

**MODIFICAÇÕES MICROCLIMÁTICAS EM  
SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Grevillea robusta*  
A. CUNN. EX. R. BR. NA REGIÃO NOROESTE DO  
PARANÁ**

**VANDERLEY PORFÍRIO DA SILVA**  
Engenheiro Agrônomo  
EMATER-Paraná

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> ANA RITA R. VIEIRA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, para a obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas, Núcleo Temático: Sistemas de Produção Agroecológicos.

Florianópolis, SC  
Novembro de 1998

**Curso de Pós-Graduação ( Mestrado) em Agroecossistemas  
Centro de Ciências Agrárias  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis (SC), Brasil**

**Dissertação**

Submetida por *Vanderley Porfírio da Silva*  
como um dos requisitos para obtenção do Grau de  
**MESTRE EM AGROECOSSISTEMAS,**  
Núcleo Temático: Sistemas de Produção Agroecológicos

Aprovada em 17 / 11 / 98.



Dr<sup>a</sup> Ana Rita Rodrigues Vieira - Orientadora



Dr. Paulo Emílio Lovato-Coordenador

COMISSÃO EXAMINADORA:



Dr. Richard Paul M. Miller  
CCA - UFSC



Dr. Paulo Henrique Caramori  
IAPAR



Dr. Luis Carlos Pinheiro Machado Filho  
CCA - UFSC



Ph.D. João Amilton Baggio  
EMBRAPA - CNPFlorestas

Às amadas Luciane e Fernanda,  
estímulos para a ida,  
e também para a volta!  
**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a consecução deste trabalho, especialmente,

à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Rita Rodrigues Vieira, Prof<sup>a</sup> Adjunta do Departamento de Fitotecnia do CCA/UFSC, pela segura orientação, incentivo e confiança em mim depositada para a execução deste trabalho;

aos Pesquisadores: Dr. Paulo Henrique Caramori, do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), e, Dr. Amilton João Baggio, do Centro Nacional de Pesquisa em Florestas da EMBRAPA, pela orientação e apoio indiscutíveis;

ao Prof<sup>o</sup> Dr. Paul Richard M. Miller, pelas sugestões concedidas e disposição em avaliar nosso trabalho;

ao Prof<sup>o</sup> Dr. Luis Carlos Pinheiro Machado Filho, pela disposição em avaliar nosso trabalho;

aos professores do Curso de Mestrado em Agroecossistemas do CCA/UFSC, pelos ensinamentos e sempre claras predisposições para a construção de um mundo melhor;

ao Dr. Jesus Mardeen dos Santos, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pela pronta disponibilização dos globotermômetros;

aos Srs. Atílio Pinheiro e Francisco Pinheiro, proprietários da área onde realizamos o trabalho e que sempre nos cederam o espaço prazerosamente;

aos colegas de Curso, com quem somamos a esperança, desejos e alegrias, e, dividimos as angústias da trajetória;

ao amigo e irmão Volnei, por seu interesse e auxílio durante este trabalho;

aos amigos Anízio e Rosângela, pelo apoio, companhia e abrigo, em nosso trabalho de campo;

aos colegas da EMATER-Paraná em Tapejara, João Barbi, Antonio de Pádua e Luis, pelos préstimos durante o trabalho no campo;

aos funcionários dos laboratórios de ecofisiologia vegetal e análises de solos do IAPAR, Ovídio e Flori, pelo auxílio e competente serviço;

À Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-Paraná), pela oportunidade de realização deste Curso.

Às instituições que se fizeram parceiras para a viabilização da execução deste trabalho: UFSC, EMATER-Paraná, IAPAR e CNPF/EMBRAPA pelos recursos e equipamentos disponibilizados.

# SUMÁRIO

|  | pag. |
|--|------|
| LISTA DE TABELAS.....  | vi   |
| LISTA DE FIGURAS.....  | viii |
| RESUMO .....   | xii  |
| SUMMARY .....  | xv   |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 1    |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 3    |
| 2.1. Sistemas agroflorestais.....  | 3    |
| 2.2. Sistemas silvipastoris.....   | 5    |
| 2.2.1. Sistemas silvipastoris e microclima.....                                | 8    |
| 2.2.1.1. Radiação solar incidente.....   | 13   |
| 2.2.1.2. Temperatura do ar.....  | 15   |
| 2.2.1.3. Umidade do ar e déficit de vapor d'água (DPV).....                    | 18   |
| 2.2.1.4. Ventos.....   | 20   |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....  | 23   |
| 3.1. Local e características da área do estudo.....                            | 23   |
| 3.3.1. Solos.....  | 23   |
| 3.2. Informações climáticas regionais.....                                     | 25   |
| 3.3. Estabelecimento dos transectos.....                                       | 25   |
| 3.4. Coleta de dados/Operacionalização.....                                    | 26   |
| 3.4.1. Variáveis do ambiente.....  | 26   |
| 3.4.2. Variáveis da pastagem.....  | 30   |
| 3.4.3. Estimativa de índices de conforto térmico.....                          | 31   |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 33   |
| 4.1. Radiação solar global (Rg) e sombreamento.....                            | 33   |
| 4.1.1. O sombreamento.....   | 36   |
| 4.2. Balanço de energia.....   | 41   |
| 4.2.1. Fluxo de calor para o solo (S) .....                                    | 47   |
| 4.3. Velocidade e direção dos ventos.....                                      | 50   |
| 4.4. A temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor<br>d'água (DPV) ..... | 53   |
| 4.4.1. Dia 05/07/97.....   | 53   |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4.2. Dia 22/12/97.....   | 63  |
| 4.5. A pressão atual de vapor d'água (ea) .....  | 72  |
| 4.6. Umidade no solo.....  | 78  |
| 4.6.1. A fração de água disponível no solo .....   | 78  |
| 4.7. Atributos morfológicos da pastagem.....   | 80  |
| 4.7.1. Comprimento e largura médios de lâmina foliar .....   | 80  |
| 4.7.2. Parâmetros da produção.....   | 83  |
| 4.7.2.1. Área específica de folha .....  | 83  |
| 4.7.2.2. Índice de área foliar .....   | 83  |
| 4.7.2.3. Razão de área foliar.....   | 85  |
| 4.8. A produção da pastagem.....   | 87  |
| 4.8.1. Produção de matéria seca e teor de proteína bruta.....  | 87  |
| 4.8.2. Produção de matéria seca (MS) e radiação<br>fotossinteticamente ativa.....  | 93  |
| 4.9. O conforto térmico para os animais.....   | 101 |
| 5. CONCLUSÕES.....   | 106 |
| 6. SUGESTÕES.....  | 108 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 110 |
| 8. ANEXOS.....   | 119 |
| Anexo 1- <i>Quadro resumo dos ventos</i> .....   | 120 |
| Anexo 2- <i>Perfil de velocidade dos ventos</i> . .....  | 121 |
| Anexo 3 – <i>Resumo das análises de variância dos dados referentes<br/>        ao comprimento e largura médios de lâmina foliar</i> .....                          | 122 |
| Anexo 4 – <i>Resumo das análises de variância dos dados de área<br/>        foliar específica , índice de área foliar e razão de<br/>        área foliar</i> ..... | 123 |
| Anexo 5 – <i>Resumo da análise de variância dos dados de proteína<br/>        bruta na pastagem</i> .....  | 124 |
| Anexo 6 – <i>Locação na área não arborizada</i> .....  | 125 |
| Anexo 7 – <i>Locações do instrumental na área arborizada</i> .....   | 126 |
| Anexo 8 – <i>Aspecto do “encontro” entre componentes do sistema</i> .....  | 127 |
| Anexo 9 – <i>Aspecto do comportamento do gado no sistema<br/>        silvipastoril</i> .....   | 128 |

**Lista de Tabelas**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> – Alguns sistemas silvipastoris em diferentes regiões climáticas....  | 6  |
| <b>Tabela 2</b> - Dados relativos às características fisiográficas da área do estudo.....   | 23 |
| <b>Tabela 3</b> - Fluxos componentes do balanço de energia para as condições da pastagem não arborizada ( <i>PANA</i> ) e em pastagem arborizada no sistema de renques curvilíneos (SSPc).....  | 44 |
| <b>Tabela 4</b> - Relações entre componentes do balanço de energia para as condições de pastagem não arborizada ( <i>PANA</i> ) e em pastagem arborizada.....   | 44 |
| <b>Tabela 5</b> - Proporção entre densidade de fluxos negativos (da superfície para o interior) e fluxos positivos (do interior do solo para a superfície) dentro da área de pastagem arborizada em renques curvilíneos.....  | 49 |
| <b>Tabela 6</b> - Valores percentuais da permanência de ventos em direções predominantes na condição interna do sistema silvipastoril (SSP) e nas condições da pastagem aberta ( <i>PANA</i> ), num dia de inverno e outro de verão.....  | 51 |
| <b>Tabela 7</b> - Fração de água disponível (FAD) na camada 0-35 cm de profundidade no solo, no sistema de pastagem arborizada (SSP) e no sistema de pastagem convencional ( <i>PANA</i> ).....   | 78 |
| <b>Tabela 8</b> – Valores médios referentes ao comprimento e largura médios da lâmina foliar (média de duas avaliações em pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> – Marandú – em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e sem arborização ( <i>PANA</i> )..... | 82 |
| <b>Tabela 9</b> – Valores médios referentes a área foliar específica (AEF), índice de área foliar (IAF) (médias de três avaliações) e razão de área de área foliar (RAF) (média de duas avaliações em pastagem de <i>B. brizantha</i> – Marandú - em sistema de pastoreio extensivo com                       |    |

|   |    |
|---|----|
| arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e sem arborização ( <i>PANA</i> ).....  | 86 |
| <b>Tabela 10</b> – Produção de matéria seca ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) da forragem colhida acima de 25 cm do solo na pastagem de <i>B.brizantha</i> – Marandú – em sistema de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização ( <i>PANA</i> )..... | 88 |
| <b>Tabela 11</b> - Características químicas e físicas das amostras de solo das áreas do estudo.....   | 92 |



**Lista de Figuras**

|  | pag |
|--|-----|
| <b>Figura 1</b> – Influência da rugosidade da superfície na transferência de calor....   | 14  |
| <b>Figura 2</b> - Determinação de posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril.....  | 24  |
| <b>Figura 3</b> - Croqui da disposição de instalações executadas para o estudo dentro da área de pastagem arborizada (SSP).....  | 27  |
| <b>Figura 4</b> - Incidência da radiação solar global (Rg) em diferentes dias do ano e posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA).....                               | 34  |
| <b>Figura 5</b> – Influência dos renques arbóreos na transferência de radiação.....  | 35  |
| <b>Figura 6</b> – Comparação da zona de sombra proporcionada pelos renques arbóreos no SSP em um dia de inverno e em um dia de verão para uma mesma situação topográfica de exposição e declividade. | 37  |
| <b>Figura 7</b> - Aspecto da condição de sombreamento existente no sistema silvipastoril em horário (vespertino) no qual a luz solar incide diretamente por sob as copas das árvores.....            | 38  |
| <b>Figura 8</b> - Mosaico de lua e sombra característico do sistema silvipastoril na área (9:00 horas no verão) ...  | 39  |
| <b>Figura 9</b> - Incidência direta de radiação solar sob as copas durante o inverno no sistema de arborização de pastagem em renques curvilíneos.....   | 40  |
| <b>Figura 10</b> – Comportamento da radiação líquida disponível ao meio (Rn+S) num dia de inverno e num dia de verão para as condições PANA SSPc.....  | 43  |
| <b>Figura 11</b> – Comportamento dos componentes do balanço de energia disponível ao meio durante o dia 5/7/97 para as condições de pastagem arborizada (SSP) e pastagem aberta (PANA).....          | 45  |
| <b>Figura 12</b> - Comportamento dos componentes do balanço de energia disponível ao meio durante o dia 22/12/97 para as condições de pastagem arborizada (SSP) e pastagem aberta (PANA).....        | 46  |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 13</b> - Fluxo de calor em quatro posições dentro do sistema de pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) para os dias 5/7/97 e 22/12/97..... | 48 |
| <b>bFigura 14</b> - Comparação da velocidade e das direções predominantes dos ventos na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) e na posição entre renques do sistema silvipastoril (SSPc). .....           | 52 |
| <b>Figura 15</b> – Comportamento da temperatura do ar no sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) para os dias 5/7/97 (inverno) e 22/12/97 (verão).....                     | 55 |
| <b>Figura 16</b> – Desdobramento do comportamento da temperatura do ar para cada locação no dia 5/7/97.....   | 56 |
| <b>Figura 17</b> – Representação esquemática do perfil da temperatura do ar nas três posições dentro do SSP e na posição <i>PANA</i> para o dia 5/7/97  | 57 |
| <b>Figura 18</b> – Dinâmica da temperatura do ar nas três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) para o dia 5/7/97.....                                | 59 |
| <b>Figura 19</b> – Variação horizontal da temperatura do ar, a 0,45 metros do solo nas diferentes posições dentro do SSP para o dia 5/7/97.....   | 60 |
| <b>Figura 20</b> – Diferenças entre a temperatura do ar medida nas posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) para o dia 5/7/97.....                       | 61 |
| <b>Figura 21</b> - Comportamento do déficit de pressão de vapor d'água (DPV) em diferentes posições dentro do sistema silvipastoril e na pastagem aberta, para o dia 5/7/97.....                    | 62 |
| <b>Figura 22</b> – Desdobramento do comportamento da temperatura do ar para cada locação no dia 22/12/97.....   | 64 |
| <b>Figura 23</b> – Representação esquemática do perfil da temperatura do ar nas três posições dentro do SSP e na posição <i>PANA</i> para o dia 22/12/97.....                                       | 66 |
| <b>Figura 24</b> – Dinâmica da temperatura do ar nas três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta ( <i>PANA</i> ) para o dia 22/12/97.....                              | 67 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 25</b> – Variação horizontal da temperatura do ar, a 0,45 metros do solo nas diferentes posições dentro do SSP para o dia 22/12/97.....   | 68 |
| <b>Figura 26</b> – Diferenças entre a temperatura do ar medida nas posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para o dia 22/12/97.....  | 70 |
| <b>Figura 27</b> - Comportamento do déficit de pressão de vapor d'água (DPV) em diferentes posições dentro do sistema silvipastoril e na pastagem aberta, para o dia 22/12/97.....  | 71 |
| <b>Figura 28</b> - Esquema hipotético de como o deslocamento do vento em condições de altas temperaturas e umidade disponível no solo estaria exercendo compressão sobre a altura $H^2$ .....   | 75 |
| <b>Figura 29</b> - Comportamento da pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) em função dos efeitos combinados do vento e da temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril e na pastagem aberta para o dia 5/7/97...  | 76 |
| <b>Figura 30</b> - Comportamento da pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) em função dos efeitos combinados do vento e da temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril e na pastagem aberta para o dia 22/12/97   | 77 |
| <b>Figura 31</b> - Comportamento da umidade do solo na camada de 0-15 cm de dentro do sistema de pastagem arborizada (SSP) e no sistema de pastagem convencional (SSP).....   | 80 |
| <b>Figura 32</b> - Comprimento médio da lâmina foliar de pastagem de <i>Brachiaria brizantha</i> – Marandú – em posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril (SSP) com árvores dispostas em renques curvilíneos e na pastagem aberta, sem arborização (PANA)..... | 82 |
| <b>Figura 33</b> - Comportamento da área específica de folha (AEF) e do índice de área foliar (IAF) em três posições dentro do sistema silvipastoril e na pastagem não arborizada (PANA).....   | 85 |
| <b>Figura 34</b> - Teor de proteína bruta (%) na forragem colhida acima de 25 cm do solo na pastagem de <i>B. brizantha</i> – Marandú - em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e sem arborização (PANA).....              | 90 |
| <b>Figura 35</b> - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida nos dias 5/7/97 e 30/7/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos  |    |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
|                  | mesmos pontos de leituras da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta ( <i>PANA</i> ).....   | 96  |
| <b>Figura 36</b> | - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida nos dias 27/8/97 e 25/11/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leituras da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta ( <i>PANA</i> )..... | 97  |
| <b>Figura 37</b> | - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida nos dias 22/10/97 e 25/11/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leituras da RFA nas condições pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta ( <i>PANA</i> ).....   | 98  |
| <b>Figura 38</b> | - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida no dia 22/12/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leituras da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta ( <i>PANA</i> ).....             | 99  |
| <b>Figura 39</b> | - Comportamento da RFA nas posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na condição de pastagem aberta ( <i>PANA</i> ), em sete datas diferentes entre o inverno e o verão.....  | 100 |
| <b>Figura 40</b> | - Comportamento dos valores de índice de conforto térmico THI para os dias 5/7/97 e 22/12/97 nas condições da pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na condição <i>PANA</i> .....   | 103 |
| <b>Figura 41</b> | - Comportamento dos valores de índice de conforto térmico BGHI para os dia 22/12/97 nas condições da pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na condição <i>PANA</i> .....  | 104 |

**MODIFICAÇÕES MICROCLIMÁTICAS EM SISTEMA  
SILVIPASTORIL COM *Grevillea robusta* A. Cunn. ex. R.  
Br. NA REGIÃO NOROESTE DO PARANÁ.**

Autor: Vanderley Porfírio da Silva

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Rita Rodrigues Vieira

**RESUMO**

Os sistemas agroflorestais (SAF's) é uma área das mais promissoras, capaz de contribuir para o desenvolvimento de forma de uso sustentável do meio ambiente para satisfazer as demandas por alimentos e energia de uma população crescente no mundo. Sistemas agroflorestais podem melhorar/aumentar a eficiência com que os recursos (limitados) são utilizados, produzindo desse modo mais e/ou maior variedade de alimentos e produtos.

Dentre os sistemas específicos que configuram os chamados SAF's, o sistema silvipastoril denota da natureza de seus componentes principais (pastagem-gado-árvore) e da forma de utilização dos recursos disponíveis, onde os componentes são intencionalmente utilizados em associação numa mesma área, de maneira simultânea ou seqüencial.

O estabelecimento de sistemas silvipastoris na região Noroeste do Estado do Paraná pode reduzir efetivamente a erosão do solo e o assoreamento de cursos d'água; pode ampliar o ciclo de reformas em pastagens; mitigar os efeitos das condições climáticas extremas (seca, ventos frios, geada, altas temperaturas) para os animais e para a pastagem, influenciando positivamente na capacidade produtiva da área. Devido a isso, pode favorecer o desenvolvimento da região através da disponibilidade de matéria-prima em maior quantidade (devido ao aumento da capacidade de suporte das pastagens) e diversidade (produção de madeira que atualmente não existe, e com custos de produção inferiores aos de outras regiões, dada as condições ambientais

favoráveis ao crescimento florestal e à facilidade de extração), promovendo oferta de empregos diretos e indiretos via incremento de cadeias produtivas conexas e emergentes.

Entretanto, o sucesso ou a falência de um sistema silvipastoril, depende em grande extensão do grau com que os componentes do sistema são complementares no uso da luz, água e nutrientes. Existe, portanto, a necessidade de desenvolver um entendimento geral melhor dos princípios que fundamentam a partição desses recursos em um sistema silvipastoril em vista de desenvolver soluções que tenham aplicação em maior escala. O presente trabalho pode contribuir com essa questão através do aumento do entendimento geral sobre as modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com árvores dispostas em renques curvilíneos.

O trabalho foi conduzido em área de uma propriedade privada no município de Tapejara na região noroeste do Estado do Paraná, no período de maio de 1997 a janeiro de 1998. Avaliou-se as modificações microclimáticas envolvendo a temperatura do ar, o déficit de pressão de vapor, a velocidade e direção de ventos, a radiação solar global, o balanço de energia e a radiação fotossinteticamente ativa. Também foram avaliadas a produção de matéria seca e teor de proteína bruta da pastagem, o índice de área foliar explotável, a área específica de folha, a razão de área foliar, a fração de água disponível no solo e estimativas de índices de conforto térmico animal. Todas as medidas foram efetuadas em uma condição de pastagem de *Brachiaria brizantha* arborizada com *Grevillea robusta* dispostas em renques curvilíneos no oitavo ano da implantação, e, numa segunda condição de pastagem pura de *B. brizantha* no terceiro ano de implantação.

Os resultados obtidos demonstram que a presença do componente arbóreo diminuiu o saldo de radiação disponível aos processos do meio, no plano analisado; promoveu menor fluxo de radiação fotossinteticamente ativa sob as copas, porém a produção de matéria seca da pastagem foi significativamente superior em tais posições quando comparada com as produções obtidas na entrelinha (entre dois renques). A temperatura do ar, noturna, no inverno, foi maior sob os renques; sendo que, durante o dia, a diferença de temperatura entre as porções sombreadas e ensolaradas na área atingiram, 3,5 °C e 8,0 °C, no inverno e no verão, respectivamente. O déficit

de pressão de vapor foi menor nas condições do sistema silvipastoril. Devido às características óticas das folhas das árvores e à disposição dos renques, houve um incremento da radiação solar global na posição central (entre dois renques) ocasionado pela reflexão das copas; houve redistribuição das direções do vento com menor tempo de permanência por direções predominantes; a velocidade dos ventos foi menor entre 26 e 61% na área arborizada. Em período de poucas chuvas, a fração de água disponível no solo foi maior no sistema silvipastoril. A condição de pastagem arborizada apresentou melhores estimativas de índices de conforto térmico animal do que a condição da pastagem não arborizada. Os resultados obtidos sugerem a possibilidade de utilizar espaçamento menor entre renques de *G. robusta* em sistema silvipastoril, desde que se atente para a altura de inserção de copa. Esses resultados sugerem ainda que o sistema estudado é mais vantajoso do que o sistema convencional de pastagens (pastagens a céu aberto).

# **MICROCLIMATIC MODIFICATIONS IN SILVOPASTORAL SYSTEM WITH *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br. IN THE NORTHEAST PARANÁ STATE.**

Author: Vanderley Porfirio da Silva

Adviser: Profª Drª Ana Rita Rodrigues Vieira

## **SUMMARY**

The agroforestry systems are one the promise areas able to contribute to the development of sustainable use of environmental to satisfy the demands for goods and energy of the growing population in the world. Agroforestry system may increase the efficiency with in the resources (limited) are utilized, producing in this way more or a greater variety of goods and products.

In the specific systems that configure the so called Agroforestry System, the silvopastoral system comes from the nature of its principle components (pasture-cattle-tree) and the utilization of disponible resources.

The establishment of silvopastoral systems in the northeast of State of Paraná may reduce impact the soil erosion and the silting up of the water courses, could increase the cicle of reforms in pastures, mitigate the effects of extreme climatic conditions (dry, cold winds, frost, high temperatures) for the animals and for the grasses, influencig positively on the productive capacity of the area. Therefore, it could favour the development of the region through the disponibility of prime material in a greater quantity (the increase of the support capacity of the pastures) and diversity (wood production that do not exist and dealing costs production less than in others regions, in the environmental conditions favorable to the forest increasing and extraction facilities) promoting employment offers direct and indirectly, through increasing of emergent and conex productive chains.

However, the success or the insolvency of a silvopastoral system depends



on the way that system is related to the utilization of sun light, water and nutrients. So, exist the necessity of development a general knowledge of the principles which are fundamental the partition of the resources in a silvopastoral system that intend to develop solutions that could be applied in a larger scale.

The work was conducted in a private property in Tapejara municipality in the northeast of State of Paraná, from May 1997 until January 1998. It was evaluated the microclimatic modifications involving the air temperature, the water vapour pressure saturation deficit of the air, the velocity and direction of the winds, the global solar radiation, the energy balance and the active photosynthetic radiation. I was also evaluated the production of dry matter from the pasture, the fraction of disponible water in the soil and estimative of the animal thermal comfort index . The whole measures were effected in a pasture condition of *Brachiaria brizantha* with *Grevillea robusta* rows placed in contour line in the eighth year of implantation and a second sole pasture condition of *B. brizantha* in the third year of implantation.

The obtained results demonstrated presence of arboreal component decrease the net radiation value of the analyzed plan, promoted less flux of active photosynthetic radiation under the canopies, but the production of dry matter in the pasture was significantly superior in such positions when compared with the productions obtained between two rows. The air temperature at night in the winter, was greater under the tree canopy. During the day, the difference in temperature do between shadowed and sunny portions in the area reached 3.5°C e 8.0°C, in the winter and summer, respectively. The vapour pressure deficit was less in the silvopastoral system condition.

Due to the optical characteristic of leaves and the disponibility of the rows, there was an increase of the global solar radiation in the central position (between two rows), occasioned by the reflexion of canopy, a redistribution of the wind direction with less time of permanency by predominant directions, the wind velocities was less between 26 and 61% in the area. In the period of few raining, the fraction of disponible water was bigger in the silvopastoral system. The pasture condition presented better estimatives of indexes of thermal comfort and livestock welfare than the condition of the sole pasture. The obtained results suggest the possibility of utilize a small space between rows of *G. robusta* in silvopastoral system, since it was suggested also that the studied

system is more advantaged than the conventional pasture system (opened pasture).

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris apresentam-se potencialmente importantes e viáveis para as condições brasileiras (BAGGIO & CARPANEZZI,1988; SCHEREINER,1992,1994b;VEIGA & SERRÃO, 1994).

Para o Estado do Paraná e Região Sul, de uma maneira geral, os sistemas silvipastoris podem trazer melhorias para as áreas de pastagens, onde os rendimentos de forragem e da produção animal apresentam-se abaixo de seu potencial técnico, o que decorre de vários problemas adversos entre os quais estão os efeitos climáticos. O uso da arborização de pastagens pode proporcionar a minimização desses efeitos adversos decorrentes de elementos climáticos.

