversidade de espécies é muito grande, e também devido à presença de clareiras. Um mesmo fragmento florestal pode apresentar diferentes regimes de “sunflecks” se existir, por exemplo, diferentes estádios de sucessão ecológica. Em maiores latitudes, o relevo, também, pode provocar grande variação espacial da radiação solar incidente, devido ao movimento aparente do sol. Por outro lado, a flutuação temporal pode ser causada, também, pelo movimento aparente do sol e pela variação do índice de área foliar, típico em florestas semidecíduais.

Estudos em florestas tropicais mostram que os “sunflecks” ocorrem, em média, durante menos de 10% do total de horas de insolação ao longo do dia, mas contribuem com cerca de 35 a 80% do total da PAR incidente no sub-

bosque (CHAZDON et al., 1988; FERNANDEZ e FECTHER, 1991; FERNANDEZ e MYSTER, 1995; PEARCY e PFITSCH, 1995).

Apesar da grande contribuição potencial dos “sunflecks” na fixação de carbono pelas plantas de sub-bosque, poucos estudos têm sido desenvolvidos em condições de campo para avaliar a importância de sua variação temporal e espacial, bem como os mecanismos que controlam seu uso (PEARCY e PFITSCH, 1995). Trabalhos avaliando as respostas fisiológicas das plantas em condição de luz artificial simulando os “sunflecks” têm sido realizados, mas, neste caso, a luz é chamada de “lightfleck”.

2.2.1. Fatores que regulam a utilização dos “sunflecks”

Os estudos sobre a utilização de “sunflecks” pelas plantas de sub-bosque são baseados na indução do sistema fotossintético, quando as plantas sob baixos níveis de radiação solar passam a receber valores elevados de PAR. Essa indução envolve o controle estomático, regulação da Rubisco e ativação, também, pela luz, de enzimas envolvidas na regeneração da RuBP. De acordo com PEARCY e PFISCH (1995), a ativação do sistema de recuperação da RuBP é rápida. Desta forma, a indução do aumento da atividade da Rubisco e a condutância estomática passam a ser fator de limitação da fotossíntese no início da ocorrência de “sunflecks”.

PEARCY et al. (1996) separam a indução promovida pelos “sunflecks” em duas fases: fase rápida e fase lenta. A fase rápida está associada com as limitações da regeneração da RuBP. Entretanto, durante esta fase, quando ocorre mudança brusca de densidade de radiação fotossinteticamente ativa, a restrição dura cerca de 1 a 2 minutos. A fase lenta esta associada à ativação da Rubisco e abertura estomática. A ativação da Rubisco ocorre entre 7 a 10 minutos, entretanto, a condutância estomática pode ser ainda mais lenta. Porém, plantas tolerantes à sombra, como aquelas que vivem no sub-bosque de florestas, apresentam rápida resposta estomática pelo fato de habitarem, quase sempre, ambientes mais úmidos.

O estado de indução em determinado tempo (IST) pode ser definido, de acordo com PEARCY et al. (1996), como AT/Ass , onde AT é a razão de assimilação em um tempo T (medido em segundos após o início da incidência de luz), e Ass é assimilação máxima após a indução completa. Sendo assim, um estado de indução próximo a 1,0 indica que as limitações causadas pela indução são pequenas. Estado de indução medido com T igual a 5 segundos (IS5) é um bom indicador da limitação causada pelo componente da fase rápida, enquanto que medido a 60 ou 120 segundos (IS60 ou IS120) indica a limitação da fase lenta. Entretanto esses valores de T podem variar entre as espécies.

Para uma mesma espécie, o tempo requerido para indução (ou seja, estado de indução próximo a 1,0) depende do intervalo de tempo que a folha permanece sob baixa intensidade de PAR. PONS et al. (1992) observaram que, sob luz saturante, folhas de soja que ficaram apenas um minuto sob baixa intensidade de luz ($25 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) atingiram, rapidamente, assimilação máxima de CO_2 quando exposta à elevada incidência de PAR ($500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), enquanto plantas que permaneceram por longo tempo sob baixa intensidade de luz (5 e 60 minutos) apresentaram reduzida taxa assimilatória. Neste estudo, IS60 variou, aproximadamente, de 0,90; 0,52 e 0,18 para, respectivamente, 1, 5 e 60 minutos sem que as folhas recebessem alta incidência de luz, mostrando forte dependência do estado de indução em função do intervalo entre os “lightflecks”.

2.2.2. Ocorrência de “sunflecks” e fotossíntese

O trabalho de PEARCY (1987) evidencia forte dependência da assimilação de carbono em relação aos “sunflecks”, através da resposta fisiológica de plântulas de uma espécie arbórea no sub-bosque de floresta tropical (*Agyrodendron peralatum*). Esta espécie possui baixo ponto de saturação lumínico (200 a $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), mas o aumento da fotossíntese e da condutância estomática ocorreram justamente durante os “sunflecks” mais intensos, sendo que, havendo ocorrência de “sunflecks” próximo ao PS, a

assimilação foi elevada (acima de $4,0 \mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Também foi observado que a condutância estomática nessa espécie não foi muito baixa entre os intervalos de “sunflecks”.

De acordo com PEARCY e PFISCH (1995), quando o intervalo entre a ocorrência de “sunflecks” é pequeno, reduzem-se as limitações de indução da ativação da Rubisco e aumento da condutância estomática. Um bom exemplo disso é o estudo de PEARCY et al. (1985), que trabalhando com espécies de sub-bosque de floresta tropical, verificaram aumento da fotossíntese líquida à medida que foram simulados “sunflecks” com um minuto de duração ($500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) em folhas sob baixa intensidade de luz ($22 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).

O ambiente no interior de uma floresta tropical é extremamente heterogêneo quanto a transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa pelo dossel, resultando em elevada flutuação espacial e temporal dos “sunflecks”. Sendo assim, o curso da fotossíntese líquida pode ser extremamente variável dentro da floresta, como mostra o trabalho de PFITSCH e PEARCY (1989) com *Adenocaulon bicolor* em cinco locais no sub-bosque de uma floresta. De acordo com os autores, ocorreu, também, correspondência entre os horários de pico de “sunflecks” e fotossíntese líquida, e, de modo geral, quanto maior a incidência diária de radiação solar, maior a assimilação diária total de CO_2 . Entretanto, comparando dados modelados e medidos de assimilação total ao longo do dia em função da radiação solar diária, os resultados foram satisfatórios apenas para o sítio onde, praticamente, não existiu intervalo entre os “sunflecks”. No sítio com muitos intervalos entre os “sunflecks”, ao longo do dia, o valor medido foi muito menor (cerca de 33%) em relação ao estimado, devido a influência da indução. CHAZDON (1986) verificou que a fotossíntese ao longo do dia responde linearmente ao aumento do total diário de PAR em clareiras, principalmente nas de maior tamanho. Por outro lado, quando ocorre contribuição excessiva de energia através de “sunflecks” de curta duração, a relação deixa de ser linear indicando diminuição na assimilação de CO_2 , também, devido ao estado de indução.

Os trabalhos de CHAZDON (1986) e PFITSCH e PEARCY (1989) mostram que quanto menor o intervalos entre os “sunflecks” menor a limitação na utilização dos raios solares devido ao processo de indução. Se por um lado

a indução pode limitar o uso dos “sunflecks”, pode existir uma outra contribuição ao aumento da assimilação líquida pós-iluminação (após o término dos “sunflecks”). A contribuição é maior em “sunflecks” de curta duração e esses, por sua vez, colaboram pouco no total diário de radiação. Sendo assim, segundo CHAZDON et al. (1996), a contribuição da fixação de CO₂ após a ocorrência dos “sunflecks” não é significativa.

Estudos baseados em trocas gasosas e isótopos mostram contribuição significativa dos “sunflecks” na fração de ganho de carbono (PFITSCH e PEARCY 1992). Portanto, plantas de sub-bosque que recebem “sunflecks” devem apresentar maior acúmulo de matéria seca em relação às plantas que recebem apenas a radiação difusa. Os autores mostram que a eliminação dos raios solares diretos, através de sombreamento, reduziu o total de matéria seca, verificando, também, que os “sunflecks” contribuíram para um ganho diário de carbono entre 30 e 65%, sendo os resultados similares aos obtidos em florestas tropicais, mas elevados em relação aos observados em florestas temperadas. Isso ocorre, provavelmente, devido ao fato dos “sunflecks” não contribuírem de maneira significativa para o total diário da radiação solar incidente no sub-bosque em floresta temperada, e, também, devido aos baixos valores de capacidade fotossintética das plantas de sub-bosque dessas florestas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. A caracterização do tipo climático, relevo e histórico da área foram descritos, detalhadamente, no Capítulo I.

3.2. Avaliações ecofisiológicas

As avaliações ecofisiológicas foram realizadas em três locais (A, B e C) no interior do fragmento florestal, nos meses de fevereiro e março de 2000. Dois locais escolhidos apresentavam exposições diferentes, um ao norte e outro ao sul, com declividade, posição topográfica e estágio seral de sucessão ecológica semelhantes. Um terceiro local escolhido apresentava encosta sul, com declividade e posição topográfica semelhantes às encostas citadas anteriormente, mas apresentando vegetação em estágio seral de sucessão menos avançado (Quadro 1). Esses locais foram escolhidos após estudo dos dados obtidos na primeira avaliação da radiação fotossinteticamente ativa e do

Quadro 1- Caracterização da declividade, exposição, posição topográfica e índice de área foliar (IAF) nos três locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

	Local		
	A	B	C
Declividade (%)	40	43	45
Exposição	nordeste	nordeste	sudoeste
Posição topográfica	terço superior	terço inferior	meia encosta
IAF (média anual)	3,6	4,9	5,2

índice de área foliar, realizada no estudo descrito no Capítulo I. Os locais A, B e C correspondem, respectivamente, aos locais 1, 3 e 7, conforme Quadro 1 do Capítulo I.

Para a realização dos estudos ecofisiológicos, foram escolhidas as espécies florestais dentre aquelas de maior índice de regeneração total para cada local, de acordo com o trabalho de VOLPATO (1994). Nas medições, foram utilizadas folhas totalmente expandidas, expostas, localizadas em galhos na posição mediana da copa, de plantas com altura entre 0,8 a 1,5 m de altura.

3.2.1. Avaliações ecofisiológicas sob luz artificial

A curva de resposta da fotossíntese líquida foi obtida através de um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA), modelo LI-6400, marca LICOR, com fonte de luz artificial (Figura 1), aplicando-se as seguintes intensidades de PAR: 700, 550, 400, 250, 100, 50 e 25 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Nesse estudo foram utilizadas as seguintes espécies: *Bauhinia forticata*, *Croton floribundus* e *Siparuna guianensis* no local A e *Psychotria sessilis*, *Siparuna guianensis* e *Sorocea guilleminiana* no local B. Foram realizadas três medições, por intensidade de PAR, em cada espécie, tornando possível o ajuste de modelos que explicam a fotossíntese líquida em função da disponibilidade energética. Os modelos apresentados foram escolhidos com



Figura 1 – Analisador de gases infravermelho, modelo LI-6400, marca LI-COR, em operação, no sub-bosque de uma floresta secundária estacional semidecidual, em Viçosa, MG

base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação.

Como os resultados da curva de resposta da fotossíntese líquida mostraram que os pontos de saturação lumínica de todas as espécies são atingidos com valores relativamente baixos de PAR, determinou-se a fotossíntese líquida e condutância estomática sob intensidade de PAR igual a $600 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para 20 espécies, podendo ser considerados como valores máximos de fotossíntese líquida e condutância estomática, visto que, com esta intensidade de luz, todas as plantas atingiram o PS, não tendo ocorrido fotoinibição, uma vez que os valores de fotossíntese líquida não haviam apresentado queda. No local A foram avaliadas as seguintes espécies: *Bauhinia forticata*, *Guatteria sellowiana*, *Croton floribundus*, *Solanum cernuum*, *Siparuna guianensis*, *Rollinia sylvatica*, *Psychotria sessilis*, *Zeyheria tuberculosa*, *Myrcia* sp. e *Erythroxylum pelleterianum*. No local B foram avaliadas as seguintes espécies: *Siparuna guianensis*, *Psychotria sessilis*, *Myrcia* sp., *Ladenbergia hexandra*, *Brosimum guianensis*, *Mollinedia micranta*, *Sorocea guilleminiana*, *Copaifera langsdorffii*, *Cupania* sp. e *Garcinia gardneriana*. No local C foram avaliadas as seguintes espécies: *Siparuna guianensis*, *Psychotria sessilis*, *Myrcia* sp., *Ladenbergia hexandra*, *Cupania* sp., *Alchornea triplinervea*, *Apuleia leiocarpa* e *Nectandra oppositifolia*. O estudo foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Devido ao elevado número de espécies, a comparação entre os valores médios de fotossíntese líquida foi realizada de acordo com o critério de agrupamento proposto por SCOTT e KNOTT (1974), a 5% de probabilidade. A relação entre a fotossíntese e a condutância estomática, sob PAR igual a $600 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, foi realizada através de ajuste de modelo de regressão.

Para avaliar da influência dos “sunflecks” na assimilação de carbono, realizou-se simulação de valores elevados de incidência de PAR ($500 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) durante um minuto, entre intervalos de dois minutos sob baixa intensidade de PAR ($20 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), medindo-se a fotossíntese líquida através do IRGA. O estudo de simulação de “sunflecks” foi realizado em folhas *Croton floribundus*, *Guatteria sellowiana*, *Bauhinia forticata* no local A e em

folhas de *Siparuna guianensis* no local B. Na tentativa de identificar a ocorrência de estado de indução, folhas de *Bauhinia forticata* foram submetidas a baixo valor de PAR ($20 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) por 1, 5 e 30 minutos, antes de receberem Par igual a $500 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, calculando-se o estado de indução, 60 segundos após a simulação de “sunflecks” (IS60), de acordo com proposta de PEARCY et al. (1996), apresentada na revisão de literatura.

3.2.2. Avaliações ecofisiológicas sob luz natural

A transpiração e a condutância estomática, sob luz natural, foram determinadas com um porômetro modelo LI-1600, marca LI-COR, simultaneamente, em folhas de *Siparuna guianensis* (locais A e B), *Croton floribundus* (local A) e *Sorocea guilleminiana* (local B). As leituras foram realizadas ao longo de um dia, às 9:00, 13:00 e 17:00, com o objetivo de caracterizar o comportamento fisiológico das plantas ao longo do dia. Foram utilizadas seis folhas por espécie, sendo as leituras realizadas sempre nas mesmas folhas ao longo do dia.

Nos mesmos horários de leitura com o porômetro, foram realizadas medidas do potencial hídrico em folhas de *Siparuna guianensis* (cinco folhas em cada horário) utilizando-se uma bomba de pressão (SCHOLANDER et al., 1965), acrescentando-se uma leitura às 6:00 h.

A umidade do solo foi determinada nos dias de leitura com o porômetro, através do método gravimétrico, com amostras retiradas na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Esta determinação é importante, pois, a disponibilidade hídrica afeta diretamente o comportamento fisiológico das plantas.

3.3. Determinação de picos de PAR em curto espaço de tempo (“sunflecks”)

A determinação da intensidade e freqüência da incidência da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), a um metro de altura do solo, foram realizadas através da instalação de dois radiômetros pontuais, modelo LI-190,

marca LI-COR, conectados a “dataloggers”, modelo CR10, da marca Campbell, e modelos LI-1000 e LI-1400, marca LI-COR. A posição dos radiômetros foi trocada a cada dois dias. As medições foram realizadas entre 06 e 23 de maio de 2000.

As curvas de resposta da fotossíntese em função da PAR indicaram que as espécies de locais mais fechados atingem valores próximo a fotossíntese máxima com PAR igual a $100 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e as plantas de locais mais abertos já apresentam valores elevados de fotossíntese neste nível de PAR. Assim, no presente trabalho, a ocorrência de “sunflecks” foi considerada quando os radiômetros registraram valores médios, a cada minuto, acima desse valor. Diante disso, foi determinada a frequência de ocorrência de PAR, por um minuto, dentro de classes a partir de $100 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, no período.

3.4. Determinação do perfil de PAR

Com o objetivo de caracterizar a disponibilidade energética em mais de um nível, foram realizadas leituras da PAR a 1, 3 e 6 metros de altura desde o solo, utilizando-se sensores pontuais, com o auxílio de hastes de alumínio. Foram realizadas leituras em dois dias, entre 11 e 13:00h nos meses de setembro de 1999 e maio de 2000, totalizando quinze medições, em cada nível, em cada época.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ecofisiologia das plantas no sub-bosque

A curva de resposta da fotossíntese líquida em relação à intensidade da PAR (Quadro 2 e Figura 2), para espécies dos locais A e B, evidencia que as plantas no local A apresentaram maior incremento da fotossíntese líquida com o aumento da PAR, o que promoveu aumento substancial dos valores máximos de assimilação de CO₂. No local A, as espécies *Bauhinia forticata*, *Croton floribundus* e *Siparuna guianensis* apresentaram, respectivamente, valores máximos de fotossíntese líquida de 10,5; 8,1 e 5,2 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. No local B, as espécies *Psychotria sessilis*, *Siparuna guianensis* e *Sorocea guilleminiana* apresentaram valores de 2,8; 2,8 e 2,9 $\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Os resultados apresentados nos capítulos I e II mostram que o regime de radiação solar é diferente entre os locais estudados, o que implica que as plantas de sub-bosque de cada sítio devem estar aclimatadas aos respectivos regimes de radiação solar fotossinteticamente ativa. O local A encontra-se em estágio menos avançado de sucessão, apresentando IAF relativamente baixo e elevado número de clareiras que permitem maior penetração da radiação solar. As espécies deste local apresentam características estruturais que possibilitam

Quadro 2- Equações para estimar a fotossíntese líquida (A), em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), para cinco espécies no sub-bosque de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

Espécie	Local	Equação	r ²
Bauhinia forticata	A	$A = 10,712 [1 - e^{(-0,076 \text{ PAR}/10,712)}]$	0,99
Cróton floribundus	A	$A = 8,170 [1 - e^{(-0,095 \text{ PAR}/8,170)}]$	0,95
Siparuna guianensis	A	$A = 5,226 [1 - e^{(-0,074 \text{ PAR}/5,226)}]$	0,95
<i>Siparuna guianensis</i>	B	$A = 2,765 [1 - e^{(-0,098 \text{ PAR}/2,765)}]$	0,77
Psychotria sessilis	B	$A = 2,895 [1 - e^{(-0,081 \text{ PAR}/2,895)}]$	0,77
<i>Sorocea guilleminiana</i>	B	$A = 3,011 [1 - e^{(-0,037 \text{ PAR}/3,011)}]$	0,66

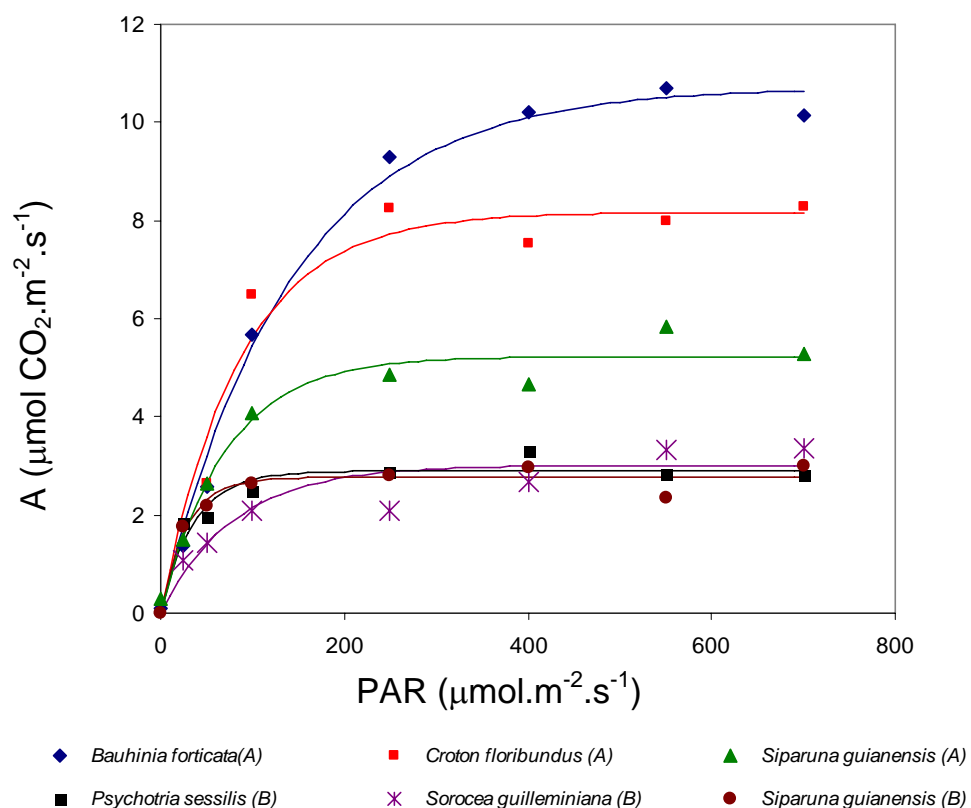


Figura 2 - Fotossíntese líquida (A), em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), observada em cinco espécies no sub-bosque de uma floresta secundária, em Viçosa, MG. As letras entre parênteses correspondem aos sítios estudados em que cada espécie se encontra.

taxa assimilatória de CO₂ em plantas de floresta em estágio inicial de sucessão comparado com as de sucessão mais avançada. AYLETT (1985) e KONIGER et al. (1995) também verificaram que a variabilidade vertical ou horizontal da radiação solar no interior da floresta resulta em diferentes potenciais fotossintéticos em razão da aclimatação das plantas.

A espécie *Siparuna guianensis* apresentou maior fotossíntese líquida no local A (dossel aberto) em relação ao local B (dossel fechado). Este fato é interessante, pois, mostra a plasticidade da espécie em relação à disponibilidade energética, também observada por ZOTZ e WINTER (1996), que trabalharam com *Anacardium excelsum*, e atribuíram o aumento da fotossíntese líquida às modificações estruturais das folhas.

O ponto de saturação lumínica (PS) também variou entre as espécies e entre os locais estudados. De acordo com os modelos ajustados, os pontos de saturação lumínica para *Bauhinia forticata*, *Croton floribundus*, *Sorocea guilleminiana* e *Psychotria sessilis* foram 550, 410, 270 e 150 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente. *Siparuna guianensis* apresentou PS de 380 e 160 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente, nos locais A e B. Os pontos de saturação lumínica foram determinados matematicamente através de modelo ajustado para cada espécie. Quanto ao ponto de compensação lumínica, não foi possível o ajuste, pois os coeficientes que explicariam a resposta das folhas não foram estatisticamente significativos. De qualquer modo, as plantas do local A, de acordo com KIMMINS (1987) e LARCHER (1995), podem ser consideradas “típicas de sol” e as do local B “típicas de sombra”.

Croton floribundus, *Siparuna guianensis* e *Sorocea guilleminiana* são consideradas típicas de sub-bosque, apresentando poucos indivíduos no estrato superior da floresta. Porém, a avaliação da fixação de carbono em função da PAR mostra que há diferença de exigência energética, estando em concordância com trabalhos fitossociológicos em locais sob o domínio da Floresta Atlântica. Por exemplo, ALMEIDA (1996), FERREIRA (1997), FERNANDES (1998) e ALMEIDA JÚNIOR (1999) classificaram *Croton floribundus* como pioneira, intolerante à sombra, e *Siparuna guianensis* e *Sorocea guilleminiana* como secundárias iniciais, tolerantes à sombra.

guilleminiana, apesar de classificada como secundária inicial, parece ocorrer somente em sub-bosque fechado como observado no levantamento de VOLPATO (1994), realizado na área do presente estudo.

Os valores médios de fotossíntese líquida, sob PAR igual a $600 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Quadro 3) observados em plantas dos locais A, B e C foram, respectivamente, 6,7; 3,2 e $4,1 \mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, embora tenha sido observada variação significativa dentro de cada local. No local A, por exemplo, ficou evidente, através de observação visual, que *Bauhinia forticata* e *Croton floribundus* encontram-se sempre em clareiras bem abertas, enquanto as espécies *Myrcia* sp. e *Erythroxylum pelleterianum* sempre ocorrem em local da floresta apresentando dossel mais fechado. A análise de agrupamento permitiu separar as plantas em dois grupos nos locais A e B e em três grupos no local C. É interessante observar que as espécies *Siparuna guianensis* e *Myrcia* sp ocorrem nos três locais, mas a fotossíntese líquida é maior no local A, onde a disponibilidade energética é maior. Com relação a *Psychotria sessilis*, houve redução da fotossíntese líquida do local A para o local B, mas as plantas do local C também apresentaram valores elevados de fotossíntese líquida.

No Quadro 3, *Bauhinia forticata*, *Guatteria sellowiana* e *Solanum cernuum* são consideradas espécies pioneiras, ou seja, intolerantes à sombra, e *Nectandra oppositifolia*, *Copaifera langsdorffii* e *Brosimum guianensis*, secundárias tardias, ou seja, tolerantes à sombra. É importante destacar que as medições de fotossíntese líquida foram realizadas em condição de campo, onde outros fatores ambientais podem ter interferido na determinação da assimilação de CO_2 . De qualquer modo, essas informações são importantes no conhecimento da autoecologia das espécies que compõem a floresta, auxiliando, assim, no entendimento de sua dinâmica.

De acordo com LARCHER (1995), existe uma relação direta entre a fotossíntese líquida e a condutância estomática, uma vez que a troca gasosa entre a folha e a atmosfera depende justamente do movimento estomático. Assim, analisando a Figura 3, é possível perceber que quanto maior a condutância estomática, observada sob PAR de $600 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, maior a fotossíntese líquida das espécies estudadas nos locais A e B. O

Quadro 3- Fotossíntese líquida observada em 20 espécies, sob intensidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, no sub-bosque de uma floresta secundária estacional semidecidual, em Viçosa, MG

Espécie	Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)		
	Local A	Local B	Local C
<i>Bauhinia forticata</i>	9,1 a	-	-
<i>Guatteria sellowiana</i>	8,3 a	-	-
<i>Croton floribundus</i>	8,3 a	-	-
<i>Solanum cernuum</i>	8,0 a	-	-
<i>Siparuna guianensis</i>	7,5 a	2,6 b	3,6 b
<i>Rollinia sylvatica</i>	7,3 a	-	-
<i>Psychotria sessilis</i>	5,3 b	3,0 b	5,7 a
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	5,1 b	-	-
<i>Myrcia sp.</i>	4,5 b	2,5 b	3,0 c
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	3,4 b	-	-
<i>Ladenbergia hexandra</i>	-	4,8 a	5,6 a
<i>Brosimum guianensis</i>	-	4,3 a	-
<i>Mollinedia micranta</i>	-	3,3 b	-
<i>Sorocea guilleminiana</i>	-	3,1 b	-
<i>Copaifera langsdorffii</i>	-	3,0 b	-
<i>Cupania sp.</i>	-	2,8 b	4,6 b
<i>Garcinia gardneriana</i>	-	2,5 b	-
<i>Alchornea triplinervea</i>	-	-	4,5 b
<i>Apuleia leiocarpa</i>	-	-	4,2 b
<i>Nectrandra oppositifolia</i>	-	-	2,2 c

* - médias seguidas da mesma letra, no sentido vertical, dentro de um mesmo local, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de SCOTT & KNOTT (1974), a 5% de probabilidade.

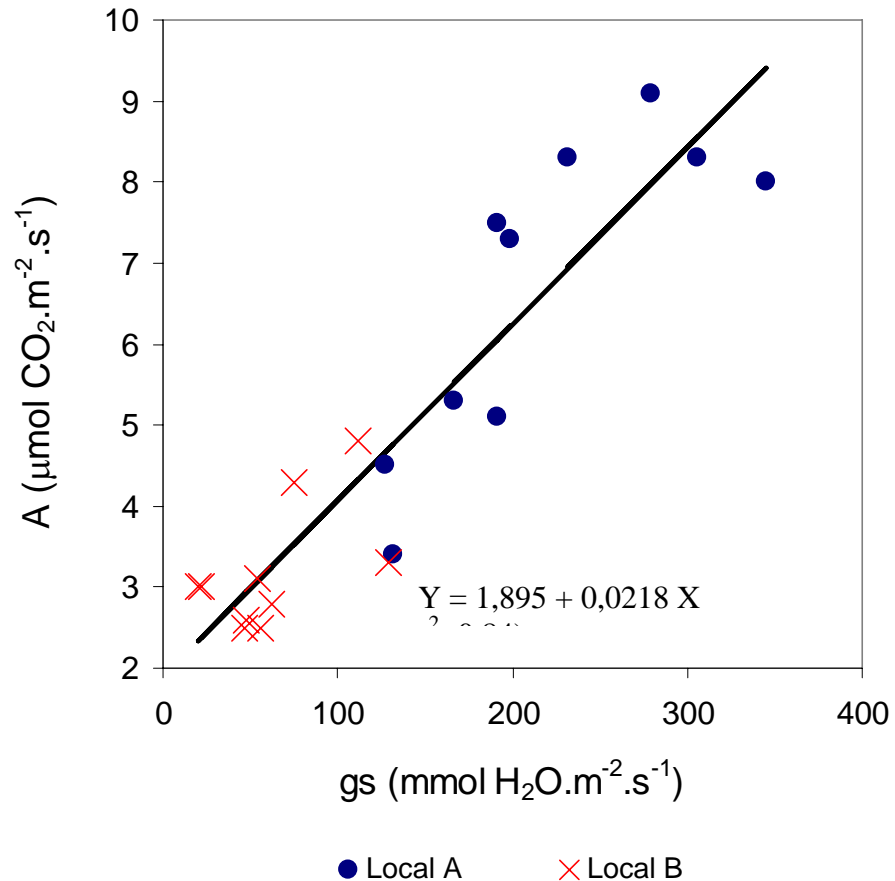


Figura 3 – Fotossíntese líquida (A), em função da condutância estomática (gs), de 20 espécies, sob PAR de 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, para dois locais, no sub-bosque de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

estabelecimento desse tipo de relação também é interessante do ponto de vista prático, uma vez que a determinação da condutância estomática é mais fácil de ser realizada em condições de campo, através de porômetro.

Os resultados até aqui apresentados foram obtidos com luz artificial, através de fonte luminosa. Porém, em condições naturais de radiação solar, no campo, as diferenças ecofisiológicas entre plantas nos sítios estudados também foram marcantes. A Figura 4 mostra valores de condutância estomática (gs), transpiração (T) e PAR observados ao longo de um dia, simultaneamente nos locais A e B, em folhas de *Siparuna guianensis*. Às 9:00 h os valores de gs e T foram semelhantes, mas com o aumento da PAR

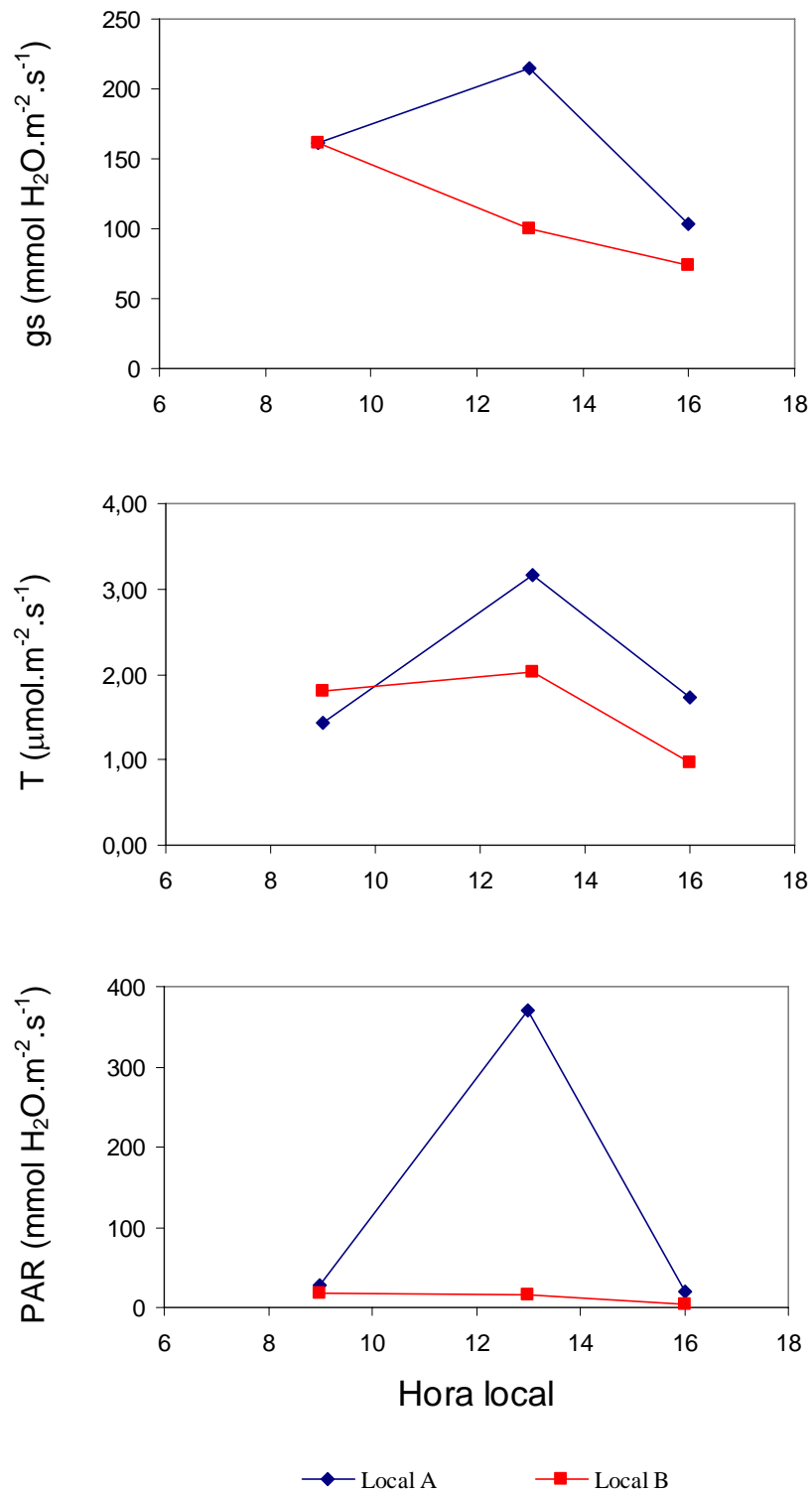


Figura 4 – Condutância estomática (gs), transpiração (T) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em folhas de *Siparuna guianensis* em dois locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em março de 2000.

às 13:00 h, no local A, ocorreu elevação de g_s e T , permanecendo altas na última leitura. Os dados discutidos anteriormente já evidenciaram que esta espécie apresenta maior potencial fotossintético em local com dossel aberto, e que a fotossíntese é diretamente proporcional à condutância estomática.

Além de variar entre locais, para uma mesma espécie, a resposta ecofisiológica também foi diferente entre espécies no mesmo local. As diferenças foram mais pronunciadas no local A quando se compararam *Croton floribundus* e *Siparuna guianensis* (Figura 5).

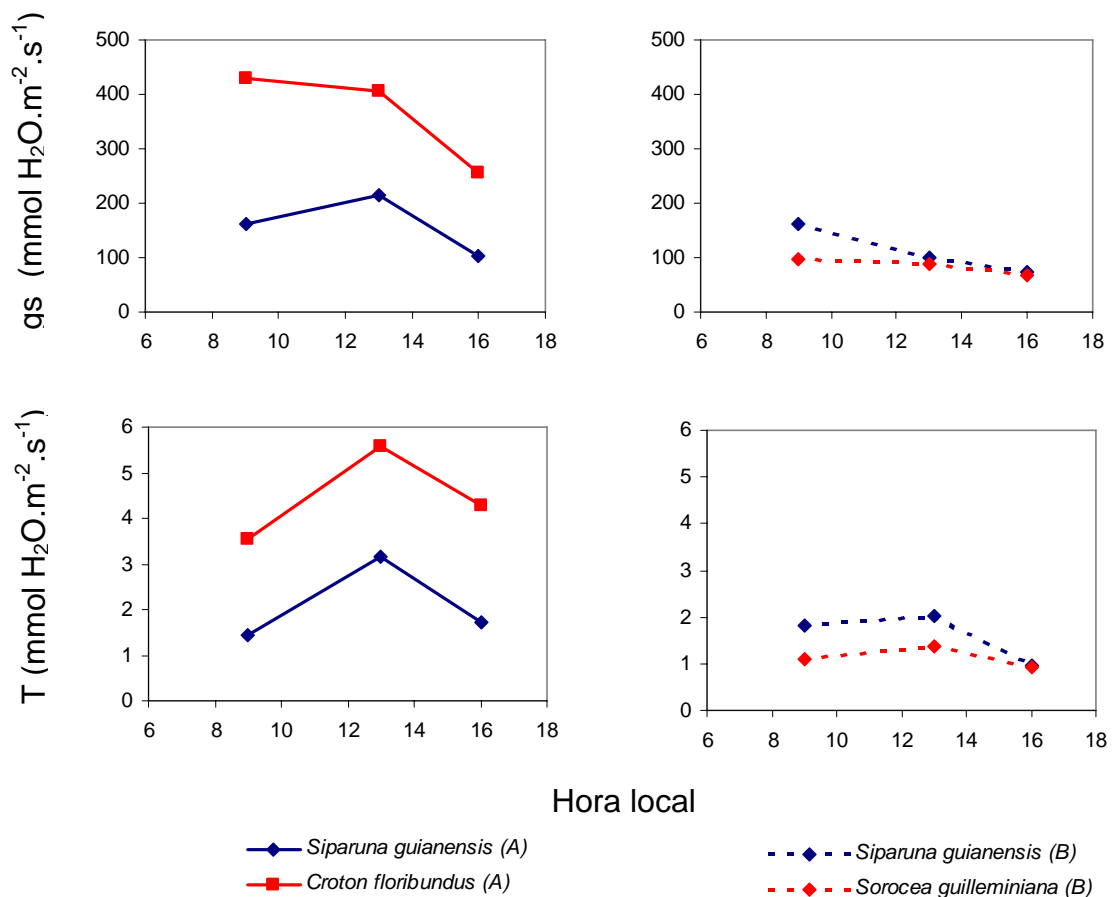


Figura 5 – Condutância estomática (g_s) e transpiração (T) em três espécies de sub-bosque em dois locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em março de 2000. As letras entre parênteses indicam o local estudado.

Pesquisas realizadas em plantas a pleno sol indicam, quase sempre, que as folhas apresentam maior condutância estomática, ou seja, maior fotossíntese, no período da manhã, com acentuada queda ao redor do meio-dia, quando ocorre o fechamento dos estômatos. No presente trabalho isto não foi observado, pois o regime de radiação solar no sub-bosque é diferente, apresentando valores bem menores nos horários mais quentes do dia, em relação a área aberta. No mesmo dia apresentado nas Figuras 4 e 5, o potencial hídrico das folhas de *Siparuna guianensis* apresentou pequena queda nos dois locais estudados, nos horários de maior incidência de luz, sendo, porém, mínima a diferença entre 9:00 e 13:00 h (Figura 6). No dia em que foram realizadas as leituras com o porômetro, o teor de água no solo estava alto, ao redor de 28 e 25 g.100g⁻¹, respectivamente, nos locais A e B. Talvez, valores elevados de radiação solar associados a baixa disponibilidade hídrica no solo provocassem o fechamento dos estômatos, com conseqüente diminuição da condutância estomática.

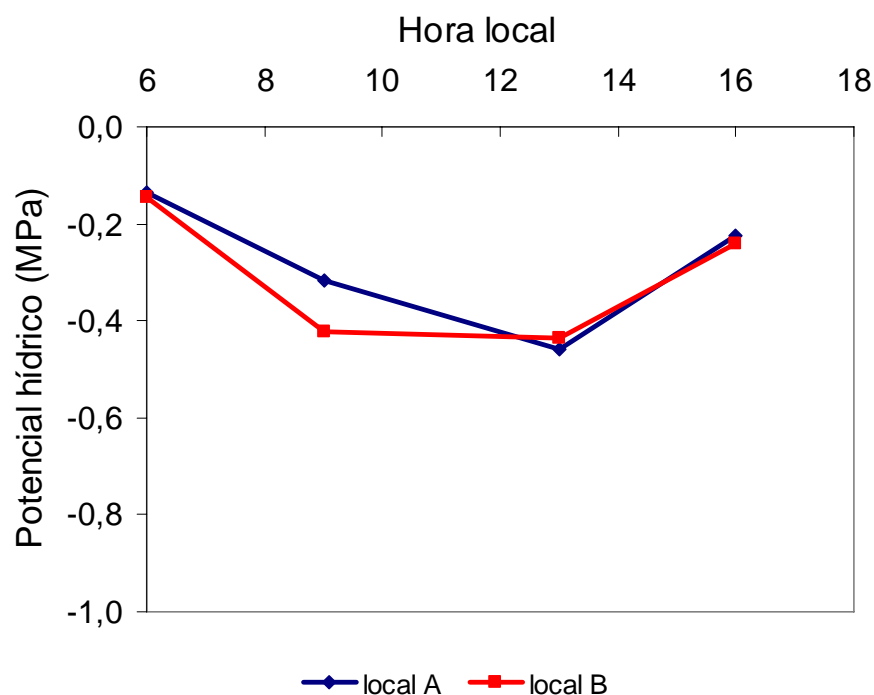


Figura 6 – Potencial hídrico foliar observado em *Siparuna guianensis*, ao longo do dia, em dois locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em março de 2000.

As diferentes respostas ecofisiológicas observadas entre plantas de uma mesma espécie em locais diferentes e entre espécies distintas no mesmo local (Figuras 4 e 5) sofrem influência da própria estrutura foliar e concentração de pigmentos nas folhas, além da variabilidade micro-ambiental existente. Certamente, um estudo anatômico das folhas mostraria diferenças marcantes entre as espécies, mas uma análise externa já revelou algumas características, como presença de pelos e maior espessura das folhas da espécie *Croton floribundus*, típico em folhas de sol, além de maior quantidade de cera nas folhas de *Siparuna guianensis* no local A em relação ao local B. Quanto à variabilidade micro-ambiental, o estudo microclimático apresentado no capítulo II mostra que a maior disponibilidade energética no local A, devido à presença de clareiras, promove modificações ambientais em outras variáveis, também importantes do ponto de vista ecofisiológico, como a temperatura do ar e do solo e, déficit de pressão de vapor.

4.2. “Sunflecks” e fotossíntese líquida de plantas no sub-bosque

Medidas realizadas em folhas de quatro espécies mostraram que a ocorrência de “sunflecks” no interior da floresta pode contribuir significativamente para o aumento da fotossíntese total ao longo de um dia, uma vez que o aumento da intensidade de radiação solar por curto espaço de tempo provocou uma resposta praticamente instantânea da fotossíntese líquida (Figura 7). As espécies com maior fotossíntese líquida (*Croton floribundus*, *Gutteria sellowiana* e *Bauhinia forticata*) estavam no local A, apresentando, assim, melhor eficiência em aproveitar os “sunflecks” simulados de $500 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. *Siparuna guianensis*, no local B, apresentou menor fotossíntese líquida. Os “sunflecks” foram simulados utilizando-se fonte artificial de luz adaptada no analisador de gás infravermelho, em dia nublado, na tentativa de minimizar as variações microclimáticas. Os resultados do presente trabalho foram semelhantes aos observados por PEARCY et al. (1985), para espécies de sub-bosque de floresta tropical.

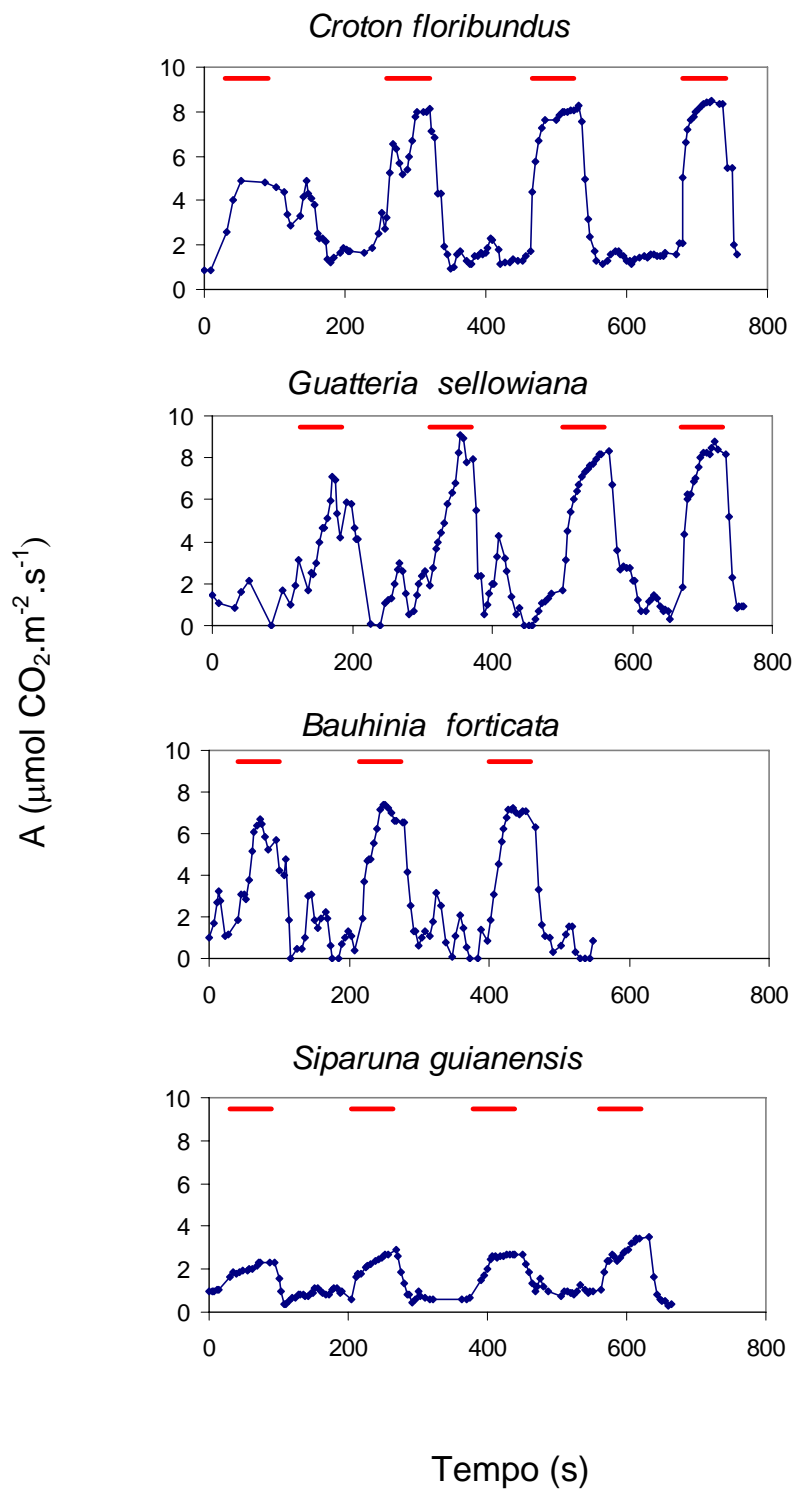


Figura 7 – Fotossíntese líquida (A) em quatro espécies florestais em função da simulação de “sunflecks” de 1 minuto de duração (—). A intensidade de radiação dos “sunflecks” simulados foi de $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ aplicados em folhas sob baixa intensidade de radiação (ao redor de $20 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

É interessante notar que as espécies do local A, em especial, não apresentaram a mesma eficiência fotossintética na primeira simulação de “sunflecks”, indicando, aparentemente, a existência de um estado de indução necessário para o aumento da atividade da Rubisco e da condutância estomática. Comportamento semelhante foi observado por PEARCY et al. (1985) em espécies de floresta tropical, entretanto, no referido trabalho, a influência da necessidade de indução foi mais visível, provavelmente, pelo fato das folhas utilizadas no presente trabalho estarem recebendo uma intensidade maior de PAR, apesar da presença de nuvens, antes da simulação dos “sunflecks”.

Foi observada a ocorrência de estado de indução, em folhas de *Bauhinia forticata* submetidas a baixo valor de PAR ($20 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) durante períodos mais longos de tempo, antes de receberem $500 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 8). Os resultados mostram que a folha que ficou apenas 1 minuto sob baixa intensidade de PAR atingiu rapidamente um patamar de fotossíntese líquida ao

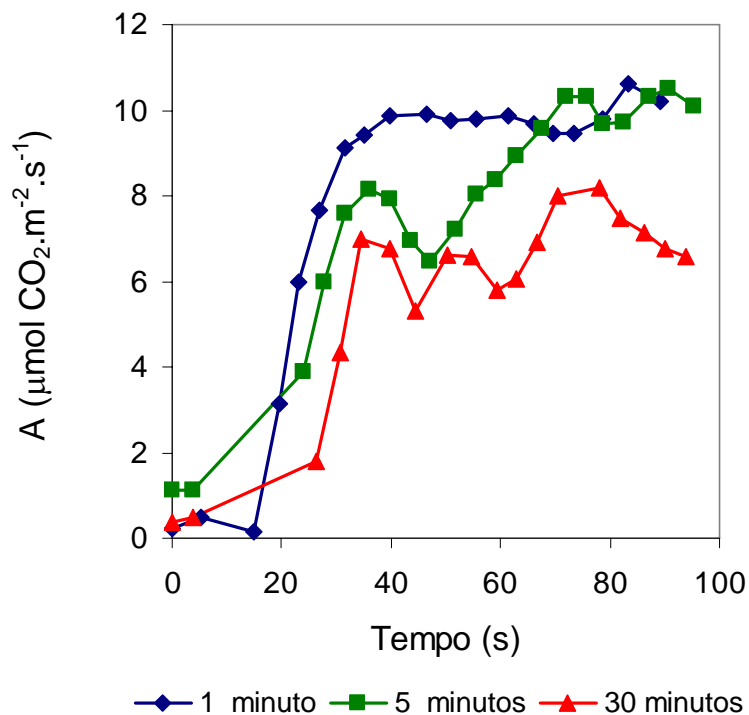


Figura 8 – Fotossíntese líquida (A) em folhas de *Bauhinia forticata* sob elevada incidência de PAR ($500 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), após terem permanecido sob baixo fluxo energético ($20 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) durante 1, 5 e 30 minutos.

redor de $10 \mu\text{molCO}_2.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Quando o período sob baixa intensidade de PAR foi de cinco minutos, o tempo para atingir o patamar ultrapassou 60 segundos. No caso do período mais longo, sob baixa intensidade de PAR (30 minutos) a folha não atingiu o mesmo valor de fotossíntese máxima, mesmo após 90 segundos sob fluxo de $500 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de PAR, sendo visível a formação de um patamar mais baixo, mostrando a necessidade de um tempo de indução do sistema fotossintético das folhas. Utilizando a equação proposta por PEARCY et al. (1996), o estado de indução aos 60 segundos após a simulação de “sunflecks” (IS60) foi de 1,0; 0,86 e 0,59 para, respectivamente, 1, 5 e 30 minutos de intervalo sob baixa intensidade de luz. Esses valores são bem mais elevados em relação aos observados por PONS et al. (1992) em folhas de soja, possivelmente pelo fato da espécie estudada no presente trabalho apresentar certa tolerância à sombra, o que, de acordo com PEARCY et al. (1996), torna a resposta estomática mais rápida.

A constatação da ocorrência desse estado de indução é importante, pois mostra que uma simulação da produção de biomassa em uma floresta deve considerar o não aproveitamento da energia solar no início de um “sunfleck”, principalmente, quando a folha estiver sob baixa intensidade de luz por longo período de tempo. Trabalhos realizados em florestas tropicais mostram que a indução limita a assimilação líquida, entre 10 a 25% (PEARCY et al., 1996).

4.3. Ocorrência de “sunflecks” no sub-bosque

Os resultados de simulação de “sunflecks” mostraram que a ocorrência de pequenos períodos com maiores valores de PAR é muito importante para o processo fotossintético no sub-bosque da floresta. Assim, a compreensão da dinâmica da vegetação no sub-bosque requer o estudo da PAR em curto espaço de tempo.