No escopo deste trabalho esta a magnitude de modificações microclimáticas impostas pela introdução de renques curvilíneos de árvores de *Grevillea robusta* em pastagens da região noroeste do Estado do Paraná. Os efeitos sentidos como o da manutenção de forragem verde durante o inverno ou em veranicos estão começando a motivar produtores e técnicos da região para a introdução de árvores nas áreas de pastagens( PORFÍRIO DA SILVA & MAZUCHOWSKI, no prelo).

Porém, percebe-se que são poucos os estudos desenvolvidos em condições subtropicais brasileiras sobre a ordem de grandeza de tais alterações.

Os trabalhos existentes em sistemas agroflorestais (SAF's) concordam sobre as interações que existem entre os componentes biótico e abiótico. No caso do componente arbóreo, dada a escala e grau de sua estrutura estratificada acima da superfície do solo, há um aumento da rugosidade da superfície onde é implantado, interagindo então com alguns elementos, como por exemplo com a velocidade dos ventos, alterando por conseqüência as condições microclimáticas do meio.

Uma gama de mudanças pode ocorrer quando se introduz árvores em pastagens e todas têm de ser consideradas quando do planejamento de sistemas silvipastoris, partindo das premissas de que: a) o fator clima permeia a todas as formas de vida ao longo do tempo e, sua interação com os fatores nutrição e salubridade determinam a forma e a produtividade destas no meio terrestre; b) os efeitos combinados de mudanças nos padrões de radiação solar e de ventos que atingem às pastagens, controlam o balanço de energia disponível para o meio, e portanto influenciam no uso de água pelas forrageiras e em suas produtividades; c) a engenhosidade humana, pode manipular o meio de maneira a influir nesses fatores, inclusive permitindo estreitar a variação do microclima numa determinada área, de modo que se possa influenciar na produção das espécies inseridas nela. Os sistemas silvipastoris podem ser utilizados como exemplo.

O conhecimento da magnitude das modificações microclimáticas em sistemas silvipastoris oferece informações relevantes, que podem sustentar (ou não) a opção por certos componentes, ou do manejo destes. Por exemplo, se o componente arbóreo influi na velocidade dos ventos e sabe-se a grandeza dessa modificação na umidade relativa do ar, é possível então saber até que ponto seria desejável alterar a condição de umidade do ar e que aspecto de tal componente pode ser manejado (espaçamento, porosidade, disposição, espécie), principalmente, se o objetivo for reproduzir condições microclimáticas similares do sistema noutra localidade. Além do que, essas informações podem beneficiar pesquisas nas áreas de ecofisiologia vegetal, física do solo, modificações climáticas e modelagem em sistemas agroflorestais.

Neste estudo optou-se, portanto, por mensurar de maneira comparativa, numa condição de pastagem convencional (não arborizada) e outra de pastagem arborizada com renques arbóreos dispostos em curvas de nível, parâmetros como a radiação solar incidente, temperatura do ar, umidade do solo, ventos e produção de forragem, uma vez que tais parâmetros podem refletir o efeito da condição criada. O objetivo foi obter a grandeza com que estes elementos climáticos foram influenciados pela presença do componente arbóreo e como variaram posicionalmente dentro da condição arborizada. Além disto, perceber os seus reflexos em aspectos como a pressão de vapor d'água, balanço de energia, conforto térmico animal e produção de forragem.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - *Sistemas agroflorestais*

Sistemas e/ou técnicas de manejo que incluam como prática o uso de árvores em consórcio e/ou associação com cultivos agrícolas e/ou criação animal, devem ser pensados prioritariamente em termos de integração das atividades na propriedade rural. Genericamente denominados de sistemas agroflorestais (SAF's) são apontados como opções preferenciais de uso das terras pelo alto potencial que oferecem para aumentar o nível de rendimento em relação à aspectos agrônômicos, sociais, econômicos e ecológicos (COPIJN, 1987; YOUNG, 1994.; CANTO *et al.*, 1992; MARQUES E BRIENZA JR., 1992; SCHREINER, 1992; 1994a; DUBOIS, 1992; MACEDO, 1992; NAIR, 1993; ANDERSON & SINCLAIR, 1993; DANTAS, 1994; MACEDO & CAMARGO, 1994; WALKER *et al.*, 1994). Esses sistemas mostram o grau de integração mais íntimo entre as atividades florestais e agropecuárias.

Os sistemas agroflorestais representam uma proposta integrada do uso das terras implicando no entrelaçamento de fatores ecológicos, sociais e econômicos, de modo que, a estabilidade, a sustentabilidade e equidade na produção possam ser alcançadas (ALTIERI, 1989).

Em regiões tidas como “desenvolvidas”, os SAF's tendem a oferecer alternativas às questões ecológicas, econômicas e sociais (NAIR,1993). É o caso da região Sul do Brasil, a qual retrata um quadro bastante similar ao vivido por alguns países ditos desenvolvidos onde, agricultura e recursos naturais estão sob crescente pressão para a implementação de práticas que promovam o bom uso da terra, e/ou sejam ambientalmente sadias.

Quando o planejamento de uso das terras incorporar sistemas agroflorestais estimulará considerações sobre essas questões, e a discussão da importância da biodiversidade como protetora do valor intrínseco da terra e da manutenção de sua capacidade regenerativa, pelo simples fato de que, nos SAF's existirá maior biodiversidade do que monocultivos. Assim, os sistemas agroflorestais podem oferecer um amplo horizonte para a floresta e agricultura sustentáveis.

Pequenos proprietários de terras, que tradicionalmente produzem somente algumas poucas lavouras ou produtos, são cada vez mais solicitados a

reduzir o risco de perdas através da diversificação da produção voltando-se para crescentes mercados especializados (p.ex. produtos orgânicos); ou, a optarem pelo arrendamento de suas terras para grandes proprietários para produção continuada de uma ou duas culturas (enquanto procuram trabalho fora da propriedade). Ou ainda, a optarem por venderem suas terras em busca de outro trabalho ou profissão. Porém, na medida em que esses proprietários forem motivados e preparados para continuar como produtores ativos, a combinação entre árvores, cultivos e animais poderá contribuir para melhorar suas oportunidades para uma agricultura de baixa intensidade (extensiva) (p.ex. combinando criações -porco, aves- com árvores frutíferas e árvores de rápido crescimento para lenha) ou sistemas altamente intensivos (p.ex. olericultura e grãos em diversos arranjos espaciais).

Através da variação de combinações árvore-cultivo-animais, é possível oferecer oportunidade para reduzir uma super produção, ao mesmo tempo que se mantém ou melhora a produtividade, a sustentabilidade e renda das culturas (CUBBAGE & GÜNTER, 1987). É exequível a transformação do cultivo agrícola anual, efetuado em terras marginais, para a produção florestal ou outros cultivos agrícolas perenes em sistemas agroflorestais.

Na Europa, produtores sensíveis à crescente demanda para produtos animais oriundos de sistemas naturais de criação, estão voltando a produção de gado e aves para dentro de bosques produtores de madeira (NAIR, 1993). No sul do Brasil, os sistemas faxinais discutidos por MAN YU (1985), bastante antigos, representam essa “nova” tendência.

Assim, é de se pensar que tais sistemas, em que os exemplos podem incluir diversas espécies arbóreas para diferentes usos, inclusive em agrupamentos dispersos com animais silvestres associados com gado e pastagens, requerem pesquisas e políticas que passem inclusive por incentivos aos proprietários que são os que podem garantir o êxito na solução de problemas

Teoricamente, o benefício social dos sistemas agroflorestais pode chegar aos níveis de indivíduo, comunidade e nação. Como uma prática sustentável de uso da terra, podem promover o conceito de “comissário de bordo da nave Terra” visto que podem firmar aos proprietários de terras que se

encontram em seu poder a responsabilidade de um ecossistema saudável para as gerações futuras (WEBER, 1991).

## **2.2 - Sistemas silvipastoris**

Dentre os sistemas específicos que configuram os chamados SAF's, um sistema silvipastoril, denota da natureza de seus componentes (pastagem/animal e árvores) e da forma de utilização dos recursos sócio-econômicos e ambientais, onde árvores são intencionalmente utilizadas em associação com pastagens e animais na mesma área, de maneira simultânea ou seqüencial.

São praticados em várias partes do mundo sob diferentes condições ambientais e sócio-econômicas, conforme exemplificado na Tabela 01.

Nas situações, onde as árvores se constituem também em forrageiras, são utilizadas espécies que permitem pastoreio direto ou corte de suas folhas e ramos comestíveis, ou ainda frutos e vagens, como: *Leucaena* spp (Leucena) e *Prosopis* spp (Algaroba) (LOURENÇO, 1993); *Paulownia* spp (Quiri)(CHINESE ACADEMY..., 1986); *Gliricidia sepium*; *Holvenia dulcis* (Uva-do-japão); *Azadiractha indica*; *Trema micrantha* (PEREIRA, 1983; BAGGIO & CARPANEZZI, 1988; MEDRADO, 1993) e uma variedade de espécies frutíferas nativas do sul do Brasil que são procuradas pelo gado (MAN YU, 1985).

NAIR (1993) comentou que um dos sistemas silvipastoris mais sistemáticos e comercialmente orientados são as pastagens sob plantações de florestas de coníferas, popularmente conhecidos no sudeste dos Estados Unidos como "pine-and-pasture" ou "cattle-under-pine systems", e, que são usualmente encontrados em países desenvolvidos das regiões temperadas.

Sistemas silvipastoris que envolvem um grande número de espécies de árvores/arbustos e várias intensidades de manejo seriam mais característicos de regiões tropicais. Dados da FAO (1985), estimaram que árvores e arbustos em sistemas silvipastoris de produção, constituem a fonte básica de alimento para algo em torno de 500 a 660 milhões de cabeças de gado nos trópicos.

A utilização de sistemas silvipastoris tem contribuído para o produto interno bruto (PIB) de maneira significativa na maioria dos países ditos "em

**Tabela 1 - Alguns sistemas silvipastoris utilizados em diferentes regiões climáticas**

| Espécie arbórea   | Tipo de animais                 | Espécie forrageira  | Forma de pastoreio   | País /Região                  | Referências   |
|---|---------------------------------|---|----------------------|-------------------------------|---|
| <i>Cordia alliodora</i>   | -                               | -   | -                    | Costa Rica**                  | (Budowski,1983)   |
| <i>Alnus acuminata</i>  | -                               | <i>Pennisetum clandestinum</i> (Capim-quicuío)<br><i>P. purpureum</i> (Capim-elefante) e <i>Axonopus scoparius</i>  | -                    | Costa Rica**                  | (Budowski,1983)   |
| <i>Hevea</i> spp (Seringueira)  | Caprinos e ovinos               | -   | Contínuo             | Malasia e Indonésia**         | 1   |
| Coco  | Bovino, caprinos e ovinos       | -   | Contínuo             | Ilhas do Pacífico Sul**       | 1   |
| <i>Citrus</i> spp   | Ovinos e Aves (gansos)          | -   | Contínuo             | Cuba**                        | 1   |
| Bananeiras  | Aves (patos)                    | -   | Contínuo             | República Dominicana**        | 1   |
| Pêreiras, Amêndoeiras e Oliveiras   | Ovinos                          | -   | Sazonal              | Espanha**                     | 1   |
| Pessequeiros  | Ovinos                          | -   | Sazonal              | México**                      | 1   |
| <i>Opuntia</i> spp  | Cabrinos e ovinos               | -   | Contínuo             | México**                      | 1   |
| <i>Pinus radiata</i> ,<br><i>Cupressus macrocarpa</i> ,<br><i>Eucalyptus</i> spp, | Ovinos e bovinos                | -   | Contínuo             | Nova Zelândia**               | Gregory (1995)  |
| Várias espécies nativas (Faxinais)  | Bovinos, suínos, equinos, aves. | -   | Contínuo             | Sul do Brasil**               | -   |
| <i>Eucalyptus</i> spp   | Bovinos e ovinos                | Capim-colonião  | Sazonal              | Minas Gerais-Brasil*          | Almeida (1991)  |
| <i>E. saligna</i>   | Bovinos                         | Azevem e trevo vesiculoso   | -                    | Rio Grande do Sul - Brasil*   | Silva et al. (1996)   |
| <i>Pinus ellioti</i>  | Bovinos                         | <i>Panicum glutinosum</i> ,<br><i>P. millegrama</i> e<br><i>Axonopus</i> sp   | Sazonal              | Paraná- Brasil*               | Schreiner (1994)  |
| <i>Eucalyptus grandis</i>   | Bovinos                         | <i>Brachiaria decumbens</i>   | Sazonal              | São Paulo – Brasil*           | Schreiner (1988)  |
| <i>Grevillea robusta</i>  | Bovinos                         | <i>B. brizantha</i> , <i>Cynodon plectostachyus</i> ,<br><i>Cynodon dactylon</i> ,  | Contínuo             | Paraná-Brasil**               | Porfírio da Silva & Mazuchowski (no prelo);<br>Silva (1994) |
| <i>Pinus taeda</i>  | -                               | -   | -                    | Estados Unidos**              | Grelen (1978), citado por Baggio (1983)                     |
| <i>Pinus ponderosa</i>  | Ovinos                          | -   | Sazonal              | Noroeste dos Estados Unidos** | Nair (1993)   |
| <i>P. palustris</i> e <i>P. ellioti</i>   | Bovinos                         | <i>Paspalum notatum</i> (pensacola bahiagrass),<br><i>Lespedeza striata</i> (lespedeza), <i>Trifolium repens</i> (trevo branco)<br><i>Cynodon dactylon</i> e<br><i>Paspalum dilatatum</i> | Contínuo             | Sudeste dos Estados Unidos**  | Lewis & Pearson (1987)                                      |
| <i>Eucalyptus</i> spp,<br><i>Cupressus</i> spp                                    | Bovinos e ovinos                | -   | Contínuo/<br>Sazonal | Austrália**                   | Bird et al. (1992)  |

**Nota:** (1) = Sánchez (1995) citando vários autores. (\*\*) = utilização corrente entre produtores; (\*) = experimentação e pesquisa



desenvolvimento”, principalmente no continente africano e asiático. No oeste africano, o gado pode formar o maior componente da produtividade agrícola, chegando a compor 30-40% do PIB (NAIR, 1993).

A região sul do Brasil, possui 21,4 milhões de hectares de pastagens (SCHEREINER 1992), instaladas a céu aberto com indicadores tecnológicos de pecuária de bom nível no manejo dos rebanhos. No entanto, conforme MONTOYA & MAZUCHOWSKI (1994), a produtividade está abaixo de seu potencial técnico, devido a fatores adversos tais como reduzida taxa de fertilidade, elevada mortalidade, acabamento tardio para abate, baixo índice de desfrute, carência de alimentação nos períodos de entressafra e áreas de pastagens degradadas. MONTOYA & BAGGIO (1992), são de opinião que a maioria dos fatores adversos estão associados a aspectos climáticos, levando ao desgaste (estresse) dos animais. Afirmam ainda que, " os sistemas silvipastoris revelam-se de grande aplicabilidade em áreas de pecuária do Sul devido à dimensão das superfícies ocupadas por pastagens e às possibilidades que a arborização representa em termos de serviços de proteção dos rebanhos animais contra extremos climáticos.

Períodos de entressafra na pecuária significam época de baixa disponibilidade de pastagem, determinada por uma condição estacional (inverno com baixas temperaturas e menor disponibilidade de chuvas).

Registros sobre a aplicação e viabilidade de sistemas silvipastoris nas condições de disponibilidade de terras no sul do Brasil demonstram que os projetos silvipastoris são de fácil execução (BAGGIO & CARPANEZZI,1988; SCHEREINER 1992, 1994b). Sobressaem-se nessas condições a introdução de árvores nas extensas e descobertas pastagens da região sem, no entanto, restringir outras formas de SAF's.

Na região noroeste do Estado do Paraná, a utilização de sistemas silvipastoris, por alguns produtores, tem permitido o aumento da capacidade de suporte das pastagens, a conservação do solo e da água, e a oferta de produtos madeiráveis. SILVA (1994), relatou que os resultados de análise de solo de uma das áreas com exploração bovina em sistema de pastagens sombreadas, num intervalo de 8 anos, demonstraram incremento nos níveis de matéria orgânica, de potássio, e, de fósforo. E que, com sistema, a mesma área suporta 24% a mais de carga animal.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, com uma reserva de 122,6

m<sup>3</sup>/ha de madeira para processamento mecânico de serraria; e, a pastagem se apresenta verde, mesmo durante o inverno ( após geada ), o que foi atribuído à presença das árvores.

### **2.2.1 - Sistemas silvipastoris e microclima**

Os sistemas agroflorestais (SAF's) são vistos por muitos como solução para os problemas ambientais (DANTAS; 1994). Acrescenta ainda que, como um remédio rural, os SAF's imitam a natureza, exploram as relações ecológicas entre plantas, preservam a qualidade do solo através da ciclagem de nutrientes e adição de matéria orgânica, utilizam a radiação solar mais eficientemente do que as explorações solteiras e capturam os nutrientes e umidade de solo de diferentes zonas de raiz diminuindo então a dependência de entradas externas de nutrientes (adubações).

Partilhando dessa concepção, YOUNG (1991), comentou que as principais interações dos SAF's com os recursos ambientais referem-se ao microclima (luz, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (fertilidade e erosão). A presença de árvores altera o balanço de radiação e o comportamento de ventos na superfície da área (MONTEITH *et al.*, 1991; BRENNER, 1996; ONG *et al.*, 1991; GREGORY, 1995; BIRD *et al.*, 1992). O efeito combinado dessas mudanças atua sobre o balanço de energia disponível para o meio influenciando no uso de água pelas plantas, na produção destas e, também, sobre o componente animal.

SIBBALD *et al.*(1991), registram que a produção de *Lolium perene* sob árvores de *Picea sitchensis* plantadas em espaçamentos de 8,0 metros, se estendia além da estação de crescimento para as condições de terras altas do Reino Unido, o que atribuíram à proteção oferecida pelo componente arbóreo.

Em região de verão seco, Brown (1959) citado por GREGORY (1995) relata que as pastagens protegidas por renques arbóreos permaneciam verdes por maior tempo do que aquelas sem proteção.

A alteração da quantidade e das características da radiação que atinge o componente vegetal não arbóreo e conseqüentemente a utilização dessa radiação luminosa depende de dois fatores :i) da radiação fotossinteticamente

ativa (RFA) que é interceptada por cada componente e; ii) da eficiência de conversão dessa radiação (RFA) na fotossíntese (ONG *et al.* 1996).

O sombreamento pode afetar espécies de pasto diferentemente. Dessa maneira, *Brachiaria decumbens*, *B. miliformis* e *Panicum maximum* (Colonião) (TOLEDO & TORRES, 1991) e *P. maximum*, *Melinis minutiflora* e *Setaria sphacelata* (CASTRO, 1996), apresentaram melhores rendimentos em matéria seca sob condições de 30% de sombra e, conseqüente redução desses rendimentos quando o sombreamento foi superior.

Em pastagem de *P. maximum*, sob restrição de 50% da luz natural através de telas de sombrite, constatou-se incrementos na produção forrageira, na concentração de nitrogênio foliar e de nitrogênio no solo, de 43,36% e 106%, respectivamente, o que justifica forte evidência de que a taxa de mineralização de nitrogênio do solo é estimulada pela sombra, a qual possibilitaria uma atividade microbiana mais efetiva na quebra da matéria orgânica e a conseqüente liberação de mais nitrogênio para o crescimento da gramínea (WILSON, 1990)

LOWRY (1989) registrou aumentos de 250% no rendimento de *P. maximum* sob sombra de árvores de *Albizia lebbek* em comparação com a condição a pleno sol. Da mesma forma, OVALLE & AVENDAÑO (1984), observaram aumento da produção de uma pastagem natural sob árvores de *Acacia caven* nas condições mediterrânicas do Chile.

É comum aceitar-se os melhores rendimentos de pastagens crescendo sob a influência de árvores leguminosas. No entanto, WILSON *et al.* (1990) demonstraram que isto também acontece em pastos que se desenvolvem sob outras espécies. O *Paspalum notatum* (Pensacola) cresceu 35% a mais e incrementou 67% no teor de N foliar sob uma plantação de *Eucalyptus grandis*, com aproximadamente 55% de transmissão de luz.

Pastagens de *B. brizantha* e de *B. decumbens* apresentaram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre as médias de concentrações de N, K e Ca em folhas verdes nas situações sombreadas e a pleno sol, nas condições de Coronel Pacheco -MG (CARVALHO *et al.*, 1994). Os autores atribuíram o aumento verificado na concentração de N nas folhas verdes das pastagens ao efeito associado da sombra moderada, que aumenta a

disponibilidade de N no solo conforme WILSON (1990) e WILSON *et al.* (1991), e também ao efeito da biomassa das árvores.

Em sistemas silvipastoris o padrão de sombreamento imposto pelos elementos arbóreos é importante não apenas para os componentes vegetais do sistema (DJIMDE *et al.*, 1989; SEQUEIRA & GHOLZ, 1991) mas, também, para os animais que por ele circulam, uma vez que esses têm vários aspectos de caráter comportamental e metabólico relacionados à quantidade de energia solar que recebem, (HAFEZ, 1973; ENCARNAÇÃO & KOELLER, 1985; MÜLLER, 1989; MCARTHUR, 1991; SÁ, 1994)

BAGGIO (1983), em uma revisão comentou que: "a proteção oferecida por árvores contribui para o conforto térmico animal (que é importante na sua taxa diária de ganho de peso), ao diminuir a amplitude térmica e regular a manutenção da umidade do ar".

A literatura é vasta nas verificações do componente climático que impõe, separadamente ou em combinação com os demais (estrutural e social), um certo grau de estresse aos animais, mensuráveis pelos resultados das disfunções na homeotermia (NAÃS, 1989). Assim, a eficiência do desempenho (produtivo e/ou reprodutivo) resulta do funcionamento homeotérmico, e disfunções acarretam alterações na eficiência da produção (HAFEZ, 1973; HARDY, 1981; NAÃS, 1989; MÜLLER, 1989).

As variáveis do componente climático que estão ao redor do animal ou do rebanho se traduzem pelas condições microclimáticas de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade de ventos e radiação solar. São estas variáveis que atuam sobre o animal provocando reações em seu *centro termorregulador* localizado no sistema nervoso central. Sendo produtores de calor, decorrente do seu metabolismo, os animais têm sua adaptação e sobrevivência regidas por princípios físicos que envolvem a troca de calor entre seu corpo e o meio ambiente que os rodeia, ou seja, por evaporação, condução, convecção e radiação.

O estresse térmico que pode resultar da interação do animal com as condições climáticas reinantes ao seu redor, é um estado fisiológico causado por dada combinação dessas variáveis, que fazem com que a temperatura efetiva do ambiente seja mais elevada do que a variação da temperatura na zona de conforto térmico animal. A exata combinação de tais variáveis para o

início de um estado de estresse é difícil, ou talvez improvável, de mensurar (BARBOSA & SILVA, 1995).

Apesar disso, índices têm sido desenvolvidos com o intuito de estimar o conforto térmico dos animais.

O índice mais utilizado para avaliação de animais, especialmente bovinos, tem sido o Índice de Temperatura-Umididade (THI) (NÃÃS , 1989; BARBOSA & SILVA, 1995):

$$THI = t_a + 0,36 t_o + 41,2 \quad ( 1 )$$

onde  $t_a$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) medida no termômetro de bulbo seco e,  $t_o$  a temperatura calculada do ponto de orvalho.

O índice de Umidade-Termômetro de Globo (BGHI):

$$BGHI = t_g + 0,36 t_o + 41,2 \quad ( 2 )$$

onde  $t_g$  é a temperatura de globo negro ( $^{\circ}C$ ). A introdução da temperatura de globo em índices de conforto térmico, segundo NÃÃS (1989), decorre de que vários autores ao estudarem as aplicações práticas desse tipo de termômetro em estudos de ambiência e/ou conforto térmico, chegaram a algumas conclusões: 1) a temperatura lida no termômetro de globo está correlacionada com a sensação térmica e aparentemente indica o estresse térmico sentido pelo ser humano; 2) o termômetro de globo mostrou-se eficiente em experimentos de campo para determinação da carga térmica radiante de ambientes, por exemplo, que o uso de sombreamento reduz em até 20% a carga térmica radiante direta sobre os animais a campo; 3) embora numericamente a carga térmica radiante sobre um animal seja diferente da carga térmica sobre uma esfera, para efeitos práticos de avaliação de carga térmica sobre animais, a simulação de um globo (esfera oca) negro em determinado ponto pode representar a posição de um animal.”

Nos sistemas silvipastoris o componente arbóreo influi no regime de ventos. BIRD *et al.*(1992), comentaram que experimentos com gado e ovelhas, conduzidos em cercados, indicam que ventos e chuvas fortes podem dobrar o gasto de energia para manutenção. Uma redução de 33% na velocidade do

vento (de 10km/h para 6,6km/h) pode resultar em 10% de economia em energia; reduzindo em 55% (4,5km/h) a velocidade do vento a economia de energia será de 17,5%, energia essa que poderá ser utilizada pelo animal em funções produtivas .

O gado apresenta-se particularmente sensível às condições úmidas e quentes, portanto, o oferecimento de sombra pode melhorar sua tolerância e sua produção. Piquetes sombreados têm melhorado a eficiência da conversão de alimentos e sobrevivência do gado (BIRD *et al.*,1992). Estudo sobre disponibilidade de sombra para vacas leiteiras da raça holandesa, na região de Santa Maria-RS, conduzido por CARVALHO (1991), mostrou que aumentou a produção do leite e do teor percentual de sólidos não gordurosos, concluindo ainda que os animais mais especializados e de primeiras lactações seriam os mais afetados pela condição desfavorável de ausência de sombra.