A frequência de ocorrência de PAR, por um minuto, dentro de classes a partir de $100 \mu\text{mol}.\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, no período estudado, é mostrada na Figura 9. A

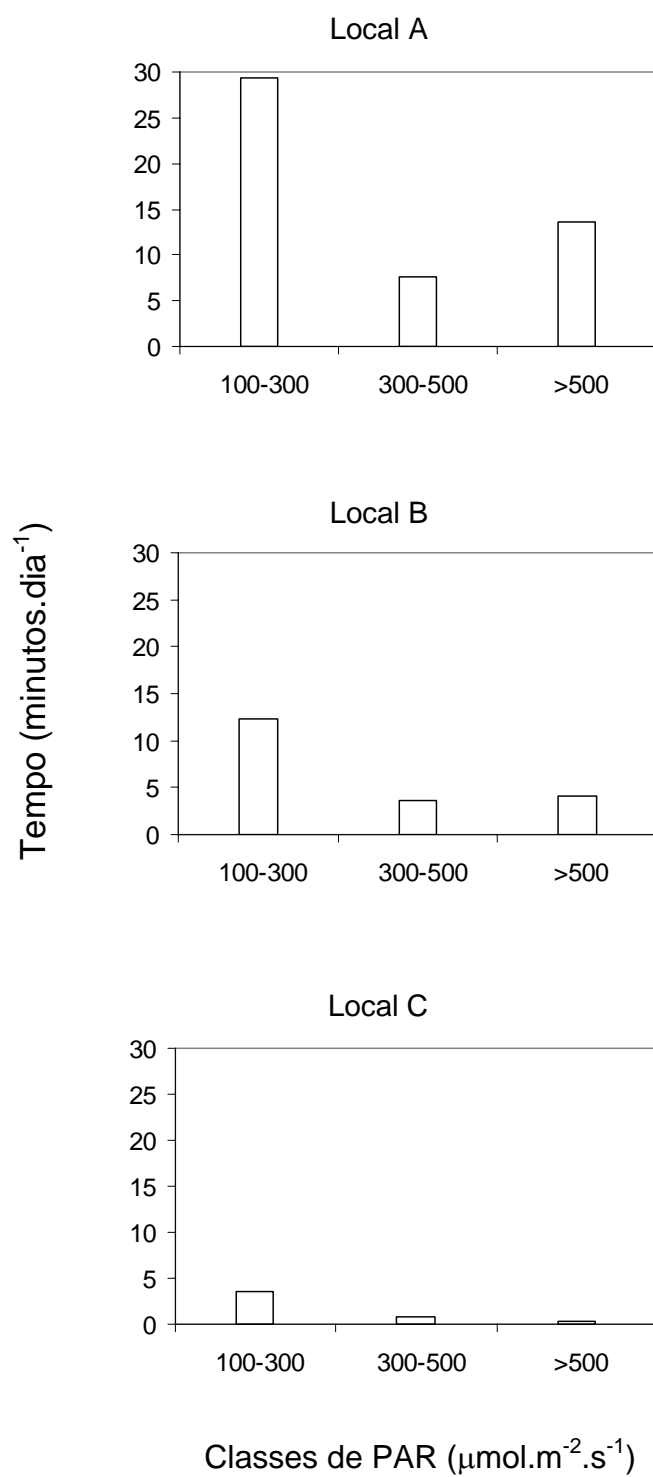


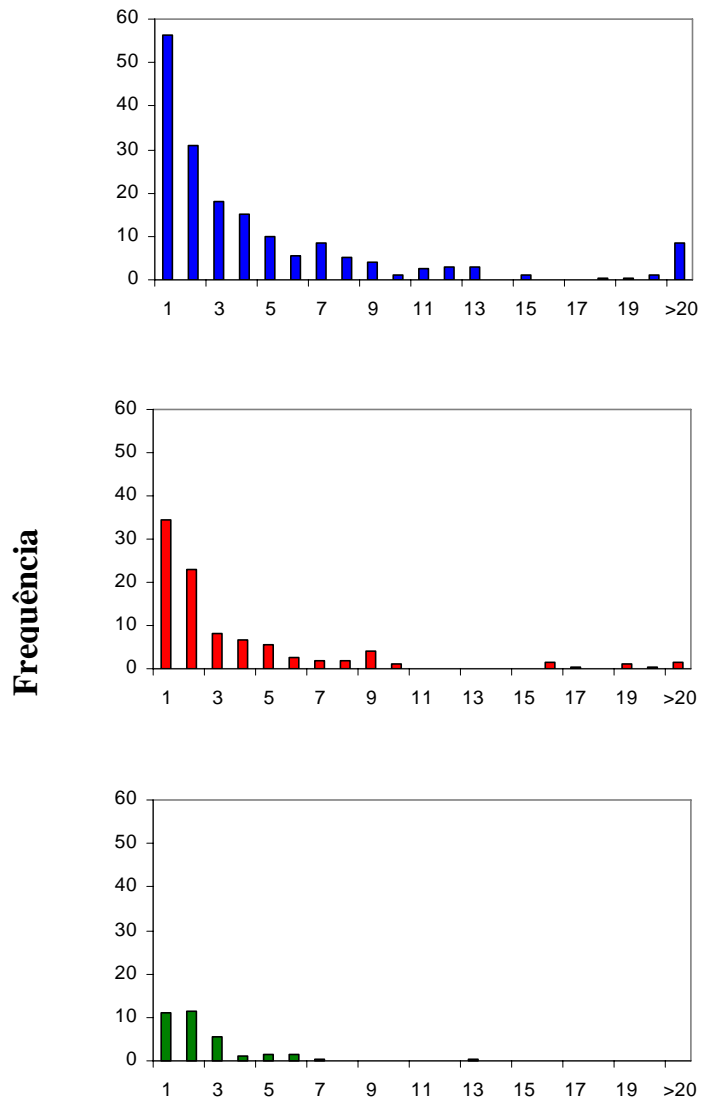
Figura 9 – Tempo médio diário de ocorrência de picos de radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), em classes, em três locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em maio de 2000.

disponibilidade energética foi maior no local A, onde, em média, durante 30, 7 e 12 minutos ao longo do dia, a PAR fica, respectivamente, dentro das classes de 100 a 300, 300 a 500 e acima de 500 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Nos locais B e C, com vegetação de elevado valor de IAF, a penetração da radiação solar foi bem menor. Entretanto, no local B, a ocorrência de valores dentro das classes estudadas foi ainda maior, possivelmente, devido ao fato de localizar-se em encosta norte, coincidente com a trajetória aparente do sol nessa época do ano (maio).

As avaliações sobre o estado de indução mostraram que a ocorrência de intervalos entre valores elevados de radiação solar diminui a eficiência de uso da luz. Em todos os locais predominou a ocorrência de curtos períodos com valores acima de 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, mas os locais A e B apresentaram, com certa frequência, períodos de tempo maior com altos valores de radiação solar em relação ao local C (Figura 10). No local A, por exemplo, nos 18 dias de avaliação, ocorreram oito episódios com PAR acima de 100 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, durante pelo menos 20 minutos, ou seja, além da maior disponibilidade energética, este local deverá apresentar menor limitação na assimilação de CO_2 devido a indução, pois os “sunflecks” são mais longos.

A diferença entre os locais foi mais evidente em dias sem presença de nuvens. Analisando o comportamento da PAR em cada local, baseado em medições de dois sensores, é possível perceber a ocorrência de maior número de picos de PAR no local A (Figura 11). Novamente, devido a trajetória aparente do sol, o local B apresenta número superior de picos de PAR em relação ao local C. Outro ponto importante a ser observado é o comportamento extremamente heterogêneo entre os valores de radiação solar no sub-bosque da floresta, mesmo dentro de um mesmo local.

A maior ocorrência de picos de radiação solar associada ao maior potencial fotossintético das plantas do local A, resulta em maior taxa de assimilação de CO_2 ao longo do dia, por unidade de área foliar, em relação ao local B e C. Utilizando os modelos que explicam as curvas de resposta (Figura 2) e os valores de PAR (Figura 11), simulou-se a fotossíntese líquida ao longo do dia para três espécies nos locais A e B (Figura 12). Houve uma diferença claramente perceptível quando se comparou a mesma espécie nos dois locais,



Tempo, em minutos, com PAR acima de $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Figura 10 – Frequência absoluta de ocorrência de radiação solar fotossinteticamente ativa acima de $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, durante 18 dias, em função da classe de tempo, em três locais no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG.

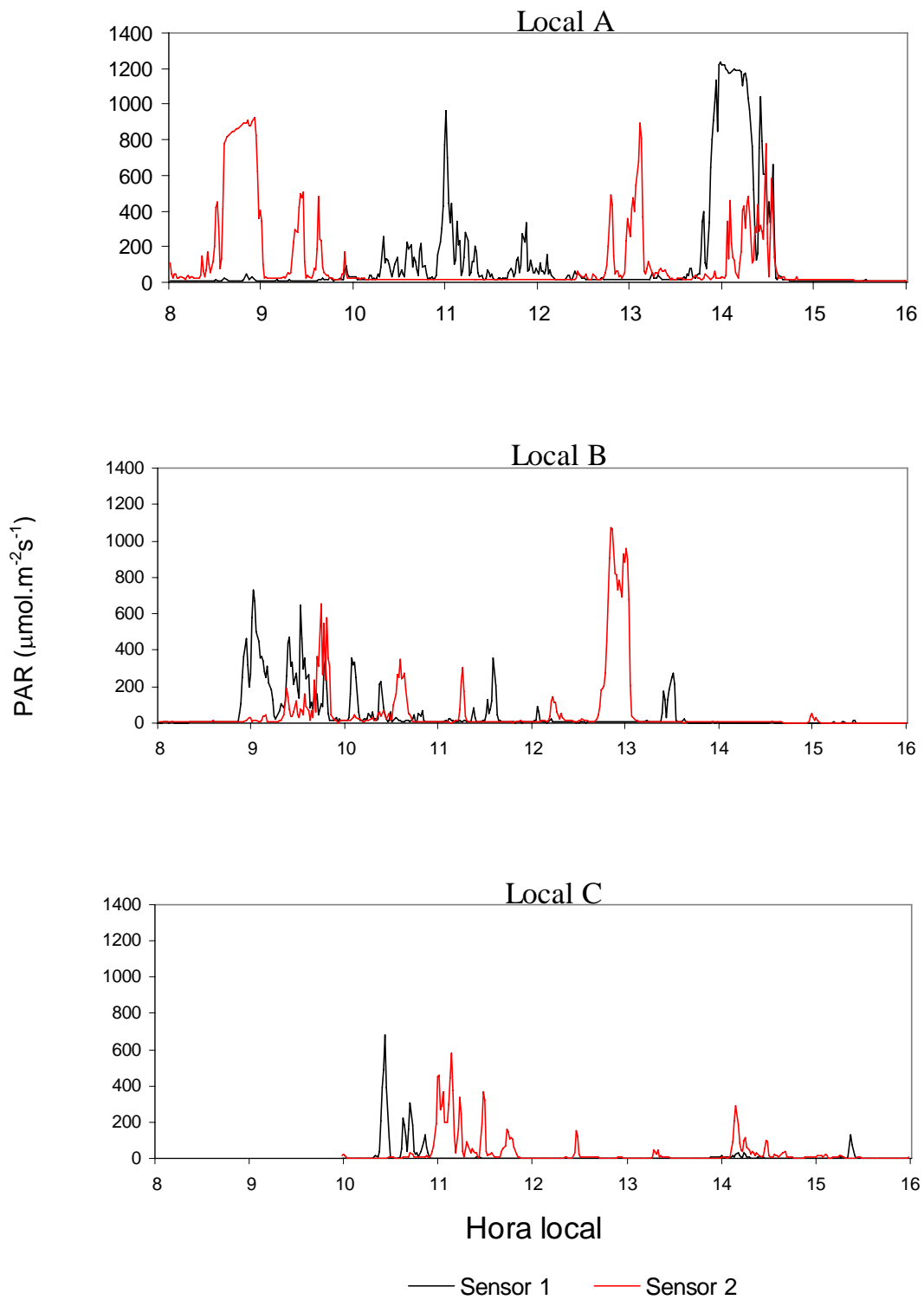


Figura 11 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), a cada minuto, em dois sensores instalados em três locais no interior de uma floresta secundária, a um metro de altura, em Viçosa, MG, em maio de 2000.

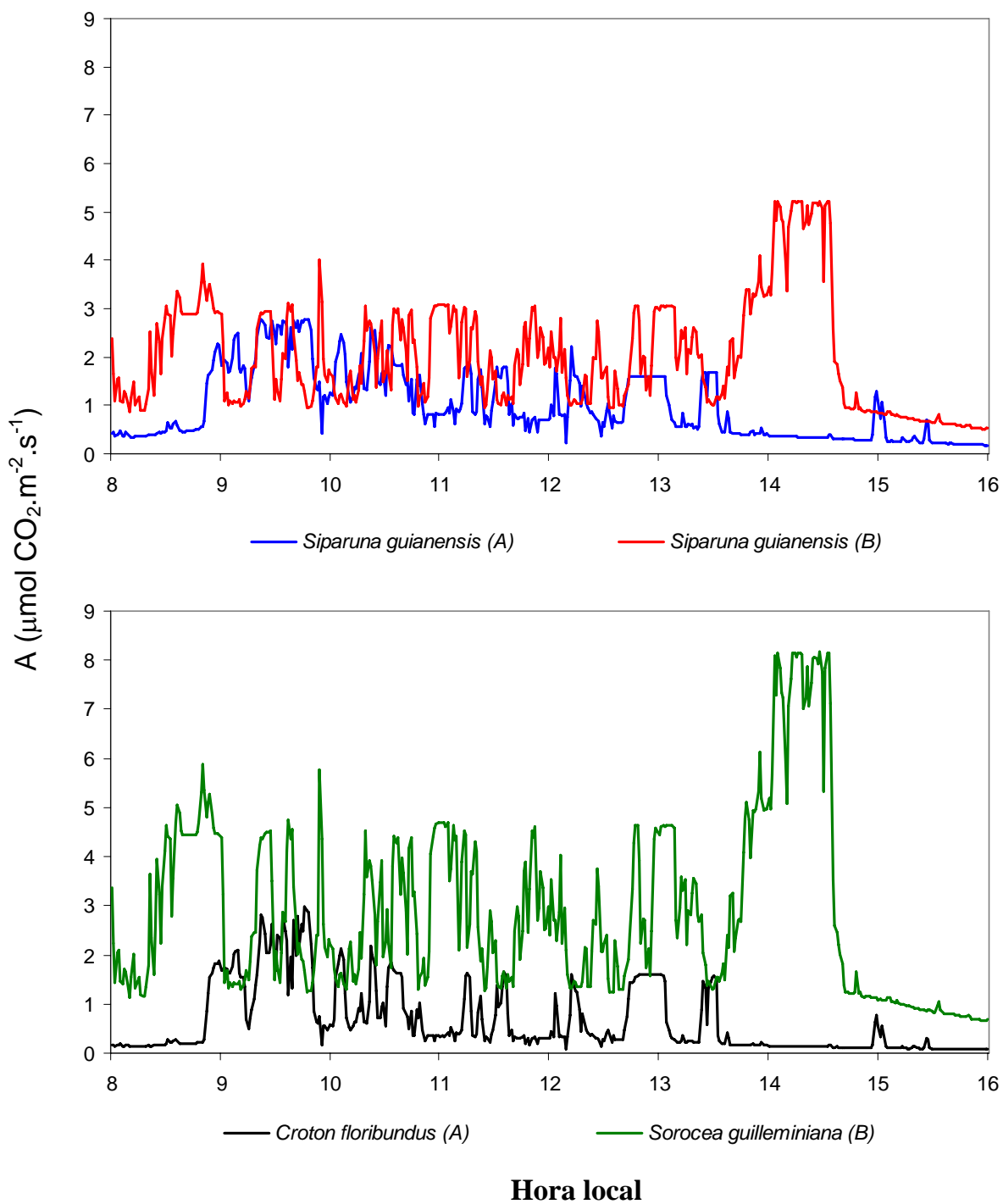


Figura 12 – Fotossíntese líquida média (A), estimada a partir de modelo matemático, no interior de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em maio de 2000. As letras entre parênteses correspondem aos locais estudados.

pois além da maior disponibilidade energética no local A, a espécie *Siparuna guianensis* apresenta maior eficiência fotossintética neste local. Integrando a fotossíntese líquida ao longo do dia exemplificado na Figura 12 (entre 8:00 e 16:00 h), o total de CO₂ assimilado por *Siparuna guianensis* foi 58,1 e 28,3 mol CO₂.m⁻².s⁻¹ para, respectivamente, os locais A e B.

A diferença foi ainda mais evidente quando se comparou *Croton floribundus*, espécie de alta eficiência fotossintética no local A, com *Sorocea guilleminiana*, espécie de baixa eficiência no local B. Neste caso, o total diário de CO₂ assimilado foi 82,9 mol CO₂.m⁻².s⁻¹ para a espécie do local A contra apenas 18,7 molCO₂.m⁻².s⁻¹ para a espécie do local B. Na simulação realizada não foram consideradas as perdas devido à indução, o que diminuiria a assimilação total de CO₂ pelas folhas. Entretanto, a diferença proporcional entre os locais A e B deveriam aumentar, visto que o intervalo entre os picos de PAR é maior no local B.

4.4. Perfil da PAR no sub-bosque da floresta

As avaliações envolvendo respostas ecofisiológicas das plantas e as medidas de PAR, inclusive nos capítulos I e II, foram realizadas a um metro de altura. Entretanto, existe um gradiente da disponibilidade de radiação solar ao longo do perfil da floresta, que deve resultar em diferentes potenciais de assimilação de CO₂ pelas plantas. A estratificação do sub-bosque é importante para o entendimento da dinâmica das florestas, e esta é a razão de muitos levantamentos fitossociológicos da regeneração natural serem realizados em diferentes classes de tamanho de planta. Na área do presente estudo a regeneração natural abrange três classes de tamanho: plantas com até 1 metro de altura, com 1 a 3 metros e acima de 3 metros (DAP < 5cm).

Medidas realizadas a 1, 3 e 6 metros de altura indicaram diferenças marcantes entre os locais e época do ano no perfil de PAR (Figura 13). A Figura 13a mostra que, em setembro de 1999, as diferenças entre os locais foram mais significativas a 6 metros de altura. No local A, as folhas localizadas a 6 m de altura receberam mais de 50% da PAR em relação ao exterior da floresta devido a queda de folhas das árvores do estrato superior. Ainda é

possível perceber que as diferenças entre os locais B e C aumentam com a altura, significando, por exemplo, que no local B, a 6 metros de altura, podem existir condições satisfatórias para o desenvolvimento de espécies que apresentem alguma intolerância à sombra.

Em maio de 2000 (Figura 13b), devido ao aumento do IAF, ocorre uma redução da PAR em todo o perfil da floresta em relação às avaliações realizadas em setembro de 2000, principalmente no local A, que próximo ao solo, apresenta comportamento semelhante ao dos demais locais.

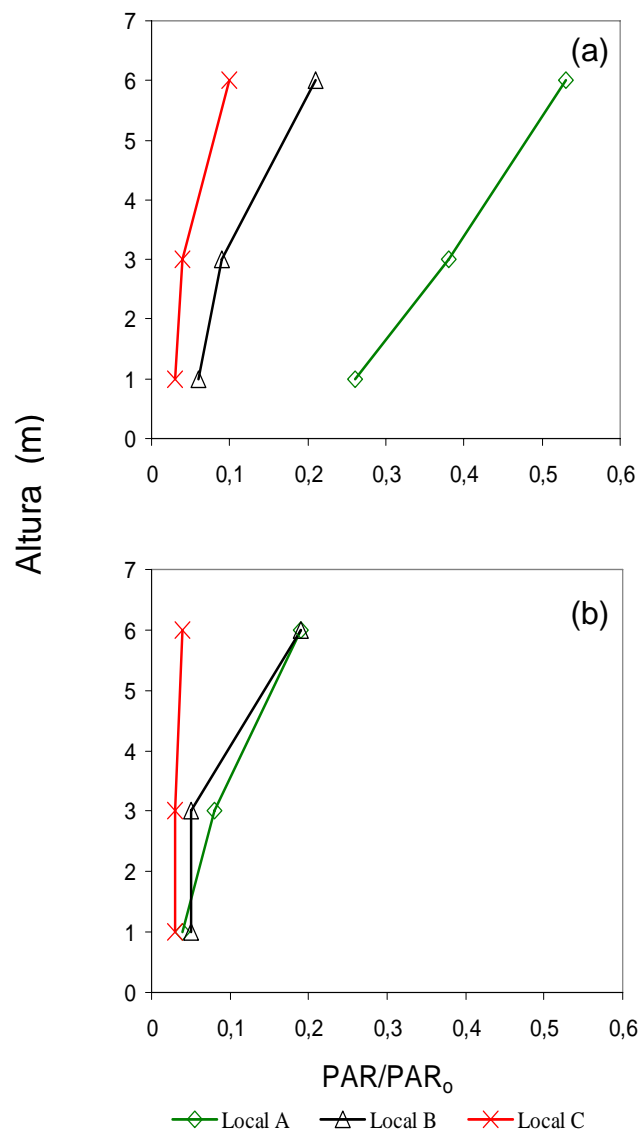


Figura 13 – Relação entre altura e razão radiação solar fotossinteticamente ativa medida dentro do dossel e no exterior (PAR/PAR_0) de uma floresta secundária, em Viçosa, MG, em setembro de 1999 (a) e maio de 2000 (b).

5. CONCLUSÕES

- As espécies estudadas no local A (dossel aberto) apresentaram maior fotossíntese líquida em relação aos locais B e C (dossel fechado), sob mesma intensidade de PAR ($600 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), possivelmente, por estarem adaptadas a um regime de maior disponibilidade energética.
- Analisando-se as curvas de resposta da fotossíntese em função da PAR, é possível concluir que as espécies estudadas no local A apresentam maior ponto de saturação lumínico, em relação ao local B. Entretanto, os modelos de ajustes não permitiram concluir sobre o ponto de compensação lumínico das espécies.
- Existe uma relação linear entre a fotossíntese líquida e a condutância estomática para as espécies estudadas.
- A ocorrência de “sunflecks” contribui significativamente para a fixação de carbono, uma vez que as plantas estudadas apresentaram aumento praticamente imediato de fotossíntese líquida, quando simulou-se uma elevação brusca da radiação fotossinteticamente ativa. Esse aumento da

fotossíntese líquida foi percebido em todas as espécies, principalmente no local A.

- Avaliações em *Bauhinia forticata* mostraram que a fixação de carbono durante a ocorrência de “sunflecks” depende do tempo que a folha permanece sob baixa disponibilidade energética antes da ocorrência de “sunflecks”, evidenciando um estado de indução do processo de assimilação de CO₂.
- O local A apresentou maior frequência de ocorrência e, também, maior tempo de duração de “sunflecks” em relação aos demais locais, principalmente, devido ao menor índice de área foliar. Ainda, o local B apresentou maior disponibilidade energética, em relação ao local C, devido ao fato de localizar-se em encosta norte.
- Baseando-se nas curvas de resposta da fotossíntese e nos valores observados de PAR, uma simulação mostrou que a fixação de carbono é maior no local A em relação ao local B.
- O perfil da PAR, até 6 m de altura do solo, mostrou que a disponibilidade energética varia, também, verticalmente para as plantas em regeneração natural, principalmente, no mês de menor IAF (setembro de 1999).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D.S. **Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Atlântica no Município de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

ALMEIDA JÚNIOR, J.S. **Florística e fitossociologia de fragmentos da floresta estacional semidecidual, Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 148p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

AYLETT, G.P. Irradiance interception, leaf conductance and photosynthesis in Jamaica upper montane rain forest trees. **Photosynthesis**, v. 19, n. 3, p. 323-337, 1985.

BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

CHAZDON, R.L. Light variation and carbon gain in rain forest understorey palms. **Journa of Ecology**, v. 74, p. 995-1012, 1986.

CHAZDON, R., PEARCY, R., LEE, D., FETCHER, N. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environments. In: S.S. Mulkey, R.L. Chazdon, A.P. Smith (ed.) **Tropical forest plant ecophysiology**. New York, Chapman & Hall, 1996. 5-55p.

- CHAZDON, R.L., WILLIAMS, K., FIELD, C.B. Interactions between crown structure and light environment in five rain piper species. **American Journal of Botany**, p. 1459-1471, 1988.
- ENGEL, V.L. **Influência do sombreamento sobre o crescimento de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1989. 202p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 1989.
- FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FERNANDEZ, D.S., FETCHER, N. Changes in light availability following Hurricane Hugo in Subtropical Montane Forest in Puerto Rico. **Biotropica**, v. 23, n. 4, p. 393-399, 1991.
- FERNANDEZ, D.S., MYSTER, R.W. Temporal variation and frequency distribution of photosynthetic photon flux densities and landslide in Puerto Rico. **Tropical Ecology**, v. 36, n. 1, p. 73-87, 1995.
- FERREIRA, R.L.C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 208p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- KAMALUDDIN, M., GRACE, J. Photoinhibition and light acclimation in seedlings of *Bischofia javanica*, a tropical forest tree from Asia. **Ann. of Botany**, v. 69, p. 47-52, 1992.
- KIMMINS, J.P. **Forest ecology**. New York: Macmillan, 1987. 531p.
- KONIGER, M., HARRIS, G.C., VIRGO, A., WINTER, K. Xanthophyll-cycle pigments and photosynthetic capacity in tropical forest species: a comparative field study canopy, gap and understory plants. **Oecologia**, v. 104, p. 280-290, 1995.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. Berlin: Springer, 3 ed., 1995. 506p.

- MEINZER, F.C., GOLDSTEIN, G., JACKSON, P. et al. Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic properties. **Oecologia**, v. 101, p. 514-522, 1995.
- METCALFE, D.J., GRUBB, P.J. The responses to shade of seedlings of very small-seeded tree and shrub species from tropical rain forest in Singapore. **Functional Ecology**, v. 11, p. 215-221, 1997.
- PEARCY, R.W. Acclimation to sun and shade. In: A.S. Raghavendra (ed.) **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge Press, 1998. 250-263 p.
- PEARCY, R.W. Photosynthetic gas exchange responses of Australian tropical forest in canopy, gap, and understory microenvironments. **Functional Ecology**, v.1, p. 169-178, 1987.
- PEARCY, R.W., KRALL, J.P., SASSENATH-COLO, G.F. Photosynthesis in fluctuating light environment. In: N.R. Baker (ed.) **Photosynthesis and the environment**. New York: Kluwer, 1996. 321-346p.
- PEARCY, R.W., OSTERYOUNG, K., CALKIN, H.W. Photosynthetic responses to dynamic light environments by Hawaiian trees. **Plant Physiology**, v. 79, p. 896-902, 1985.
- PERCY, R.W., PFITSCH, W.A. The consequences of sunflecks for photosynthesis and growth of forest understory plants. In: E.D. Schulze, M.M. Caldwell (eds.) **Ecophysiology of photosynthesis**. New York: Springer, 1995. 343-359p.
- PFITSCH, W.A., PEARCY, R.W. Daily carbon gain by *Adenocaulon bicolor*, a redwood forest understory herb, in relation to its light environment. **Oecologia**, v. 80, p. 465-470, 1989.
- PONS, T.L., PEARCY, R.W., SEEMAN, J.R. Photosynthesis in flashing light of soybean leaves grown in different conditions. I. Photosynthetic induction state and regulation of ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase activity. **Plant Cell Environment**, v. 15, p. 569-576, 1992.

- REICH, P.B., ELLSWORTH, D.S., UHL, C. Leaf carbon and nutrient assimilation and conservation in species of differing successional status in an oligotrophic Amazonian forest. **Functional Ecology**, v. 9, p. 65-76, 1995.
- SCHOLANDER, M.V., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, p. 339-346, 1965.
- SIMS, D.A., PEARCY, R.W. Scaling sun and shade photosynthetic acclimation to whole plant performance. I. Carbon balance and allocation at different daily photon flux densities. **Plant, Cell and Environment**, v. 17, p. 881-887, 1994.
- STRAUSS-DEBENEDETTI, S., BAZZAZ, F. Photosynthetic characteristics of tropical trees along successional gradients. In: S.S. Mulkey, R.L. Chazdon, A.P. Smith (ed.) **Tropical forest plant ecophysiology**. New York: Chapman & Hall, 1996. 162-186p.
- STRAUSS-DEBENEDETTI, S., BERLYN, G.P. Leaf anatomical responses to light in five tropical Moraceae of different successional status. **American Journal of Botany**, v. 81, p. 1582-1591, 1994.
- TAIZ, L. **Plant physiology**. Redwood City: The Benjamin, Cummings, 1991. 565p.
- THIELE, A., KRAUSE, G.H., WINTER, K. In situ study of photoinhibition of photosynthesis and xanthophyll cycle activity in plant growing in natural gaps of the tropical forest. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 25, p. 189-195, 1998.
- THIELE, A., WINTER, K., KRAUSE, G.H. Low inactivation of D1 protein of photosystem II in young canopy leaves of *Anacardium excelsum* under high-light stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 151, p. 286-292, 1997.
- VOLPATO, M.M.L. **Regeneração natural em uma floresta secundária sob o domínio da Mata Atlântica: uma análise fitossociológica**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.

WHATHLEY, J.M., WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo, EPU-EDUSP, 1982. 101p. (Temas de biologia, 30).

WHITMORE, T.C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v., 70, n. 3, p. 536-8, 1983.

ZOTZ, G., WINTER, K. Diel patterns of CO₂ exchange in rainforest canopy plants. In: S.S. Mulkey, R.L. Chazdon, A.P. Smith (ed.) **Tropical forest plant ecophysiology**. Chapman & Hall, 1996. 89-113p.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA E ESTUDO DA INTERAÇÃO AMBIENTE X VEGETAÇÃO EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDÉCIDUAL SECUNDÁRIA

1. INTRODUÇÃO

A intensa fragmentação da Floresta Atlântica tem aumentado a fragilidade deste bioma, o que tem despertado preocupações no sentido de conhecer seu manejo adequado de modo a conservar ou aumentar a biodiversidade nas áreas remanescentes.

Vários autores realizaram levantamentos fitossociológicos em fragmentos de floresta no domínio da Floresta Atlântica nos últimos anos (LEAL FILHO, 1992; VOLPATO, 1994; ALMEIDA, 1996; MEIRA NETO, 1997; FERNANDES, 1998 e ALMEIDA JÚNIOR, 1999). Esses estudos são de relevante importância para determinar a composição florística e fitossociológica, possibilitando, conseqüentemente, o conhecimento da diversidade biológica existente e suas relações intra e interespecíficas.

Na busca de um melhor entendimento do processo de sucessão na floresta, é de grande importância que se estabeleça uma relação entre variáveis ambientais e vegetação. Nesse sentido, os estudos procuram envolver condições edáficas, fatores fisiográficos e características microclimáticas.

O presente trabalho teve como objetivo:

- a) coletar informações básicas sobre a composição florística e estrutura horizontal e vertical da regeneração natural;
- b) realizar análise fitossociológica, através de estudos da diversidade florística, densidade e freqüência por classe de tamanho de planta e estimativa de índices da regeneração natural;
- c) estudar as interações entre características ambientais de sítio e ocorrência de espécies arbóreas na fase inicial de seu desenvolvimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Análise florística e fitossociológica

No estudo da composição florística, a representatividade da amostragem e a correta identificação botânica dos indivíduos são determinantes na obtenção de resultados que representem a diversidade e distribuição das espécies na floresta. A diversidade florística pode ser determinada através de índices que consideram, basicamente, o número de indivíduos que ocorrem no sítio. Dentre os mais utilizados, estão o índice de Simpson (CALEGÁRIO, 1993); quociente de mistura de Jentsch (JARDIM, 1985) e o índice de diversidade de Shannon e Weaver (SILVA, 1985; TABARELLI et al., 1993; MARISCAL FLORES, 1993; SILVA, 1993; FERNANDES, 1998). O índice de Shannon e Weaver tem sido o mais utilizado, principalmente em trabalhos mais recentes, e estabelece uma relação entre o número de indivíduos de cada espécie e o total de indivíduos amostrados, tornando possível a comparação entre florestas localizadas em diferentes regiões.

O estudo fitossociológico é baseado em informações qualitativas e quantitativas geradas a partir de parâmetros das estruturas horizontal e vertical

da floresta (GALVÃO, 1989). A estrutura horizontal, a mais utilizada na caracterização fitossociológica, analisa a distribuição espacial das espécies em função, principalmente, de parâmetros como densidade, frequência e dominância. Entretanto, segundo LAMPRECHT (1964), a análise isolada desses parâmetros não é suficiente para informar sobre a estrutura da vegetação. Sendo assim, são propostos parâmetros como o índice de valor de importância (CURTIS e McINTOSCH, 1957), que engloba os três anteriormente citados (densidade, frequência e dominância), para a análise de plantas adultas. Na análise de indivíduos jovens são propostos índices de estimativa da regeneração natural, como os de FINOL (1971) e VOLPATO (1994).

O método proposto por FINOL (1971) para a estimativa da regeneração natural é baseado na média aritmética dos parâmetros: densidade relativa, frequência relativa e classe relativa de tamanho da regeneração natural. VOLPATO (1994) propõe um novo índice, também baseado na densidade e frequência, onde assume que, apesar da menor densidade, as plantas das classes de maior tamanho têm maior chance de sobrevivência, e contribuem, assim, de maneira significativa para o processo de sucessão. VOLPATO (1994) verificou que o uso do índice proposto em seu trabalho, em relação ao desenvolvido por FINOL (1971), resultou em maiores estimativas de regeneração natural para as espécies que apresentaram indivíduos na classe de maior tamanho de planta.

Uma floresta tropical apresenta alta diversidade biológica e elevado grau de complexidade, em decorrência das relações intra e interespecíficas (BROWER e ZAR, 1997). Este é o caso da Floresta Atlântica, como mostram os trabalhos de SILVA (1985), MARISCAL FLORES (1993), SILVA (1993), TABARELLI et al. (1993), MEIRA NETO (1997), FERNANDES (1998) e ALMEIDA JÚNIOR (1999), embora sejam ainda incipientes os estudos sobre dinâmica sucessional naquele bioma. Muitos estudos têm sido baseados em um único levantamento florístico e fitossociológico, embora a compreensão da dinâmica sucessional em florestas exija levantamentos periódicos (FERNANDES, 1998).

A dinâmica sucessional tem sido analisada em função de alterações na composição florística de florestas tropicais localizadas em menores latitudes, a partir de levantamentos históricos (CROW, 1980; OKOJIE, 1988; SALDARRIAGA et al., 1986; LANG e KNIGHT, 1983; SILVA et al., 1995). Todavia, FERNANDES (1998) destaca que, apesar de sua importância, algumas dessas pesquisas foram realizadas em período inferior a 40 anos, o que pode não ser plenamente satisfatório para a determinação de padrões de sucessão em ecossistemas de florestas tropicais.

2.2. Fatores ambientais

A relação entre o ambiente e a ocorrência de espécies vegetais requer o entendimento da variabilidade ambiental no interior da floresta e dos fatores que condicionam tal variabilidade.

A radiação solar pode ser considerada um dos principais fatores ambientais no controle da ocorrência, crescimento e desenvolvimento das espécies no interior da floresta como já revisto nos capítulos I e II. Na presente discussão será dada ênfase aos fatores fisiográficos.

Variações nos fatores fisiográficos podem modificar as condições ambientais em diversas escalas. Uma variação brusca de relevo, como, por exemplo, no caso de uma serra, promove uma alteração ambiental de meso-escala. Pequenos morros causam modificações de micro-escala (YOSHINO, 1975). A presente revisão desenvolverá uma abordagem das principais alterações causadas pelos fatores fisiográficos de micro-escala, e como essas alterações influenciam a regeneração natural em florestas.

Em síntese, tem sido observado que variações de relevo provocam alterações no regime hídrico do solo, no microclima e na disponibilidade de nutrientes, podendo limitar a ocorrência e ou o crescimento das espécies vegetais na floresta. Na realidade, nem sempre é possível isolar a influência de uma variável ambiental sobre determinada espécie, uma vez que pode existir uma alta correlação entre muitas variáveis ambientais (OLIVEIRA

FILHO, 1994). Os fatores fisiográficos, por exemplo, que derivam de condições de relevo, podem alterar a disponibilidade de nutrientes, água e radiação solar.

As características físicas e químicas do solo podem apresentar diferenças significativas com o relevo. A região de Viçosa, MG, por exemplo, é caracterizada por topografia acidentada, com poucas áreas planas, onde as encostas desenvolveram-se em seqüência côncavo-convexa-topo e partes íngremes (REZENDE, 1971). CARVALHO (1989) estudando perfis de solo em posições topográficas distintas, topo das elevações e terraços fluviais, observou diferenças marcantes quanto à sua organização estrutural, com o terraço apresentando maiores proporções de argila e silte e maior capacidade de retenção de água.

Estudos edáficos na Zona da Mata Mineira enfocam, quase sempre, as características de solos de terraço e de meia encosta, parte côncava, pois estas posições são mais utilizadas para a agricultura (CUNHA, 1995). Entretanto, os estudos de solo envolvendo florestas devem ser mais abrangentes, pois, de acordo com PEREIRA (1999), nas demais posições topográficas, principalmente topo de morros, são encontrados muitos fragmentos florestais .

Quanto à característica textural, os solos de encosta apresentam menores teores de argila comparados aos de baixada, que conseqüentemente apresentam menores teores de areia. Estudando as relações físico-hídricas em solo de terraço e de meia encosta côncava, até 50 cm de profundidade, em Viçosa, MG, AZEVEDO (1976) encontrou valores médios de argila, silte e areia, ao redor de, respectivamente, 58, 26 e 16 g.100g⁻¹ para o terraço e 42, 12 e 46 g.100g⁻¹ para a meia encosta. Não foi observada diferença na densidade real do solo, mas houve em relação a densidade aparente, uma vez que esta varia em função da quantidade de poros e tamanho das partículas. A densidade aparente foi maior no terraço, principalmente nas camadas mais superficiais, o que pode resultar em maior capacidade de campo e, conseqüentemente, maior retenção de água no solo.

O relevo pode influenciar a umidade do solo e, de maneira geral, a umidade nas baixadas é sempre maior em relação aos topos de morro, e as encostas de forma côncava apresentam maior teor de água em relação às

convexas. AZEVEDO (1976) verificou que o conteúdo de água disponível é, em média, $18 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ no terraço e $13 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ na meia encosta. Em geral, todo tipo de encosta apresenta menor umidade em relação à baixada. FERNANDES (1998), constatou $32 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ de umidade em local plano e $21 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$, em média, em locais inclinados, em área com cobertura vegetal, em Viçosa, MG.

A influência dos fatores fisiográficos sobre as características químicas do solo pode ser marcante. De maneira geral, os solos de encostas côncavas com menor declividade e de vales apresentam maior fertilidade, em relação aos terrenos inclinados (CARMEAN, 1967). FERNANDES (1998), trabalhando em dez locais com floresta em diversos estádios de sucessão ecológica, encontrou uma soma de bases total de $6,12 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, em local plano, e $1,16 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, em média, em locais com declividade variando entre 21 a 80%.

A influência dos fatores fisiográficos nas propriedades físicas e químicas do solo requer, ao mesmo tempo, a análise da cobertura do solo. Solos inicialmente sob floresta densa podem ter suas propriedades totalmente modificadas quando explorados por cultivos agrícolas ou pastagem. Também, florestas em vários estádios de sucessão ecológica podem apresentar diferentes propriedades físicas e químicas dos solos. CUNHA (1995) analisou as mudanças físicas e químicas ocorridas em Latossolo Vermelho Amarelo em encosta, sob mata secundária e sob cultura do café. Foi observado que a parte mais íngreme da encosta apresentou menor teor de argila e umidade. Quanto às diferenças entre solo sob floresta e sob cultura do café, foi observado que a densidade do solo cultivado foi maior, o que resultou em redução da porosidade e diminuição da retenção de água. Além disso, houve carreamento de nutrientes da encosta cultivada (perda via erosão) com consequente aumento da concentração de nutrientes no sopé da encosta.

2.3. Ambiente e ocorrência de espécies

2.3.1. Fatores fisiográficos e edáficos

A ocorrência de variações de relevo em pequena escala, como numa encosta, resulta em diferenças microambientais devido às alterações na disponibilidade de radiação solar, no regime hídrico do solo e na disponibilidade de nutrientes, o que implica que os fatores fisiográficos influenciam a distribuição das espécies dentro de uma floresta. Entretanto, é muito difícil que se consiga explicar o padrão de distribuição das espécies na floresta, apenas em função da topografia, uma vez que algumas variáveis podem não ser totalmente dependentes do relevo. A transmissividade de radiação solar pelo dossel da floresta, por exemplo, depende do índice de área foliar.

A escala é um fator importante nos estudos da relação ambiente e ocorrência de espécies. O trabalho de SMITH (1995), por exemplo, considerado de meso-escala, procurou analisar a ocorrência de espécies em altitudes variando entre 275 e 1.200 m, ao longo de cerca de 54 km. Foram determinados sete grupos ecológicos de plantas ocorrendo ao longo do perfil, em função do solo e topografia. Entretanto, houve um outro fator que influenciou a distribuição das espécies, que foi a altitude. SINGH e SINGH (1991), OLIVEIRA FILHO et al. (1994a), OLIVEIRA FILHO et al. (1994b), VOLPATO (1994), OLIVEIRA FILHO et al. (1996) e FERNANDES (1998) dentre outros, estudaram a influência dos fatores fisiográficos dentro de uma micro-escala, ou seja, verificaram a influência de modificações ambientais na ocorrência de espécies no interior de florestas.

SINGH e SINGH (1991) observaram influência marcante da topografia sobre a composição, biomassa e produtividade primária de espécies em três sítios de uma floresta tropical na Índia. Foi observada maior diversidade florística, para as espécies arbóreas, expressa pelo índice de Shannon e Weaver, na meia encosta, em relação ao topo de morro e baixada. É interessante denotar que as diferenças de diversidade florística foram bem

mais pronunciadas quando a análise foi feita considerando-se apenas os indivíduos adultos onde, neste caso, o índice de Shannon e Weaver correspondeu a 64% no topo da encosta em relação à meia encosta.

OLIVEIRA FILHO et al. (1994b) estudaram as relações entre as características de solo, topografia e distribuição de espécies arbóreas em floresta ripária, mostrando que, separando-se os sítios em altos e inclinados e de baixada, foi possível observar diferenças significativas quanto às características da vegetação e a preferência de algumas espécies por sítios específicos. O número total de indivíduos e a área basal foram maiores nas baixadas, não sendo observadas diferenças entre a altura média das árvores e o número de espécies amostradas. O teor de fósforo mostrou diferença significativa quanto à variação da topografia. Os autores realizaram a classificação ecológica de 30 espécies, sendo que algumas espécies não apresentaram preferência quanto à fertilidade, mas sim quanto à posição topográfica. A espécie *Calophyllum brasiliense*, por exemplo, demonstrou preferência por solos de baixada, uma vez que foram encontrados 54 indivíduos na baixada e apenas cinco em sítios altos e inclinados. Por outro lado, a espécie *Tapira obtusa* apresentou preferência por sítios mais altos e inclinados, uma vez que foram encontrados 26 indivíduos nesses sítios e 12 nas baixadas. OLIVEIRA FILHO et al. (1994a), estudando floresta semidecidual montana, também observaram que diversas espécies apresentaram preferência quanto à posição topográfica.

No estudo sobre a interação espécies arbóreas e características ambientais, FERNANDES (1998) verificou que o teor de água no solo apresentou correlação positiva com soma de bases e negativa com a declividade média do terreno. Utilizando análise de correspondência canônica, a autora classificou 57 espécies arbóreas, quanto a topografia, separando-as em espécies que ocorrem preferencialmente em sítios baixos e aquelas que ocorrem preferencialmente em sítios altos. Um exemplo típico de espécie de sítio alto é *Apuleia leiocarpa* que sobressai em sítios de maior declividade, por exigir solos secos e profundos. Um exemplo típico de espécie de baixada é *Euterpe edulis* que se mostrou associada a solos mais férteis e com alto teor de umidade.

2.3.2. Radiação solar

Existe grande variabilidade de disponibilidade energética no interior da floresta, em função do estágio de sucessão, condição de relevo e época do ano. Essa variabilidade no regime de radiação solar pode resultar em diferentes respostas ecofisiológicas das plantas presentes na comunidade florestal. Desta forma, a compreensão do regime da radiação solar é importante na relação entre ambiente e vegetação no interior de florestas. NICOTRA et al. (1999), por exemplo, estabeleceram uma relação entre a heterogeneidade espacial da radiação solar e a regeneração de mudas em floresta tropical na Costa Rica, numa tentativa de explicar o comportamento e, conseqüentemente, a distribuição espacial de espécies vegetais na floresta em função da radiação solar.

Alguns estudos da interação radiação solar e vegetação são, inclusive, desenvolvidos em áreas com presença de clareiras devido a grande mudança no regime da radiação solar. VÁZQUEZ-YANES e SMITH (1982), BROKAN (1987), ARRIGARA (1988), BROWN (1996) e VAN DER MEER et. al. (1998), em florestas tropicais, mostram claramente a preferência das espécies pioneiras por ambientes onde é elevada a penetração dos raios solares. Entretanto, MARTINS (1999) alerta para o fato de que o tamanho da clareira pode determinar o regime da radiação solar no seu interior, podendo favorecer a ocorrência de grupos distintos de espécies.

Quando é difícil a medição da radiação solar, a disponibilidade energética no dossel é obtida por análise visual qualitativa, através de fotografias hemisféricas ou estimativas do índice de área foliar. FERNANDES (1998) utilizou uma análise qualitativa da abertura de dossel (dossel muito aberto, aberto, fechado e muito fechado) na classificação ecológica de 57 espécies da floresta estacional semidecidual. MEIRA NETO (1997) e MARTINS (1999) utilizaram fotografias hemisféricas para quantificar a abertura do dossel. Entretanto, o ideal parece ser a utilização de valores médios de radiação solar, ou de sua transmissividade na floresta, uma vez que não é só a abertura do dossel que pode controlar a atenuação dos raios solares no interior da floresta, conforme discutido no capítulo I.

A dificuldade em se obter informações, mesmo de forma indireta, sobre comportamento da radiação solar em comunidades florestais, talvez possa explicar o uso limitado desta variável quando se avalia a interação ambiente e vegetação.

2.4. Classificação de espécies florestais

O conhecimento dos padrões sucessionais e dos grupos ecológicos de espécies florestais é de extrema importância para o manejo de florestas tropicais. As espécies arbóreas que ocorrem em uma floresta podem ser agrupadas em função de suas características e exigências ambientais.

Pode-se dizer que existem duas linhas de classificação ecológica de espécies florestais. Na primeira, que neste trabalho será tratada como grupos ecofisiológicos, as plantas são classificadas de acordo com características estruturais e fisiológicas, onde o principal fator é a intensidade de luz. Na segunda linha de classificação, o estudo é mais complexo, partindo de uma avaliação fitossociológica e de estudos das interações da composição florística com variáveis ambientais.

2.4.1. Grupos ecofisiológicos

Em muitos modelos, as espécies florestais são classificadas com base na presença ou não de clareiras, ou seja, no regime de radiação solar, que, dependendo da intensidade, favorece um ou outro grupo de plantas. Logicamente, trata-se de um sistema dinâmico onde, com o decorrer do tempo, uma espécie pode não encontrar mais as condições ideais para seu estabelecimento e crescimento em determinado local, a depender das condições lumínicas.

Uma classificação ecológica de espécies florestais que considera principalmente o comportamento das plantas em relação à luz é a apresentada por BUDOWSKI (1965). Em sua proposta, o autor divide as espécies em

pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax, em função, principalmente, da tolerância à sombra, além de outras características como mecanismos de dispersão de sementes, composição florística dominante, densidade dos estratos. Nesta classificação, as espécies pioneiras e secundárias iniciais são consideradas intolerantes à sombra, enquanto as secundárias tardias e clímax são consideradas tolerantes, principalmente na fase jovem. Assim, assume-se que as pioneiras e as secundárias iniciais só encontram condição ideal para seu crescimento quando ocorre a formação de clareiras, ou seja, aumento da intensidade de radiação solar.

WITHMORE (1983) também propõe a divisão das espécies de uma floresta em quatro categorias, onde o fator luz assume importância ainda maior. O primeiro grupo são as espécies que se estabelecem e crescem sob dossel fechado. O segundo são espécies que se estabelecem sob dossel fechado, mas se beneficiam com o aumento de luz. As espécies do terceiro grupo conseguem se estabelecer sob dossel fechado, mas precisam de luz para amadurecer e se reproduzir. Finalmente, o quarto grupo refere-se as espécies que necessitam de luz para se estabelecer, crescer e se reproduzir. Sendo assim, pode-se admitir que as espécies do terceiro e último grupos só ocorrem plenamente em florestas em estágio inicial de sucessão ou em clareiras abertas em florestas mais desenvolvidas.

Uma outra proposta um pouco modificada é aquela apresentada por SWAINE e HALL (1983), que classificam as espécies em três grupos, da seguinte maneira: a) espécies pioneiras pequenas, que necessitam de luz para germinar e se estabelecer, não atingem tamanho muito grande e apresentam curto ciclo de vida; b) espécies pioneiras grandes, apresentam a mesma necessidade de luz das pioneiras pequenas, mas atingem maiores tamanhos, além de um maior ciclo de vida; c) espécies primárias, que germinam e se estabelecem sob baixa intensidade de radiação solar, mantendo-se no dossel por um período maior de tempo.

A classificação das espécies dentro de grupos ecofisiológicos também pode ser realizada em função da distribuição diamétrica. De acordo com JARDIM (1995), as plantas tolerantes à sombra apresentam uma distribuição na forma exponencial negativa, conhecida como “J” invertido, enquanto

espécies com ausência de indivíduos nas classes de menor diâmetro são consideradas pioneiras, ou seja, intolerantes à sombra. Ainda, as espécies que apresentam uma distribuição diamétrica intermediária entre as citadas acima, são classificadas como oportunistas ou intermediárias. Assim, o autor encontrou, dentro de um total de 141 espécies estudadas na floresta Amazônica, 31, 60 e 10% de espécies tolerantes, intermediárias e intolerantes à sombra, respectivamente.

Há, ainda, um número maior de modelos de classificação de plantas em grupos ecofisiológicos mas, de maneira geral, todos se baseiam na disponibilidade lumínica, principalmente devido à abertura de clareiras para a germinação, estabelecimento e crescimento das plantas. Quase sempre as classificações seguem uma escala que varia de uma maior disponibilidade de luz (espécies pioneiras) até dossel fechado, no qual ocorrem as espécies que, pelo menos na fase jovem, são tolerantes à sombra. PIÑA RODRIGUES et al. (1990) apresentam um resumo de diversas classificações ecológicas de espécies florestais com base em informações de literatura, dividindo as espécies, quanto às estratégias de estabelecimento, em pioneiras, oportunistas e clímax.

2.4.2. Classificação ecológica de espécies florestais

De acordo com OLIVEIRA FILHO (1994), a classificação ecológica de espécies florestais deve combinar a influência dos fatores abióticos e bióticos. Os fatores abióticos são analisados através de correlação entre a distribuição das espécies da comunidade e variáveis ambientais.

OLIVEIRA FILHO et al. (1994a), OLIVEIRA FILHO et al. (1994b), SMITH (1995), JOSE et al. (1996) e FERNANDES (1998) classificam as espécies florestais considerando outros aspectos ambientais, além da luz, como é o caso das caracterizações ecofisiológicas, tornando-as bem mais completas. Dois fatores muito importantes que passaram a configurar nas classificações são os aspectos edáficos (propriedades físicas e químicas do solo) e a ação indireta do aspecto fisiográfico.

A análise multivariada tem sido utilizada na identificação da relação entre fatores ambientais e a composição florística. A análise de correspondência canônica (CCA) é um tipo de análise multivariada, que permite a ordenação concomitante de espécies, características do local de ocorrência e variáveis ambientais. A CCA identifica, para cada eixo de ordenação, as variáveis mais correlacionadas à distribuição das espécies, com vantagem em relação aos outros métodos de análise multivariada, uma vez que admite testar a significância das correlações encontradas (OLIVEIRA FILHO, 1994). Assim, os resultados de uma análise de correspondência canônica podem ser utilizados na identificação, a partir de uma amostra, dos sítios preferidos das espécies que ocorrem em determinada floresta.

Diversos trabalhos têm mostrado a influência marcante das propriedades físicas e químicas do solo na ocorrência de espécies florestais, como os realizados, por exemplo, por SILVA JÚNIOR (1984), COSTA NETO (1990) e SILVA (1993), na região de cerrado, que correlacionam a ocorrência de espécies com características de solo. Essas características podem ser resumidas em duas principais: a fertilidade e a umidade do solo. No caso de regiões com a presença de relevo acidentado, a consideração das características edáficas é ainda mais importante, uma vez que podem ocorrer variações espaciais dessas características de solo, dentro de uma micro-escala.

Em floresta ripária, OLIVEIRA FILHO et al. (1994b) observaram que a variação espacial da fertilidade do solo influencia a distribuição das espécies. Utilizando dados fitossociológicos e edáficos, os autores propuseram a classificação ecológica de 30 espécies. A diferença entre este tipo de classificação e aquele que considera apenas a estratégia de crescimento, pode ser exemplificado pelas espécies *Actinostemon communis* e *Protium widgrenii*. Ambas são pioneiras, mas a primeira é classificada como espécie de encosta com baixa fertilidade e a segunda de baixada com elevada fertilidade. Utilizando metodologia semelhante, OLIVEIRA FILHO et al. (1994a) e OLIVEIRA FILHO et al. (1996) classificaram espécies em florestas semidecíduais no sudeste do Brasil.

A classificação ecológica de espécies florestais de FERNANDES (1998) foi ainda mais completa, tendo classificado as espécies quanto a distribuição espacial, classe de fidelidade, fertilidade e umidade do solo, posição topográfica, estratégia de crescimento e grupo ecofisiológico. A distribuição espacial foi determinada pelo índice de agregação de McGuinness que é calculado a partir do número de parcelas em que a espécie ocorre em relação ao total de parcelas amostradas. Assim, quanto maior o número de parcelas que a espécie ocorrer mais uniforme sua distribuição. A classificação das espécies quanto às exigências ambientais foi obtida na análise de correspondência canônica e a classificação em grupos ecofisiológicos foi realizada a partir da proposta de BUDOWSKI (1965). Um aspecto interessante desta classificação é que foram utilizadas informações sobre a dinâmica da sucessão, baseado em levantamentos de campo realizados em diferentes épocas. Esta técnica demonstra grande avanço metodológico na classificação ecológica de espécies florestais, pois, além de posicionar a espécie dentro de um grupo ecofisiológico, examina as exigências ambientais de cada espécie e sua distribuição espacial na floresta. Com este tipo de classificação é possível realizar um manejo mais adequado das florestas tropicais, visando a recuperação de fragmentos florestais para a manutenção da biodiversidade e proteção ambiental, ou, ainda, visando a exploração comercial de espécies de interesse.

Um aspecto interessante levantado por OLIVEIRA FILHO (1994), é que o comportamento de uma mesma espécie pode ser diferente de um local para outro. Pelo menos dois motivos podem explicar este fato. Um primeiro, é que o conjunto de informações levantadas sobre o meio abiótico pode não ter sido suficiente para explicar a ocorrência da espécie em determinado local, ou ainda que as aproximações na coleta das informações utilizadas para a realização da classificação tenham comprometido, em parte, o estudo. Um segundo motivo pode ser de causa biótica como, por exemplo, diferentes graus de competição entre plantas, que podem excluir uma espécie de determinado local.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Mata do Paraíso em Viçosa, MG. A caracterização do tipo climático, relevo e histórico da área foram descritos, detalhadamente, no Capítulo I.