O estresse por calor pode reduzir a fertilidade, afetando a ovulação, o estro, a concepção e sobrevivência do embrião (MÜLLER,1989). Vacas estressadas pelo calor produzem bezerros menores e aumentam o intervalo de tempo entre uma cria e outra (BIRD *et al.*,1992). Novilhas em crescimento numa pastagem arborizada atingiram condições para reprodução (idade para cobertura) cinco meses antes do que aquelas em pasto sem sombreamento (SIMÓN *et al.*, 1995).

Em regiões onde o inverno impõe um grau de estresse capaz de levar animais à morte, a implantação de proteção arbórea contribui para diminuir consideravelmente as perdas. STURROCK, (1988), registrou na Nova Zelândia a eliminação de perdas de animais durante o inverno e o aumento de um rebanho de 1200 animais para 5000 animais, em uma década, através da disposição interligada de renques arbóreos de proteção com bosquetes.

Vários exemplos de combinações silvipastoris usados como estratégias de manipulação do microclima, para fornecer sombra para animais, são destacados por VEIGA & SERRÃO, 1994).

WILSON & WILD (1991), demonstraram que a variação de potencial de água no solo, num período de seca de seis semanas, em dois tipos de solo com capim Colonião (*P. maximum* var. *trichoglume*) nas profundidades de 5 e 20cm foram bem menores para a condição de sombra do que à pleno sol; e ainda que, as temperaturas da superfície do solo e a 15cm de profundidade, na

condição de sombra de árvore, eram intermediárias àquelas nas condições de sombra artificial e a pleno sol num dia típico de verão; num dia típico de inverno, as temperaturas à sombra de árvore foram superiores.

### 2.2.1.1 - Radiação solar incidente

A melhor utilização da radiação solar global disponível, após atravessar a camada atmosférica, pode ser conseguida pela manipulação da geometria das superfícies de recebimento, tirando vantagem da lei do cosseno do ângulo que regula a iluminação (OKE, 1992; WHITE *et al.*, 1992).

$$I = I_0 \cdot \cos \alpha \quad (\text{Lei de Lambert}) \quad (3)$$

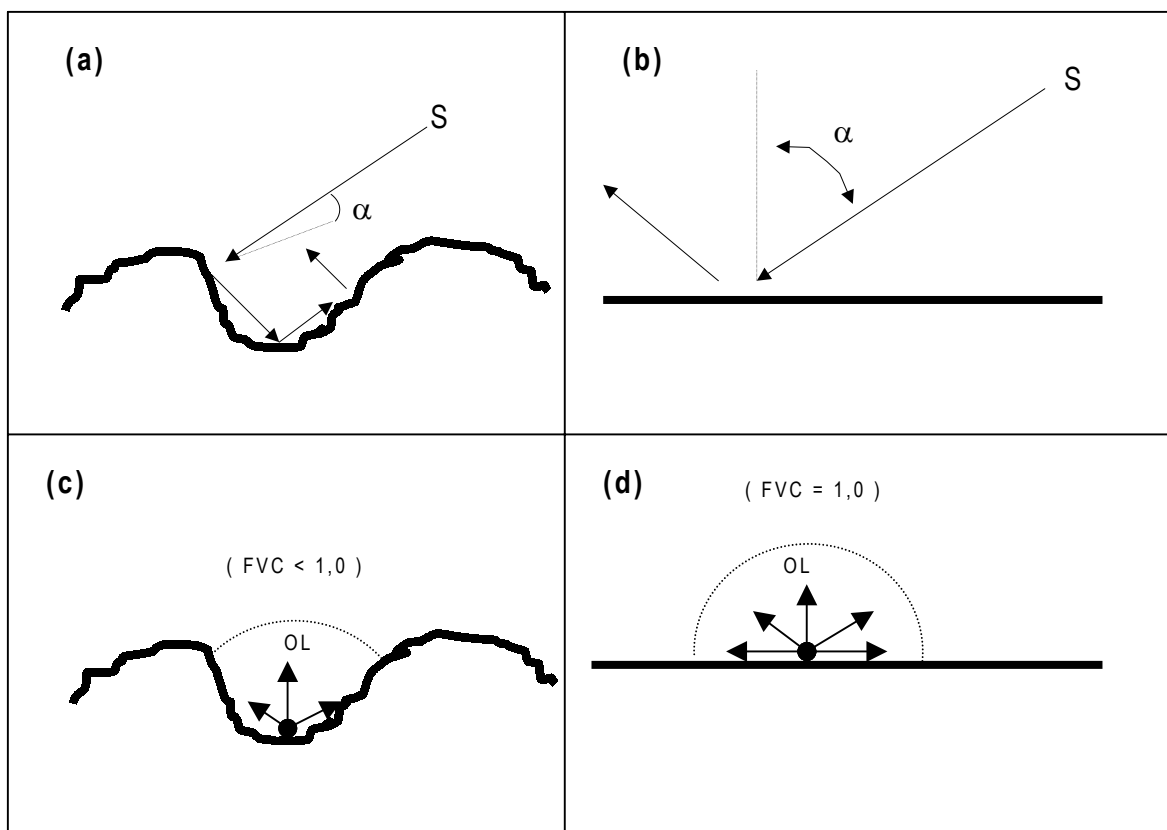
onde  $I$  é a intensidade de radiação que é recebida pela superfície da terra para o ângulo entre a fração de radiação recebida e a normal do plano da superfície,  $I_0$  representa a intensidade total da radiação que atravessa a atmosfera. Em se tratando da radiação solar, devido ao caminhar aparente que o sol faz, a equação pode ser introduzida como:

$$I = I_0 \cdot \sin \beta \quad (4)$$

onde  $\beta$  é o ângulo de elevação solar (ângulo zenital).

A geometria da superfície pode ser mudada por exemplo, pela prática da aração (microtopografia), a qual é muito usada para aumentar a temperatura do solo e reduzir a superfície congelante em regiões de climas frios, durante a primavera, quando o aquecimento ainda é deficitário para o enxugamento do solo e germinação de sementes.

A forma corrugada com que a prática da aração deixa o solo permite que a radiação solar global recebida seja maior ( $\alpha$  é pequeno). Também propicia uma condição para que as radiações de onda curta e de onda longa não sejam “perdidas”, ao diminuir o albedo e o ‘fator de visão do céu’ (FVC) –*sky view factor*- (Figura 1).



**Figura 1** - Influência da rugosidade da superfície na transferência de radiação. Comparação da superfície corrugada e não corrugada quanto a: recepção e reflexão de ondas curtas (a) e (b); emissão de radiação de ondas longas (c) e (d) e suas “perdas” decorrente da visada da abóbada celeste (FVC) que será sempre menor na condição corrugada do que na de superfície não corrugada.  $\alpha$  é o ângulo entre a normal ao plano de superfície e a direção da fração de radiação que a atinge. Adaptado de OKE (1992).

HAM & KLUITENBERG (1993), registraram em um estudo micrometeorológico efetuado numa estação de pesquisa (Ashland) próximo de Manhattan-KS-EUA, que a radiação solar na posição média, entre linhas de *Glycine max* distanciadas em 1,5 metros, nos horários entre 11:00 e 14:00 horas era superior a radiação solar medida em área aberta, sem influência do dossel de plantas. Isto foi atribuído ao aumento de radiação refletida no dossel.

No entanto, o comportamento de interceptação de luz pelas copas das plantas é complexo e depende de um grande número de variáveis. Apesar dessa complexidade, muitos avanços têm sido feitos tratando-se de dossel



homogêneo de uma só espécie, assumindo que a folhagem seja aleatoriamente distribuída.

Cultivos em linhas, no entanto, apresentam uma certa condição de desuniformidade do dossel. Onde o espaçamento entre linhas é superior a  $1/3$  da altura das plantas registrou-se diferenças na interceptação de luz quando comparado com espaçamento onde o dossel é fechado (GIJZEN & GOUDRIAAN, 1989).

Os cultivos em linhas ao apresentarem variação nos graus de cobertura do terreno, dada pelo que seria a presença de copas de plantas na linha e pela sua ausência na entrelinha, caracterizam uma heterogeneidade horizontal que em monoculturas (p.e. soja) é maior no início e menor quando a cultura está em máximo desenvolvimento vegetativo. Assim essa heterogeneidade pode ser representada pela condição variante entre a mínima e a máxima cobertura das copas. WALLACE *et al.* (1995), colocaram que a heterogeneidade horizontal pode variar entre 0 e 1. Esses autores fizeram extrapolações para condições de cultivos intercalares ou sistemas agroflorestais, sugerindo que uma maneira simples para o complexo problema seria permitir que o coeficiente de extinção para cada espécie variasse com o grau de heterogeneidade horizontal (fechamento da copas). O coeficiente de fechamento das copas, que impõe condições limites bem definidas, varia de 0 a 1 ( 0 = dossel homogêneo horizontalmente mas não fechado, 1 = dossel fechado e não intercepta luz totalmente). Para as condições de fechamento “intermediário” de dossel o coeficiente é extrapolado linearmente entre os dois extremos ( $0 < C < 1$ ).

#### **2.2.1.2 - Temperatura do ar**

As oscilações da temperatura ambiental afetam a taxa de fotossíntese líquida, a taxa de desenvolvimento da área foliar e a produção de matéria seca das pastagens.

RODRIGUES *et al.* (1993), citaram que, embora as temperaturas altas também possam representar fator de estresse para o desenvolvimento de pastagens tropicais, como é o caso das leguminosas tropicais mais suscetíveis *Nonotonia wightii* (Soja perene) e *Desmodium intortium*, *D. uncinatum* e *D. sandwicense* (Desmódios) e o *Pennisetum clandestinum* (Capim Quicuío),

são as baixas temperaturas que representam um grande fator de estresse às forrageiras tropicais.

As pastagens tropicais funcionam, produtivamente, somente em temperaturas acima de 5° ou 7°C, ou bem superiores a estas (LARCHER, 1986). PEDRO JR. *et al.* (1990), concluíram num estudo com 32 forrageiras tropicais (C<sub>4</sub>) que a uma temperatura de 10°C a produção de matéria seca para as espécies estudadas foi quase nula.

Dessa maneira, a influência negativa na produção de matéria seca será relacionada ao número de horas anuais com temperaturas de 10°C.

No entanto, existem espécies com diferentes níveis de resistência ao esfriamento. A medida de resistência é tomada, geralmente, àquela temperatura em que a metade das amostras de plantas são destruídas (LARCHER, 1986). A capacidade de tolerar geadas no entanto, está baseada no nível de dano apresentado pelas folhas, na persistência das plantas e na condição de crescer novamente na estação seguinte.

Espécies com capacidade de suportar o estresse decorrente de baixas temperaturas, são importantes para regiões tropicais de altitude e subtropicais, onde pode haver ocorrência de geadas. Para essas regiões se busca espécies capazes de tolerar geadas, crescer bem no outono e, de preferência manter folhagem verde no inverno (LUDLOW, 1980).

A presença de um estrato arbóreo em pastagens pode constituir-se também numa forma de promover a manutenção de forragem verde no inverno (SILVA, 1994). O estrato arbóreo constitui uma barreira contra perdas de radiação de ondas longas durante a noite, impedindo a formação de geadas de radiação (geada branca) e os ventos gélidos e dessecantes (geada negra), e desta forma, contribuindo para a conservação de calor do solo e do ar, ao proteger a área da ação dos ventos que arrastariam a umidade do ar. Em termos práticos, corriqueiramente verifica-se a ocorrência de pastagens verdes sob árvores durante o inverno.

MONTEITH *et al* (1991), relataram que no sistema agroflorestal composto por *Pennisetum glaucum* plantado entre renques de *Leucaena leucocephala* espaçados em 3,4 metros dispostos no sentido N-S, a temperatura da folha de milho foi, inicialmente 1°C maior, devido à menor velocidade de ventos, do que a testemunha (somente milho) mas que, ao final do ciclo era de 0,5 a 1°C

menor, dada a menor radiação (devido a sombra); similarmente ocorreu com a temperatura do solo, onde, inicialmente, foi 1°C maior e ao final do ciclo chegou em 2 a 4°C menor (maior sombreamento).

Em Veracruz-México, plantações de café (*Coffea arabica*) sombreados (aproximadamente 25% da radiação solar total incidente) por árvores de Ingá (*Inga jinicuil*) mostraram uma redução na temperatura máxima média do ar entre 5 e 10°C na maioria dos meses do ano, sendo que somente no mês de temperaturas baixas a diferença foi pequena (BARRADAS & FANJUL, 1986)

Nas condições da região sul do Brasil, CARAMORI *et al* (1996), registraram durante eventos de geada, temperaturas positivas entre 2 e 4°C na folha de café sombreado com Bracatinga (*Mimosa scabrella*) sendo que a média de sete colheitas foram maiores para as parcelas sombreadas.

Proteção efetiva contra geadas sem prejuízos para a produção de café também foi registrado por BAGGIO *et al* (1997). Os autores concluíram, com dados coletados durante 10 anos na região noroeste do Estado do Paraná que, a densidade de 71 árvores de *Grevillea robusta* por hectare seria a mais indicada.

Nas condições de clima mediterrâneo sub-úmido do Chile, OVALLE & AVENDAÑO (1984), registraram temperaturas, do ar e do solo, máximas menores e mínimas levemente maiores em áreas de pastagens naturais sob *Acacia caven* com diferentes percentuais de cobertura do terreno pelas copas (heterogeneidade horizontal).

GRASER *et al.* (1987), comentaram que a temperatura do ar entre linhas de Sorgo (*Sorghum bicolor*) distanciadas em 1,5 metros, foram mais altas entre 2 e 4°C, durante o dia nas posições centrais das entrelinhas .

Trabalhando com espaçamentos largos em uma cultivar de soja (*Glycine max*) HAM & KLUITENBERG (1993), registraram grandes diferenças na temperatura da superfície do solo ao compararem posições ensolaradas e sombreadas entre as linhas de plantio. Quando a condição era de solo seco, a temperatura da superfície do solo foi aproximadamente 25°C mais elevada na posição ensolarada do que na sombreada, e, com o solo úmido, a diferença atingiu 15°C enquanto que a temperatura do ar, na posição ensolarada, era de 2 a 4°C superior que a da posição sombreada. A temperatura do solo na posição central e a leste da entrelinha excedeu 40°C nos horários em torno do meio

dia. Esses dados fizeram com que os autores concluíssem que a variação do curso da temperatura do solo em função da posição (ensolarada:sombreada) pode promover variação espacial no fluxo de ar do ambiente.

### 2.2.1.3 - Umidade do ar e déficit de pressão de vapor (DPV)

GREGORY (1995), comentou que a proteção de árvores pode promover maior umidade para a área sob influência em comparação com a área aberta. No entanto, o ar pode tornar-se mais aquecido e, uma vez que o DPV depende tanto da temperatura do ar quanto da pressão de saturação do vapor d'água, o valor do DPV na área protegida pode ser maior ou menor que na área aberta. O DPV pode descrever o gradiente para transferência de vapor e deve ser preferido à umidade relativa como termo para definir a umidade do ar (BRENNER, 1996).

MONTEITH *et al.* (1991), afirmaram que devido ao relacionamento entre a razão de uso da água na produtividade ( $\omega_p$ ) (dada pela quantidade de matéria seca produzida (MS) e a quantidade de água transpirada pela planta) e o DPV, a quantidade de água transpirada por unidade assimilada de CO<sub>2</sub> deve ser aproximadamente proporcional ao DPV e tal predição é corroborada por muitas observações de campo, demonstrando que  $\omega_p$  é inversamente proporcional ao DPV.

O ar nos espaços intercelulares dentro da folha está sempre próximo da saturação, mesmo em plantas com estresse hídrico. Portanto a direção da força para a transpiração depende predominantemente da temperatura e da umidade do ar externo a folha.

Assim a taxa de transpiração de uma folha ( $T_f$ ) é dada pela diferença entre concentração de vapor d'água, nos espaços intercelulares ( $v_i$ ) e atmosférico ( $v_a$ ) dividida pela resistência à difusão do vapor d'água na folha ( $r_v$ ):

$$T_f = \frac{([v_i] - [v_a])}{r_v} \quad (3)$$

Analogamente a assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_c$ ) pode ser dada pela diferença entre concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera próxima da folha ( $C_a$ ) e nos espaços

intercelulares ( $C_i$ ) dividido pela resistência à difusão do  $CO_2$  no sistema intercelular ( $r_c$ );

$$T_f = \frac{([C_a] - [C_i])}{r_c} \quad (4)$$

A razão de uso da água ( $\omega_p$ ) pode ser então representada por:

$$\omega_p = \frac{A_c}{T_f} = \frac{([C_a] - [C_i])}{\rho([v_i] - [v_a])} \quad (5)$$

onde  $\rho$  é a razão de resistências à difusão de  $CO_2$  e vapor d'água:

$$\rho = \frac{\sum r_{\text{vapor d'água}}}{\sum r_{CO_2}} \quad (6)$$

que estaria na ordem de ~1,6:1 (ONG, *et al.* 1996) e 1,5:1 (LARCHER, 1986).

A diferença, nos espaços intercelulares e atmosférico, na concentração de vapor d'água é muito mais variável do que na concentração de  $CO_2$ . A uma temperatura de 20°C e umidade relativa de 50% o gradiente de vapor d'água é, aproximadamente, vinte vezes mais acentuado que o gradiente de  $CO_2$  (LARCHER, 1986). Então a  $\omega_p$  (razão de uso da água) é também variável. Quando a temperatura do ar e da folha são similares, a diferença entre concentrações de vapor d'água pode ser direta ou inversamente proporcional ao DPV (Brow *et al.* 1987, citado por ONG *et al.* 1996).

Um aumento na umidade do ar pode ocasionar menor taxa de transpiração por unidade de carbono assimilado pela planta. No entanto, de acordo com BRENNER (1996), devido à resposta estomática ao DPV, um leve aumento na umidade do ar pode provocar incrementos na condutância estomatal e, portanto, na taxa de transpiração pela planta. Isto pode se constituir em um problema se a água disponível é toda utilizada no início do ciclo do cultivo, de maneira a impedir que a cultura tenha umidade para as outras fases fenológicas.

BRENNER (1996), relatou que a condutância estomatal em condições onde utilizavam quebra-ventos aumentou enquanto decresceu o DPV, em cultivos de

feijão, beterraba açucareira e trigo ou sob irrigação. Contudo, sob condições onde DPV aumentou, a condutância estomatal estava baixa. Em pastagens com barreiras de quebra-ventos convencionais mediu-se aumentos no DPV devido ao aumento de temperatura do ar.

Em SAF's o DPV pode aumentar (se tem solo descoberto e/ou seco entre as árvores) ou diminuir (se houver outras plantas transpirando entre as árvores) dependendo do aumento relativo da temperatura e da pressão de vapor. O aumento relativo dessas variáveis depende da evaporação que é altamente dependente da área foliar, onde, solo seco descoberto provoca aumento na temperatura mais rápido que na pressão de vapor mas, vegetação transpirando rapidamente provoca aumento na pressão de vapor mais rapidamente que na temperatura (WALLACE *et al.*, 1990)

#### **2.2.1.4 - Ventos**

O pasto pode ter seu crescimento comprometido pelo vento devido a danos físicos causados pela agitação mecânica. Sob ventos fortes, as folhas das pastagens batem e friccionam ao mesmo tempo, dobram-se, e freqüentemente rotacionam sobre o eixo longitudinal de suas hastes. Tais movimentos podem produzir fraturas permanentes, murchamento, dessecação, cloroses e necrose da ponta das folhas (queima pela vento).

Em certas instâncias as plantas podem recuperar-se, em outras elas podem ficar suscetíveis a uma infecção. As espécies forrageiras diferem em sua resistência ao dano físico por ventos e à redução (induzida pelo vento) em sua capacidade fotossintética. Para a maioria das plantas forrageiras, ventos acima de  $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $21,6\text{ km}\cdot\text{hora}^{-1}$ ), são potencialmente danosos (MARSHALL, 1967 - citado por GREGORY, 1995).

Além de reduzir a expansão celular, a agitação física das folhas induz o fechamento estomatal e, se persistir a agitação, pode reduzir totalmente o suprimento de  $\text{CO}_2$  e a fotossíntese líquida (GRACE & THOMPSON, 1973). Estes autores relatam uma redução de 20% na extensão de área foliar para a *Festuca arundinacea* (Festuca) que foi, experimentalmente, mantida sob uma condição de agitação.

O suprimento inadequado de  $\text{CO}_2$  é freqüentemente um fator limitante da taxa fotossintética, portanto, o rendimento da pastagem pode ser comprometido pela concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente. Embora se considere que a concentração de  $\text{CO}_2$  numa pastagem, como no ambiente natural, seja relativamente constante, existe um leve gradiente de concentração envolvendo a folha e a planta; assim através de movimentos ao longo desse gradiente que o  $\text{CO}_2$  utilizado na fotossíntese é reabastecido.

Conforme LARCHER (1986), durante a fotossíntese, a concentração de  $\text{CO}_2$  é maior fora de uma fina camada de ar que envolve a folha (camada laminar); dentro dessa camada, a concentração vai diminuindo no sentido em que se aproxima dos estômatos da folha, ou seja, por onde o  $\text{CO}_2$  entra. A espessura da camada laminar irá depender das características próprias da folha e, principalmente, da movimentação da massa de ar em torno das plantas.

Em condições de “ar parado” a camada laminar pode ter alguns milímetros de espessura. Quanto mais espessa for, maior resistência exercerá (resistência da camada laminar) para que ocorra difusão de  $\text{CO}_2$  na mistura entre a camada laminar e a massa de ar que a envolve, tendo maior concentração de  $\text{CO}_2$ . Assim, permanecendo uma situação de alta resistência da camada laminar e dada a utilização de  $\text{CO}_2$  na fotossíntese, ocorre deficiência no reabastecimento.

Em condições de ventos fortes, a camada laminar pode ser eliminada, ao ponto de que também não existirá suprimento de  $\text{CO}_2$  para a planta. Caso essa condição de vento persistir, poderá paralisar o crescimento da planta. Por exemplo, OMETTO (1981) citou que ventos com velocidades acima de  $11,0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  paralisam o crescimento do milho, e no entanto, com velocidades de  $1,0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  seu desenvolvimento foi favorecido.

As pastagens plantadas a pleno sol, com uma única espécie, tendem a ter um dossel de menor rugosidade, o que pode favorecer a movimentação laminar da massa de ar e, facilitar altas velocidades de vento.

Para se obter um suprimento mais adequado de  $\text{CO}_2$  para as pastagens, é preciso que a movimentação do ar seja mais turbulenta (com velocidades de vento não sendo altas, nem baixas, nem constantes) de maneira a promover a difusão da concentração de  $\text{CO}_2$  e quebrar gradientes térmicos.

Pesquisas e resultados práticos sobre o efeito da redução dos ventos em cultivos agrícolas, podem ser encontradas no mundo todo. Na China, a proteção contra ventos aumentou a produção de trigo (de 10 a 25%), cevada (de 6 a 14%), arroz (de 5 a 15%) e em milho (20%). Na antiga URSS, a proteção contra ventos representa aumentos de 29 a 41% para cultivos forrageiros, de 20 a 26% para citrus. Por sua vez, na Austrália o trigo aumentou em 22% a produtividade e a aveia em 47% (BIRD et al. , 1992).

A atenuação da velocidade do vento obtida pela presença organizada de árvores, pode implicar no incremento do rendimento das pastagens, basicamente devido aos seguintes aspectos:

- Economia de água (menor evaporação, tanto do solo como das plantas).
- Ar com maior teor de umidade, fazendo com que as temperaturas diurnas e noturnas não oscilem muito rapidamente, evitando assim choques térmicos.
- Otimiza o suprimento de CO<sub>2</sub>.
- Diminui os danos físicos nas plantas que mantêm, então, maior área fotossintética ativa.
- Propicia uma condição microclimática favorável pela conservação, nos períodos frios, do calor do solo e do ar nas áreas protegidas e, por prevenir dos ventos quentes e secos nos períodos de verão.

Os aspectos revisados até aqui proporcionam a base necessária para perceber questões relacionadas ao microclima concorrente em sistemas silvipastoris, fruto de modificações, interações e emergências entre seus componentes e o meio.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Local e características da área do estudo

O estudo foi realizado em área da Fazenda N.S<sup>a</sup> da Guia, de propriedade de Atilio Pinheiro e Filhos, no município de Tapejara-PR (latitude 23°44'S e longitude 52°53'W e altitude de 560 metros acima do nível do mar), região de ocorrência da formação Arenito Caiuá no noroeste do Estado do Paraná.

A área do estudo é utilizada para criação extensiva de gado bovino e foi dividida em duas condições: 1<sup>a</sup>) SSP = área de pastagem arborizada configurando o sistema silvipastoril, implantado em uma superfície de 5,7ha composto por pastagem de *Brachiaria brizantha* e renques de árvores de *Grevillea robusta* com 8 anos de idade dispostos em curvas de nível. As características do arranjo podem ser vistas na Tabela 2. 2<sup>a</sup>) PANA = área contígua de pastagem de mesma forrageira cobrindo 7,3 hectares, sem árvores, e reformada em novembro de 1993

**Tabela 2** – Dados relativos às características fisiográficas e dendrológicas da área do estudo. Os valores representam médias  $\pm$  1DP.

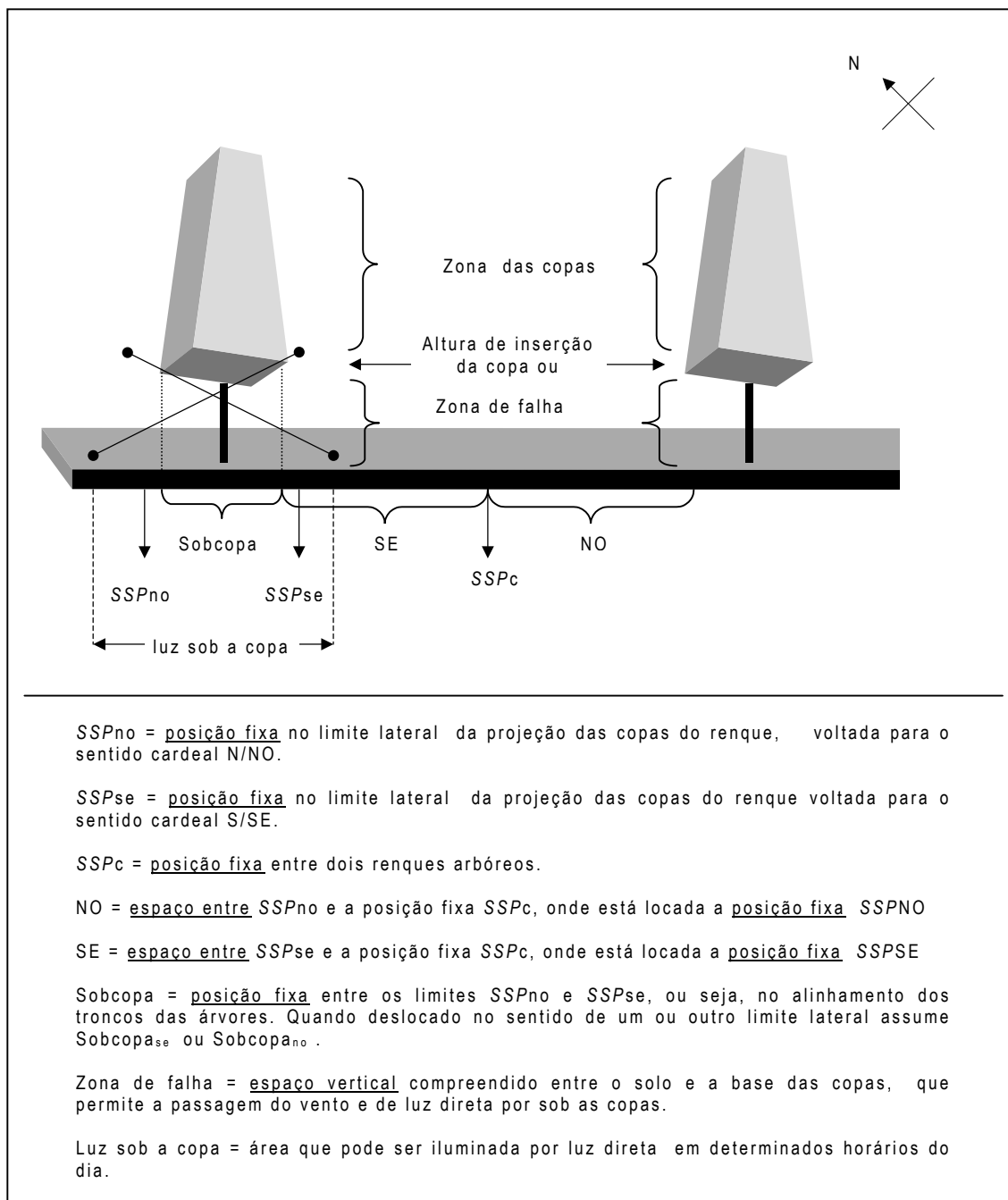
| Orientação dos renques arbóreos | Declividade e face de exposição | Distância entre árvores no renque | Distância entre renques (espaçamento) | Altura das árvores | Diâmetro a altura do peito (DAP) | Projeção lateral das copas | Altura de inserção de copa |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| E/NE-SO/O                       | 3% NO                           | 1,50m                             | 34,2 $\pm$ 1,15m                      | 12,6 $\pm$ 0,35m   | 0,206 $\pm$ 0,034m               | 3,10 $\pm$ 0,36m           | 2,7 $\pm$ 0,28m            |

Para facilitar a discussão e o entendimento do estudo realizado estabeleceu-se alguns termos próprios para a apresentação dos resultados e que estão ilustrados na Figura 2.

#### 3.1.1 - Solos

O solo da área do estudo foi classificado como Areia Quartzosa

Vermelho-Escuro / intermediária para Latossolo Vermelho-Escuro (AQ<sub>1</sub>) apresentando teores muito baixos de argila (< 15%), excessivamente drenados, muito profundos, muito porosos e capacidade de troca de cátions (CTC) dependente da matéria orgânica (IAPAR, 1988).



**Figura 2** – Determinação de posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril.

A coleta de solos para fins de caracterização da fertilidade local foi efetuada em duas profundidades ( 0-20cm e 20-40cm) dentro e fora do sistema silvipastoril. No SSP, a amostragem deu-se em cinco pontos de amostragem ao longo de quatro transectos entre dois renques de árvores, nas mesmas posições das parcelas protegidas para a colheita de forragem (Figura 3). No PANA, a amostragem deu-se nas posições das parcelas protegidas para a coleta de forragem. As análises de fertilidade do solo foram realizadas nos laboratórios do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

### **3.2 - Informações climáticas regionais**

O clima predominante é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen. Com precipitação média anual entre 1.400 e 1.500mm e evapotranspiração potencial média anual entre 1.200 e 1.400mm, apresenta tendência de concentração de chuvas no período de verão, embora sem estação seca definida. Contudo apresenta, nos meses de julho e agosto, conforme dados da estação meteorológica do IAPAR em Cianorte (localizada a 30 quilômetros da área do estudo), deficiência hídrica de 19mm (cálculo de balanço hídrico - Thornthwaite - para uma capacidade de água disponível de 100mm).

A região apresenta de 30 até 80 horas de frio abaixo de 7°C; no verão, no entanto, a temperatura do ar pode facilmente atingir 40°C a pleno sol. Os ventos predominantes são de sentido E-NE e, SO em vésperas de dias propícios a geadas (IAPAR, 1994). GRODZKI *et al.* (1996), estimaram os riscos de ocorrência de geadas na região e concluíram que, no período de 29 de maio a 17 de agosto, a probabilidade de ocorrência de geadas é de 10%. A maior probabilidade de ocorrência de geadas é de 30%, concentrada no período de 07 a 23 de julho.

### **3.3 - Estabelecimento de transectos**

Para evitar efeitos de borda, que não representam as condições internas do sistema silvipastoril, buscou-se na área arborizada uma posição central onde

foram estabelecidos sete transectos entre dois renques. Os motivos de serem demarcados entre dois renques e não através de um renque, foram: i) facilidade para o trabalho de campo; ii) interesse de informações nas condições de entre renques.

Os transectos dispostos entre os dois renques de árvores denominados de 'A' e 'B' foram distanciados 10 metros entre si, da seguinte forma:

- quatro transectos com sete posições ao longo de cada um, nessas foram realizadas leituras de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e do deslocamento da zona de sombra;
- três transectos demarcados intercaladamente àqueles da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), nesses distribuiu-se cinco parcelas protegidas para colheita de forragem. Tal locação deveu-se ao objetivo de relacionar a produção de matéria seca com a variável ambiental RFA. Assim, as parcelas protegidas por "gaiolas", construídas com tela de arame em formato de meia esfera com diâmetro de 1,50 m, foram dispostas em posições alinhadas com pontos de tomada de leituras referentes à radiação fotossinteticamente ativa, entre os dois renques de árvores (Figura 3).

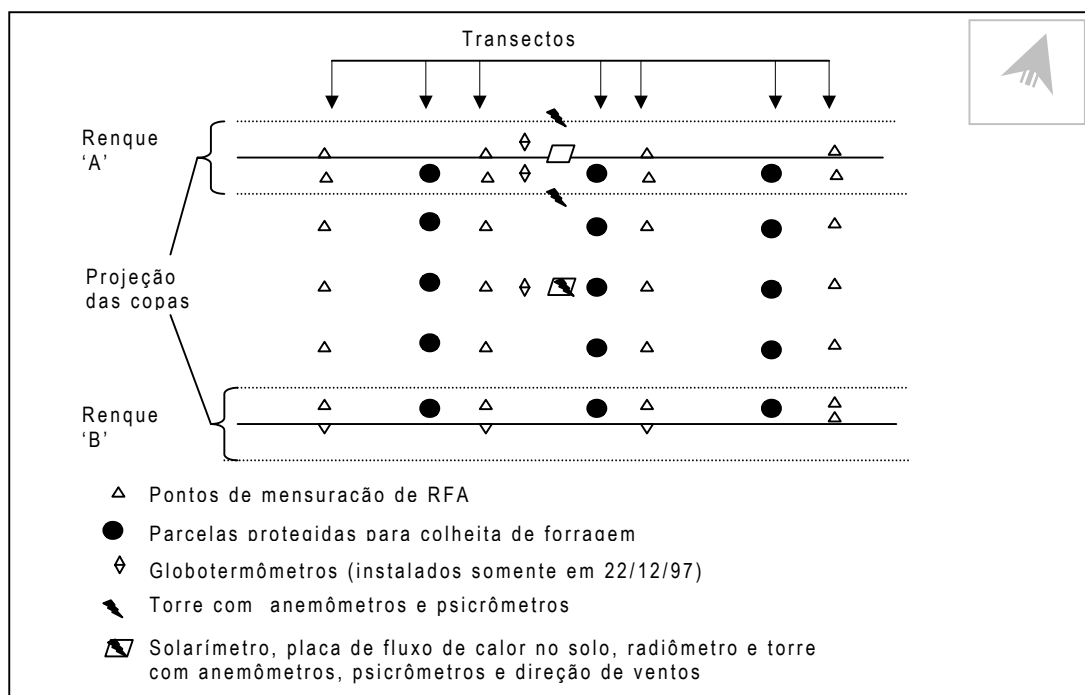
Na condição da pastagem aberta (*PANA*) a instalação das parcelas protegidas deu-se de maneira aleatória, distribuídas em três pontos equidistantes 75 metros.

### **3.4 - Coleta de dados/Operacionalização**

#### **3.4.1 - Variáveis do ambiente**

- Radiação fotossinteticamente ativa (RFA): foi mensurada em  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , mensalmente, através de ceptômetro com barra sensora de 80 cm – referência comercial Decagon. Foi medida à cada hora, percorrendo-se as posições em cada transecto demarcado em *SSP* (em cada ponto fora instalado uma estaca com 40 cm acima do solo e sobre a qual era apoiada e nivelada a barra sensora do instrumental).

Em *PANA* era efetuada em um só ponto fixo. O tempo necessário para percorrer os 28 pontos (sete em cada transecto) de leitura dentro do *SSP*, mais duas leituras na condição *PANA* (uma no início da operação e outra ao final) foi estimado entre 6 e 8 minutos.



**Figura 3** – Croqui da disposição de instalações executadas para o estudo dentro da área de pastagem arborizada (*SSP*).

- Radiação solar global ( $R_g$ ): foi medida em  $w.m^{-2}$ , nos dias 05/07/97, 23/09/97 e 22/12/97 com tubo solarimétrico - referência comercial Delta T-Devices - fixado à 45 cm do solo, instalado nas posições: *SSP*sobcopa = sob as copas do renque 'A' (no alinhamento dos troncos das árvores -entre dois troncos-); *SSP*c = entre os dois renques arbóreos, 'A' e 'B'; e, *PANA* = na pastagem aberta.
- Temperatura e Umidade do ar : foram medidas nos dias 05/07/97 e 22/12/97. Com três conjuntos psicrométricos construídos com termopares de cobre-constantã, fixados nas alturas  $H^1= 45cm$ ;  $H^2= 135cm$  e  $H^3= 295 cm$ , em "braços" esquerdos de torres instaladas nas posições: *SSP*se =lado/face sudeste do renque arbóreo 'A'; *SSP*no =

lado/face noroeste do renque arbóreo 'A'; *SSPc* = entre os dois renques arbóreos 'A' e 'B'; *PANA* = na pastagem aberta.

- Pressão atual de vapor d'água (**ea**): foi estimada através da equação

$$ea = es - \gamma(ts - tu) \quad (7)$$

onde **es** é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura do ar obtida no termopar seco (**ts**);  $\gamma$  é a constante psicrométrica obtida para a pressão atmosférica local (  $P = 94,98\text{kPa}$  ) igual a  $0,063\text{kPa}$ ; **tu** é a temperatura do ar obtida no termopar úmido. A **es** foi obtida pela equação

$$es = 0,61078 \exp \left( \frac{17,269ts}{ts + 237,3} \right) \quad (8)$$

- Déficit de pressão de vapor (DPV): foi estimado pela equação

$$DPV = es - ea \quad (9)$$

- Temperatura do ar ao globotermômetro: Mensurada somente no dia 22/12/97 através de globotermômetros de pequeno diâmetro, instalados na altura de 135 cm acima do solo.
- Velocidade e direção dos ventos: foram medidas nos dias 05/07/97 e 22/12/97 com anemômetros de canecas (Met One 014A), fixados nas alturas  $H^1 = 55\text{cm}$ ,  $H^2 = 145\text{ cm}$  e  $H^3 = 305\text{ cm}$ , em "braços" direitos das torres utilizadas também para os sensores de temperatura e umidade do ar. O sensor para direção dos ventos (Met One 024A) somente foi instalado nas posições *SSPc* e *PANA* na altura de 330 cm acima do solo.
- Fluxo de calor no solo (S): foi medido nos dias 05/07/97 e 22/12/97 com um sensor do tipo placa (HFT-3), instalada na profundidade de 1 cm dentro do solo nas posições *SSPc* e *PANA*.
- Radiação líquida ( $R_n$ ): foi medida nos dias 05/07/97 e 22/12/97 utilizando um saldo radiômetro instalado a 140 cm acima do nível do solo nas posições *SSPc* e *PANA*.
- Umidade do solo: foi estimada através de amostragens gravimétricas mensais retiradas das profundidades de 0-5, 10-15 e 30-35 cm

(camada onde concentra-se o maior volume do sistema radicular da pastagem). Com esses dados procedeu-se a estimativa da fração de água disponível (FAD) no solo por meio da equação:

$$FAD = \left[ \frac{\theta_a - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right] \cdot 100 \quad (10)$$

onde  $\theta_a$  é a umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) atual obtida por transformação da umidade gravimétrica (u%);  $\theta_{cc}$  é a umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) na condição convencional de capacidade de campo obtida em laboratório;  $\theta_{pmp}$  é a umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) convencional de ponto de murcha permanente obtida em laboratório.

- Balanço de energia : foi estimado pela utilização de equação simplificada de balanço de energia ( $R_n + LE + H + S = 0$ ) utilizada em diversos estudos para estimar a evapotranspiração de cultivos em intervalos de tempo inferior ou igual a um dia. Partindo dos dados obtidos para a radiação líquida ( $R_n$ ), fluxo de calor no solo ( $S$ ), das diferenças de temperaturas entre as alturas  $H^1$  e  $H^2$  para os termopares secos ( $\Delta t$ ) e termopares úmidos ( $\Delta t_u$ ), calculou-se o balanço de energia enfatizando a estimativa do fluxo turbulento de calor latente (LE) através da razão de Bowen ( $\beta = H/LE$ ):

$$\begin{aligned} \text{- Razão de Bowen } (\beta): \quad \beta &= [(\Delta + \gamma / \gamma) \cdot (\Delta t_u / \Delta t) - 1]^{-1} \\ & \quad \text{(OMETTO, 1981; CUNHA et al. 1996)} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\text{- Fluxo de calor latente (LE): } LE = -(R_n + S) / (1 + \beta); \quad (12)$$

$$\text{- Fluxo de calor sensível (H): } H = -(R_n + LE + S), \quad (13)$$

sendo  $\Delta$  o valor da tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e,  $\gamma$  a constante psicrométrica calculada para 550 metros acima do nível do mar ( $0,063 \text{ kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Com exceção dos dados coletados através de ceptômetro (RFA) e das amostras de solo, todos os demais foram coletados e armazenados em uma unidade 'datalogger', programada para efetuar uma leitura à cada 30 segundos e integrar uma média a cada 15 minutos.

### 3.4.2 - Variáveis da pastagem

- **Matéria seca da pastagem:** As colheitas da pastagem, em uma área de 0,25 m<sup>2</sup> central em cada parcela protegida, foram iniciadas no mês de maio sendo feitas mensalmente através de corte de todo o material vegetal na altura de 25 centímetros acima do solo (SÁ, 1985; ZIMMER *et al.*, 1988). Após a colheita do material da área de amostra (0,25m<sup>2</sup>), todo o restante da parcela era submetido ao corte de homogeneização/nivelamento de sua parte aérea na mesma altura da amostra colhida. No mesmo dia das colheitas de pastagem foram retiradas amostras de solo junto a cada parcela, para determinação de seu teor de umidade nas profundidades de 0-5, 10-15, 20-25 centímetros.

Um dia antes e/ou um dia depois ao da colheita de forragem, foram tomados os dados referentes à radiação fotossinteticamente ativa.

- **Atributos morfológicos da pastagem:** Antes das colheitas efetuadas em julho e janeiro, foram efetuadas medidas do comprimento e da largura de lâmina da última folha totalmente expandida. As folhas foram medidas ao acaso nas parcelas protegidas das posições  $SSP_{sobcopaNO}$  (sob a projeção lateral da copa voltada para a direção noroeste no renque 'B')  $SSP_{sobcopaSE}$  (sob a projeção lateral voltada para a direção sudeste no renque 'A'),  $SSPc$  e  $PANA$ , totalizando 160 amostras por vez (40 amostras para cada posição). A partir dessas amostras obteve-se os valores médios para os atributos comprimento e largura de lâmina da última folha totalmente expandida, com os quais calculou-se a área foliar explotável ( $AF_e$ ), pois para as características e condições do trabalho, somente interessava conhecer a quantidade de matéria seca (MS) que seria colhida acima de 25 cm do solo. A última folha totalmente expandida pode ser



considerada como aquela que acabou de deixar a condição considerada de “dreno” metabólico para “fonte”, pois já são capazes de fixar quantidades de carbono suficientes para seu próprio crescimento e exportar fotoassimilados (SILVA & PEDREIRA, 1997).

A área foliar explotável ( $AF_e$ ) foi calculada pelo método da pesagem de disco, descrito por REIS & MÜLLER (1979), aplicado às folhas que representaram os valores médios de comprimento e largura obtidos na amostragem para cada posição.

- Atributos bromatológicos: As determinações dos teores percentuais de Matéria Seca (MS), Proteína Bruta (PB), foram efetuadas pelos laboratórios de nutrição animal do IAPAR.
- Parâmetros de produção: Com os dados de MS da pastagem colhida e  $AF_e$ , calculou-se os parâmetros de produção, conforme REIS & MULLER (1979). Todos relacionados ao plano de corte/colheita da forragem (25 cm acima do nível do solo):
  - Índice de Área Foliar (IAF), obtido pela divisão dos valores calculados de  $AF_e$ , para cada uma das posições ( $SSP_{sobcopaSE}$ ,  $SSP_c$ ,  $SSP_{sobcopaNO}$  e  $PANA$ ), pela área útil da parcela, sendo uma variável adimensional ( $cm^2 \cdot cm^{-2}$ );
  - Área Foliar Específica (AFE), obtido pela divisão do valor de superfície foliar (AF) da própria folha amostrada pelo seu peso em MS; expresso em  $cm^2 \cdot g^{-1}$ .
  - Razão de área Foliar (RAF), obtido pela divisão do valor de  $AF_e$  pelo peso de MS das folhas da forrageira na área útil da parcela; expressado em  $cm^2 \cdot g^{-1}$ .

### 3.4.3 – Estimativa de “índices de conforto térmico animal”.

Os valores obtidos para as variáveis ambientais nas condições  $PANA$  e  $SSP$  foram agrupados em médias horárias e aplicados às fórmulas de:

- Índice Temperatura-Umididade

$$THI = t_a + 0,36 t_o + 41,2$$

- Índice Umidade-Globotermômetro

$$BGHI = t_g + 0,36 t_o + 41,2$$

onde  $t_a$  temperatura do ar medida no termopar seco ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_o$  é a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_g$  é a temperatura do globotermômetro.

Os valores calculados pelas fórmula foram qualificados, de acordo com HAHN (1985), para valores de THI onde o índice é:  $\text{THI} \leq 70$  = condição normal;  $71 \leq \text{THI} \leq 78$  = crítico;  $79 \leq \text{THI} \leq 83$  = existe perigo; e  $\text{THI} > 83$  = condição de emergência presente.

Os dados foram analisados estatisticamente através do Teste  $t$  e Teste Tukey ao nível de 5% e 10% de probabilidade, bem como correlações múltiplas. Também foi utilizada a análise de componentes principais onde é possível sintetizar informações de diversas variáveis em um único valor, assim, o valor que resume as informações,  $y_i$ , é uma função das variáveis e é expressado como:  $y_i = e_i' x$ , em que  $x$  é o vetor-coluna das medidas feitas na variáveis e  $e_i$  é o  $i$ -ésimo autovetor obtido a partir do  $i$ -ésimo autovalor da matriz,  $R$ . Esses autovalores,  $\lambda_i$ , são estimados, considerando-se a restrição de que  $\sum \lambda_i = \text{tr}(R)$ . Os autovetores são obtidos a partir da relação  $Re = \lambda_i e_i$ , devendo cada vetor  $e_i$  satisfazer a condição de que  $e_i' e_i = 1$ . A magnitude do valor do  $j$ -ésimo elemento do vetor  $e_i$  mede a importância da  $j$ -ésima variável para a constituição do  $i$ -ésimo componente principal, independentemente das outras variáveis. Em particular, esse  $j$ -ésimo elemento é proporcional ao coeficiente de correlação entre  $y_i$  e o  $j$ -ésimo elemento do vetor  $x$ . O autovetor que corresponder à maior raiz  $\lambda_1$ , a qual, está associada às maiores variâncias, será escolhido como o componente principal, o qual explica a participação do efeito da variável na variância total.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Radiação solar global ( $R_g$ ) e sombreamento

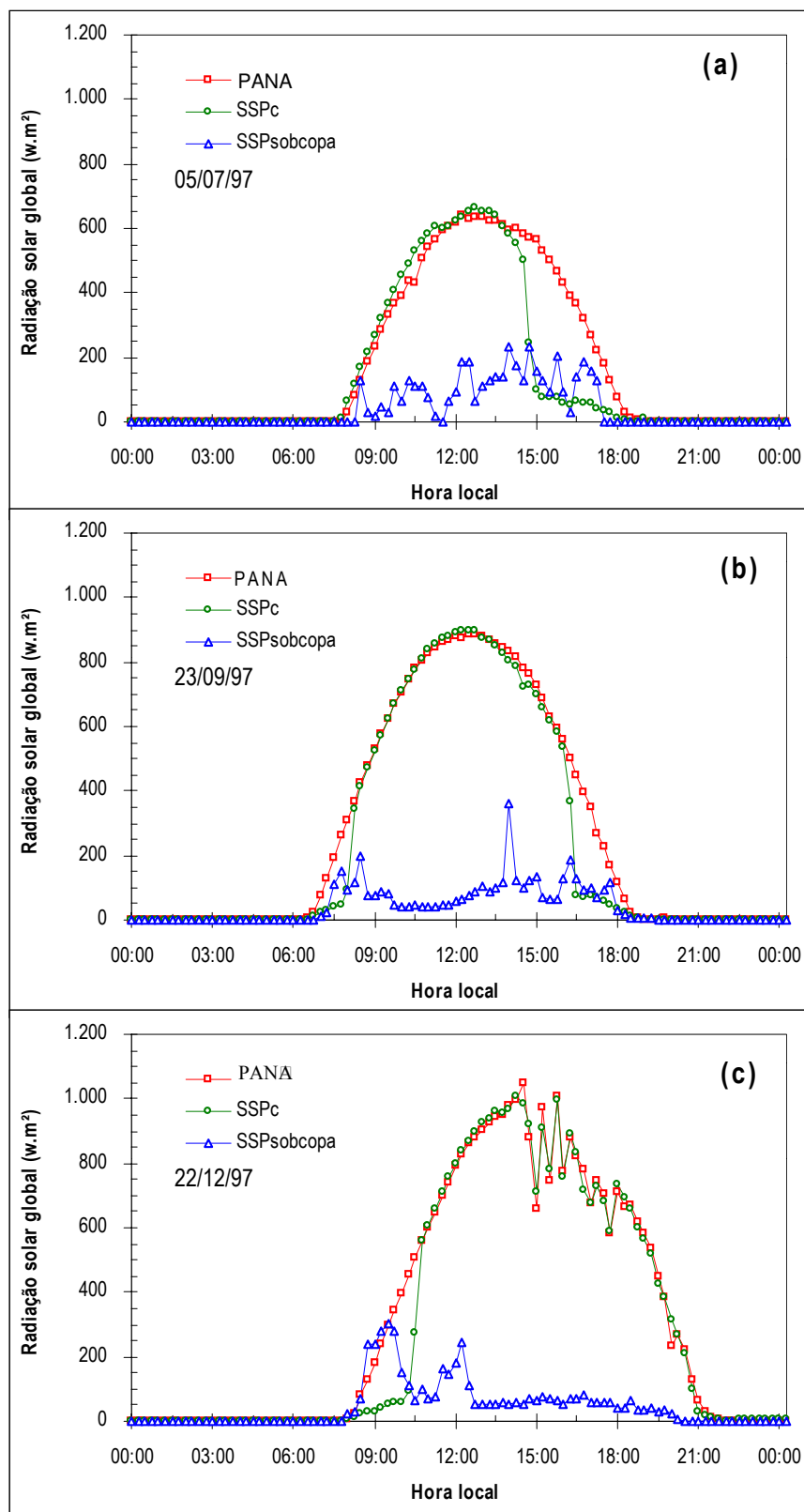
A distribuição da radiação solar incidente no sistema silvipastoril (SSP), principalmente para a pastagem que é o componente mais baixo, foi influenciada pelos fatores apresentados na Tabela 2 (ver item 3.1).

O curso diário da  $R_g$  em cada posição de medida dentro do SSP foi modificado pelo sombreamento imposto pelas árvores de *Grevillea robusta*.