3.2. Amostragem e coleta de dados da vegetação

A caracterização fitossociológica foi realizada em dez locais, descritos no Capítulo I. Em cada local foi alocada parcela de 20 x 60 m (1.200 m²) dividida em seis subparcelas de 10 x 20 m (200 m²), utilizadas para avaliação das plantas com DAP > 5 cm.

A amostragem e coleta de dados da regeneração natural seguiu a metodologia utilizada por VOLPATO (1994), conforme descrito a seguir: na área central de cada subparcela foram alocadas as áreas de amostragem da regeneração natural, com dimensão diferenciada para cada uma das seguintes classes de tamanho de plantas:

Classe I: compreende as plantas com altura menor que 1 m;

Classe II: compreende as plantas com altura entre 1 e 3 m;

Classe III: compreende as plantas com altura > 3 m e DAP < 5 cm.

O tamanho da área de amostragem, para cada classe de tamanho de planta, foi determinado através de amostragem piloto com base no critério da curva espécie-área. As dimensões das microparcelsas para a coleta de dados da vegetação nas classes de tamanho de planta I, II e III são 0,5 x 10 m (5 m²), 0,5 x 20 m (10 m²) e 1 x 20 m (20 m²), respectivamente (Figura 1).

A coleta de dados foi realizada entre março e agosto de 2000. O levantamento fitossociológico da regeneração natural realizado neste trabalho deu seqüência ao trabalho iniciado em 1992 por VOLPATO (1994), já existindo, inclusive, levantamento realizado em 1995, possibilitando inventariar indivíduos mortos e novos ingressos, desde 1995. A identificação botânica dos novos indivíduos foi realizada por comparação, com auxílio de conhecedores da vegetação da região, além de consultas aos catálogos do herbário do Setor de Dendrologia da Universidade Federal de Viçosa.

3.3. Caracterização ambiental dos locais estudados

Os valores de declividade média e soma de bases do solo (entre 0 a 10 cm de profundidade) de cada local estudado foram determinados por FERNANDES (1998). Os valores médios de transmissividade da radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar foram obtidos entre 1999 e 2000, conforme descrito no Capítulo I.

A amostragem para a determinação da umidade do solo, pelo método gravimétrico, foi realizada na camada entre 0 e 10 cm de profundidade, no final do mês de setembro de 1999, com cinco repetições em cada local. O Quadro 1 apresenta um resumo dos dados ambientais utilizados no presente estudo.

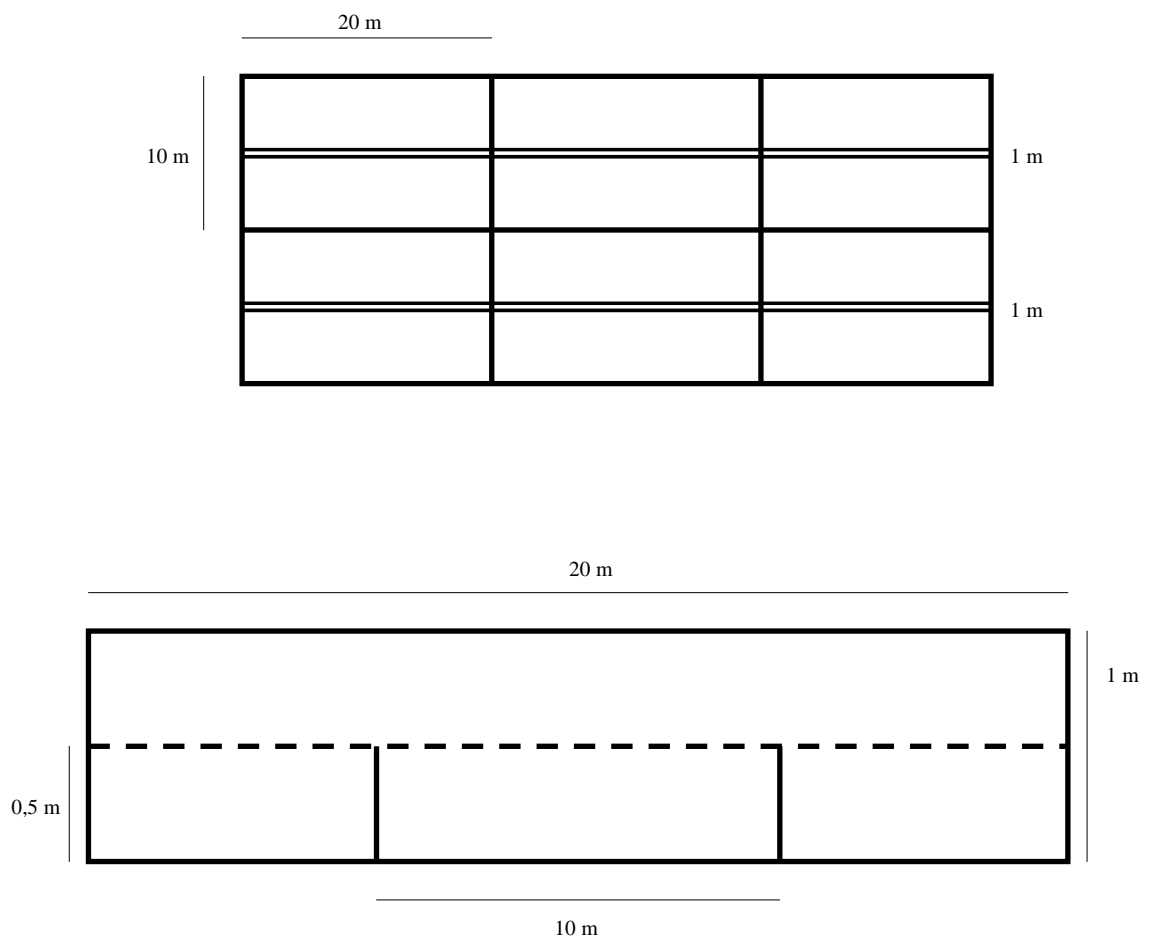


Figura 1 – Esquema de amostragem da vegetação arbórea, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG.

Quadro 1- Caracterização da declividade (DEC), soma de bases (SB), umidade do solo (UMIDADE), transmissividade da PAR (t) e índice de área foliar (IAF) dos dez locais estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

Local	DEC* (%)	SB* (cmol _c .dm ⁻³)	UMIDADE (g.100g ⁻¹)	t (%)	IAF
1	40	1,5	21,4	8,9	3,6
2	21	1,3	19,1	6,0	4,5
3	43	0,2	23,5	2,7	4,9
4	80	0,1	18,4	9,3	3,6
5	3	6,1	43,0	1,7	5,2
6	51	4,9	21,5	1,8	5,0
7	45	0,5	26,2	1,6	5,2
8	20	0,3	24,1	3,7	4,2
9	14	1,6	23,0	2,8	5,1
10	45	0,1	22,4	2,5	4,3

* Fonte: FERNANDES (1998)

3.4. Análises florística e fitossociológica

A coleta de dados de vegetação permitiu estimar parâmetros fitossociológicos por espécie em cada classe de tamanho, dentro de uma estrutura horizontal e vertical do sub-bosque.

A análise dos dados incluiu o cálculo da diversidade florística e estimativa de densidade e freqüência das espécies e, finalmente, foi realizada uma análise da regeneração natural, através de estimativa da importância das espécies por classe de tamanho de planta.

3.4.1. Diversidade florística

A diversidade florística foi caracterizada pelo índice de Shannon e Weaver (H'), mediante a seguinte equação:

$$H' = \frac{N \ln N - \sum_{i=1}^S n_i \ln n_i}{N}$$

em que

n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie;

N = número total de indivíduos amostrados;

$i = 1, 2, \dots, p$ -ésima espécie amostrada;

S = número de espécies amostradas.

3.4.2. Estimativa da densidade por classe de tamanho de planta

As estimativas das densidades absoluta e relativa de cada espécie, por classe de tamanho de planta, foram realizadas de acordo com proposta de VOLPATO (1994), da seguinte forma:

$$DA_{ij} = \frac{n_{ij}}{A}$$

$$DR_{ij} = \left(\frac{DA_{ij}}{\sum_{j=1}^3 DA_j} \right) 100$$

em que

DA_{ij} = densidade absoluta para a i -ésima espécie na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

n_{ij} = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

A = área amostrada, em hectares;

DR_{ij} = densidade relativa para a i -ésima espécie na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

$i = 1, 2, \dots, p$ -ésima espécie amostrada;

$j = 1, 2$ e 3 .

3.4.3. Estimativa da freqüência por classe de tamanho de planta

As estimativas das freqüências absoluta e relativa de cada espécie, por classe de tamanho de planta, foram realizadas de acordo com proposta de VOLPATO (1994), da seguinte forma:

$$FA_{ij} = \frac{u_{ij}}{u_t} \cdot 100$$

$$FR_{ij} = \left(\frac{FA_{ij}}{\sum_{j=1}^3 FA_j} \right) \cdot 100$$

em que

FA_{ij} = freqüência absoluta para a i -ésima espécie, dada em percentagem, na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

u_{ij} = número de unidades amostrais em que a i -ésima espécie está presente na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

u_t = número total de unidades amostrais;

A = área amostrada, em hectares;

FR_{ij} = freqüência relativa para a i -ésima espécie, dada em percentagem, na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

$i = 1, 2, \dots, p$ -ésima espécie amostrada;

$j = 1, 2$ e 3 .

3.4.4. Estimativa da regeneração natural

Seguindo metodologia proposta por VOLPATO (1994), foi calculado um índice de regeneração natural para cada espécie, por classe de tamanho, da seguinte maneira:

$$RNC_{ij} = \frac{DR_{ij} + FR_{ij}}{2}$$

em que

RNC_{ij} = estimativa da regeneração natural da i -ésima espécie, dada em percentagem, na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

DR_{ij} = densidade relativa para a i -ésima espécie na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

FR_{ij} = frequência relativa para a i -ésima espécie, dada em percentagem, na j -ésima classe de tamanho de regeneração natural;

$i = 1, 2, \dots, p$ -ésima espécie amostrada;

$j = 1, 2$ e 3 .

Posteriormente, foi estimada a regeneração natural total de cada espécie (RNT_i), baseada na soma dos índices de regeneração natural por classe de tamanho, conforme segue:

$$RNT_i = \sum_{j=1}^3 RNC_{ij}$$

3.5. Interação ambiente x vegetação

A análise da interação ambiente e vegetação foi realizada através de análise de correspondência canônica (CCA), proposta por TER BRAAK (1986), utilizando-se dados da regeneração natural das espécies e características ambientais dos locais estudados. Foram criadas duas matrizes de dados:

unidades amostrais X RNT das espécies e unidades amostrais e variáveis ambientais. As análises foram efetuadas utilizando-se o “software” PC-ORD versão 3.12 (McCUNE e MEFFORD, 1997). Com o objetivo de avaliar a correlação entre os valores de RNT das espécies e as variáveis ambientais, foi aplicado o teste de Monte Carlo, a 1% de probabilidade.

Dentro do total de espécies amostradas no estudo, foram selecionadas, em princípio, aquelas que apresentaram número de indivíduos maior ou igual a oito na amostragem total. Posteriormente fez-se nova seleção de espécies eliminando-se aquelas que apresentaram apenas um indivíduo por unidade amostral, seguindo o critério proposto por FERNANDES (1998), visando redução de cálculos e resultados pouco significativos. Dentre as 128 espécies amostradas no levantamento botânico, 46 foram selecionadas para o estudo da interação ambiente x espécie, correspondendo, assim, a 36% do total.

Devido à importância do fator radiação solar, também foi estudada a interação desse fator com a vegetação, através de análise de correlação (Método de Pearson) e análise de agrupamento (método não hierárquico). Na análise de correlação foram utilizados dados de transmissividade da PAR e de IAF, valores médios anuais e valores médios estacionais, de acordo com o Capítulo I, e, dados de RNT das espécies.

A análise de agrupamento foi baseada nos valores médios de transmissividade da PAR em que cada espécie ocorre, calculada de forma ponderada, utilizando-se para isso o valor de RNT de cada espécie em cada local, como fator de peso.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição florística

Nos dez locais estudados, foram encontradas 128 espécies distribuídas em 43 famílias botânicas (Quadro 2). Foram inventariadas 2.320 plantas, nas três classes de tamanho, sendo, 20,4; 16,8 e 13,5% pertencentes, respectivamente, as famílias Mimosaceae, Rubiaceae e Monimiaceae, perfazendo 50,7% do total de plantas inventariadas, devido, basicamente, a elevada densidade de quatro espécies: *Anadenanthera peregrina*, *Piptadenia gonoacantha*, *Psychotria sessilis* e *Siparuna guianensis*. O número de espécies foi superior ao observado por VOLPATO (1994), que identificou 95 espécies no mesmo local de estudo em levantamento em 1992, e ao obtido por MEIRA NETO (1997) que relacionou 109 espécies no estrato herbáceo-arbustivo, em fragmento florestal localizado no mesmo município. Por outro lado, trabalhando com indivíduos arbóreos adultos em fragmentos florestais na região do presente estudo, MEIRA NETO (1999), FERNANDES (1998) e ALMEIDA JÚNIOR (1999) encontraram, respectivamente, 154, 150 e 123 espécies.

Quadro 2 - Relação das espécies amostradas na fase de regeneração natural na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG

Família	Espécie /Gênero	Nome Vulgar
Anacardiaceae	<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) Mitchell	Mamoneira-preta
Annonaceae	<i>Annona cacans</i> Warm.	Jaca-do-mato
	<i>Guatteria sellowiana</i> Schlecht.	Pimenteira
	<i>Rollinia sylvatica</i> Mart.	Araticum
	<i>Xylopia sericea</i> A. St. Hil.	Pindaíba
Apocynaceae	<i>Aspidosperma parvifolium</i> DC.	Guatambú
	<i>Aspidosperma ramiflorum</i> Muell. Arg.	Peroba
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aublet) D. Frodin	Morototó
Bignoniaceae	<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	Caroba
	<i>Sparattosperma leucanthum</i> K. Schum.	Cinco-folhas-brancas
	<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Stand.	Ipê-tabaco
	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	Ipê-preto
Bombacaceae	<i>Eriotheca candolleana</i> (K. Schum.) A. Robyns	Mandioquinha-do-mato
	<i>Pseudobombax longiflorum</i> Mart. et Zucc.	Imbiricu
Boraginaceae	<i>Cordia sericicalyx</i> A. DC.	Puleiro-de-morcego
Burseraeeae	<i>Trattinnickia ferruginea</i> Kuhlm.	Cedrinho
Caesalpinaceae	<i>Apuleia leiocarpa</i> Macbride	Garapa
	<i>Bauhinia forticata</i> Link	Unha-de-vaca
	<i>Cassia ferruginea</i> Scharid. ex DC.	Canafístula
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	Copaíba
	<i>Hymenaea áurea</i> Desf.	Jatobá
	<i>Sclerolobium denudatum</i> Vogel	Mamoneira-branca
	<i>Senna macranthera</i> (Collad.) Irwin et Barn.	Fedegoso
	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) Irwin et Barn.	Farinha-seca
	<i>Swartzia acutifolia</i> Vog.	Braúna-branca
	<i>Swartzia myrtifolia</i> Smith	Jasmim
Cecropiaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embaúba-formiga
Chrisobalanaceae	<i>Hirtella hebeclada</i> Moric. ex A. P. DC.	Sem nome vulgar
Clethraceae	<i>Clethra</i> sp.	Caituá-vermelho
Combretaceae	<i>Terminalia</i> sp.	Oso-de-frango
Compositae	<i>Vernonia diffusa</i> Less.	Pau-fumo
Cunoniaceae	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Cinco-folhas-vermelhas
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum pelleterianum</i> A. St. Hil.	Sessenta-e-um
Euphorbiaceae	<i>Alchomea</i> sp.	Tapiciri
	<i>Alchomea triplinervea</i> Muell. Arg.	Belém
	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capixingui

Continua ...

Família	Espécie /Gênero	Nome Vulgar
	<i>Cróton urucurana</i> Baill.	Adrago
	<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allem.	Liquerana
	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	Canudo-de-pito
	<i>Maprounea</i> sp.	Jambo-branco
Fabaceae	<i>Andira</i> sp.	Angelim
	<i>Dalbergia nigra</i> Allem. ex Benth.	Jacarandá-da-bahia
	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	Bico-de-pato
	<i>Machaerium stipitatum</i> Vog.	Feijão-cru
	<i>Machaerium triste</i> Vog.	Sangue-de-burro
Flacourtiaceae	<i>Carpotroche brasiliensis</i> Endl.	Sapucainha
	<i>Casearia aculeata</i> Jacq.	Espeto-branco
	<i>Casearia</i> sp.	Espeto
Guttiferae	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planchon & Triana) Zappi.	Bacupari
	<i>Tovomita glazioviana</i> Engl.	Sem nome vulgar
	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl) Choisy	Ruão
Icacinaceae	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) Howard	Canela-branca
	<i>Villaresia megaphylla</i> Miers	Peroba-branca
Indeterminada	<i>Indeterminada 6</i>	Canela-orozimbo
Lacistemaceae	<i>Lascistema pubescens</i> Mart.	Espeto-vermelho
Lauraceae	<i>Endlicheria paniculata</i> (Sprengel) Macbr.	Canela-preta
	<i>Indeterminada 1</i>	Canela
	<i>Nectandra megapotamica</i> (Sprengel) Mez	Canela-coquinho
	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	Canela-amarela
	<i>Nectandra</i> sp. 1	Canela-miúda
	<i>Nectandra</i> sp. 2	Canela-parda
	<i>Ocotea dispersa</i> Mez	Canela-rosa
	<i>Ocotea laxa</i> Mez	Canela-prego
	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	Canela-sassafrás
Lecythidaceae	<i>Cariniana legalis</i> Kuntze	Jequitibá-rosa
Melastomataceae	<i>Miconia cubatenensis</i> Hoehne	Quaresminha-branca
	<i>Miconia latecrenata</i> Naud.	Quaresmão
	<i>Tibouchina granulosa</i> Cogn.	Quaresma
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Canjerana
	<i>Guarea pendula</i> L.	Sem nome vulgar
	<i>Guarea trichilioides</i> L.	Cura-madre
	<i>Trichilia pallida</i> Mart.	Trichila-branca
Mimosaceae	<i>Acacia glomerosa</i> Benth.	Angico-preto
	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco
	<i>Anadenanthera peregrina</i> Speg.	Angico-vermelho

Quadro 2, Cont.;

Família	Espécie /Gênero	Nome Vulgar
	<i>Inga sp.</i>	Ingá-miúdo
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> Macbride	Jacaré
	<i>Stryphnodendron guianensis</i> Benth.	Barbatimão
Monimiaceae	<i>Indeterminada 3</i>	Pau-santo
	<i>Mollinedia micrantha</i> Tul.	Maria-mole
	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Folha-santa
Moraceae	<i>Brosimum guianensis</i> Huber ex Ducke	Vaquinha-vermelha
	<i>Sorocea guilleminiana</i> Gaudich.	Folha-de-serra
	<i>Maclura tinctoria</i> D. Don ex Stend.	Tajuba
Myristicaceae	<i>Myrsine ferruginea</i> (Mez) Pipoly	Canela-azeitona
	<i>Virola oleifera</i> (Schott) A. C. Sm.	Bicuíba
Myrtaceae	<i>Calyptanthes sp.</i>	Canela-rapadura
	<i>Eugenia cf. cerasiflora</i> Miq.	Caituá
	<i>Eugenia sp.</i>	Gabiroba
	<i>Myrcia sp. 1</i>	Jambo
	<i>Myrcia sp. 2</i>	Jambo-vermelho
	<i>Myrciaria sp.</i>	Jaboticaba-do-mato
	<i>Psidium guajava</i> L.	Goiabeira
Ochnaceae	<i>Ouratea polygyna</i> Engl.	Caituá-café
	<i>Ourotea sp.</i>	Murici
Palmae	<i>Astrocaryum aculeatissimum</i> (Scotth) Burret	Brejaúba
	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Palmito-doce
	<i>Indeterminada 2</i>	Palmeira
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.	Coquinho-de-baba
Rosaceae	<i>Prunus sellowii</i> Koehne	Pessegueiro-do-mato
Rubiaceae	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacquin) Schuman	Guiné
	<i>Indeterminada 4</i>	Pau-mulato
	<i>Indeterminada 5</i>	Azeitona-miúda
	<i>Ixora venulosa</i> Muell. Arg.	Sem nome vulgar
	<i>Landenbergia hexandra</i> Klotzsch	Pau-colher
	<i>Psychotria conjungens</i> Muell. Arg.	Azeitona-branca
	<i>Psychotria sessilis</i> (Vell.) Mull. Arg.	Cafezinho
	<i>Psychotria sp.</i>	Azeitona-preta
	<i>Randia nítida</i> (Kunth.) DC.	Bosta-de-pato
Rutaceae	<i>Dyctiloma vandelliaun</i> A. Juss.	Brauninha
	<i>Zanthoxylum cf. Riedelianum</i> Engl.	Caituá-aroeira
	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mama-de-porca

Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> Radlk. Ex Warm.	Três-folhas-vermelhas
	<i>Allophylus sericeus</i> (Cambess.) Radlk.	Três-folhas-brancas
	<i>Cupania</i> sp.	Camboatá
		Continua ...

Quadro 2, Cont.;

Família	Espécie /Gênero	Nome Vulgar
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Camboatá-preto
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Camboatá-branco
	<i>Matayba</i> sp.	Camboatá-vermelho
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum flexuosum</i> Mart.	Falso-araticum
Simaroubaceae	<i>Picramnia glazioviana</i> Engler	Uva-do-mato
Solanaceae	<i>Solanum argenteum</i> Dun. ex Poir.	Mercurinho
	<i>Solanum cernuum</i> Vell.	Braço-de-mono
	<i>Solanum leucodendron</i> Sendt	Pau-mercúrio
	<i>Solanum</i> sp.	Mercurinho-branco
Tiliaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	Açoita-cavalo
Verbenaceae	<i>Citharexylum</i> sp.	Pau-viola
	<i>Vitex sellowiana</i> Cham.	Maria-preta

O índice de diversidade de Shannon e Weaver (H') médio observado para toda área de estudo foi 3,50. Este valor é semelhante ao observado por MEIRA NETO (1997) que, trabalhando com estrato herbáceo-arbustivo, encontrou H' igual a 3,38 em fragmento próximo a área de estudo. Em trabalhos em florestas sob o domínio da Floresta Atlântica, também com estrato herbáceo-arbustivo, BERNACCI (1992) e ANDRADE (1992) encontraram, respectivamente, H' de 3,50 e 3,87. No caso de indivíduos adultos, MEIRA NETO (1997) e FERNANDES (1998), trabalhando na região do presente estudo, encontraram, respectivamente, H' igual a 4,02 e 4,16, demonstrando que existe uma diversidade mais elevada quando se trata de análise dos indivíduos arbóreos de maior porte.

Os locais avaliados no presente estudo apresentam diferentes graus de ação antrópica, além de possuírem características fisiográficas distintas, resultando em conjuntos diferentes de espécies e ampla variação do índice de diversidade, que ficou entre 2,02 e 3,24.

De modo geral, nos locais com baixa diversidade, apresentando H' abaixo de 2,60, o percentual total acumulado pelas dez espécies de maior RNT

foi elevado, como no caso dos locais 1, 2 e 9, onde, em média, esse percentual foi acima de 70,7%. Nos locais 4, 6, 7 e 10, apresentando H' acima de 3,0, as dez espécies com maior RNT perfizeram, em média, 57,3% do total. Os locais 3, 5 e 8 ficam em situação intermediária, onde as espécies de maior RNT perfizeram, em média, 66,8% do total.

4.2. Análise fitossociológica da regeneração natural

4.2.1. Local 1

O local 1 apresentou densidade absoluta de 33.416 indivíduos.ha⁻¹ pertencentes a 27 espécies, indicando baixa diversidade florística ($H' = 2,58$). Este local apresentou o menor número de espécies inventariadas, quando comparado aos demais. O baixo valor de IAF (3,6) e a alta transmissividade média da PAR (8,9%), em consequência da presença de clareiras, parecem estar associados a intensa exploração de madeira, seguido da utilização da área como pastagem, uma vez que a cobertura com a espécie *Melinis minutiflora* (capim-gordura) é elevada.

As dez espécies de maior regeneração natural total (RNT) no local 1 (Figura 2) perfizeram, juntas, 79,3% do RNT total neste local, destacando-se *Machaerium nyctitans* e *Siparuna guianensis*, com, respectivamente, 17,5 e 17,3 % de RNT do local. No estudo desenvolvido por VOLPATO (1994), essas duas espécies também apresentaram maior RNT, entretanto, em diferentes proporções.

É interessante observar que *Rollinia sylvatica* apresentou indivíduos nas três classes de tamanho de regeneração natural, e, no trabalho de FERNANDES (1998), em levantamento realizado, em 1995, foi a segunda espécie de maior Índice de Valor de Importância (IVI) na classe adulta.

4.2.2. Local 2

O local 2 apresentou elevado número de plantas, resultando em densidade absoluta extremamente elevada (140.583 indivíduos.ha⁻¹), o que

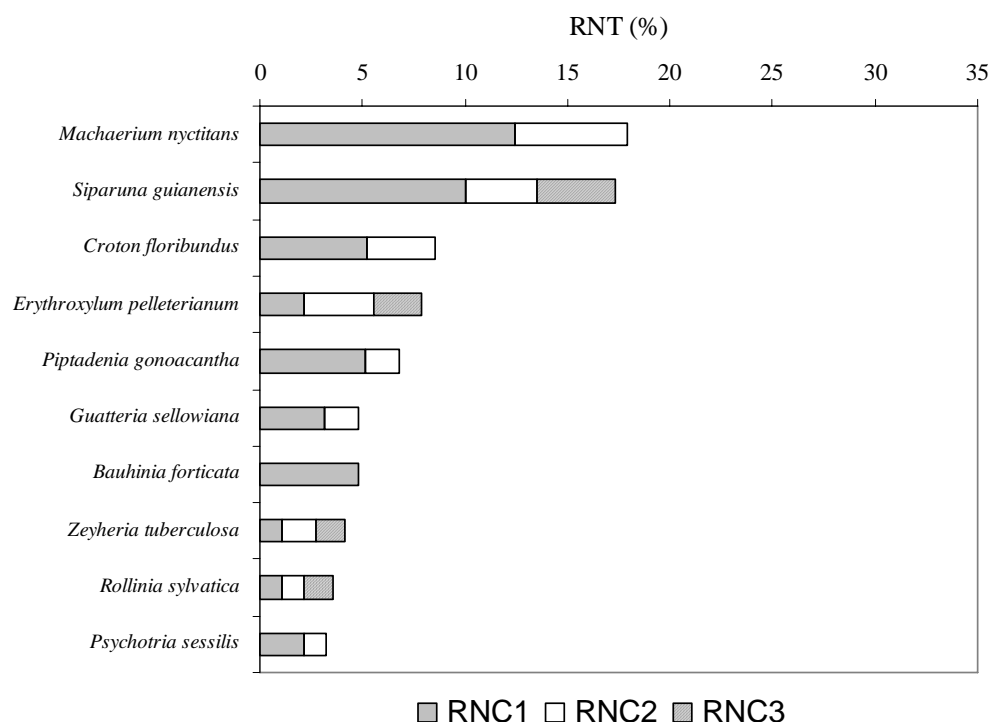


Figura 2 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 1, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

diferiu dos demais locais estudados. Apesar de IAF relativamente alto (4,5), o dossel apresenta transmissividade de 6,0%, provavelmente, devido às folhas de tamanho reduzido das espécies que dominam o estrato superior, possibilitando passagem de luz para a regeneração natural.