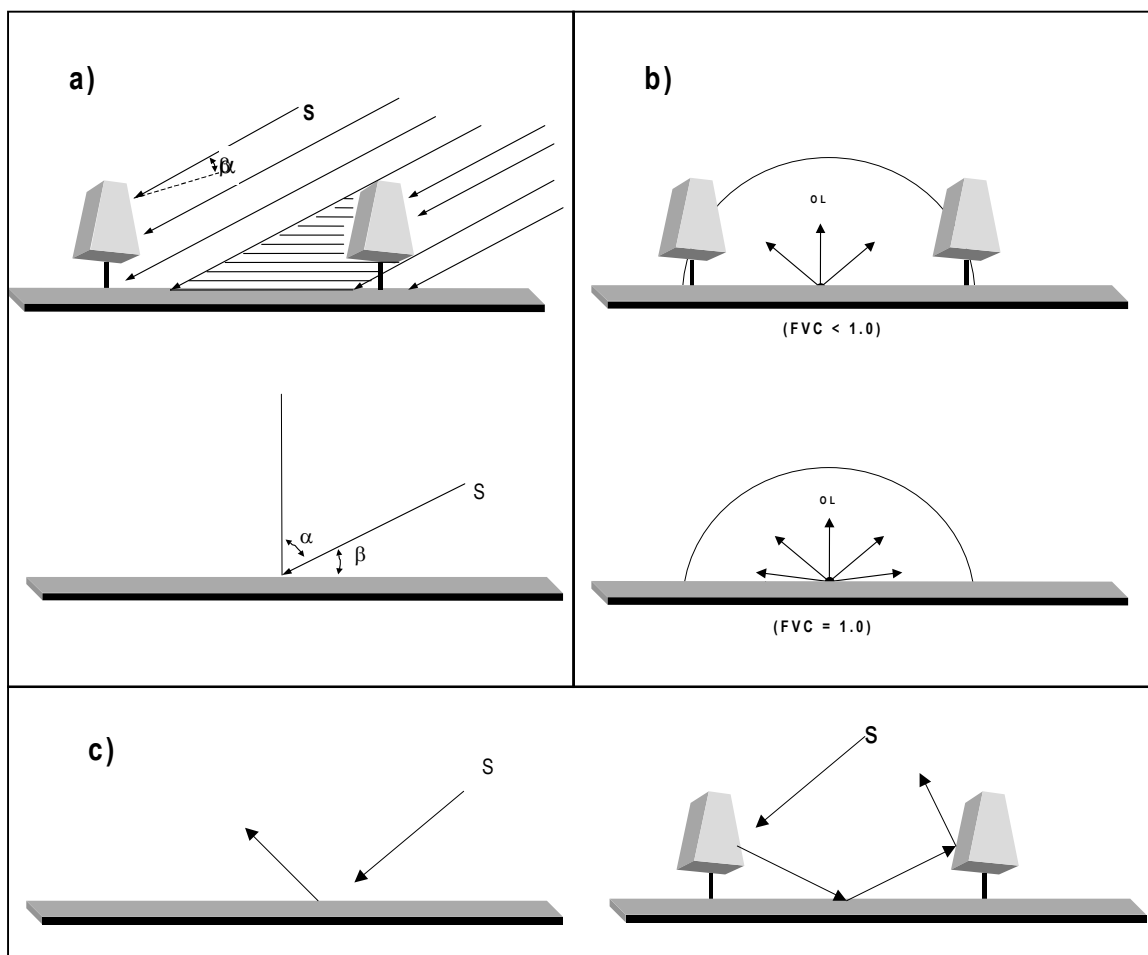
Devido ao arranjo do componente arbóreo, durante um dia de inverno, 05/07/97 (Figura 4-a), a incidência da radiação solar direta em SSPc, nas primeiras horas, ocorreu simultaneamente com a posição na condição aberta (PANA).

Porém, dada a condição de reflexão das copas (Figura 5), os valores de  $R_g$  foram superiores aos da área de PANA até o instante em que o ângulo de elevação do sol no horizonte ( $\beta$ ) aumentasse mais e a reflexão diminuísse. Segundo Lemeur & Rosenberg (1975) citados por PEREIRA (1996), a reflexão ( $r$ ) varia com o ângulo zenital ( $Z$ ) e pode ser explicada em função do ângulo de inserção das folhas ( $K$ ) dentre outros fatores. Assim, sempre que  $Z < K$ , a reflexão é preferencialmente para baixo, aumentando a captação da radiação solar; quando  $Z > K$ , dá-se o contrário e  $r$  aumenta para cima. Com relação às folhas da *G. robusta*, estas apresentam a face inferior bastante pilosa (curtos e densos pelos), o que confere um aspecto prateado distinto de sua face superior e que aumenta sua reflexão; em algumas regiões, dada a essa característica a espécie é conhecida como 'Carvalho prateado'. LARCHER (1986), comentou que a pilosidade em folhas pode aumentar a reflexão da luz visível e raios infravermelhos das proximidades em 2 a 3 vezes.

Com a mudança da época do ano ( em direção ao verão), as posições dentro do SSP passaram a receber radiação solar global em horários mais avançados do dia e, também por maior número de horas (Figura 4-b,c) como resultante da diminuição da elevação solar. O efeito da reflexão das copas passou a ocorrer em horários próximos ao meio dia. Valores maiores de  $R_g$  entre linhas de plantas em horários próximos ao meio dia também foram registrados HAM & KLUITENBERG (1993).



**Figura 4** – Incidência de radiação solar global ( $R_g$ ) em diferentes dias do ano e posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA).



**Figura 5** - Influência dos renques arbóreos na transferência de radiação. Comparação da superfície com e sem renques paralelos, em termos de : a) recepção de radiação direta de ondas curtas (S); b) emissão de radiação direta de ondas longas (OL); c) reflexão de S. Em função da altura e da distância entre dois renques, a visada da abóbada celeste (FVC) efetuada do ponto médio entre dois renques, será sempre menor que em superfície aberta. ( $\alpha$ ) é o ângulo entre a normal do plano de superfície e a direção da fração de radiação que a atinge. ( $\beta$ ) é o ângulo de elevação do sol acima do horizonte .

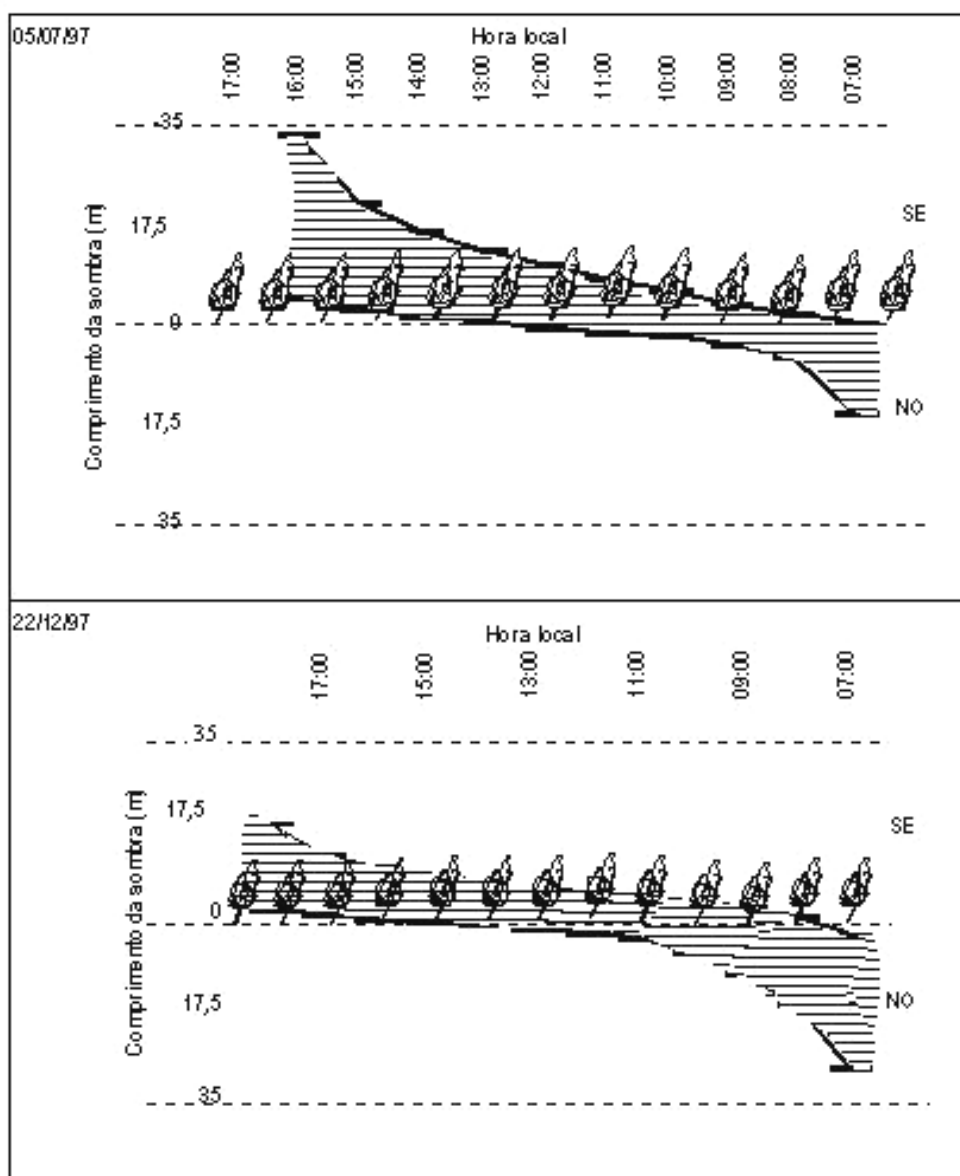
O aspecto de “achatamento” lateral das curvas das figuras que representam a *Rg* na posição *SSPc* (entre-renques) deve-se à interceptação da radiação solar global pelas copas das árvores, ocasionando sombreamento de grande extensão. No entanto, nos horários em que a elevação do sol em relação ao horizonte era pequena, foi quando ocorreu a incidência de radiação solar direta nas posições sob copas. O tempo de incidência direta da radiação global por sob as copas é, no entanto, função também do espaçamento entre renques e entre as árvores nos renques, da altura das árvores, da altura de inserção de copa (zona de falha) e projeção lateral das copas, da declividade do terreno e da orientação dos renques.

Renques orientados no sentido Norte – Sul têm sido recomendados por vários autores ( em sua maioria baseados em condições não tropicais), porém, nas condições fisiográficas e edafoclimáticas do presente estudo a disposição de renques espaçados em curvas de nível nas pastagens podem propiciar mais amplos benefícios, tais como: controle efetivo da erosão do solo, distribuição ordenada de sombra e proteção aos animais, melhoria das pastagens, distribuição da ciclagem de nutrientes efetuada tanto pelas árvores quanto pelos animais, compatível com atividades mecanizadas. (PORFÍRIO DA SILVA & MAZUCHOWSKI, no prelo).

#### **4.1.1 - O Sombreamento**

A presença das árvores em renques curvilíneos na pastagem, além de impor uma condição de barreira contra os ventos, impôs também uma condição de sombreamento ao longo do dia, com valores de área sombreada numa razão mínima de sombra:sol de 1:4,6 ( das 8:00 às 9:00 horas para o dia 05/07/97) e, 1:5,6 para o dia 22/12/97, às 12:00 horas (Figura 6). Tal sombreamento pode parecer excessivo em valores percentuais de área, no entanto, devido ao arranjo do componente arbóreo (direção *NE-E/SO-O*), a zona de sombra é cambiante ao longo das horas do dia e das estações do ano.

No inverno quando o ângulo de elevação solar é menor, faz com que as sombras sejam mais alongadas, por isso a sobreposição da sombras no inverno deu-se antes das 17:00 horas e, no verão, depois das 18:00 horas. No entanto, dada à posição dos renques arbóreos, em relação a declinação



**Figura 6** – Comparação da zona de sombra (■) proporcionada pelos renques arbóreos no SSP em um dia de inverno (a) e em um dia de verão (b) para uma mesma situação topográfica de exposição e declividade.

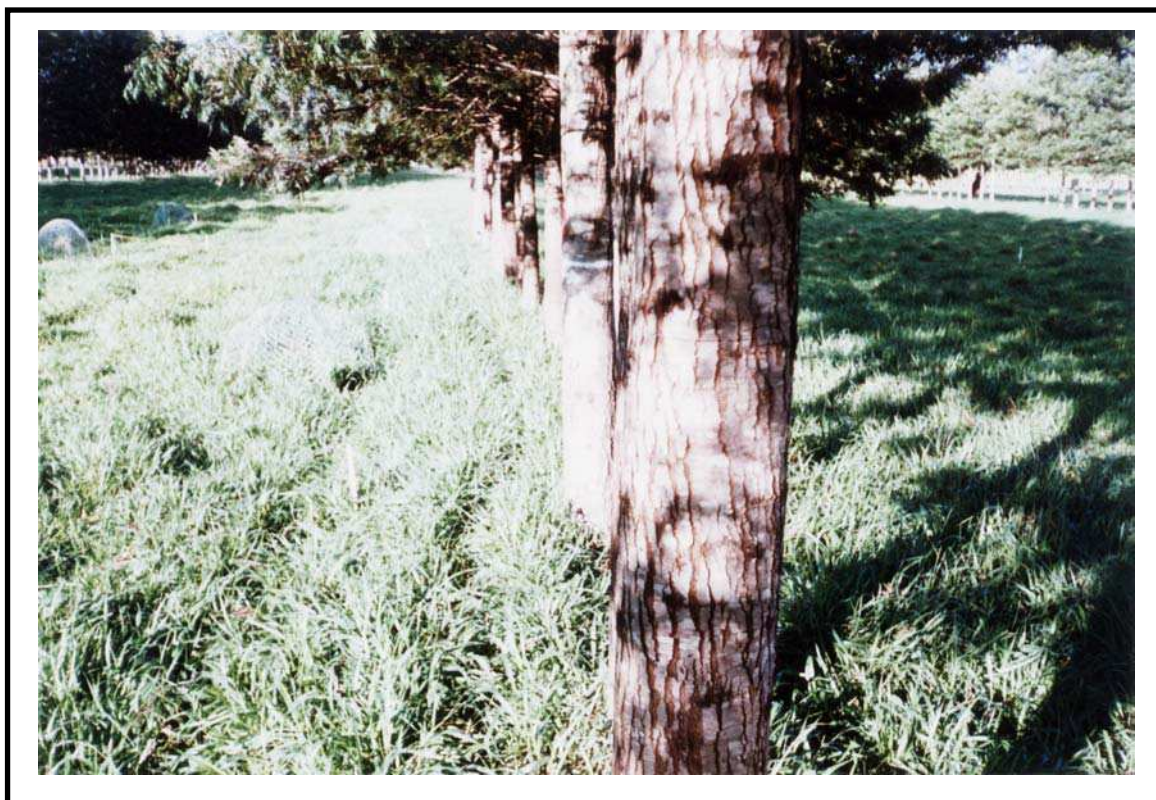
do sol, as sombras das primeiras horas da manhã foram mais curtas no inverno e mais longas no verão. Além disso, as árvores de *Grevillea robusta* estão menos enfolhadas (menor índice de área foliar) e assim, a interceptação de luz pelas copas é menor do que no verão quando estão mais enfolhadas (maior índice de área foliar, maior interceptação de radiação luminosa). Porém, no verão, a elevação solar é maior, então as sombras são menos alongadas e mais densas.

Nas Figuras 7, 8 e 9, podem ser vistos aspectos relativos à dinâmica de luz e sombras no SSP. Tal comportamento na interceptação de luz pelas copas das árvores, juntamente com o comportamento dos ventos, influem sobre outras variáveis microclimáticas como a temperatura e umidade do ar, a temperatura e umidade do solo, na evapotranspiração, no conforto térmico dos animais que circulam pela área, no balanço de energia disponível ao meio e por conseguinte na resposta da pastagem no que tange aos aspectos de relações acima do solo.



**Figura 7** – Aspecto da condição de sombreamento existente no sistema silvipastoril em horário (vespertino) no que a luz solar incide diretamente por sob as copas das árvores.





**Figura 8** – Mosaico de luz e sombra característico do sistema silvipastoril na área (9:00 horas no verão). É perceptível no primeiro plano e ao fundo, como a radiação solar incide diretamente por sob as copas dos renques de árvores de *G. robusta*.



**Figura 9** – Incidência direta da radiação solar sob as copas durante o inverno (horário matutino) na pastagem arborizada em renques curvilíneos.

## 4.2 – Balanço de Energia

Dadas as condições de interceptação da radiação solar global ( $R_g$ ) e da diminuição do fator de visão da abóbada celeste (“*sky view factor*”) decorrentes da presença dos renques arbóreos, a disponibilidade de radiação líquida no meio ( $R_n$ ) e do fluxo de calor no solo dentro do SSP foi modificada (Figura 10).

Os componentes do balanço de energia para as duas datas (05/07/97 e 22/12/97) encontram-se na Tabela 3. Observa-se que houve diferenciação no aporte de energia para a condição dentro do sistema silvipastoril, que foi representado pelo saldo de energia ( $R_n$ ) que atingiu valores de 78% e 89%, dos valores registrados na condição *PANA*, respectivamente para as datas de inverno e de verão.

As Figuras 11 e 12, resumem o efeito dos renques arbóreos na pastagem sobre o balanço de energia.

Os fluxos de calor latente de evaporação na pastagem aberta (*PANA*) foram 20% maior no inverno e 30% maior no verão do que na condição da pastagem arborizada (*SSP*) (Tabela 3). Tal fato pode ser atribuído à presença dos renques arbóreos que diminuíram a velocidade dos ventos e impediram a advecção regional de calor, bem como, restringiram a oferta de energia ( $R_g$ ) para as camadas abaixo do nível das copas, o que fez com que o saldo de  $R_n$  fosse menor no sistema silvipastoril do que na área de pastagem aberta.

Para o dia 5/7/97, a partição da energia disponível ao meio ( $R_n$ ), nas posições *PANA* e *SSPc* foi, respectivamente, de 93% e 97% para os fluxos de LE e de 7% e 3% para os fluxos de H. Para o dia 22/12/97, a partição da  $R_n$  nas condições da pastagem não arborizada, mostrou que houve um leve aporte de energia ao fluxo de LE, o qual superou em 1% os valores da  $R_n$ . No sistema silvipastoril 87% da  $R_n$  foi utilizada para o fluxo de LE.

Em 5/7/97 havia disponibilidade de umidade no solo (Figura 31) em condições similares para as duas posições (*PANA* e *SSPc*), portanto quase toda a energia disponível foi utilizada para a evaporação (Tabela 4 – relação LE/ $R_n$ ). Os valores da Razão de Bowen ( $\beta$ ) também confirmam a condição de alta umidade disponível e atmosfera com alto gradiente de umidade relativa e baixo gradiente de temperatura nas posições referenciadas. Nessa mesma data, a Razão de Bowen, , a partir do momento em que a posição *SSPc* foi sombreada no período da tarde, diminuiu rapidamente, tornando-se negativa.

As 16:00 horas já indicava que havia inversão nos sentidos dos fluxos dos componentes do balanço de energia, enquanto que em *PANA* isso somente ocorreu após as 18:00 horas

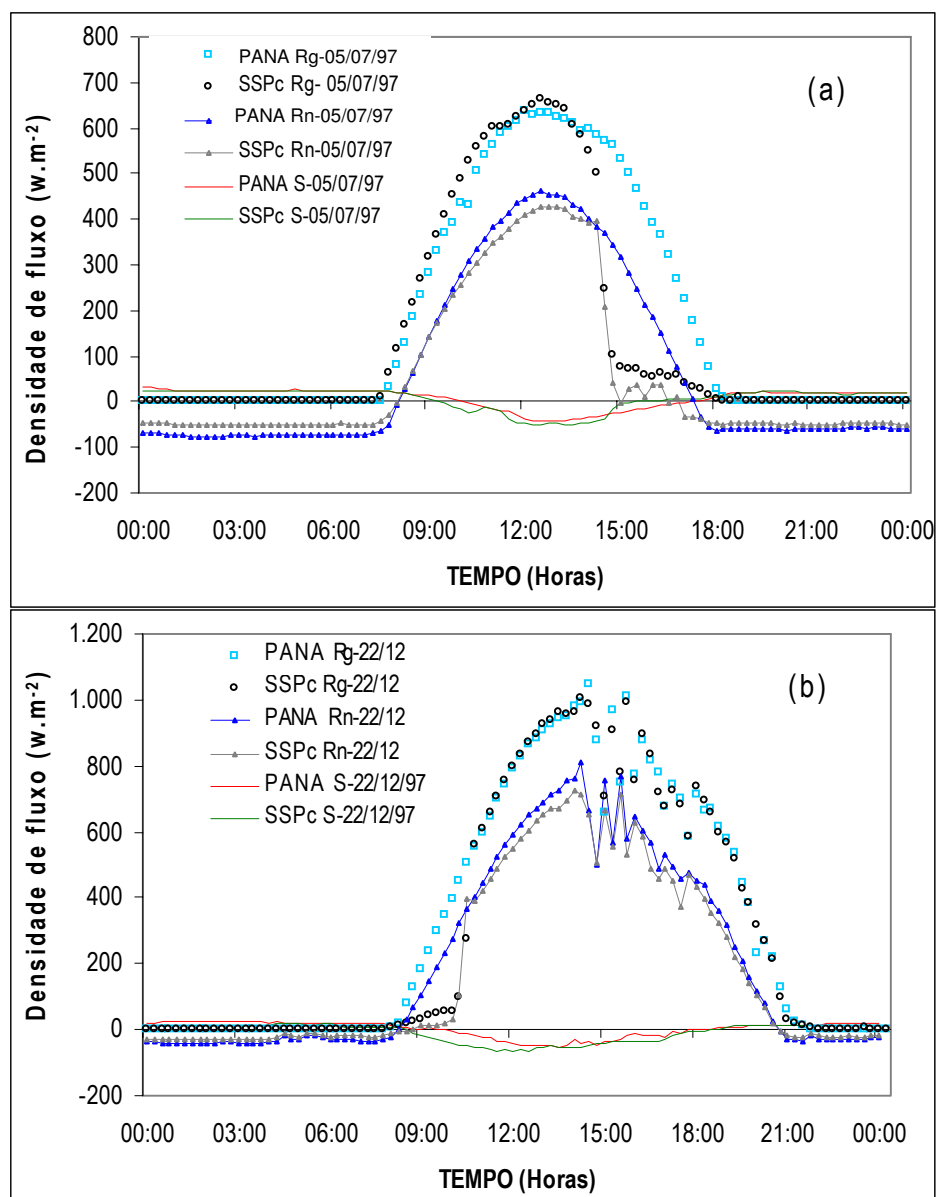
Baseado na Figura 31, pode-se sugerir que, para uma mesma data, nas posições sob as copas, a Razão de Bowen pela manhã teria valores maiores na face *SE* (maior *LE*) e menores na face *NO* dos renques arbóreos, dando-se o contrário à tarde. É que, sob as copas, ocorre deposição diferenciada das águas de chuva ( item 4.6 ), logo, sob as copas, a disponibilidade de umidade é menor, mas também o é, o gradiente de vapor d'água e o gradiente de temperatura, em diferentes períodos do dia devido a incidência diferenciada de radiação solar global. As Figuras 18 e 24 ilustram o comportamento do gradiente de temperatura num mesmo horário para as diferentes posições dentro do sistema silvipastoril.

Na Figura 12 nota-se a ocorrência de valores de  $\beta$  altos, inclusive a superiores à unidade, o que implica em estimativas imprecisas dos fluxos de calor, embora os valores de  $\beta$  tenham sido coerentes nas demais horas do dia. A análise, no caso, corresponde a dizer que havia uma situação no ambiente para a qual o método teria limitações causadas por advecção de calor sensível ou latente (BRUTSAERT, 1982; BERLATO & MOLION, 1981). Como será demonstrado, houve manifestação da heterogeneidade<sup>1</sup> horizontal na temperatura do ar e nas condições de ventos ( inclusive inversão noturna de perfil no dia 22/12/97 –ver Anexo 2). Tais condições, geradas internas ao sistema silvipastoril, aliadas aos valores encontrados de  $\beta$  afirmam a condição de dissimilaridade.

BRUTSAERT (1982), comentou ainda que lugares ou fontes de distribuição de calor que podem ocorrer nas proximidades às copas de árvores são provavelmente refletidos na dissimilaridade dos respectivos perfis acima da vegetação mais baixa e que, a validade do método de Bowen depende criticamente da similaridade do perfil de temperatura e umidade do ar.

---

<sup>1/</sup> Os renques arbóreos dispostos em linha de nível apresentam variação nos graus de cobertura do terreno, a heterogeneidade horizontal é dada pela presença de copas de plantas na linha e pela ausência na entre linha e pode ser representada pela condição variante entre a mínima e máxima cobertura de copas (determinado pelo espaçamento), implicando em forte dissimilaridade, tanto horizontal quanto vertical na distribuição de calor e/ou vapor d'água.



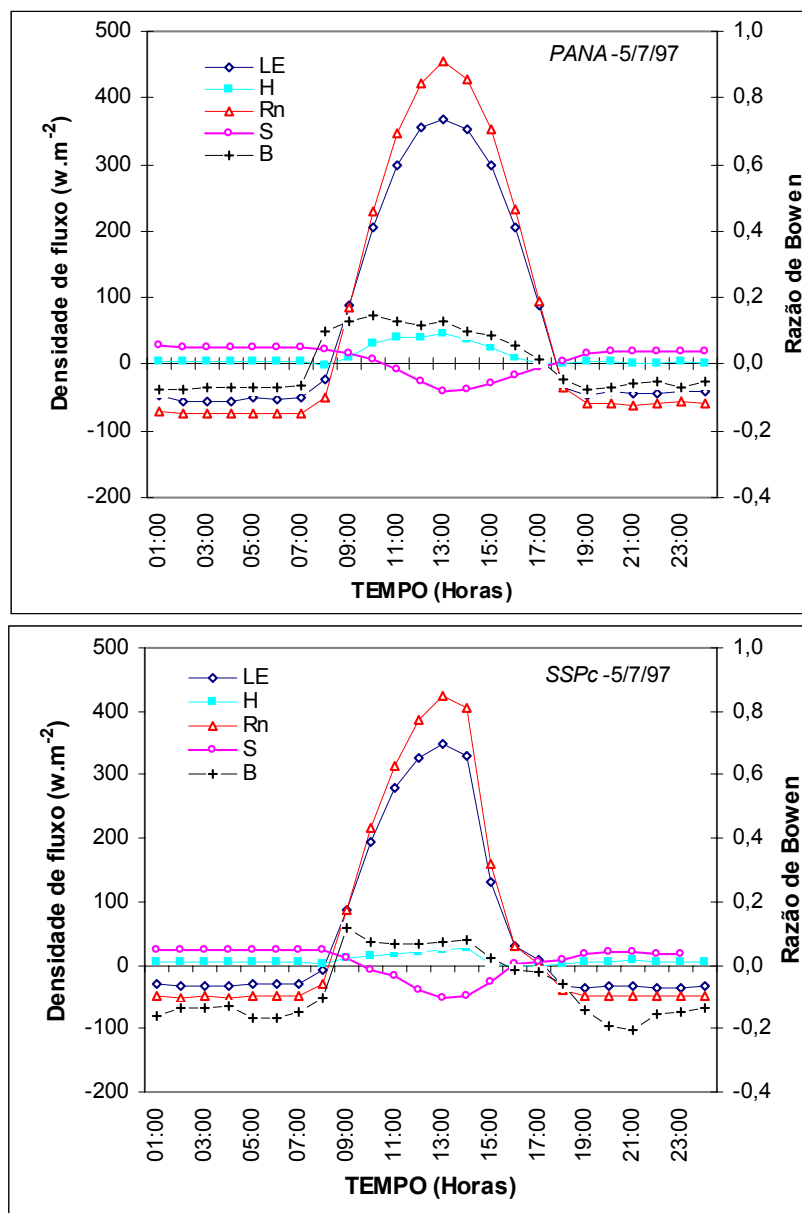
**Figura 10:** Comportamento da radiação líquida disponível ao meio (Rn+S) num dia de inverno (a) e num dia de verão (b) para as condições *PANA* e *SSPc*.

**Tabela 3:** Fluxos componentes do balanço de energia para as condições de pastagem não arborizada (*PANA*) e em pastagem arborizada no sistema de renques curvilíneos (*SSPc*).

| Dia      | $w.m^{-2}.dia^{-1}$ |         |         |        |        |
|----------|---------------------|---------|---------|--------|--------|
|          | Condição            | Rn      | LE      | H      | S      |
| 05/07/97 | <i>PANA</i>         | 6781,5  | 6340,3  | 1142,5 | 701,3  |
|          | <i>SSPc</i>         | 5271,9  | 5093,9  | 746,4  | 568,5  |
| 22/12/97 | <i>PANA</i>         | 20641,7 | 20846,9 | -410,3 | 205,1  |
|          | <i>SSPc</i>         | 18451,5 | 15985,5 | 1579,0 | -887,0 |

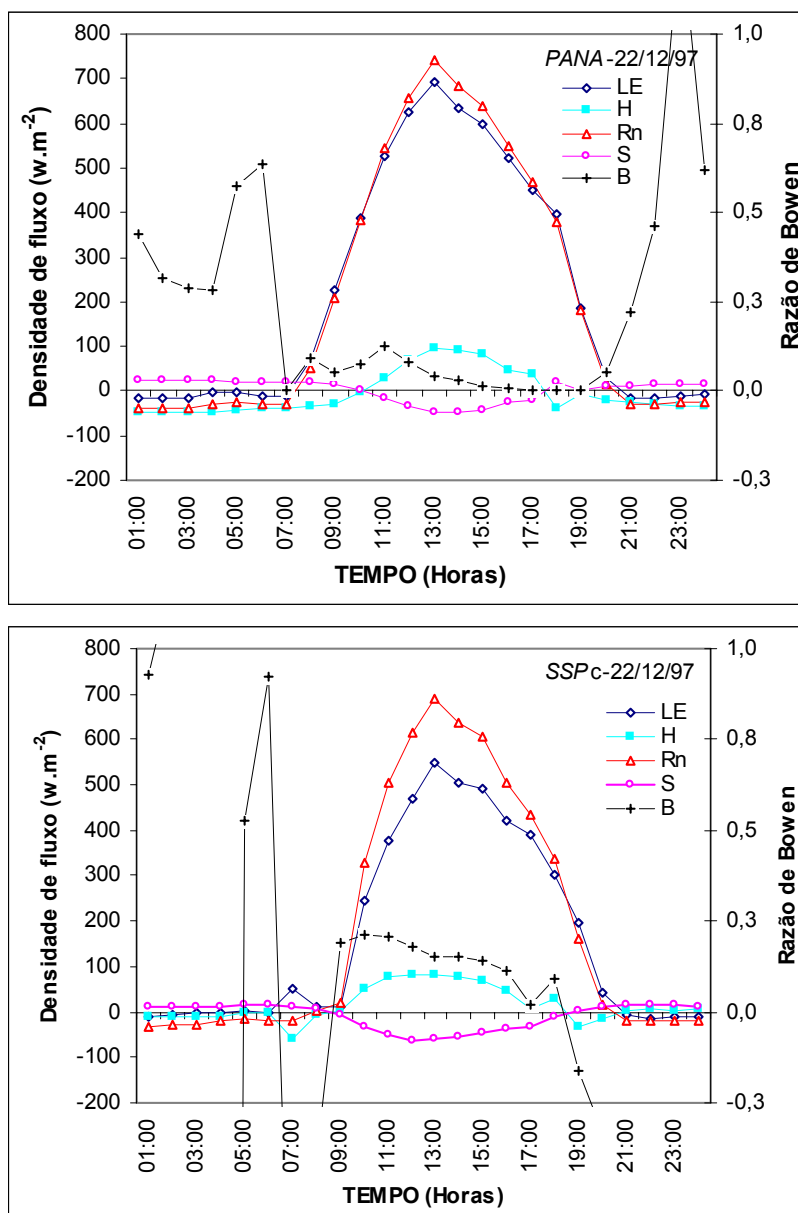
**Tabela 4 :** Relações entre os componentes de balanço de energia para as condições de pastagem não arborizada (*PANA*) e em pastagem arborizada no sistema de renques curvilíneos (*SSPc*).

| Dia      | Condição    | Relações |           |       |       |
|----------|-------------|----------|-----------|-------|-------|
|          |             | LE/Rn    | LE/(Rn+S) | H/Rn  | S/Rn  |
| 05/07/97 | <i>PANA</i> | 0,93     | 0,85      | 0,17  | 0,10  |
|          | <i>SSPc</i> | 0,97     | 0,87      | 0,14  | 0,11  |
| 22/12/97 | <i>PANA</i> | 1,01     | 1,00      | -0,02 | 0,01  |
|          | <i>SSPc</i> | 0,87     | 0,91      | 0,09  | -0,05 |



**Figura 11:** Comportamento dos componentes do balanço de energia disponível ao meio durante o dia 5/7/97 para as condições de pastagem arborizada (SSPc) e pastagem aberta –não arborizada- (PANA). LE = fluxo de calor latente de evaporação; H = fluxo de calor sensível de aquecimento do ar; R<sub>n</sub>= radiação líquida; S = fluxo de calor no solo; e B = razão de Bowen.





**Figura 12:** Comportamento dos componentes do balanço de energia disponível ao meio durante o dia 22/12/97 para as condições de pastagem arborizada (SSPc) e pastagem aberta –não arborizada- (PANA). LE = fluxo de calor latente de evaporação; H = fluxo de calor sensível de aquecimento do ar; R<sub>n</sub>= radiação líquida; S = fluxo de calor no solo; e B = razão de Bowen.



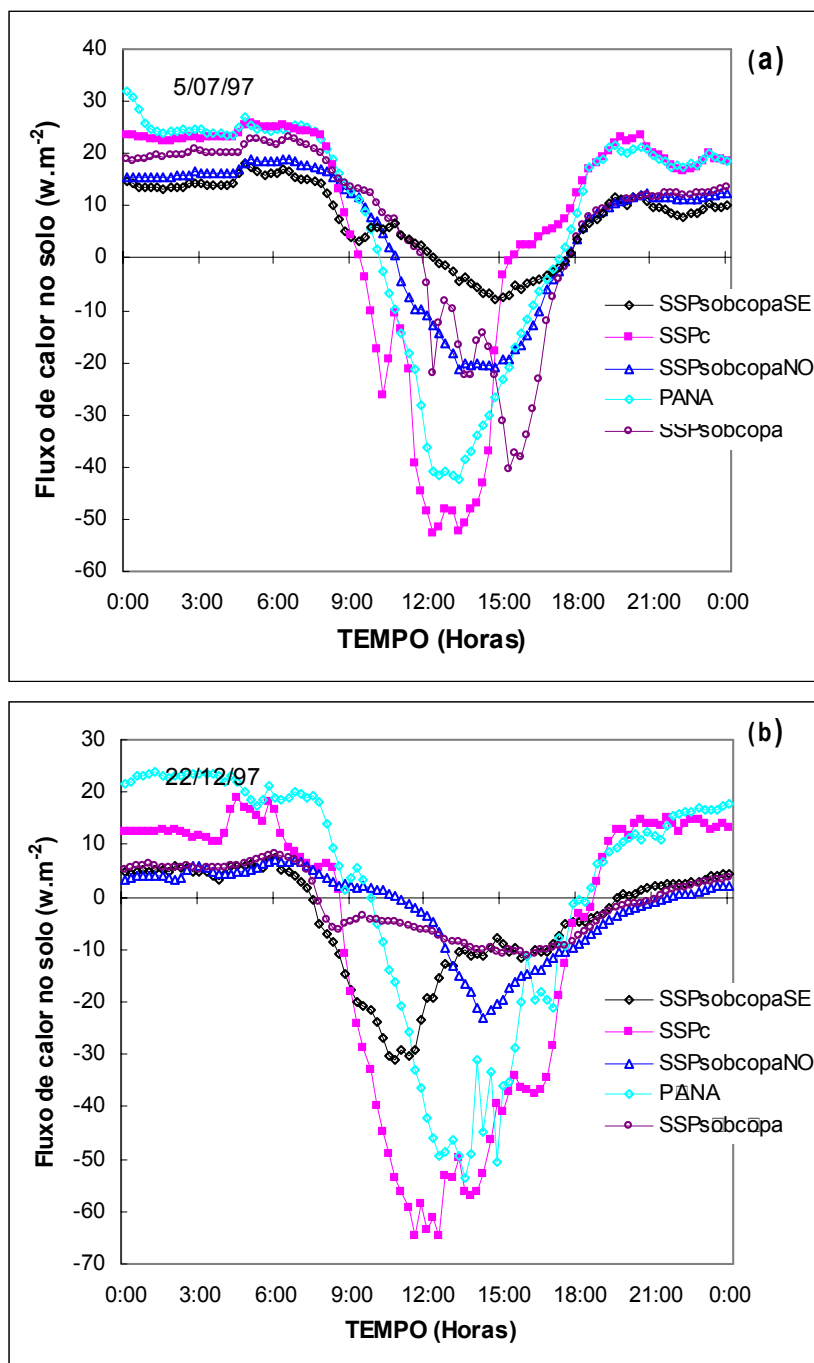
#### 4.2.1- Fluxo de calor para o solo (S)

Na Tabela 3 constata-se que entre os componentes do balanço de energia, o fluxo de calor no solo apresentou os menores valores absolutos. Proporcionalmente ao saldo de radiação ( $R_n$ ),  $S$  variou para a condição da pastagem arborizada (SSP) de 11% no inverno para 5% no verão; para a pastagem aberta (PANA), a variação foi de 10% no inverno e 1% no verão. BERLATO & MOLION (1981), citando outros autores comentaram que o fluxo de calor (S), mesmo em condições de boa cobertura do solo, pode ser maior durante o inverno.

No caso, comparando na Tabela 4, as posições SSPc e PANA, verifica-se que a condição arborizada teve menor (19%) fluxo de calor no solo para o inverno e, maior (77%) no verão, muito embora o albedo da pastagem arborizada tenha sido maior.

A Figura 13 mostra o comportamento do fluxo de calor no solo dentro do SSP e na condição PANA, para as duas datas. Os padrões de densidade de fluxo seguiram, de modo geral, os padrões da radiação solar global (ver Figura 5) referendando a condição de aporte extra de radiação solar refletida pelas copas. No dia 5/7/97 (Fig.13a), as posições dentro do sistema silvipastoril mostram que o ponto de máxima densidade do fluxo ocorreu na posição SSPc, todavia, com o avanço do sombreamento, a posição  $SSP_{sobcopa}$  a partir das 15:00 horas, teve sua máxima densidade de fluxo. A integração dos valores de fluxos, que deixaram a superfície para o interior do solo mostrou que, na posição SSPc, foi 1,2 vez maior do que em  $SSP_{sobcopa}$ .

No dia 22/12/97, a máxima densidade de fluxo que ocorreu foi também em SSPc e a  $SSP_{sobcopa}$  foi a de menor densidade de fluxo de calor no solo. Nessa data, devido a altura do sol em relação ao horizonte ser menor do que no inverno, as posições na borda dos renques ( $SSP_{sobcopaSE}$  e  $SSP_{sobcopaNO}$ ) apresentaram maior densidade de fluxo de calor no solo. A posição  $SSP_{sobcopaSE}$  exposta à incidência direta de radiação solar global ( $R_g$ ) pela manhã atingiu  $|40w.m^{-2}|$  e declinou, com o avanço do sombreamento, para valores similares aos da posição  $SSP_{sobcopa}$ . A partir desse momento, a posição  $SSP_{sobcopaNO}$  passou a ser aquecida por incidência direta de  $R_g$  e atingiu seu ponto de máxima densidade  $|23w.m^{-2}|$  às 14:15 horas, e daí declinando normalmente com o tempo.



**Figura 13** - Fluxo de calor em quatro posições dentro do sistema de pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para os dias 5/7/97 e 22/12/97.

A análise conjunta da Figura 13a e da Tabela 5, sugerem, para o dia 5/7/97, que o calor inicialmente absorvido entre os renques pode estar sendo redistribuído horizontalmente no perfil do solo e, quando transferido para fora do solo (fluxo positivo) vai preferencialmente em direção às porções menos aquecidas do perfil horizontal entre os renques. Nota-se que a posição  $SSP_{sobcopa}$  foi a de menor aquecimento durante o dia (menor fluxo negativo, menor temperatura do ar, maior tempo de sombreamento, portanto, menor incidência direta de  $R_g$ ). Para as condições do dia 22/12/97 a posição  $SSP_{sobcopa}$  foi, também, a de menor aquecimento.

**Tabela 5** – Proporção entre densidade de fluxos negativos (da superfície do solo para o interior) e fluxos positivos (do interior do solo para a superfície) dentro da área de pastagem arborizada em renques curvilíneos.

| Data     | Posições referenciadas |                 |                   |                   |             |
|----------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|
|          | $SSP_c$                | $SSP_{sobcopa}$ | $SSP_{sobcopaNO}$ | $SSP_{sobcopaSE}$ | <i>PANA</i> |
| 5/7/97   | 1:1,8                  | 1:2,5           | 1:2,5             | 1:8,6             | 1:2,1       |
| 22/12/97 | 1:0,4                  | 1:0,6           | 1:0,5             | 1:0,3             | 1:1,1       |

Obs.: para a localização das posições ver Figura 2

A curva de fluxo de calor na posição  $SSP_c$  seguiu os padrões gerais apresentados pela radiação solar global (ver Figura 4), detectando a condição de aporte extra de radiação solar devido a reflexão proveniente dos renques (ver Figura 5), para declinar rapidamente quando é alcançada pelo sombreamento. Fica também evidente a cessão de  $R_g$  às posições sob copa ( $SSP_{sobcopaSE}$ ,  $SSP_{sobcopaNO}$ ,  $SSP_{sobcopa}$ ) nos horários em que a elevação do sol no horizonte era pequena.

Assim, a existência de maiores densidades de fluxos de calor deixando o solo (fluxo positivo) nas condições do sistema silvipastoril, principalmente nas posições sob as copas dos renques, onde a restrição do fator de visão da abóbada celeste (Figura 5) é maior, proporcionou elevação da temperatura do ar durante a noite, o que pode ser decorrente também da interceptação da onda longa emitida/refletida pelas árvores.

### 4.3 - Velocidade e direção de ventos

Foram comparadas as velocidades dos ventos em duas alturas acima do solo ( $H^1$  e  $H^2$ ) sendo uma a 0,45 m e outra a 1,35 m. A velocidade dos ventos foi menor no sistema silvipastoril, apresentando reduções, em velocidade média, de 26% para o dia 05/07/97 (inverno) e de 61% para o dia 22/12/97 (verão). Em alguns horários, a velocidade dos ventos em SSPc foi maior do que em PANA (Figura 14 e Anexos 1 e 2). Isto foi causado, provavelmente, por gradiente horizontal de temperaturas do ar (vide Figura 19) devido ao aquecimento diferenciado da área (faixas sombreadas/ensolaradas; razão sombra:sol) provocando brisas advectivas e a possíveis eventos de “canalização” dos ventos pelos renques. Para o dia 22/12/97 verificou-se que o perfil de ventos na posição SSPc inverteu-se, com as altura  $H^2$  apresentando maiores velocidades do que  $H^3$ .

Como durante o dia 05/07/97 não havia sensores na altura  $H^3$  da posição SSPc, tal ocorrência não pode ser constatada, embora também seja provável uma vez que a altura  $H^2$  reflete a condição de fluxo preferencial do ar pela *zona de falha*. Enquanto que a altura  $H^3$  estava na *zona de copas* onde a velocidade de fluxo é restringida.

A condição de fluxo de ar de velocidades maiores do vento na *zona de falha* é evidenciada pelos valores que foram registrados nas alturas  $H^2$  das posições imediatamente próximas dos renques, SSPno e SSPse (Anexos 2 e 3), bem como pelos valores de temperaturas do ar verificados nos perfis verticais dessas posições (Figuras 16 e 17).

A amplitude média da velocidade dos ventos foi menor na posição SSPc (entre renques) do que na PANA sendo caracterizada por pico de máximas velocidades. A amplitude média da velocidade do vento foi 47% e 57% menor na SSPc do que em PANA, respectivamente para o dia 05/07/97 e 22/12/97 (Anexo 1).

Dentro do sistema silvipastoril a velocidade dos ventos na posição SSPse (do lado sudeste do renque) foi superior às demais (SSPno e SSPc) nos horários de pico máximo da velocidade na condição externa (PANA). Nesses horários predominava a direção **E** dos ventos. À noite, quando o predomínio da direção era **SE**, as posições SSPc e SSPse, apresentaram as maiores

velocidades, respectivamente. Na posição SSPno foi onde registrou-se as menores velocidades de vento dentro do sistema silvipastoril.

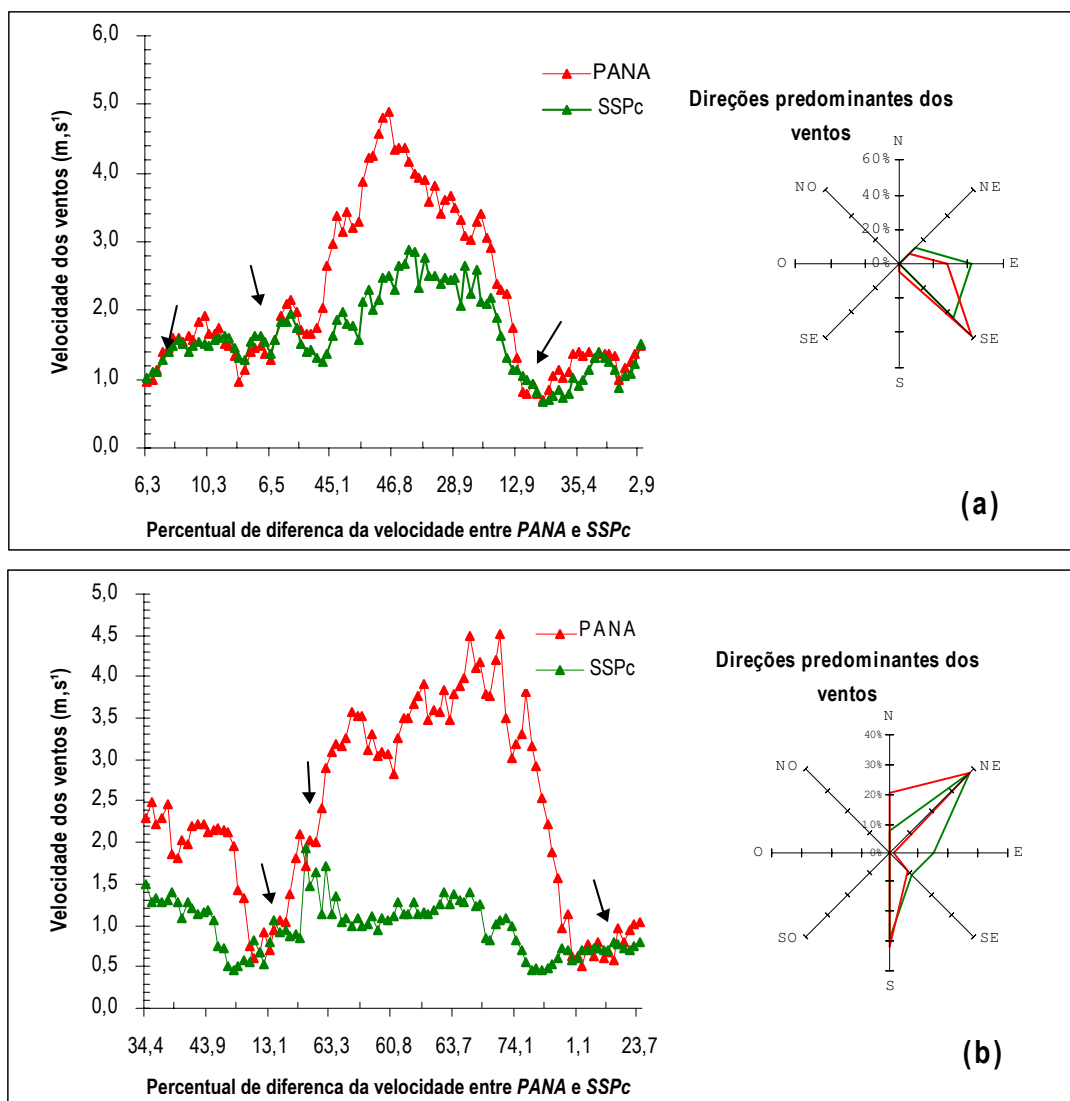
As direções de ocorrência predominantes dos ventos podem ser verificadas na Tabela 6 e nas “rosas dos ventos” constantes da Figura 13. É perceptível uma redistribuição da direções dos ventos em SSPc. Em ambas as datas a direção do vento foi modificada no sentido **E**, o que pode ter sido ocasionado pelo arranjo dos componentes arbóreos dispostos em linhas (renques) mais ou menos paralelos e que devido a topografia (pendente voltada para o noroeste), assumem uma disposição com predomínio nos sentidos **E-SO**.

No dia 05/07/97 (inverno), a direção dos ventos locais (*PANA*) eram acentuadamente **SE** (58%), chegando a ser duas vezes maior que na direção **E**, a segunda direção em predomínio. Dentro do sistema silvipastoril (*SSPc*), a permanência na direção **SE** é atenuada para 44% com

**Tabela 6** - Valores percentuais da permanência de ventos em direções predominantes na condição interna do sistema silvipastoril (*SSPc*) e na condições da pastagem aberta (*PANA*), num dia de inverno e outro de verão.

| Locação | Data     | Direção predominante | % do tempo (período de 24 hs) |
|---------|----------|----------------------|-------------------------------|
| SSPc    | 05/07/97 | SE                   | 44,32                         |
|         |          | E                    | 41,36                         |
|         | 22/12/97 | NE+E                 | 52,71                         |
|         |          | S+SE                 | 39,59                         |
| PANA    | 05/07/97 | SE                   | 58,61                         |
|         |          | E                    | 27,94                         |
|         | 22/12/97 | NE+N                 | 57,98                         |
|         |          | S+SE                 | 40,64                         |

mudança nas direções E (de 28% em *PANA* para 41% em *SSPc*) e **NE** (de 8,4% para 14%). Os ventos da direção **NO**, **S** e **SO** foram diminuídos de 3,0% para 0,0%, de 4,5% para 0,2% e, de 3,0% para 0,0%, respectivamente.



**Figura 14** – Comparação da velocidade e das direções predominantes dos ventos na pastagem aberta (*PANA*) e na posição entre renques do sistema silvipastoril (*SSPc*). Medidas efetuadas no período de 24 horas em um dia de inverno (a) e um dia de verão (b), para uma mesma situação topográfica de exposição e declividade ( → indicam horários em que a velocidade do vento foi maior em *SSPc* ).

Na região, durante o inverno, os ventos oriundos do 2º e 3º quadrantes são os responsáveis por resfriamento intenso. Em vésperas de dias propício à geadas a direção é acentuadamente **SO-S** (WAGNER, *et al*, 1989). Durante o inverno, embora as árvores de *Grevillea robusta* não sejam decíduas, ocorre a diminuição do grau de enfolhamento, de modo que afeta a porosidade<sup>2</sup> dos renques arbóreos, tanto para os ventos quanto para a luz; isto faz com que a velocidade dos ventos em SSPc sejam, maiores do que quando comparadas com as do verão, quando as árvores estão mais enfolhadas (relativamente e sempre referenciadas na velocidade do vento em PANA).