Este local apresentou baixa diversidade, em comparação aos demais, mostrada pelo Índice de Shannon e Weaver ($H' = 2,03$). Foram identificadas 42 espécies e as dez espécies de maior RNT somaram 78,3%, o maior valor entre os locais estudados (Figura 3). As espécies *Anadenanthera peregrina* e *Piptadenia gonoacantha* totalizaram quase metade da RNT do local (44,5%). O estudo de VOLPATO (1994) havia mostrado a elevada densidade dessas duas espécies, mas, entretanto, em ordem inversa, pois, de acordo com levantamento de 1992, *Piptadenia gonoacantha* apresentava o maior valor de RNT no local 2.

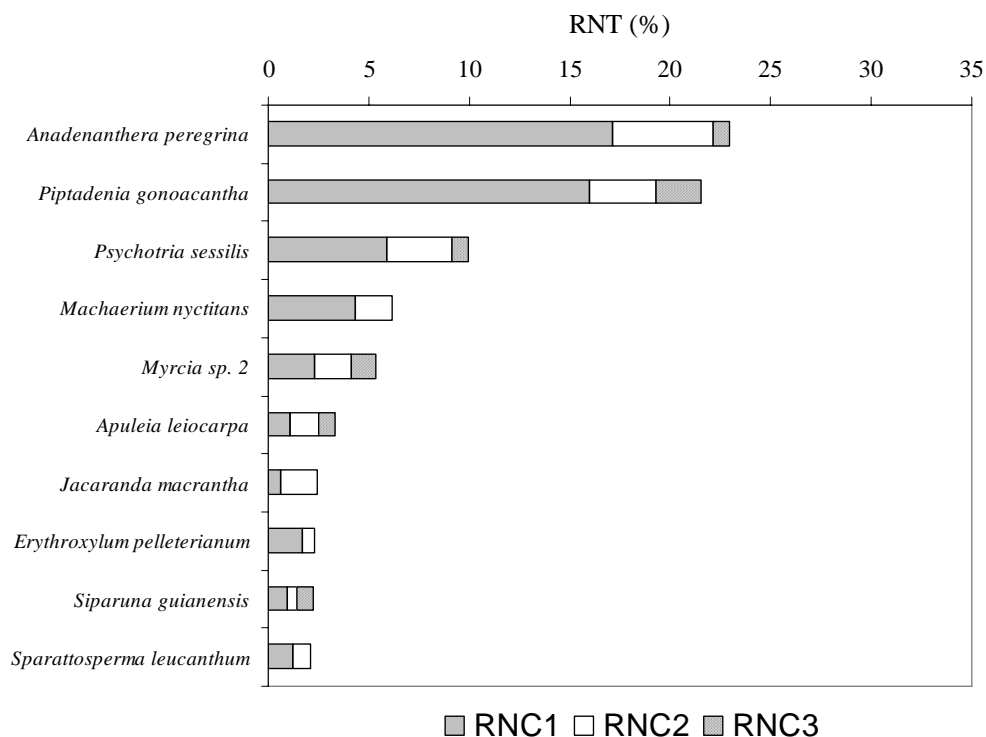


Figura 3 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 2, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

É interessante observar que, no local 2, *Anadenanthera peregrina* e *Piptadenia gonoacantha* ocorreram nas três classes de tamanho estudadas e, como observado por FERNANDES (1998), essas duas espécies também perfizeram quase metade do IVI neste local, na fase adulta, ficando evidente a sua predominância em todos os estratos.

De acordo com SANTOS e RIBEIRO (1975), a predominância de leguminosas deve-se ao fato de fixarem nitrogênio, o que favorece essas espécies na competição interespecífica. Efeitos alelopáticos e alta eficiência na dispersão de sementes podem, também, contribuir para a dominância das leguminosas (FERNANDES, 1998).

4.2.3. Local 3

O local 3 apresentou menor número de espécies (32) em relação ao local 2, mas como a densidade absoluta foi mais reduzida ($33.500 \text{ indivíduos.ha}^{-1}$) a diversidade florística foi maior ($H' = 2,83$). Nesse local, o IAF é alto (4,9) e a transmissividade da PAR (2,7%) muito baixa em relação aos locais 1 (8,9%) e 2 (6,0%), o que pode favorecer a ocorrência de espécies que requeiram sombra, pelo menos na fase juvenil.

As dez espécies de maior RNT perfizeram 70,7% do total (Figura 4). As espécies com maiores valores de RNT foram *Siparuna guianensis* (14,1%) e *Psychotria sessilis* (14,0%). Esses resultados concordam com VOLPATO (1994) que, também, mostrou que estas espécies apresentavam maior RNT, entretanto, com valores mais elevados.

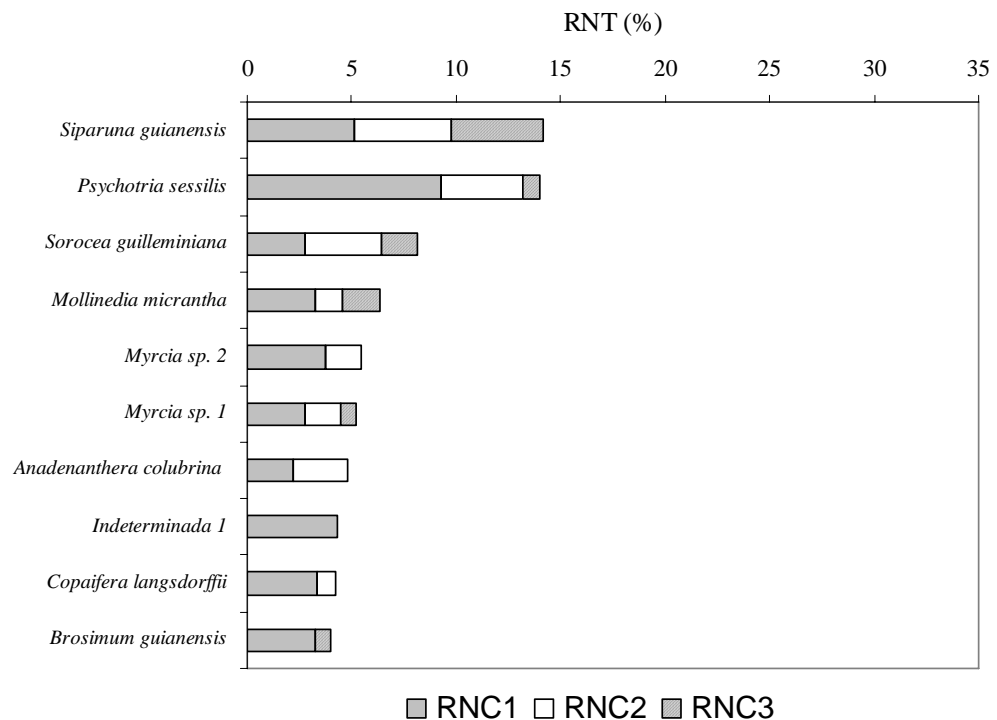


Figura 4 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 3, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

FERNANDES (1998) verificou que *Siparuna guianensis*, que no presente estudo ocupa as três classes de tamanho da regeneração natural, apresentou o maior IVI no local 3. É interessante destacar, também, que *Mollinedia micrantha*, que apresentou o segundo maior IVI na classe adulta, também apresentou indivíduos nas três classes de tamanho de regeneração natural.

4.2.4. Local 4

Foram identificadas 39 espécies no local 4, que apresentou densidade absoluta de 36.833 indivíduos.ha⁻¹. Apesar de apresentar alguns indivíduos de maior porte, com copas amplas, é marcante a presença de grandes clareiras, resultando em baixo IAF (3,6) e alta transmissividade da PAR (9,3%).

O índice de diversidade foi alto ($H' = 3,20$) em relação aos demais locais. As dez espécies de maior RNT perfizeram apenas 57,0% do total, não existindo o domínio de uma espécie ou grupo de espécies, pois apenas a *Siparuna guianensis* apresentou valor acima de 10% e as próximas quatro espécies com maior RNT (*Psychotria sessilis*, *Machaerium triste*, *Sorocea guilleminiana* e *Myrcia* sp. 2) apresentaram valores ao redor de 6,0% (Figura 5). Ao contrário do observado nos demais locais, até o momento, os resultados obtidos são bem diferentes em relação aos mostrados por VOLPATO (1994), onde *Psychotria sessilis*, *Anadenanthera colubrina* e *Mollinedia micrantha* apresentaram valores de RNT acima de 10%. No presente trabalho, *Mollinedia micrantha* não foi incluída na lista das dez espécies de maior RNT.

No local 4, *Myrcia* sp. 2, *Anadenanthera colubrina*, *Brosimum guianensis* e *Apuleia leiocarpa* estão entre as espécies de maior RNT, de acordo com o presente trabalho, e entre aquelas de maior IVI segundo estudo fitossociológico de plantas adultas desenvolvido por FERNANDES (1998).

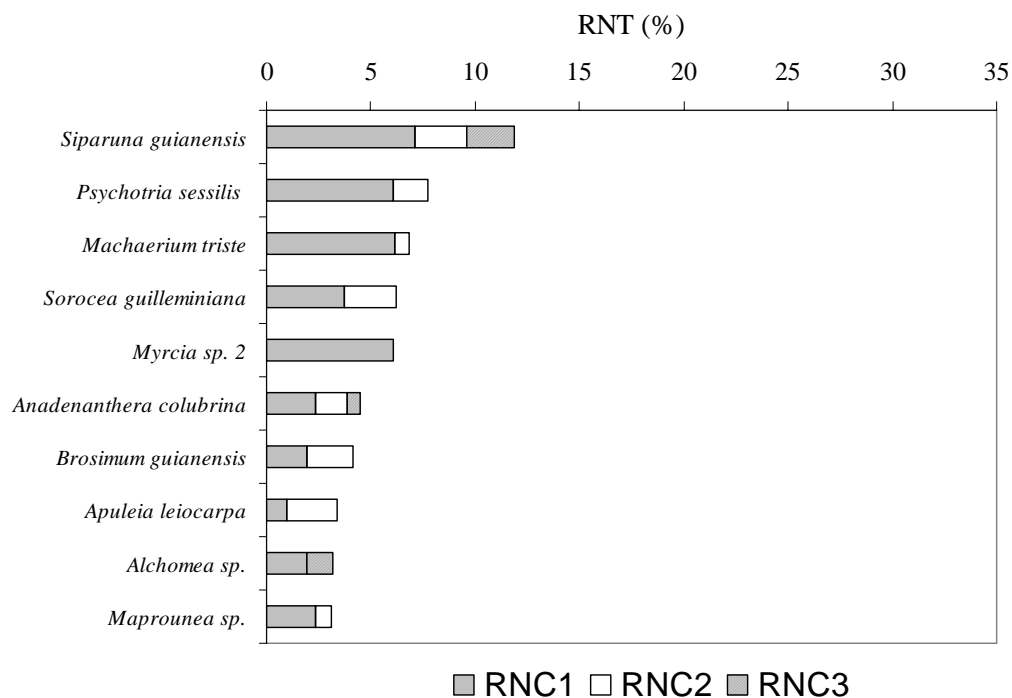


Figura 5 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 4, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

4.2.5. Local 5

A densidade absoluta, no local 5, foi 49.516 indivíduos.ha⁻¹, pertencentes a 39 espécies. A diversidade foi relativamente alta ($H' = 2,95$). Este local, como os demais situados a leste do fragmento estudado, parecem ter sido submetido a uma menor degradação, provavelmente com a retirada seletiva de madeira, sendo comum a presença de indivíduos de maior porte. Nesse local, o IAF neste local é alto (5,2) e a transmissividade da PAR elevada (1,7%). Entretanto, a abertura de pequenas clareiras, devido a queda de árvores, parece ter favorecido a ocorrência de *Piptadenia gonoacantha*, que apresenta muitos indivíduos na classe I de tamanho.

As dez espécies de maior RNT perfizeram 61,1% do total e, com exceção da *Piptadenia gonoacantha*, as espécies de maior RNT (*Allophylus edulis*, *Sorocea guilleminiana*, *Euterpe edulis*, Indeterminada 1 e *Guarea trichilioides*) apresentaram valor médio de 6,8% (Figura 6). VOLPATO (1994) também observou maior RNT para *Piptadenia gonoacantha*.

FERNANDES (1998) observou que *Villaresia megaphylla* apresentou maior IVI no local 5, com indivíduos nas duas classes de tamanho de plantas adultas, e, no presente estudo, apresentou indivíduos nas três classes de tamanho da regeneração natural.

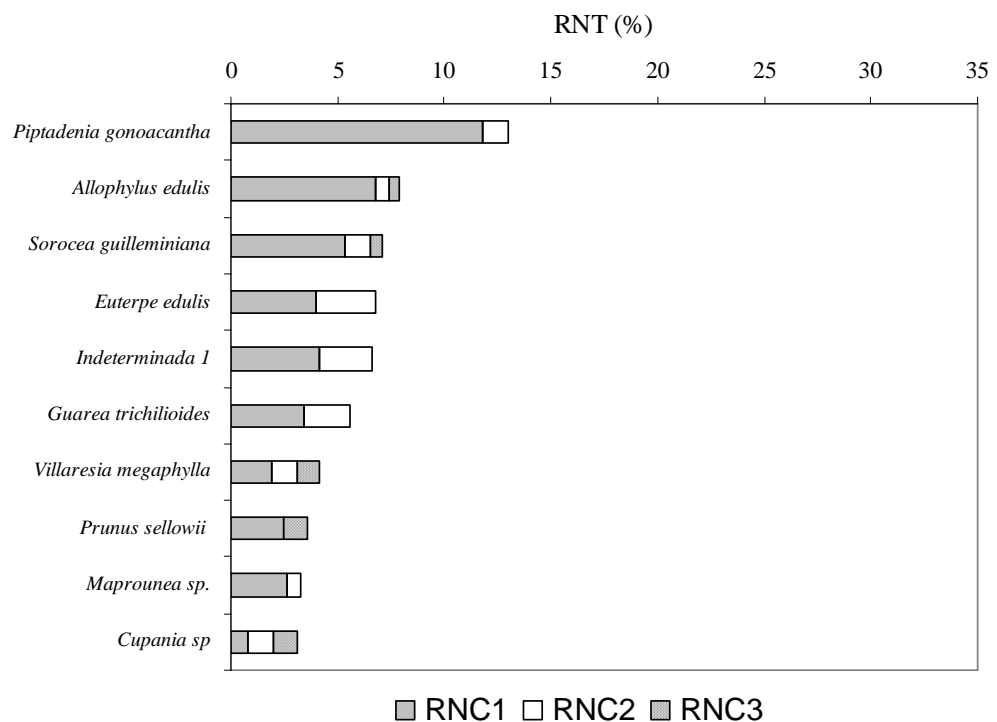


Figura 6 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 5, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

4.2.6. Local 6

O local 6 apresentou densidade absoluta de 45.167 indivíduos.ha⁻¹, pertencentes a 45 espécies. Aparentemente, este local também apresenta um menor grau de degradação, com presença de indivíduos de maior porte e com diversidade relativamente alta ($H' = 3,14$). Nesse local, o IAF é alto (5,0) e o dossel apresenta baixa transmissividade média da PAR (1,8%).

As dez espécies de maior RNT perfizeram 58,1% do total, mas apenas *Sorocea guillemianiana* apresentou RNT acima de 10% (Figura 7). No estudo de VOLPATO (1994), *Picramnia glazioviana* apresentou o maior RNT, 18%, tendo diminuído no atual estudo para 7,5%.

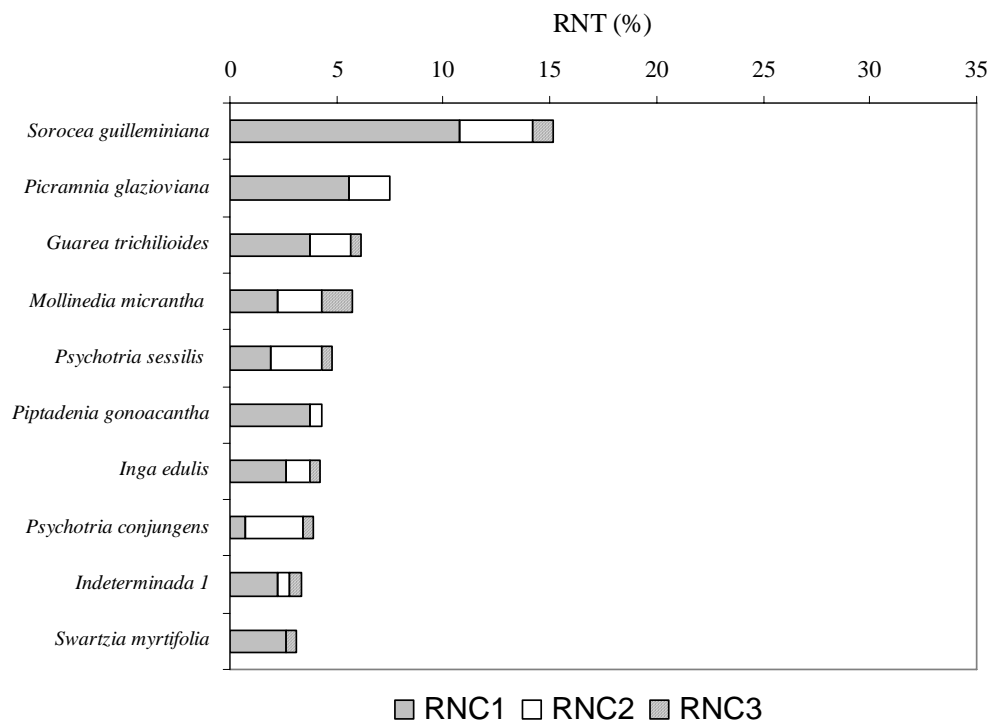


Figura 7 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 6, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

Socorea guilleminiana aparece em quatro locais entre as espécies de maior RNT e, na maioria, com plantas nas três classes de tamanho. Entretanto, a espécie pode ser considerada típica de sub-bosque, mesmo por que FERNANDES (1998) encontrou poucos indivíduos adultos na classe de tamanho de DAP entre 5 e 10 cm.

Picramnia glazioviana, também, pode ser considerada espécie típica de sub-bosque, uma vez que não ocorrem indivíduos na classe III de tamanho, além de não apresentar nenhum exemplar adulto no local 6 (FERNANDES, 1998). Por outro lado, *Mollinedia micrantha*, como já observado no local 3, apresenta indivíduos nas três classes de tamanho de regeneração natural e está listada entre as dez espécies de maior IVI no estudo fitossociológico de indivíduos adultos realizado por FERNANDES (1998).

4.2.7. Local 7

A densidade absoluta do local 7 foi 39.083 indivíduos.ha⁻¹, pertencentes a 53 espécies. Neste local foi encontrado o maior número de espécies e a maior diversidade ($H' = 3,24$) dentre todos os locais estudados. O local 7, assim como os locais 5 e 6, parece ter sido menos degradado. O IAF é alto (5,2) e, conseqüentemente, a transmissividade média da PAR é baixa (1,6%).

As dez espécies de maior RNT perfizeram apenas 55,8% do total (Figura 8). As duas espécies de maior RNT (*Psychotria sessilis* e *Siparuna guianensis*) perfazem 27,3% do total, e nenhuma das demais apresentou valor acima de 5,0%.

Siparuna guianensis ocorreu em nove dos dez locais estudados e, em oito, esteve entre as dez espécies de maior RNT. Segundo OLIVEIRA-FILHO et al. (1994a), trata-se de uma espécie de sub-bosque, com altura de até 10 m, ocorrendo em abundância em ambientes sombreados. É importante observar que esta espécie sempre ocorreu nas três classes de tamanho estudadas, demonstrando que as condições são satisfatórias para seu crescimento e desenvolvimento. FERNANDES (1998) encontrou essa espécie na fase adulta

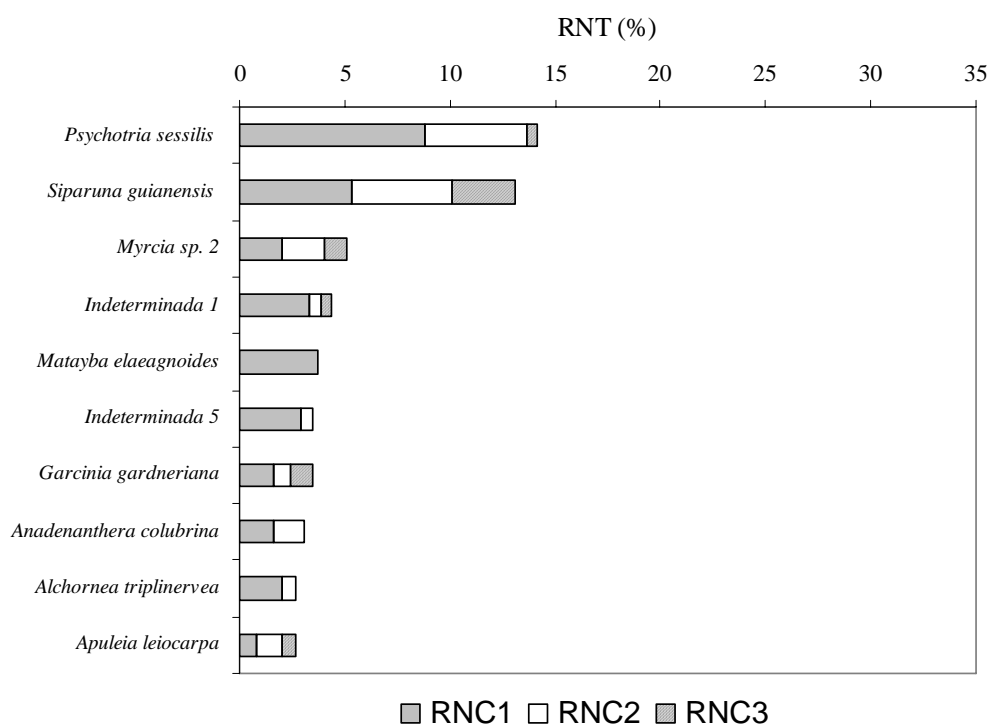


Figura 8 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 7, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

(DAP > 5cm) em quase todos os locais estudados no presente trabalho. A abundância dessa espécie no sub-bosque, também, foi observada nos trabalhos de MEIRA NETO (1997) e ALMEIDA JÚNIOR (1999) em levantamentos fitossociológicos na região, e SOUZA et al. (1996) no sul da Bahia e norte do Espírito Santo. LOPES (1998), trabalhando no Parque Estadual do Rio Doce, MG, verificou que *Siparuna guianensis* está entre as espécies de maior densidade, mostrando tratar-se de espécie abundante também no sub-bosque de florestas em estágio avançado de sucessão. Conforme resultados apresentados no Capítulo III sobre ecofisiologia, *Siparuna guianensis* apresenta enorme plasticidade frente à modificações ambientais.

Além de *Siparuna guianensis*, as espécies, *Myrcia* sp. 2, *Anadenanthera colubrina* e *Apuleia leiocarpa* estão entre as de maior RNT, de acordo com o presente estudo, e maior IVI entre os indivíduos adultos (FERNANDES, 1998).

4.2.8. Local 8

No local 8, foram encontradas 48 espécies, com densidade absoluta alta (90.500 indivíduos.ha⁻¹). Neste local, o estrato superior é aberto, com IAF igual a 4,2 e transmissividade da PAR de 3,7%. A diversidade observada foi relativamente baixa ($H' = 2,74$).

Três espécies apresentaram RNT acima de 10%: *Machaerium nycitans* (14,7%), *Siparuna guianensis* (14,0%) e *Psychotria sessilis* (10,9%), semelhante ao trabalho de VOLPATO (1994). As dez espécies de maior RNT perfizeram 68.7% do total (Figura 9).

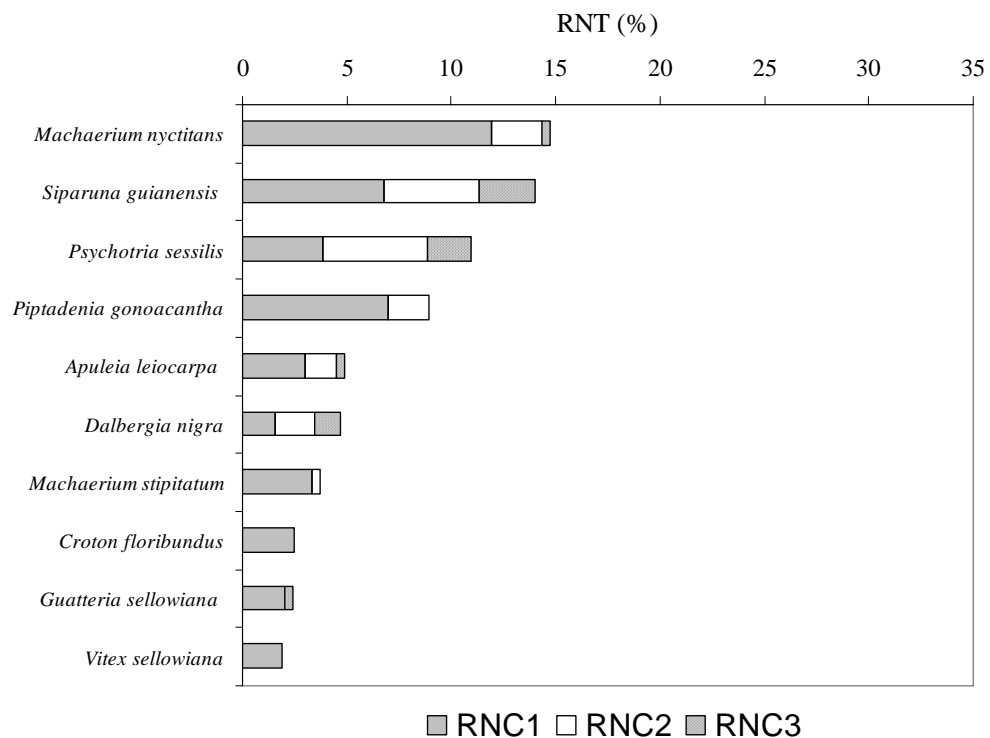


Figura 9 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 8, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

Machaerium nyctitans apresentou maior RNT nos locais 1 e 8, porém, não foi encontrado nenhum indivíduo na Classe III de tamanho no local 1 e apenas um no local 8. FERNANDES (1998) não encontrou nenhum exemplar adulto da espécie no local 1, mas no local 8 foram encontrados indivíduos na classe adulta com DAP acima de 10 cm. Além desta espécie, *Piptadenia gonoacantha*, *Apuleia leiocarpa*, *Dalbergia nigra* e *Vitex sellowiana* estão entre as espécies de maior RNT e entre as de maior IVI na classe adulta.