#### **4.4 - A temperatura do ar e o déficit de pressão atual de vapor d'água (DPV)**

De modo geral, nas locações dentro do sistema silvipastoril (SSP) ocorreram modificações no comportamento do ritmo diário da temperatura do ar ocasionadas pelo sombreamento. As diferentes posições são iluminadas por radiação direta e/ou sombreadas (radiação solar direta interceptada pelas copas das árvores) em horários distintos.

Assim, dependendo da posição em relação ao renque arbóreo ocorreu retardamento na elevação da temperatura do ar e/ou antecipação no declínio destas ao final do período luminoso do dia. Isto confere o aspecto de "achatamento lateral" nas curvas obtidas nessas posições representadas na Figura 15 e desdobradas nas Figuras 16 e 22, respectivamente para os dias 05/07/97 e 22/12/97.

##### **4.4.1 - Dia 05/07/97**

Nos horários em que as posições, do lado noroeste do renque (SSPno) e entre dois renques (SSPc) recebiam incidência direta de radiação solar (sem sombras), a temperatura atingiu valores maiores do que na condição da pastagem aberta (PANA). Para uma mesma altura, e, dado ao sombreamento

---

<sup>2</sup> /Porosidade se refere às características próprias da barreira e que são capazes de oferecer resistência ao fluxo de ar, tais como: grau de enfolhamento e tamanho de folhas, arquitetura e altura de copa, e do espaçamento entre árvores.

cambiante, isto ocorreu em horários diferentes de uma posição para outra. Na posição *SSPc-H<sup>1</sup>* (0,45m) isto correu das 10:30 às 14:30 horas, enquanto que na posição *SSPno-H<sup>1</sup>* das 11:00 às 16:30 horas, sendo superior inclusive à *SSPc*, depois das 12:45 horas.

Para o turno das 6:45 às 18:00 horas (diurno), a temperatura nas três alturas consideradas do perfil foi menor ( $P < 0,05$ ) nas posições *SSPse*, *SSPc* e *SSPsobcoba*, quando comparada com a posição *PANA*. Na posição *SSPno*, a temperatura teve um comportamento bastante distinto em relação à *PANA*, de modo que, na altura  $H^1$  e  $H^2$  foi aceita como significativamente menor aos limites de  $P < 0,20$  e  $P < 0,05$ , respectivamente; e,  $H^3$  foi maior ( $P < 0,10$ ). Ou seja, no perfil da posição *SSPno*, a temperatura em  $H^1$  e  $H^3$  aproxima-se mais àquela das alturas correspondentes na posição *PANA*, enquanto que em  $H^2$  é mais distante (menor temperatura).

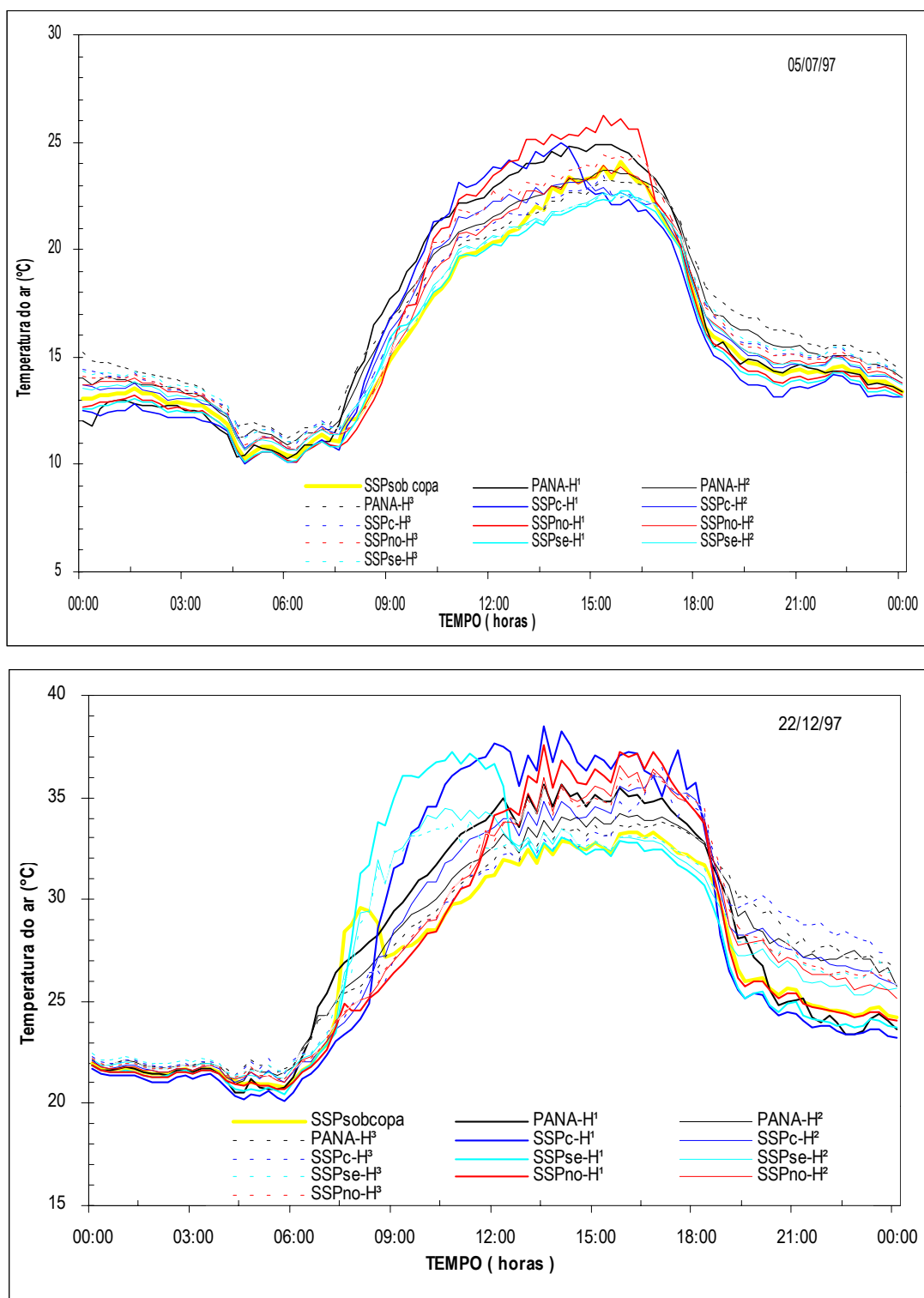
Isto fica mais claro na análise conjunta das Figuras 16b e 17. Na primeira é perceptível que em  $H^2$  a temperatura é menor durante todo o período diurno e, a segunda, mostra a representação esquemática dos perfis de temperatura do ar nas diferentes posições para cada intervalo de tempo.

Tem-se que em  $H^2$  o fluxo de ventos é maior por estar na altura da zona de falha e, a distância dessa posição à superfície de aquecimento (coba e solo) é maior. Isso se reflete na maior ocorrência de períodos onde predominaram a condição de inversão do gradiente térmico e onde a altura  $H^2$  do perfil foi a de menor temperatura do ar, das 9:00 às 16:30 horas. Nesse intervalo de tempo, os ventos predominaram no sentido *E-NE* o que pode ter contribuído para refrigerar mais a altura  $H^2$  na face noroeste dos renques.

Também no intervalo das 9:00 às 16:30 horas, ocorreu da altura  $H^2$  no perfil da posição *SSPse* (face sudeste do renque), já sombreada, apresentar valores de temperatura maiores do que  $H^1$  e  $H^3$  (Figura 16), provavelmente por estar recebendo calor transportado da face mais aquecida (*SSPno*) pelo fluxo de ar através da *zona de falha*.

Dentro do sistema silvipastoril, o 'avanço' da zona de sombra promove um resfriamento de baixo para cima. Por exemplo, na condição *SSPc* representada pelas Figuras 16(c) e 18, onde, entre 14:30 e 15:00 horas, ocorreu uma inversão rápida no perfil vertical da temperatura do ar (a altura  $H^1$

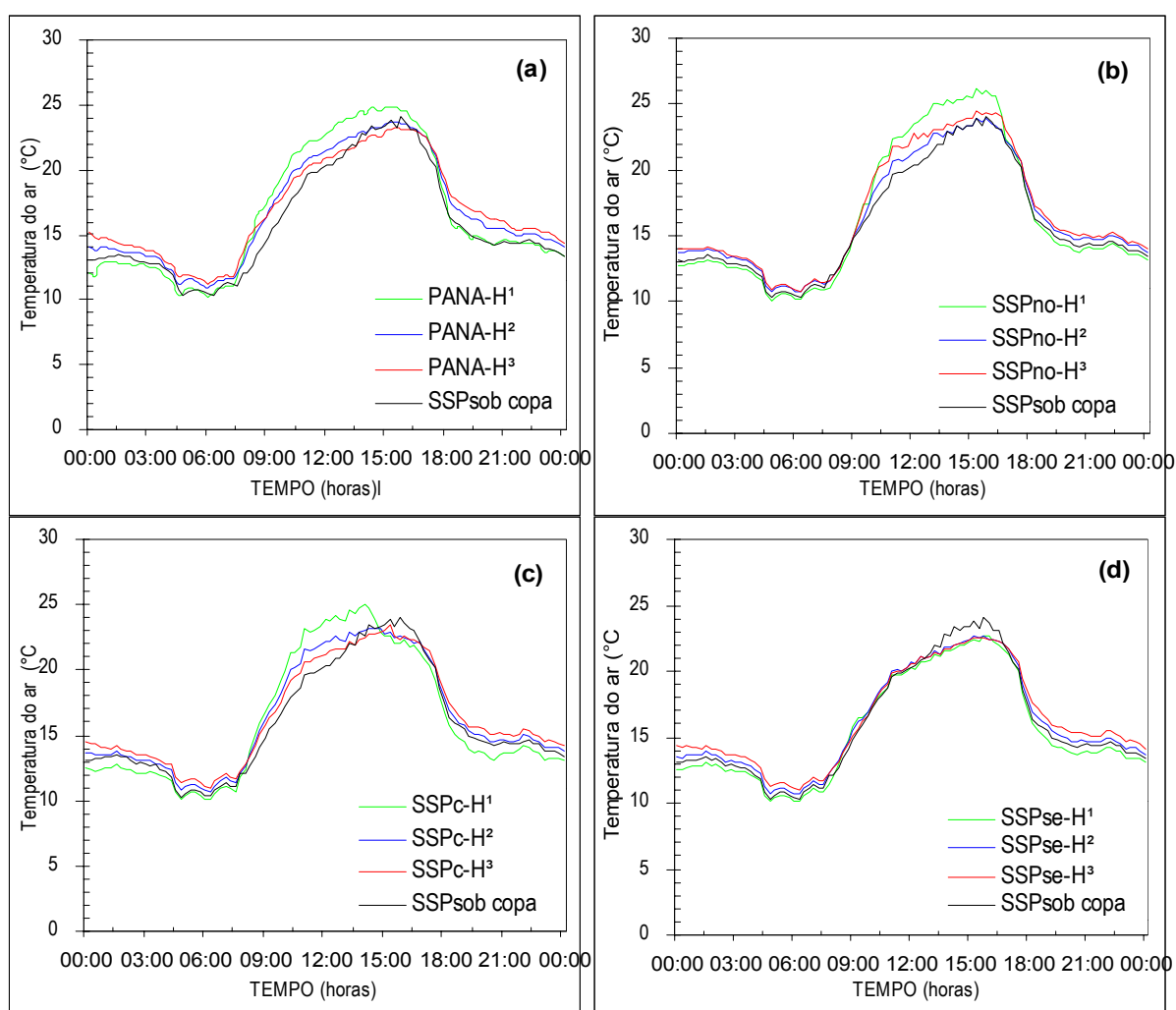




**Figura 15** – Comportamento da temperatura no sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para os dias 05/07/97 (inverno) e 22/12/97 (verão).

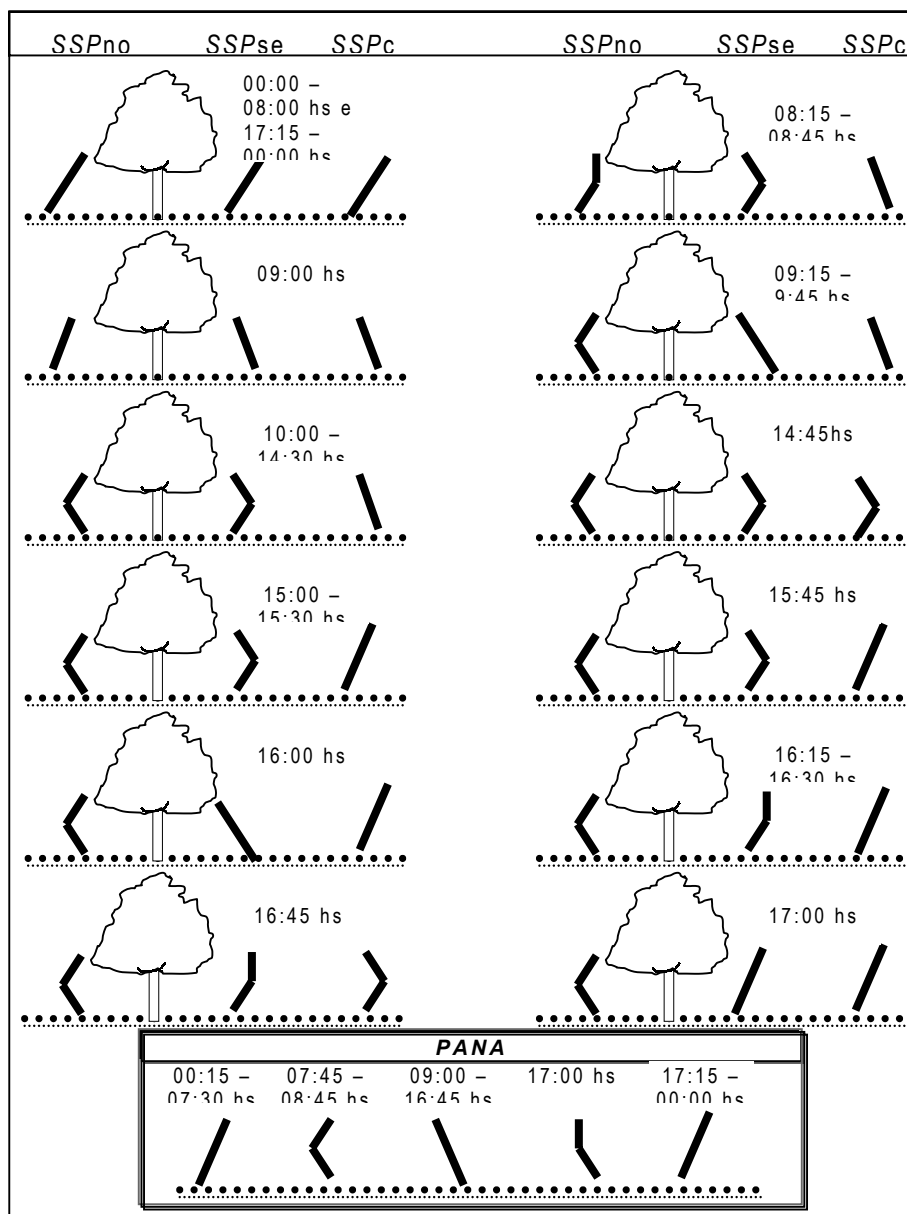
torna-se de menor temperatura). Isto também ocorreu mais tarde na posição *SSPno* devido à progressão da sombra.

Esse resfriamento ou, sombreamento das camadas inferiores do perfil, mas que mantém por mais algum tempo o aquecimento nas camadas mais acima (verticalmente a extinção da luz direta ocorre de baixo para cima com o sombreamento), pode estar promovendo fluxos verticais, o que é sugerido pela rápida variação vertical da temperatura do ar, principalmente nas posições *SSPno* e *SSPc* que variou em até 2,4°C (Figura 18).



**Figura 16** - Desdobramento do comportamento da temperatura do ar para cada localização no dia 05/07/97, mantendo como referência de comparação os registros na posição sob a copa de renques. As setas indicam instantes em que o sombreamento da tarde atingia a posição, provocando resfriamento de baixo para cima.

Pode ser observado que as posições *SSPno* e *SSPc*, apresentam maior variação no gradiente térmico, demonstrado pela maior inclinação dos segmentos de reta na Figura 18. Uma vez que cada segmento de reta se refere a um horário, o agrupamento ou afastamento dessas indica a variação no tempo; nesse aspecto, *SSPc* apresentou maior diferenciação.



**Figura 17** – Representação esquemática do perfil da temperatura do ar nas três posições dentro de SSP e na posição *PANA*. Onde:  $\rangle$  ( $H^3 < H^2 > H^1$ );  $\langle$  ( $H^3 > H^2 < H^1$ );  $\diagup$  ( $H^3 > H^2 > H^1$ );  $\diagdown$  ( $H^3 < H^2 < H^1$ );  $\backslash$  ( $H^3 < H^2 = H^1$ );  $/$  ( $H^3 > H^2 = H^1$ ).

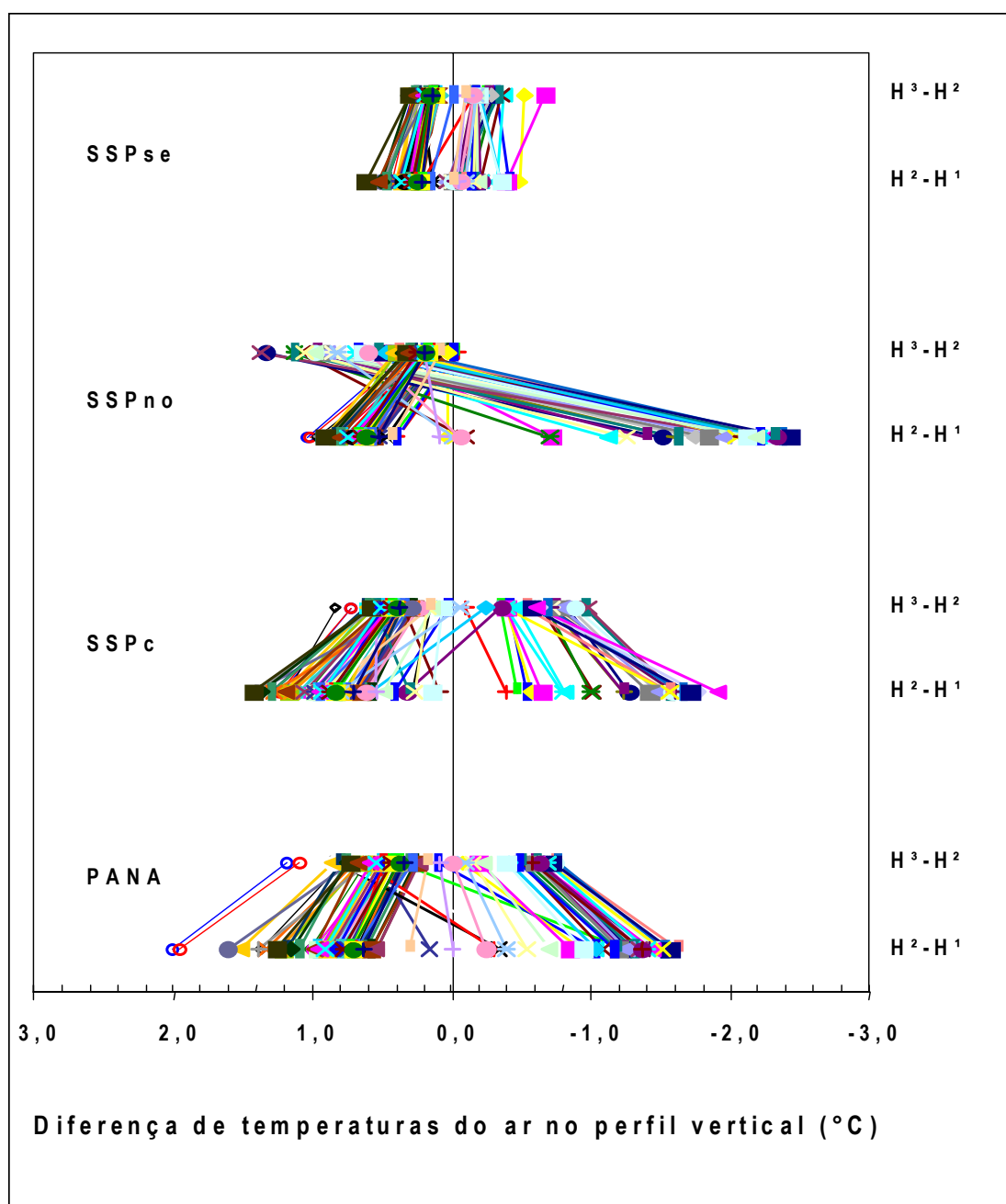
Na Figura 18, todo segmento de reta que se **inicia** ( $H^2 - H^1$ ) e **termina** ( $H^3 - H^2$ ) positivo indica a condição de camada(s) superior(es) de maior temperatura. Caso inicie e termine negativo, indica condição de menor temperatura do ar nas camadas mais altas (perfil típico da temperatura do ar à noite sobre solo descoberto). Quando, porém, o segmento inicia negativo e termina positivo, indica inversão do gradiente térmico na camada  $H^3$  (mais alta) que estava mais aquecida do que  $H^2$  e, em alguns horários, também mais aquecida do que  $H^1$ . A condição contrária, com início positivo e término negativo, indica a inversão, com  $H^2$  sendo a altura de maior temperatura no perfil.

Horizontalmente, a temperatura do ar variou, em até  $3,5^\circ\text{C}$  entre posições dentro do sistema silvipastoril, conforme mostra a Figura 19. Cada perfil traçado é uma média dos valores que ocorreram até o horário mostrado na figura ou entre um horário e outro. Os horários que rotulam os perfis coincidem com os momentos de mudança do comportamento de pelo menos uma posição em relação às demais. Os valores plotados para a posição *PANA*, foram obtidos considerando os mesmos intervalos de tempo que em *SSP* e são mostrados como referência.

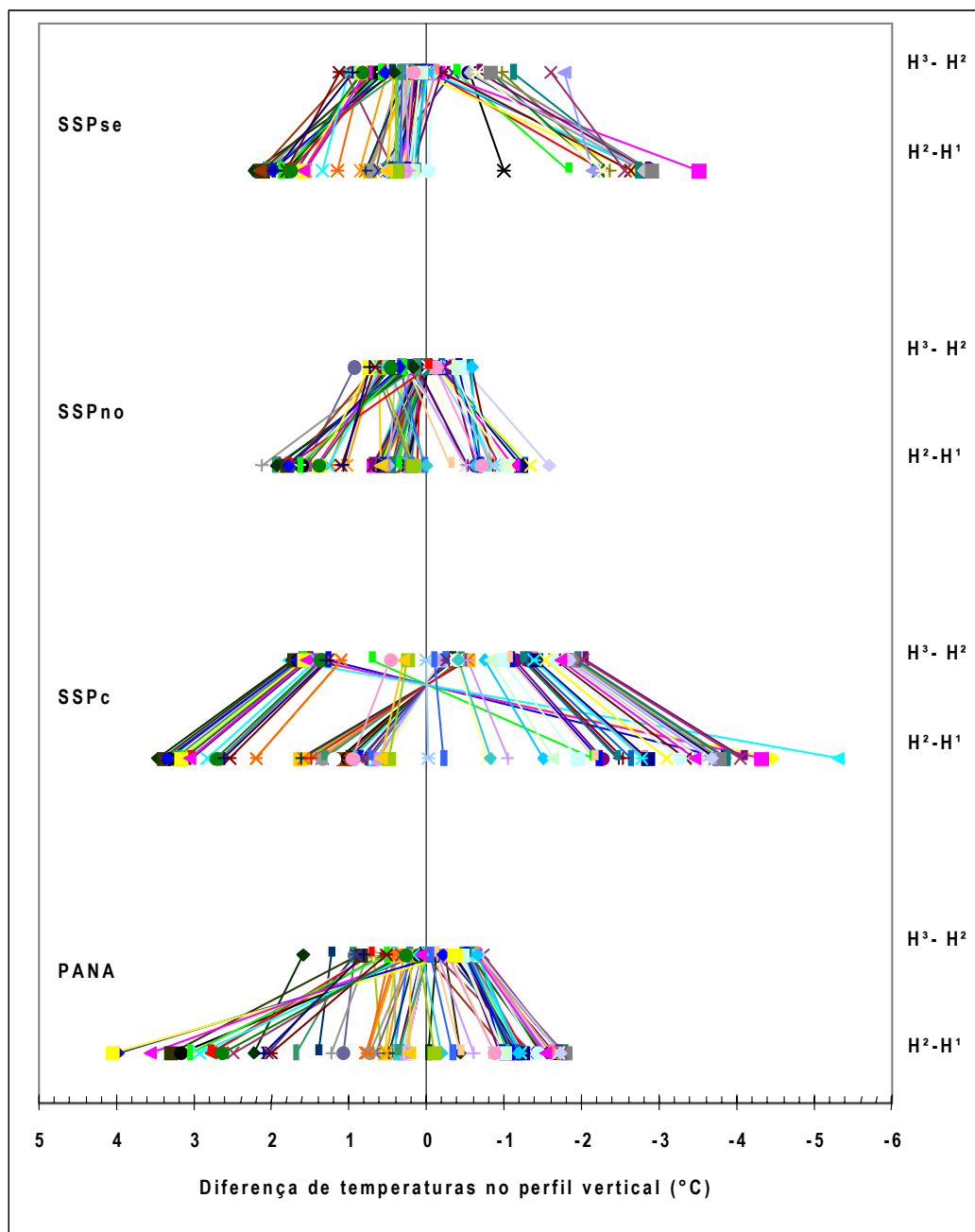
O gradiente térmico que se registrou vertical e horizontalmente, à pequena distâncias, dentro do sistema silvipastoril reafirma a condição propícia para promoção de difusão mais turbulenta dos fluxos de ar com possível geração de fluxos advectivos e convectivos.