4.2.9. Local 9

A densidade absoluta no local 9 foi 66.416 indivíduos.ha⁻¹, pertencentes a 36 espécies. Este local, apesar de não apresentar muitos indivíduos de grande porte, possui um estrato superior fechado (IAF = 5,1) e baixa transmissividade média da PAR (2,8%). Entretanto, duas sub-unidades amostrais apresentaram clareiras devido queda de árvores, o que, aparentemente, favoreceu a ocorrência de *Psychotria sessilis*, que apresentou elevado número de indivíduos na classe I. O local 9 apresentou o menor índice de diversidade ($H' = 2,02$) quando comparado com os demais.

As dez espécies de maior RNT perfizeram 78,3% do total (Figura 10), destacando-se a *Psychotria sessilis* com RNT de 30,7%, constituindo-se no valor de RNT mais elevado do presente estudo, seguida da *Siparuna guianensis* com RNT igual a 18,2%. Este fato já havia sido observado por VOLPATO (1994).

Assim como *Siparuna guianensis*, *Psychotria sessilis* ocorreu em todos os locais, com exceção do local 5, apresentando o maior valor de RNT em três locais. Porém, esta espécie parece ser ainda mais típica de sub-bosque, em comparação a *Siparuna guianensis*, pois, no estudo fitossociológico com indivíduos adultos (FERNANDES, 1998), esta foi encontrada apenas em quatro locais e em densidade extremamente reduzida. Isto, também, é reforçado pelo fato de não serem encontrados indivíduos na classe III de tamanho de regeneração natural em diversos locais no presente estudo.

No local 9 *Piptadenia gonoacantha* apresenta baixa RNT, sem a presença de indivíduos na classe II, mas, de acordo com trabalho de FERNANDES (1998), apresenta IVI acima de 50% para plantas com DAP acima de 5 cm.

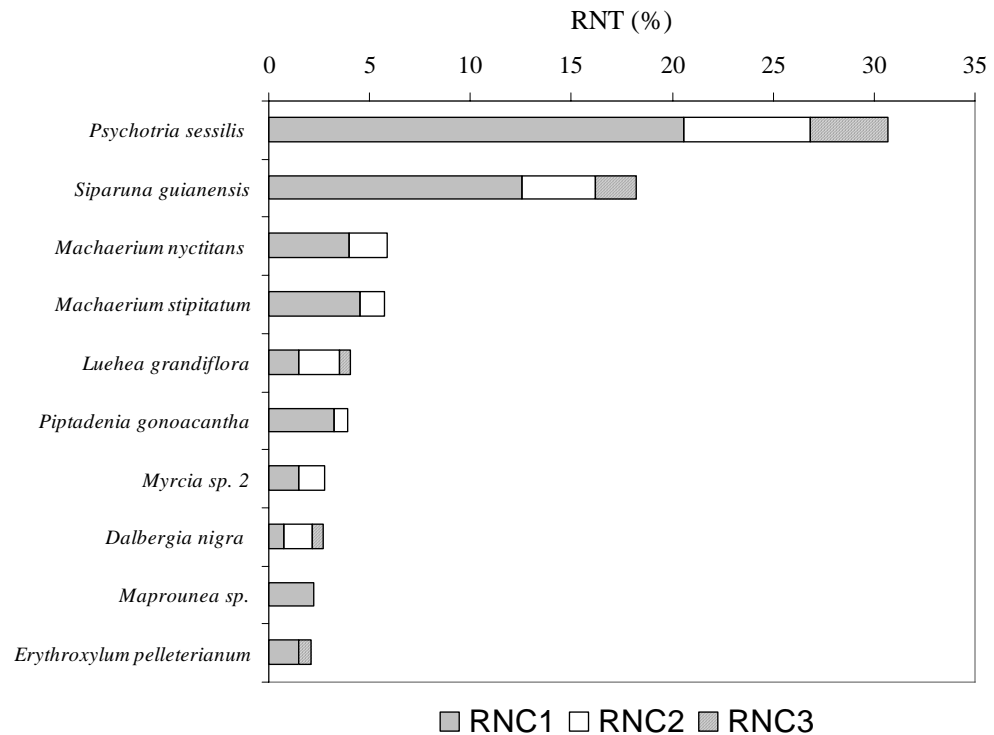


Figura 10 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 9, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

4.2.10. Local 10

No local 10 foram inventariadas 48 espécies, com densidade absoluta de 51.000 indivíduos.ha⁻¹. Este local apresenta um valor intermediário de IAF (4,6) em relação aos demais locais estudados, mas a transmissividade média da PAR é baixa (2,5%). A diversidade no local foi alta (H' = 3,20).

As dez espécies de maior RNT perfizeram 58,5% do total (Figura 11), sendo que *Psychotria sessilis* apresentou maior RNT (11,5%), seguida por *Brosimum guianensis* (10,3%). As demais apresentaram valores abaixo de

10%. No trabalho apresentado por VOLPATO (1994), *Psychotria sessilis* também apresentou o maior valor de RNT, mas *Brosimum guianensis* e *Mollinedia micrantha* apresentaram valores menores em relação a *Myrcia* sp. 2 e *Siparuna guianensis*.

Neste local, *Brosimum guianensis*, *Myrcia* sp. 2 e *Apuleia leiocarpa* estão entre as dez espécies de maior RNT, com indivíduos nas três classes de tamanho, e, de acordo com estudo de FERNANDES (1998), estão entre as de maior IVI nas classes de plantas adultas, onde a *Apuleia leiocarpa* apresentou IVI acima de 40%.

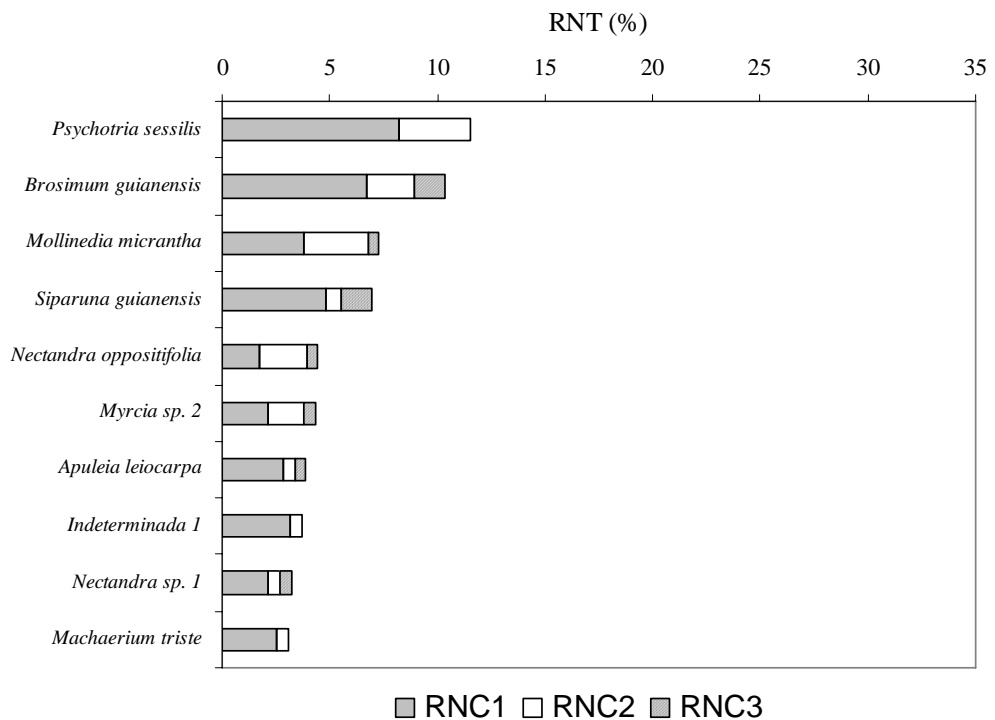


Figura 11 – Seqüência das dez espécies de maior Índice de Regeneração Natural (RNT) no local 10, avaliadas em 2000, na Estação Experimental Mata do Paraíso, Município de Viçosa-MG, onde RNC1, RNC2 e RNC3 representam, respectivamente, as classes I, II e III de tamanho de planta.

4.3. Análise de correspondência canônica

A matriz de correlações entre as variáveis ambientais e os dois primeiros eixos de ordenação, gerada pela análise de correspondência canônica (CCA), é mostrada no Quadro 3. As correlações entre ambiente e espécie foram altas (0,974 e 0,970), mostrando que as variáveis ambientais utilizadas no estudo explicaram, de maneira satisfatória, os dois primeiros eixos de ordenação.

Os autovalores, que são medidas da consistência de um eixo, para o primeiro e segundo eixos de ordenação, foram, respectivamente, 0,395 e 0,302, podendo ser considerados baixos. Os dois primeiros eixos foram responsáveis por 43,3% da variância total da análise. De acordo com MARTINS (1999), neste tipo de estudo, valores baixos de autovalores são esperados devido a complexidade de interação entre os fatores que

Quadro 3- Matriz de correlações entre os dois primeiros eixos de ordenação e as variáveis ambientais, obtida pela análise de correspondência canônica, de dados coletados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. Em que t, SB, UMIDADE, IAF e DEC, correspondem, respectivamente, à transmissividade da PAR (%), soma de bases ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), umidade no solo ($\text{g}.100\text{g}^{-1}$), índice de área foliar e declividade do terreno (%).

	Espécie eixo1	Espécie eixo2	Var.amb eixo1	Var.amb. eixo2	SB	DEC	UMID	IAF	t
Espécie eixo1	1,000								
Espécie eixo2		1,000							
Var.amb. eixo1	0,974		1,000						
Var.amb eixo2		0,970		1,000					
SB	0,786	0,600	0,766	0,582	1,000				
DEC	0,029	-0,720	0,028	-0,699	-0,411	1,000			
UMIDADE	0,590	0,432	0,575	0,419	0,658	-0,593	1,000		
IAF	0,595	-0,021	0,580	-0,021	0,471	-0,484	-0,522	1,000	
t	-0,584	0,144	0,656	0,139	-0,350	0,431	-0,499	-0,885	1,000

determinam a florística e a estrutura da vegetação. No presente estudo, o teste de Monte Carlo, aplicado aos dois eixos, mostrou que a correlação entre os valores de RNT das espécies e as variáveis ambientais foi estatisticamente significativa ($P < 0,01$).

O Quadro 3 ainda traz as correlações entre as variáveis ambientais. A umidade do solo mostrou-se positivamente correlacionada com a soma de bases e índice de área foliar e negativamente com a declividade e transmissividade da PAR. Estes resultados seriam esperados, uma vez que encostas com menor declividade tendem a apresentar fertilidade e teores de água no solo mais elevados. Por outro lado, a transmissividade da PAR e do IAF estão diretamente ligados à disponibilidade de energia para o processo de evaporação de água no solo, ou seja, quando o dossel atenua menos a radiação solar (baixo IAF) o solo apresenta menor quantidade de água, em consequência de maior evaporação. A correlação significativa entre o índice de área foliar e a transmissividade da PAR também era esperada, uma vez que o IAF determina a massa ótica a ser atravessada pelos raios solares.

A separação das unidades amostrais ou das espécies no espaço de ordenação pode ser analisada graficamente, onde as variáveis ambientais são representadas na forma de vetores, de tamanho proporcional a influência de cada variável, sendo os locais ou espécies plotados próximo ao vetor que mais exerce influência sobre os mesmos.

Analisando o diagrama de ordenação dos locais estudados, mostrado na Figura 12, é possível observar a formação de, basicamente, três grupos. O primeiro, formado pelos locais 1, 2, 8 e 9, está sob influência da transmissividade da PAR. Esses locais apresentam a maior transmissividade da radiação solar e, conseqüentemente, menor IAF. O local 4 é o único que apresenta alta transmissividade da PAR, mas não faz parte do grupo, provavelmente devido a sua forte declividade. O segundo grupo, formado pelos locais 3, 4, 7 e 10, é influenciado pela declividade. Como esses locais apresentam valores relativamente elevados de declividade, o teor de umidade no solo e, principalmente, a soma de bases apresentam baixos valores. O terceiro grupo, formado pelos locais 5 e 6, é influenciado pela soma de bases, teor de umidade do solo e IAF. Os dois locais apresentam valores

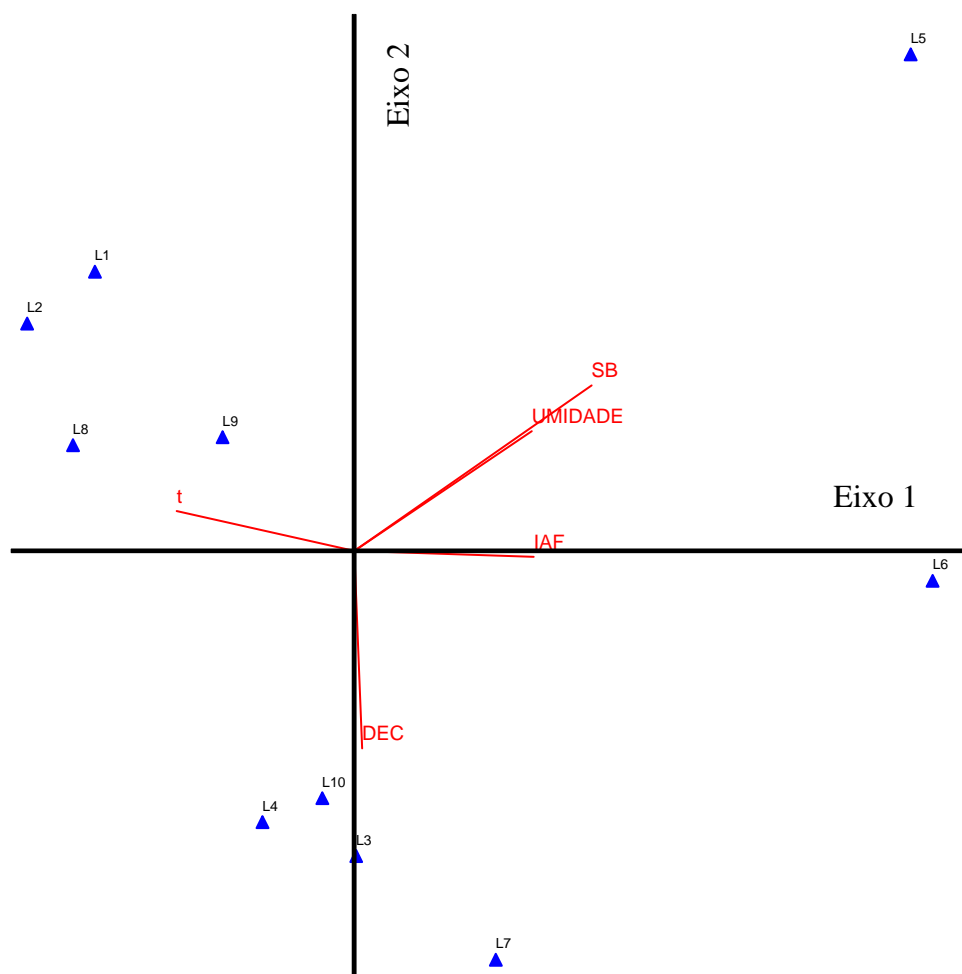
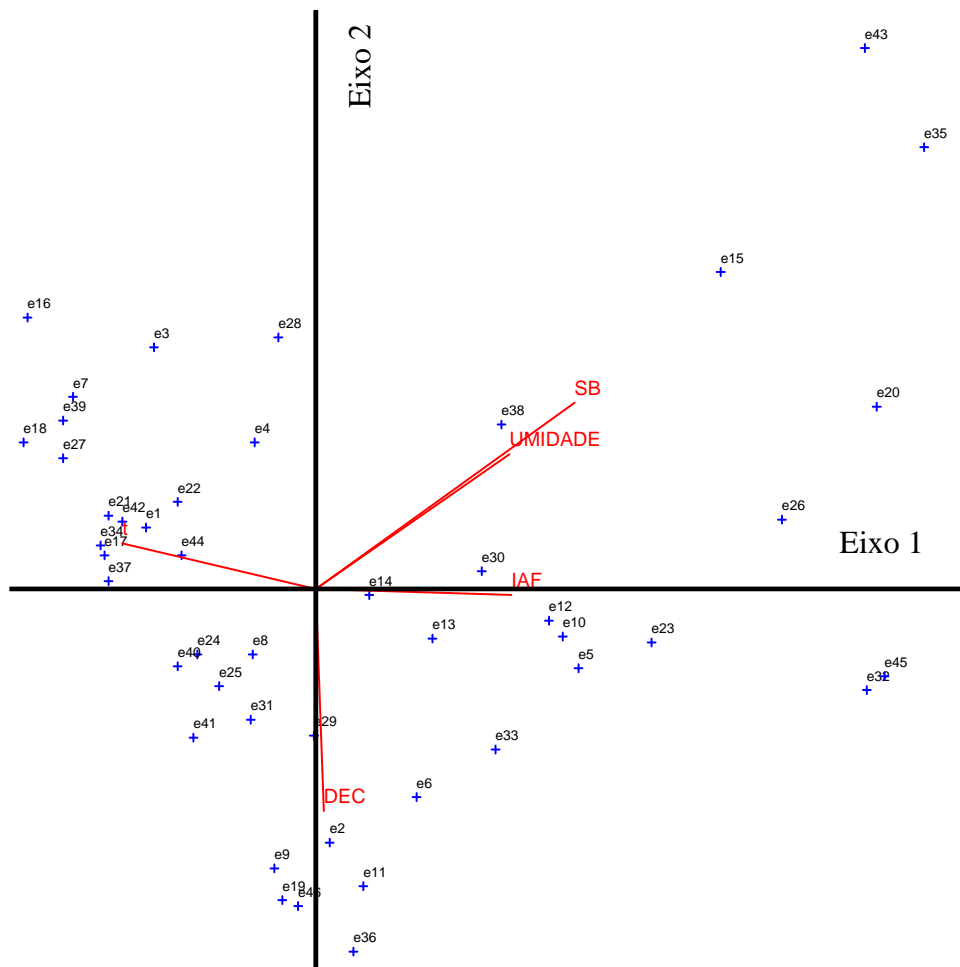


Figura 12 – Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica, representando a distribuição de 10 locais e cinco variáveis ambientais amostradas na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa-MG. As variáveis t, SB, UMIDADE, IAF e DEC correspondem, respectivamente, a transmissividade da PAR, soma de bases, umidade no solo, índice de área foliar e declividade do terreno.

elevados de soma de bases, água no solo e IAF, mas a declividade do local 6 é relativamente elevada, maior inclusive que os locais 3, 7 e 10 que são influenciados pela declividade. Segundo FERNANDES (1998), no local 6, o fato da encosta apresentar forma côncava pode favorecer a maior retenção de água no solo e a manutenção da fertilidade, estando de acordo com as colocações de CARMEAN (1967) e AZEVEDO (1976). Também, o estágio de sucessão parece ser mais avançado no local 6, resultando em maior quantidade de matéria orgânica no solo, o que pode ter interferido na amostragem, que foi realizada na camada superficial do solo (0 a 10 cm de profundidade).

A Figura 13 mostra o diagrama de ordenação para as espécies estudadas em relação às variáveis ambientais. As espécies que aparecem à esquerda apresentam relação mais consistente com a transmissividade da PAR, que está associada ao eixo 1. As espécies localizadas à direita, no diagrama, estão associadas a soma de bases, teor de umidade no solo e IAF. Outro grupo de espécies, que aparece na parte inferior do diagrama, apresenta relação mais consistente com a variável ambiental associada ao eixo 2, ou seja, declividade média do terreno. É interessante destacar que, quanto mais distante a espécie se apresenta da origem do diagrama, mais consistente sua relação com as variáveis ambientais associadas ao eixo mais próximo.

Dentre as espécies mais relacionadas com a transmissividade da PAR destacam-se: *Croton floribundus*, *Sparattosperma leucanthum*, *Machaerium nyctitans*, *Guatteria sellowiana*, *Dalbergia nigra*, *Anadenanthera peregrina* e *Piptadenia gonoacantha*, que ocorrem em maior densidade nos locais com dossel aberto, como mostrado no estudo fitossociológico. O agrupamento parece ser consistente, uma vez que essas espécies são consideradas pioneiras ou secundárias iniciais. Outro grupo formado por *Citharexylum* sp., *Vitex sellowiana*, *Jacaranda macrantha*, *Casearia aculeata*, *Erythroxylum pelleterianum*, *Machaerium stipitatum*, *Bauhinia forticata* e *Rollinia sylvatica*, também se apresenta relacionado com a transmissividade da PAR, mas com menor consistência por estar mais próximo a origem do diagrama. No lado oposto, ou seja, espécies influenciadas pelo IAF, encontram-se *Picramnia glazioviana*, *Swartzia myrtifolia*, *Sorocea guilleminiana*, *Psychotria conjungens*, Indeterminada 1, *Cupania* sp. e *Inga edulis*, que, por sua vez, ocorrem em



e1-*Luehea grandiflora*, e2-*Anadenanthera colubrina*, e3-*Anadenanthera peregrina*, e4-*Rollinia sylvatica*, e5-*Psychotria conjungens*, e6-*Garcinia gardneriana*, e7-*Machaerium nycitans*, e8-*Psychotria sessilis*, e9-*Zanthoxylum riedelianum*, e10-*Cupania sp.*, e11-*Matayba elaeagnoides*, e12-indeterminada 1, e13-*Nectandra oppositifolia*, e14-*Nectandra sp. 1*, e15-*Nectandra sp. 2*, e16-*Croton floribundus*, e17-*Jacaranda macrantha*, e18-*Sparattosperma leucanthum*, e19-*Copaifera langsdorffii*, e20-*Guarea macrophylla*, e21-*Casearia aculeata*, e22-*Machaerium stipitatum*, e23-*Sorocea guillemianiana*, e24-*Siparuna guianensis*, e25-*Apuleia leiocarpa*, e26-*Inga edulis*, e27-*Dalbergia nigra*, e28-*Piptadenia gonoacantha*, e29-*Myrcia sp. 1*, e30-*Maprounea sp.*, e31-*Myrcia sp. 2*, e32-*Swartzia myrtifolia*, e33-*Mollinedia micrantha*, e34-*Vitex sellowiana*, e35-*Euterpe edulis*, e36-*Landenbergia hexandra*, e37-*Citharexylum sp.*, e38-*Prunus sellowii*, e39-*Guatteria sellowiana*, e40-*Vismia guianensis*, e41-*Machaerium triste*, e42-*Erythroxylum pelleterianum*, e43-*Allophylus edulis*, e44-*Bauhinia forticata*, e45-*Picramnia glazioviana*, e46-*Brosimum guianensis*.

Figura 13 – Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica, representando a distribuição de 46 espécies e cinco variáveis ambientais amostradas na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa-MG. As variáveis t, SB, UMIDADE, IAF e DEC correspondem, respectivamente, a transmissividade da PAR, soma de bases, umidade no solo, índice de área foliar e declividade do terreno.

locais com baixa transmissividade da PAR (alto IAF). Essas espécies estão entre as de maior RNT nos locais 5 e 6, que apresentam dossel fechado com altos valores de IAF.

O grupo de espécies formado por *Allophylus edulis*, *Euterpe edulis*, *Nectandra* sp. 2 e *Prunus sellowii* é fortemente influenciado pela soma de bases e umidade do solo. O prolongamento, no sentido oposto, dos vetores dessas variáveis ambientais, revela um grupo formado por *Machaerium triste*, *Myrcia* sp. 2, *Apuleia leiocarpa*, *Vismia guianensis*, *Siparuna guianensis* e *Psychotria sessilis*, constituindo-se de espécies que se desenvolvem em áreas com baixo teor de água no solo. Podem juntar-se a este grupo as espécies *Landenbergia hexandra*, *Brosimum guianensis*, *Copaifera langsdorffii*, *Zanthoxylum riedelianum*, *Anadenanthera colubrina*, *Garcinia gardneriana* e *Myrcia* sp. 1, pois estas apresentam relação mais consistente com a declividade do terreno, que se correlaciona negativamente com a umidade do solo.

A determinação das exigências ambientais das espécies florestais pode ainda, ser complementada por informações da literatura. Por exemplo, a forte relação positiva com o teor de umidade do solo, no caso de *Euterpe edulis*, está de acordo com LORENZI (1992) e REITZ (1988), que a consideram espécie seletiva higrófila. Por outro lado, a preferência da *Apuleia leiocarpa* por solos mais secos está de acordo com CARVALHO (1994), que a considera espécie de terreno alto, que usualmente apresenta baixo teor de água no solo.

A análise da interação ambiente x espécie feita através desse tipo de diagrama é de extrema importância para estudos que propõe classificações ecológicas de espécies florestais, como a realizada por FERNANDES (1998), que classificou as espécies quanto a fertilidade e umidade do solo, topografia, estratégia de crescimento e grupo ecofisiológico.

4.4. Radiação solar e as espécies florestais

Os melhores coeficientes de correlação entre radiação solar e RNT das espécies estudadas foram obtidos quando se utilizaram dados de PAR medidos no final da primavera e começo do verão (novembro/dezembro). A

melhor correlação obtida para a época novembro/dezembro, inclusive em relação ao valor médio anual da PAR, deve-se, possivelmente, ao fato de tratar-se de um período do ano de maior produção de biomassa no sub-bosque, pois a transmissividade do dossel é alta e, com o início do período chuvoso, o solo apresenta valores elevados de umidade. Entre as 46 espécies estudadas, 14 apresentaram coeficientes de correlação significativos em relação a PAR e 11 em relação ao IAF (Quadro 4).

As espécies que apresentaram maior correlação com a transmissividade da PAR caracterizam-se por serem intolerantes à sombra, e, por outro lado, as espécies que apresentaram os valores mais negativos são espécies exigentes em sombra. Com exceção do local 4, *Machaerium nyctitans* está presente entre as espécies de maior RNT nos locais com dossel mais aberto (locais 1, 2, 8 e 9), o que explica a elevada correlação positiva com a transmissividade da PAR. No lado oposto encontra-se a espécie Indeterminada 1 que apresentou a maior correlação negativa com a transmissividade, pois o levantamento fitossociológico registrou sua ocorrência em sítios com transmissividade baixa (locais 3 e 5).

Em relação ao IAF, o comportamento da correlação, como esperado, foi o inverso do observado na transmissividade. *Vitex sellowiana*, *Machaerium nyctitans* e *Erythroxylum pelleterianum* apresentam os valores mais negativos. As espécies tolerantes à sombra que apresentaram a maior correlação positiva com o IAF foram: Indeterminada 1, *Psychotria conjungens* e *Matayba elaeagnoides*. É interessante observar que as espécies que apresentam maior correlação positiva da transmissividade, não, necessariamente, apresentam maior correlação com o IAF, pois, como discutido no capítulo I, a transmissividade não é controlada somente pelo IAF.

O estabelecimento de correlações entre radiação solar ou IAF com a regeneração natural permite caracterizar mais adequadamente as espécies quanto a suas exigências lumínicas. *Croton floribundus*, *Siparuna guianensis* e *Sorocea guilleminiana*, por exemplo, são espécies típicas de sub-bosque, não apresentando praticamente nenhum indivíduo no estrato superior da floresta. Entretanto, *Croton floribundus* só ocorre em dossel muito aberto, ou seja, é

Quadro 4- Coeficientes de correlação de Pearson, das relações entre RNT da espécie e valores de PAR e IAF (novembro/dezembro e anual) estudados na Estação Experimental Mata do Paraíso, em Viçosa, MG (os valores em negrito são significativos pelo teste t a 5%)

Espécie	PAR (nov/dez)	IAF (nov/dez)	PAR (anual)	IAF (anual)
Machaerium nycitans	0,83	-0,66	0,52	-0,58
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	0,82	-0,66	0,75	-0,66
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	0,75	-0,49	0,59	-0,52
<i>Croton floribundus</i>	0,73	-0,57	0,56	-0,60
<i>Guatteria sellowiana</i>	0,73	-0,61	0,49	-0,66
<i>Casearia aculeata</i>	0,66	-0,32	0,19	-0,31
<i>Bauhinia forticata</i>	0,61	-0,59	0,69	-0,71
<i>Rollinia sylvatica</i>	0,58	-0,45	0,35	-0,50
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	0,46	-0,12	0,10	0,03
<i>Vitex sellowiana</i>	0,45	-0,70	0,46	-0,67
<i>Anadenanthera peregrina</i>	0,41	0,02	0,16	0,04
<i>Jacaranda macrantha</i>	0,36	-0,07	0,02	-0,04
<i>Vismia guianensis</i>	0,30	-0,59	0,49	-0,67
<i>Siparuna guianensis</i>	0,30	-0,31	0,30	-0,31
<i>Citharexylum sp.</i>	0,27	0,10	0,09	0,09
<i>Dalbergia nigra</i>	0,18	-0,21	-0,10	-0,03
<i>Machaerium triste</i>	0,11	-0,61	0,64	-0,71
<i>Myrcia sp. 2</i>	0,07	0,01	0,33	-0,25
<i>Luehea grandiflora</i>	0,07	-0,22	-0,02	0,11
<i>Machaerium stipitatum</i>	0,06	-0,13	-0,22	0,17
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0,03	-0,12	0,06	-0,30
<i>Myrcia sp. 1</i>	-0,03	-0,11	0,19	-0,24
<i>Psychotria sessilis</i>	-0,09	0,16	-0,27	0,34
<i>Copaifera langsdorffii</i>	-0,26	0,07	0,07	-0,03
<i>Inga edulis</i>	-0,27	0,26	-0,34	0,27
<i>Nectandra sp. 1</i>	-0,27	-0,03	-0,34	0,00
<i>Picramnia glazioviana</i>	-0,28	0,37	-0,32	0,30
<i>Nectandra oppositifolia</i>	-0,29	0,36	-0,47	0,25
<i>Swartzia myrtifolia</i>	-0,29	0,40	-0,33	0,32
<i>Matayba elaeagnoides</i>	-0,30	0,64	-0,35	0,40
<i>Anadenanthera colubrina</i>	-0,31	0,21	0,14	0,00
<i>Brosimum guianensis</i>	-0,33	0,02	-0,08	-0,19
<i>Allophylus edulis</i>	-0,34	0,17	-0,27	0,36
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	-0,36	0,05	0,03	-0,27
<i>Prunus sellowii</i>	-0,37	0,30	-0,41	0,42
<i>Psychotria conjungens</i>	-0,38	0,65	-0,49	0,48
<i>Nectandra sp. 2</i>	-0,42	0,12	-0,25	0,38
<i>Euterpe edulis</i>	-0,43	0,24	-0,36	0,42
<i>Landenbergia hexandra</i>	-0,45	0,53	-0,39	0,30
<i>Guarea macrophylla</i>	-0,50	0,41	-0,48	0,49
<i>Maprounea sp.</i>	-0,51	0,20	-0,15	0,37
<i>Garcinia gardneriana</i>	-0,53	0,47	-0,10	0,23
<i>Sorocea guillemiana</i>	-0,53	0,29	-0,27	0,28
<i>Mollinedia micrantha</i>	-0,57	0,34	-0,41	0,20
<i>Cupania sp.</i>	-0,72	0,49	-0,33	0,36
Indeterminada 1	-0,84	0,73	-0,74	0,69

intolerante à sombra; *Sorocea guillemianiana* ocorre sob dossel fechado e *Siparuna guianensis* parece ser espécie sem preferência bem definida quanto ao regime de radiação solar, visto que ocorre em quase todos os sítios estudados.

A boa correlação entre RNT e a transmissividade da PAR possibilitou o agrupamento das espécies estudadas em função da transmissividade da PAR medida em novembro/dezembro. Foram gerados cinco grupos, com transmissividade média de 10,6; 8,7; 6,9; 5,0 e 4,0 % no final da primavera e início do verão. O agrupamento envolveu desde o grupo A, formado por espécies intolerantes à sombra, até o grupo E, formado por espécies tolerantes à sombra, pelo menos na fase juvenil, para aquelas espécies que atingem o estrato superior do dossel na fase adulta (Quadro 5).

É interessante observar que o resultado do agrupamento está em concordância com algumas curvas de resposta da fotossíntese líquida em função da disponibilidade energética, obtidas no capítulo III. O estudo ecofisiológico mostrou que *Croton floribundus* (Grupo A) e *Bauhinia forticata* (Grupo B) apresentam valores elevados de assimilação de CO₂ e, *Sorocea guillemianiana* (Grupo D) e *Psychotria sessilis* (Grupo C), baixos valores.

Com o objetivo de avaliar o agrupamento realizado, foram consultadas quatro classificações ecofisiológicas de espécies florestais citadas na literatura: a primeira utilizou dados de espécies adultas avaliadas nos mesmos locais do presente estudo (FERNANDES, 1998), a segunda, realizada em fragmentos florestais dentro do próprio Município de Viçosa, além de Cajuri, MG (ALMEIDA JUNIOR, 1999), a terceira é resultado de estudo fitossociológico em Juiz de Fora, MG (ALMEIDA, 1996) e, a última, realizada também em floresta sob o domínio da Floresta Atlântica em Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG (FERREIRA, 1997). Nos trabalhos consultados foi encontrada pelo menos uma classificação ecofisiológica para 29 das 46 espécies estudadas no presente trabalho (Quadro 6).

Das espécies pertencentes ao grupo A, *Croton floribundus* e *Machaerium nyctitans* são classificadas como pioneiras (PI) pelos autores citados anteriormente. Entretanto, a espécie *Sparattosperma leucanthum* é classificada como secundária inicial (SI) por FERREIRA (1997)

Quadro 5- Agrupamento não hierárquico e grupo ecofisiológico das espécies estudadas na Estação Experimental Mata do Paraíso, em função da transmissividade da PAR (t), no período novembro/dezembro, em Viçosa, MG

Espécie	t (%)	Grupo	Grupo ecofisiológico*
Croton floribundus	12,1	A	PI
<i>Guatteria sellowiana</i>	10,5	A	PI
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	10,0	A	PI
<i>Machaerium nyctitans</i>	9,9	A	PI
<i>Anadenanthera peregrina</i>	9,5	B	SI 1
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	9,4	B	SI 1
<i>Rollinia sylvatica</i>	9,4	B	SI 1
<i>Bauhinia forticata</i>	9,1	B	SI 1
<i>Casearia aculeata</i>	8,5	B	SI 1
<i>Citharexylum sp.</i>	8,3	B	SI 1
<i>Vitex sellowiana</i>	8,3	B	SI 1
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	8,1	B	SI 1
<i>Jacaranda macrantha</i>	8,0	B	SI 1
<i>Vismia guianensis</i>	7,8	C	SI 2
<i>Dalbergia nigra</i>	7,7	C	SI 2
<i>Siparuna guianensis</i>	7,2	C	SI 2
<i>Machaerium triste</i>	7,0	C	SI 2
<i>Luehea grandiflora</i>	7,0	C	SI 2
<i>Machaerium stipitatum</i>	6,8	C	SI 2
<i>Myrcia sp. 2</i>	6,6	C	SI 2
<i>Apuleia leiocarpa</i>	6,6	C	SI 2
<i>Myrcia sp. 1</i>	6,4	C	SI 2
<i>Psychotria sessilis</i>	6,3	C	SI 2
<i>Nectandra oppositifolia</i>	5,7	D	ST 1
<i>Anadenanthera colubrina</i>	5,4	D	ST 1
<i>Maprounea sp.</i>	5,4	D	ST 1
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	5,2	D	ST 1
<i>Nectandra sp. 1</i>	5,1	D	ST 1
<i>Prunus sellowii</i>	5,0	D	ST 1
<i>Copaifera langsdorffii</i>	5,0	D	ST 1
<i>Psychotria conjungens</i>	5,0	D	ST 1
<i>Brosimum guianensis</i>	4,9	D	ST 1
<i>Garcinia gardneriana</i>	4,7	D	ST 1
<i>Inga edulis</i>	4,7	D	ST 1
<i>Matayba elaeagnoides</i>	4,6	D	ST 1
<i>Mollinedia micrantha</i>	4,6	D	ST 1
<i>Sorocea guilleminiana</i>	4,4	E	ST 2
<i>Cupania sp.</i>	4,4	E	ST 2
<i>Indeterminada 1</i>	4,3	E	ST 2
<i>Picramnia glazioviana</i>	4,2	E	ST 2
<i>Landenbergia hexandra</i>	4,1	E	ST 2
<i>Swartzia myrtifolia</i>	4,1	E	ST 2
<i>Nectandra sp. 2</i>	4,1	E	ST 2
<i>Guarea macrophylla</i>	3,7	E	ST 2
<i>Allophylus edulis</i>	3,4	E	ST 2
	3,2	E	ST 2
Euterpe edulis			

* - PI – espécies pioneiras; SI – secundária inicial; ST – secundária tardia.

e por FERNANDES (1998) e como secundária tardia (ST) por ALMEIDA JÚNIOR (1999). No atual estudo esta espécie ocorreu apenas no local 4 entre as dez de maior RNT, onde a transmissividade é alta no período de novembro/dezembro, o que deve ter influenciado o resultado obtido. A espécie *Guatteria sellowiana* também foi classificada neste grupo e, apesar de não ser encontrada nas classificações consultadas, o estudo ecofisiológico (capítulo III) mostrou seu elevado potencial de fixação de carbono, típico de espécies intolerantes à sombra. Com base nos resultados do presente estudo, todas as espécies do grupo A foram classificadas como pioneiras em razão de ocorrerem em locais com elevada transmissividade da PAR (Quadro 5).

As espécies do grupo B são classificadas como SI ou, em alguns casos, como PI, enquanto as espécies do grupo C, em sua maioria, são classificadas como SI, e algumas vezes como ST, pelos autores consultados (Quadro 6). No presente estudo, as espécies dos grupos B e C foram classificadas, respectivamente, como secundárias iniciais 1 e 2 (SI-1 e SI-2), considerando que as espécies do grupo SI-1 ocorrem em locais com maior transmissividade da PAR em relação as espécies do grupo SI-2. Essa separação em SI-1 e SI-2 pode se constituir em importante diferencial do agrupamento proposto, em relação à classificação existente, facilitando a escolha de espécies para comporem plantios mistos visando a recomposição da vegetação ou para estabelecimento de planos de manejo.

A análise de agrupamento também permitiu separar as espécies típicas de sub-bosque fechado (tolerantes ao sombreamento) em dois grupos. As espécies dos grupos D e E foram, respectivamente, classificadas como secundárias tardias 1 e 2 (ST-1 e ST-2). O grupo D é constituído de várias espécies classificadas com SI (Quadro 6), mas *Nectandra oppositifolia*, *Copaifera langsdorffii* e *Brosimum guianensis* são classificadas como ST, por pelo menos um autor. Além disso, *Prunus sellowii* e *Inga edulis* classificadas como SI, respectivamente, por FERNANDES (1998) e ALMEIDA (1996), parecem melhor classificadas pelo agrupamento proposto, em local com baixa transmissividade da PAR (5,0%), pois, em todo o fragmento estudado, só ocorreram sob dossel fechado.

Quadro 6- Classificação ecofisiológica de espécies florestais apresentada por ALMEIDA (1997), FERREIRA (1997), FERNANDES (1998) e ALMEIDA JÚNIOR (1999)*.

Espécie	ALMEIDA (1996)	FERREIRA (1997)	FERNANDES (1998)	ALMEIDA JÚNIOR (1999)
<i>Allophylus edulis</i>	SI**	SI	SI/ST	SI
<i>Anadenanthera colubrina</i>	SI	SI	PI/SI	-
<i>Anadenanthera peregrina</i>	SI	SI	PI/SI	SI
<i>Apuleia leiocarpa</i>	-	-	SI/ST	SI
<i>Bauhinia forficata</i>	SI	-	SI	-
<i>Brosimum guianensis</i>	SI	-	ST	-
<i>Copaifera langsdorffii</i>	-	ST	-	ST
<i>Croton floribundus</i>	-	PI	-	PI
<i>Cupania sp.</i>	-	-	SI	-
<i>Dalbergia nigra</i>	-	SI	SI/ST	ST
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	-	-	SI	SI
<i>Euterpe edulis</i>	-	-	C	ST
<i>Guarea macrophylla</i>	ST	-	-	-
<i>Inga edulis</i>	SI	-	-	-
<i>Jacaranda macrantha</i>	SI	SI	SI	PI
<i>Landenbergia hexandra</i>	-	ST	SI	-
<i>Luehea grandiflora</i>	-	-	SI	SI
<i>Machaerium nyctitans</i>	PI	PI	PI/SI	PI
<i>Machaerium triste</i>	-	SI	-	-
<i>Nectandra oppositifolia</i>	ST	-	PI/SI	-
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	-	PI	PI/SI	PI
<i>Prunus sellowii</i>	-	-	SI	-
<i>Psychotria sessilis</i>	ST	ST	PI/SI	SI
<i>Rollinia sylvatica</i>	SI	-	SI	SI
<i>Siparuna guianensis</i>	-	SI	SI	SI
<i>Sorocea guilleminiana</i>	SI	-	SI	-
<i>Sparattosperma leucanthum</i>	-	SI	SI	ST
<i>Vismia guianensis</i>	PI	-	-	-
<i>Vitex sellowiana</i>	-	-	SI	SI

* - foram levantadas informações somente sobre as espécies estudadas no presente estudo sobre interação ambiente x vegetação.

** - PI – espécies pioneiras; SI – secundária inicial; ST – secundária tardia; C - clímax

No grupo E, correspondente ao grupo ST-2, foram alocadas as espécies que ocorrem sob transmissividade da PAR muito baixa. Em relação aos demais trabalhos citados no Quadro 6, *Landenbergia hexandra*, *Guarea macrophylla*, *Allophylus edulis* e *Euterpe edulis* são classificadas como ST por pelo menos um autor. *Sorocea guilleminiana*, apesar de classificada como SI por FERNANDES (1998), parece ser típica de sub-bosque fechado, o mesmo acontecendo com *Picramnia glazioviana*.

A radiação solar não é o único fator ambiental que determina a distribuição espacial de uma espécie no interior da floresta. Entretanto, quando se trata de uma floresta secundária, a disponibilidade energética é uma das principais, senão a principal variável que influencia a ocorrência das espécies. A caracterização da disponibilidade energética no interior da floresta pode ser feita através da análise da abertura do dossel (MEIRA NETO, 1997; FERNANDES, 1998 e MARTINS, 1999). Todavia, o uso de dados quantitativos de radiação solar na faixa visível do espectro-eletromagnético (0,4 a 0,7 μm) permite comparar trabalhos realizados em diferentes locais. Vale destacar que novos estudos de campo e informações adicionais encontradas na literatura podem sugerir a reclassificação de algumas espécies estudadas.

5. CONCLUSÕES

- As espécies que se destacaram, apresentando RNT acima de 10%, em pelo menos um dos locais estudados, foram: *Anadenanthera peregrina*, *Brosimum guianensis*, *Machaerium nyctitans*, *Piptadenia gonoacantha*, *Psychotria sessilis* e *Siparuna guianensis*.
- A diversidade florística observada no presente estudo, calculada pelo Índice de Shannon e Weaver (H'), é semelhante a encontrada em outros trabalhos realizados na Floresta Atlântica, apresentando, no entanto, variações entre os dez locais. Foi possível observar que quanto menor o valor de H' , maior o percentual total das dez espécies de maior RNT. No local 9, menor valor de H' , as dez espécies de maior RNT perfizeram 78,8% do total, enquanto no local 7, maior valor de H' , as dez espécies de maior RNT perfizeram apenas 55,8% do total.
- A análise de correspondência canônica indicou a existência de um grupo de locais influenciados pela transmissividade da PAR (locais 1, 2, 8 e 9); pela declividade (locais 3, 4, 7 e 10) e pela soma de bases, umidade do solo e IAF (locais 5 e 6).

- A análise de correspondência canônica, permitiu separar as espécies em função de suas exigências ecológicas, mostrando-se uma ferramenta útil no estudo da interação ambiente x vegetação.
- Os valores de correlação obtidos entre RNT e a transmissividade da PAR e IAF mostram a importância dessas variáveis ambientais em estudos de distribuição de espécies em floresta secundária. *Machaerium nyctitans*, *Erythroxylum pelleterianum*, *Sparattosperma leucanthum*, *Croton floribundus*, *Guatteria sellowiana*, *Casearia aculeata*, *Bauhinia forticata* e *Rollinia Sylvatica* apresentaram os maiores valores positivos de correlação com a transmissividade da PAR, mostrando-se intolerantes à sombra, enquanto, *Maprounea sp.*, *Garcinia gardneriana*, *Sorocea guilleminiana*, *Mollinedia micrantha*, *Cupania sp* e Indeterminada 1 apresentaram os maiores valores negativos de correlação com a transmissividade, sendo, assim, consideradas tolerantes à sombra.
- Utilizando dados de RNT e de transmissividade da PAR foi possível agrupar as espécies em função do regime característico da radiação solar no sub-bosque. No presente estudo foram gerados cinco grupos de espécies, que ocorrem, preferencialmente, em locais que apresentam transmissividade média da PAR de 10,6; 8,7; 6,9; 5,0 e 4,0%, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D.S. **Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Atlântica no Município de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 74p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- ALMEIDA JÚNIOR, J.S. **Florística e fitossociologia de fragmentos da floresta estacional semidecidual, Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 148p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- ANDRADE, P.M. **Estrutura do estrato herbáceo de trechos da Reserva Biológica Mata do Jambreiro, Nova Lima, MG**. Campinas, SP: UNICAMP, 1992. 90p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- ARRIAGARA, L. Gap dynamics of a tropical cloud forest in Northeastern Mexico. **Biotropica**, v. 20, n. 3, p. 178-184, 1988.
- AZEVEDO, J.C. **Relações físico-hídricas em solo de terraço e de meia encosta de Viçosa, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1976. 136p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1976.

- BERNACCI, L.C. **Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta no Município de Campinas, com ênfase nos componentes herbáceo e arbustivo**. Campinas, SP: UNICAMP, 1992. 146p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- BROKAW, N.V.L. Gap-phase regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest. **Journal of Ecology**, v. 75, p. 9-19, 1987.
- BROWER, J.E., ZAR, J.H. **Field and laboratory methods for general ecology**. Dudaque: Wm. C. Brow, 1977. 226p.
- BROWN, N. A gradient of seedling growth from the centre of a tropical rain forest canopy gap. **Forest Ecology and Management**, v. 82, p. 239-244, 1996.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light successional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 140-42, 1965.
- CALEGÁRIO, N. **Parâmetros florísticos e fitossociológicos da regeneração natural de espécies arbóreas nativas no sub-bosque de povoamentos de *Eucalyptus*, no Município de Belo Oriente, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- CARVALHO, A. **Caracterização mineralógica, química, física de solo de duas unidades de paisagem do planalto de Viçosa, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1989. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras – recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF/SPI, 1994. 640p.
- CARMEAN, W.H. Soil survey refinements for predicting black oak site quality in southeastern Ohio. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 31, n. 6, p. 805-810, 1967.
- COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1990. 264p.

- CROW, T.R. A rainforest chronicle: 30-year record of change in structure and composition at El Verde, Puerto Rico. **Biotropica**, v. 12, n. 1, p. 42-55, 1980.
- CUNHA, G.M. **Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo álico, de encostas, sob duas coberturas: café e mata natural**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- CURTIS, J.T., McINSTOSCH, R.P. An upland forest continuum in the prairies forest border region of Wisconsin. **Ecology**, v. 32, n. 4, p. 478-96, 1957.
- FERNANDES, H.A.C. **Dinâmica e distribuição de espécies arbóreas em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 145p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- FERREIRA, R.L.C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 208p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- FINOL, V.H. Nuevos parametros a considerar-se en el analisis estructural de las selvas virgenes tropicales. **Revista Venezolana**, v. 14, n. 21, p. 29-42, 1971.
- GALVÃO, F. Análise da vegetação arbórea. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1989, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: FUPEF, p.108-116, 1989.
- JARDIM, F.C.S. **Estrutura da floresta equatorial úmida da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA**. Manaus, AM: INPA, 1985. 198p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia, 1985.
- JOSE, S., SREEPATHY, A., MOHAN KUMAR, B. et al. Structural, floristic and edaphic attributes of the grassland-shola forests of Eravikulam in peninsular India. **Forest Ecology and Management**, v. 65, p. 279-91, 1996.

- LAMPRECHT, H. Ensayo sobre estructura florística de la parte sur-oriental del bosque universitario El Maimital Estado Barinos. **Revista Forestal Venezolana**, v.7, n. 10, p. 77-119, 1964.
- LANG, G.E., KNIGHT, D.H. Tree growth, mortality, recruitment, and canopy gap formation during a 10-year period in a tropical moist forest. **Ecology**, v. 64, n. 5, p. 1075-80, 1983.
- LEAL FILHO, N. **Caracterização do banco de sementes de três estádios de uma sucessão vegetal na Zona da Mata de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 116p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- LOPES, W.P. **Florística e fitossociologia de um trecho de vegetação arbórea no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 72p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 532p.
- MARISCAL FLORES, E.J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 166p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- MARTINS, S.V. **Aspectos da dinâmica de clareiras em floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP**. Campinas, SP: UNICAMP, 1999. 233p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- MEIRA NETO, J.A.A. **Estudos florísticos, estruturais e ambientais nos estratos arbóreo e herbáceo-arbustivo de uma floresta estacional semidecidual**. Campinas, SP: UNICAMP, 1997. 152p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- McCUNE, B., MEFFORD, M.J. **PC-ORD for Windows: multivariate analysis of ecological data**. Oregon: MJM Software Design, 1997.

- NICOTRA, A.B., CHAZDON, R.L., IRIARTE, S.V.B. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. **Ecology**, v. 80, n. 6, p.1908-1926, 1999.
- OKOJIE, J.A., BORDERS, B.E., BAILEY, R.L. Forest composition and structure during a 27-year period of observation in an untreated secondary lowland rainforest in southwestern Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v. 24, p. 247-61, 1988.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 64-72, 1994.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., CURI, N., VILELA, E.A. et al. Tree species distribution along soil catenas in a riverside semideciduous forest in southeastern Brazil. **Flora**, v. 191, p. 971-88, 1996.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., VILELA, E.A., CARVALHO, D.A. et al. Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeastern. **Flora**, v. 89, p. 287-305, 1994a.
- OLIVEIRA-FILHO, A.T., VILELA, E.A., CARVALHO, D.A. et al. Effects of soil and topography on distribution of tree species in a tropical riverine forest in South-Eastern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 10, p. 483-508, 1994b.
- PEREIRA, R.A. **Mapeamento e caracterização de fragmentos de vegetação arbórea e alocação de áreas preferenciais para sua interligação no Município de Viçosa, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 236p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- PIÑA-RODRIGUES, F.C., COSTA, L.C., REIS, A. Estratégias de estabelecimento de espécies arbóreas e o manejo de florestas tropicais. *In*: Congresso Florestal Brasileiro, 6, Campos de Jordão, 1990. **Anais ...**, Campos do Jordão: SBS, 679-684p, 1990.

- SALDARRIAGA, J.G., WEST, D.C., THARP, M.L. et al. Long term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. **Journal of Ecology**, v.76, p. 936-958, 1986.
- SANTOS, A., RIBEIRO, M.N.G. Nitrogênio na água do solo do ecossistema campina amazônica. **Acta Amazônica**, v. 5, p. 173-182, 1975.
- SILVA, A.F. **Composição florística e estrutura fitossociológica de estrato arbóreo da Reserva Florestal Prof. Augusto Ruschi**. Campinas, SP: UNICAMP, 1985. 163p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 1985.
- SILVA, J.G.M. **Relações solo-vegetação como instrumento para o manejo da vegetação do cerrado no Triângulo Mineiro**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 136p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- SILVA JUNIOR, M.C. **Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e sua relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG**. . Viçosa, MG: UFV, 1984. 130p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- SILVA, J.N.M., CARVALHO, J.O.P., LOPES, J.C.A. et al. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13-year after logging. **Forest Ecology and Management**, v.71, p. 267-274, 1995.
- SINGH, L., SINGH, J.S. Species structure, dry matter dynamics and carbon flux of a dry tropical forest in India. **Annals of Botany**, v. 68, p. 263-273, 1991.
- SMITH, M.L. Community and edaphic analysis of upland northern hardwood communities, central Vermont, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 72, p. 235-49, 1995.
- SOUZA, A.L., MEIRA NETO, J.A.A., SCHETTINO, S. **Relatório final – avaliação fitossociológica. Parte I – Núcleo de Caravelas (BA). Parte II – Núcleo de Pedro Canário (ES)**. Viçosa, MG: Convênio Bahia-Sul Celulose S.A.; Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, 1996. 287p.

- SWAINE, M.D., HALL, J.B. Early succession on cleared forest land in Ghana. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 601-627, 1983.
- TABARELLI, M., VILLANI, J.P., MANTOVANI, W. Estrutura, composição florística e dinamismo de uma floresta secundária na encosta atlântica, São Paulo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, 1993, Curitiba, **Anais ...** Curitiba: SBS/SBEF, p.340-343, 1993.
- TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, n. 6, p. 1167-79, 1986.
- VAN DER MEER, P.J., STERCK, F.J., BONGERS, F. Tree seedling performance in canopy gaps in a tropical forest at Nouragues, French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, v. 14, n. 2, p. 119-137, 1998.
- VÁZQUEZ-YANES, C., SMITH, H. Phytochrome control of seed germination in the tropical rainforest pioneer trees *Cecropia obtusifolia* and *Piper auritum* and its ecological significance. **New Phytologist**, v. 92, p. 447-485, 1982.
- VOLPATO, M.M.L. **Regeneração natural em uma floresta secundária no domínio da Mata Atlântica: uma análise fitossociológica**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- WHITMORE, T.C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, v. 70, n. 3, p. 536-8, 1983.
- YOSHINO, M.M. **Climate in a small area: an introduction to local meteorology**. Tokyo: University of Tokyo Press, 1975. 549p.