Conjuntamente, as informações da Figura 20 demonstraram a condição de que durante o período noturno (00:00 – 6:30 hs e 18:00 – 00:00 hs) na posição sob copa de renques (*SSP*sobcopa) a temperatura do ar foi maior ( $P < 0,10$ ; pelo teste  $t$ ) do que em *PANA*. Nas outras posições dentro do sistema silvipastoril a temperatura do ar foi menor, sendo que em *SSP*no o nível de significância foi de  $P < 0,10$  (, enquanto que nas demais o limite foi de  $P < 0,05$ .

A Figura 20 representa as diferenças obtidas entre os valores de temperatura do ar, registrados nas posições dentro do sistema silvipastoril (*SSP*), e aqueles obtidos na pastagem aberta (*PANA*). Os valores positivos resultam de quando a temperatura do ar numa posição em *SSP* foi mais elevada do que em *PANA* e, negativos quando foi menor.



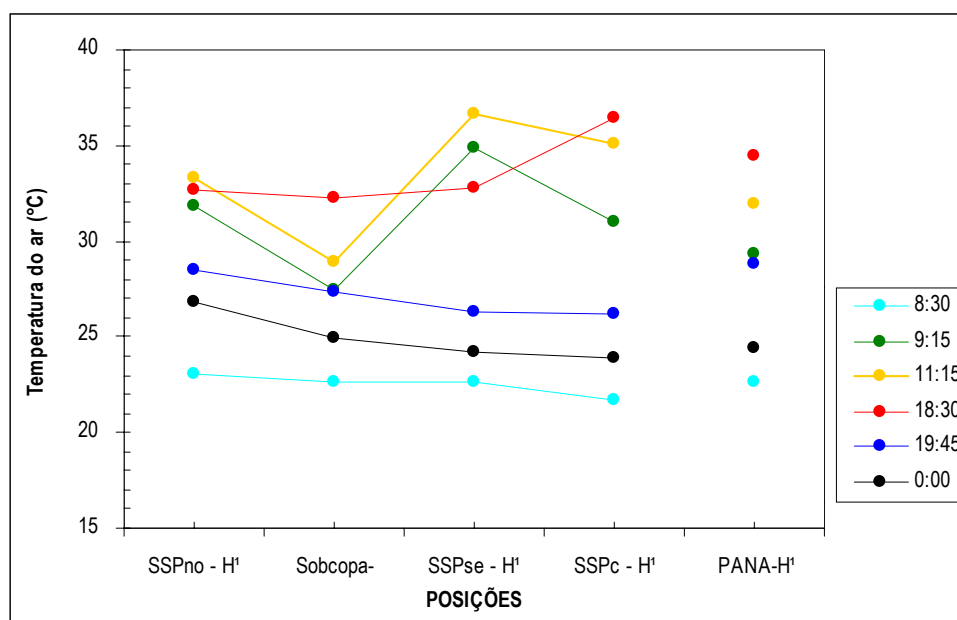
**Figura 18** – Dinâmica da temperatura do ar nas três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para o dia 05/07/97. Explicação no texto. ( $H^n - H^{n-1}$  = diferença de temperatura entre duas alturas no perfil).



**Figura 24** – Dinâmica da temperatura do ar nas três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para o dia 22/12/97. Explicação no texto.  $H^n - H^{n-1}$  = diferença de temperatura entre duas alturas no perfil).

plano horizontal entre as posições dentro do sistema silvipastoril. Na Figura 25 está demonstrada essa variação da temperatura do ar. Cada perfil traçado é uma média dos valores que ocorreram até o horário mostrado na figura ou entre um horário e outro. Os horários que rotulam os perfis coincidem com os momentos de mudança no comportamento de pelo menos uma posição em relação às demais. Os valores plotados para a posição *PANA* foram obtidos considerando os mesmos intervalos de tempo que em *SSP* e são mostrados como referência.

Os gradientes térmicos deste período apresentaram o mesmo comportamento do inverno.



**Figura 25** – Variação horizontal da temperatura do ar, a 0,45 metros do solo, nas diferentes posições dentro do *SSP* e na posição *PANA*, para um período de 24 horas do dia 22/12/97.

A Figura 26 representa as diferenças obtidas entre os valores de temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril (*SSP*) e aqueles obtidos na pastagem aberta (*PANA*). Os valores positivos resultaram de valores de temperatura do ar mais elevados numa posição em *SSP* do que em *PANA*. O inverso ocorreu para os valores negativos.

O comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água nas posições do sistema silvipastoril também foi menor ( $P < 0,05$ , pelo teste  $t$ ) do que em *PANA* (Figura 27).

Tanto para o dia 5/7/97 como para o dia 22/12/97, as taxas de DPV no sistema silvipastoril foram dependentes da condição imposta pelo sombreamento e pela menor velocidade dos ventos, uma vez que, a diminuição da velocidade dos ventos pode causar aquecimento da folha exposta à radiação. Dado que a condutância estomatal sob menores temperaturas controla a evapotranspiração. Então, segundo BRENNER (1996), para transferir vapor d'água o DPV aumentaria e a condutância estomatal continuaria a mesma, configurando em existência de mais energia dissipada por evaporação que antes do aquecimento.

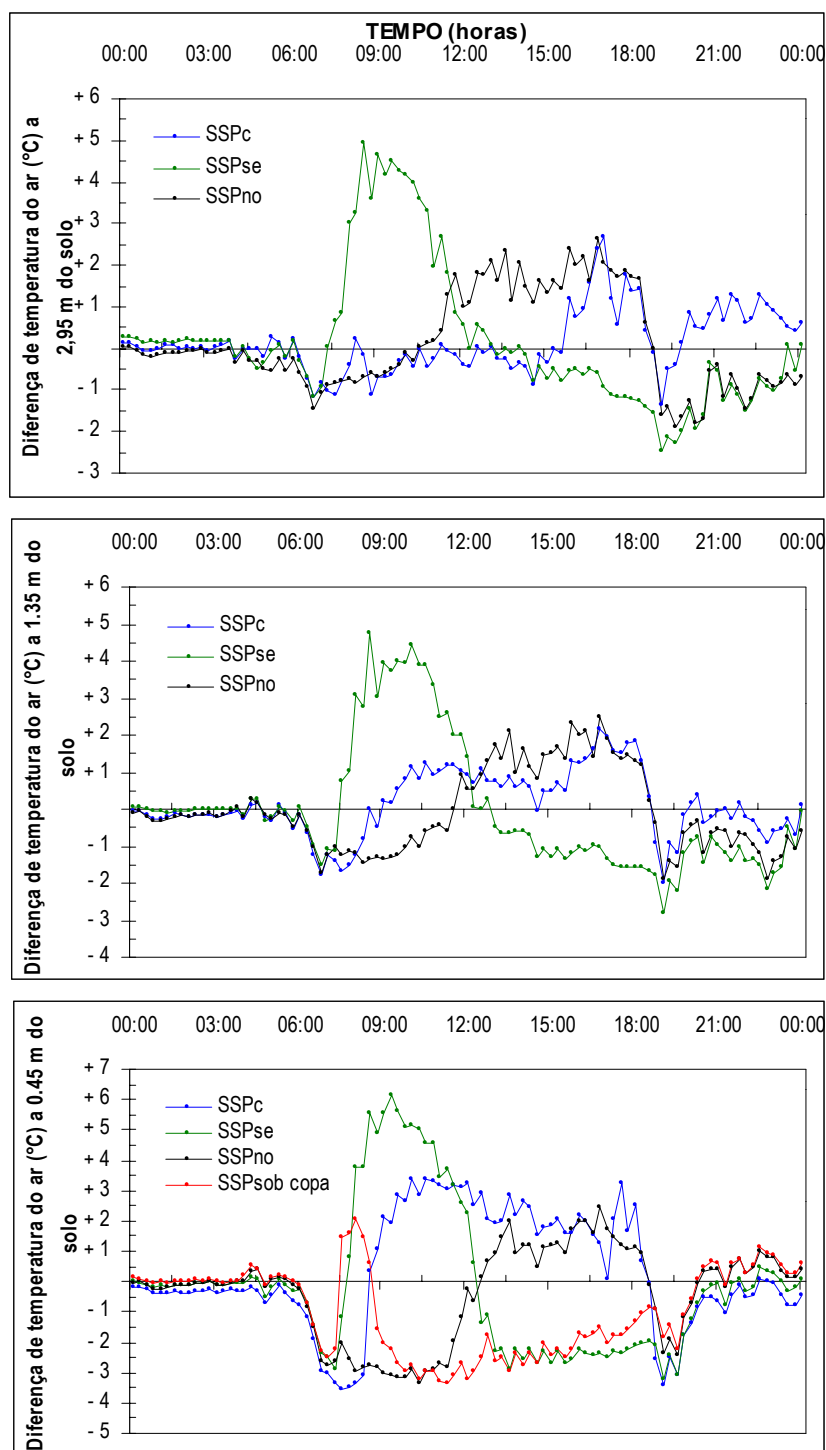
Assim, a folha sombreada tem temperaturas menores o que faz com que continue transpirando à taxas menores, porém continuamente, com conseqüente aumento da eficiência de uso da água (unidade de carbono fixado por unidade de água transpirada).

Isto contraria a expectativa intuitiva de que haveria menor transpiração pelas plantas com a diminuição da velocidade do vento. Significa que a diminuição da velocidade dos ventos até um nível mínimo capaz de propiciar a quebra de gradientes não interferirá negativamente no metabolismo das plantas. Abaixo desse nível (variável de espécie para espécie) pode interferir negativamente.

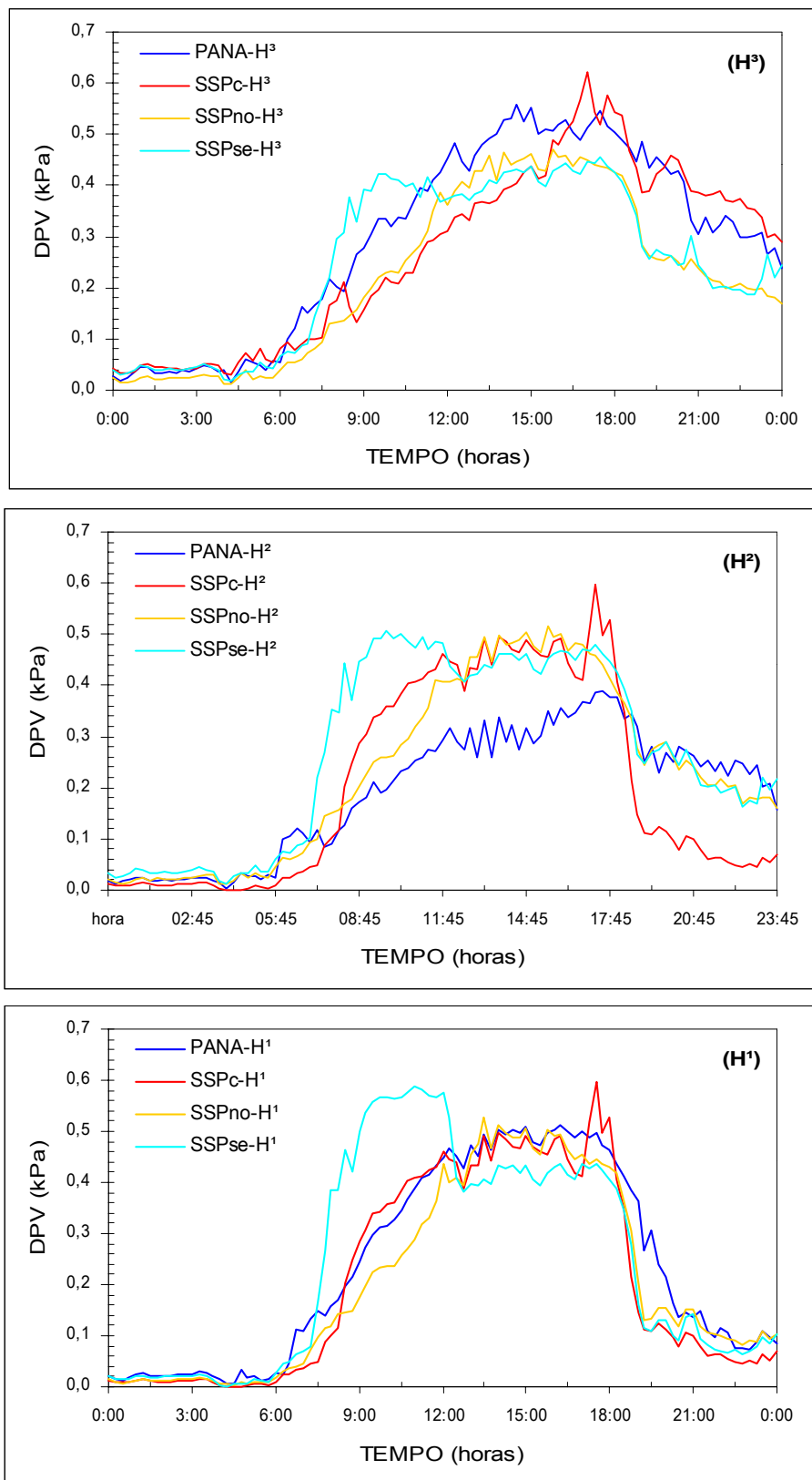
Em condições de menor velocidade dos ventos e de taxas de transpiração da vegetação, a pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) pode aumentar dada a condição de lento transporte do vapor d'água para fora da área. Isto é o que pode ocorrer em áreas protegidas por barreiras de quebra-ventos.

Dependendo de como os quebra-ventos influenciam na incidência de radiação sobre a área protegida (devido à sua altura e disposição/orientação no terreno) tem-se uma resposta na temperatura do ar. Assim, o DPV pode aumentar ou diminuir, dependendo do aumento relativo da temperatura do ar e da pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ).

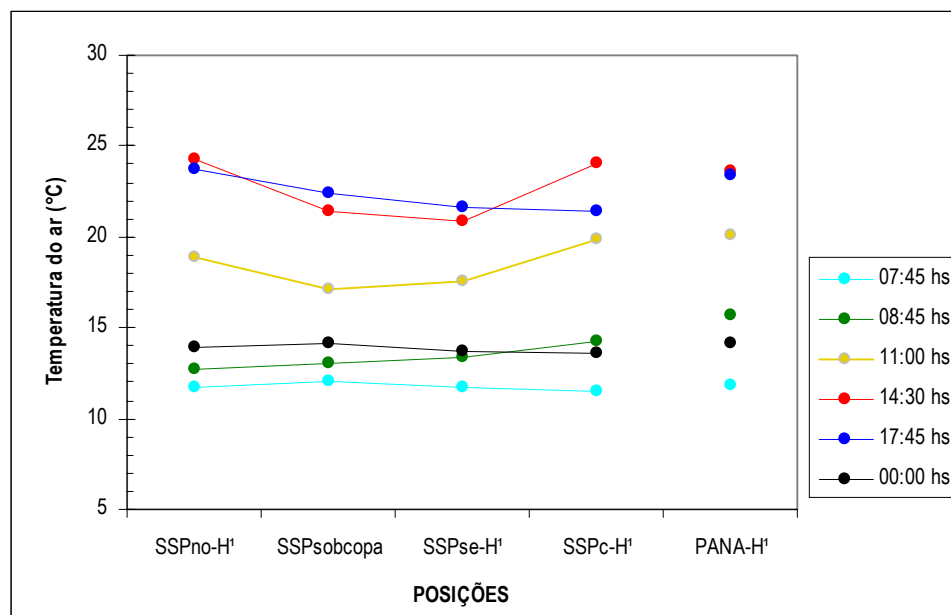




**Figura 26** – Diferenças entre a temperatura do ar medida nas posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta PANA para o dia 22/12/97. A posição SSPsobcopa trata-se de uma só altura ( $H^1$ ) instalada sob a copa e no alinhamento dos troncos das árvores.



**Figura 27** – Comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água (DPV) em diferentes posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA), para o dia 22/12/97.



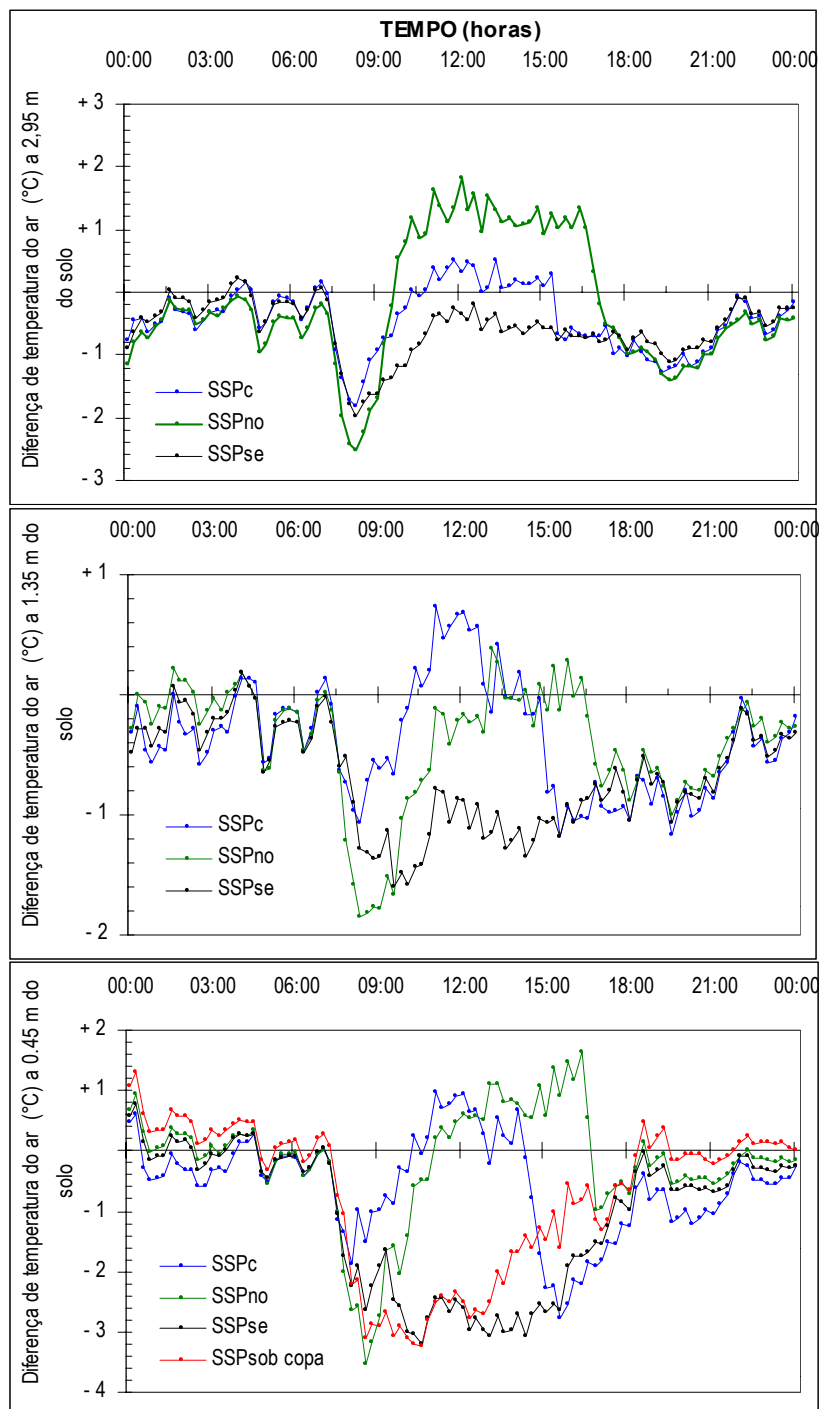
**Figura 19** – Variação horizontal da temperatura do ar, a 0,45 metros do solo, nas diferentes posições dentro do SSP e na posição PANA, para o período de 24 horas do dia 05/07/97.

Com temperaturas menores, o comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água (DPV) nas posições do sistema silvipastoril também foi menor ( $P < 0,05$ ; pelo teste  $t$ ) do que em PANA (Figura 21).

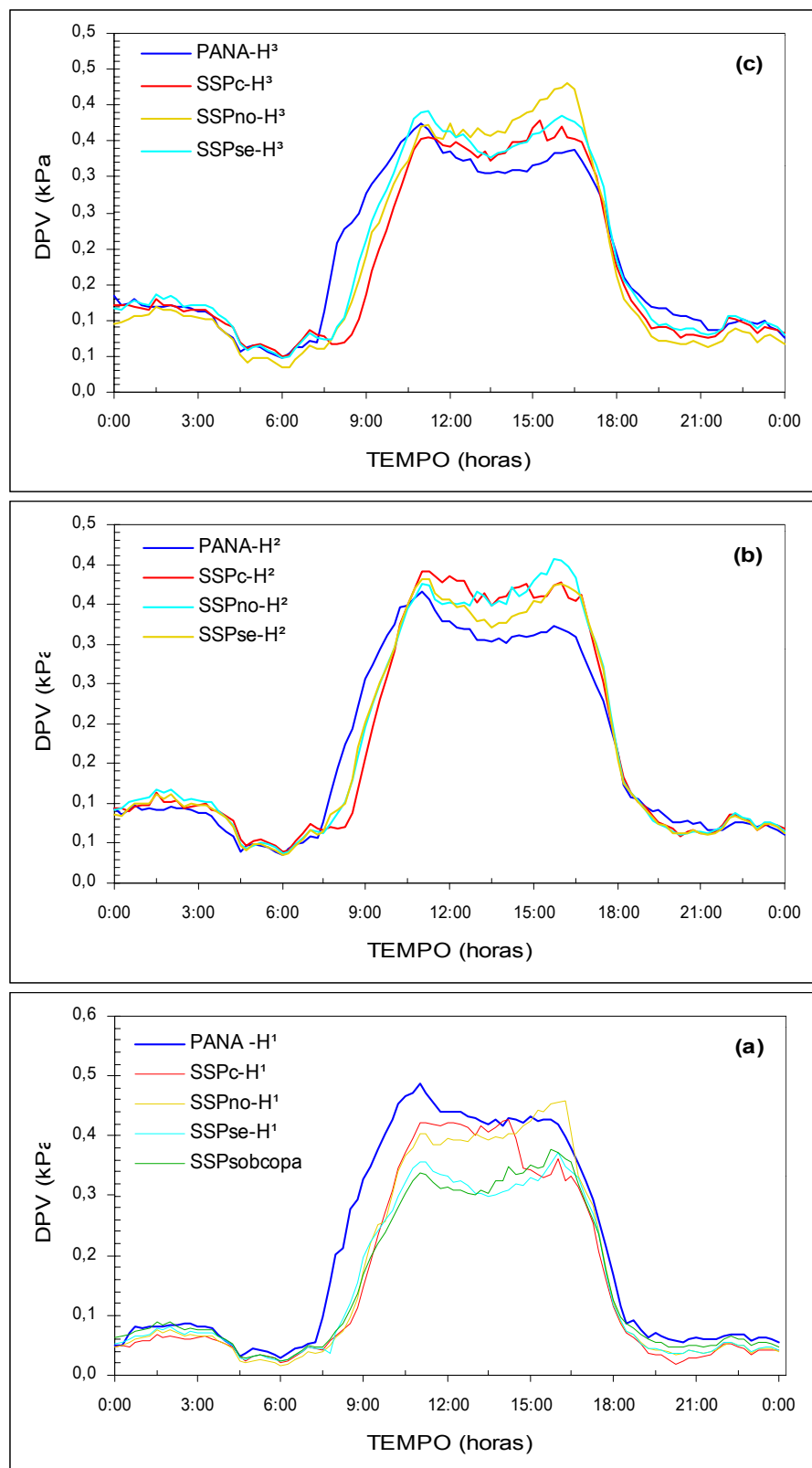
No sistema silvipastoril estudado o sombreamento afetou a incidência de radiação solar global, tornando a temperatura do ar menor e contrabalançando o aquecimento que poderia ocorrer devido a menor velocidade do vento, embora as velocidades registradas aproximem-se muito dos valores que a literatura traz como mais convenientes, para a maioria das culturas (1,4 a 1,6 m.s<sup>-1</sup>, OMETTO & CARAMORI, 1981) e para a criação de animais ruminantes (1,4 a 2,2 m.s<sup>-1</sup>, NÃÃS, 1989). Além do que, no SSP existe configuração interna de fluxos turbulentos melhorando a condição de quebra de gradiente e mistura do ar. Diferentemente do que ocorre em barreiras de quebra-ventos, a condição dos ventos no SSP muda não somente de velocidade mas também de direção (Tabela 7 e Figura 14).

A Figura 21 mostra o comportamento do DPV para o dia 05/07/97, quando houve quedas rápidas na temperatura do ar impostas pelo avanço do sombreamento refletindo em diminuição rápida do DPV. Isto pode ter

conseqüências favoráveis no crescimento da pastagem ao aumentar a eficiência da transpiração (Monteith, 1988 citado por WALLACE, 1996).



**Figura 20** – Diferenças entre a temperatura do ar medida nas posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta PANA para o dia 05/07/97. A posição SSPsobcoba trata-se de uma só altura ( $H^1$ ) instalada sob a copa das árvores e no alinhamento dos troncos.



**Figura 21** – Comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água (DPV) em diferentes posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA), para o dia 05/07/97.

#### 4.4.2 - Dia 22/12/97

A temperatura do ar no sistema silvipastoril variou não somente com a marcha diária da radiação solar mas também com o sombreamento imposto pelos renques arbóreos. Nas diferentes posições dentro de SSP, a temperatura do ar variou conforme era iluminada por incidência direta da radiação solar e/ou sombreada (radiação solar interceptada pelas árvores) durante o dia.

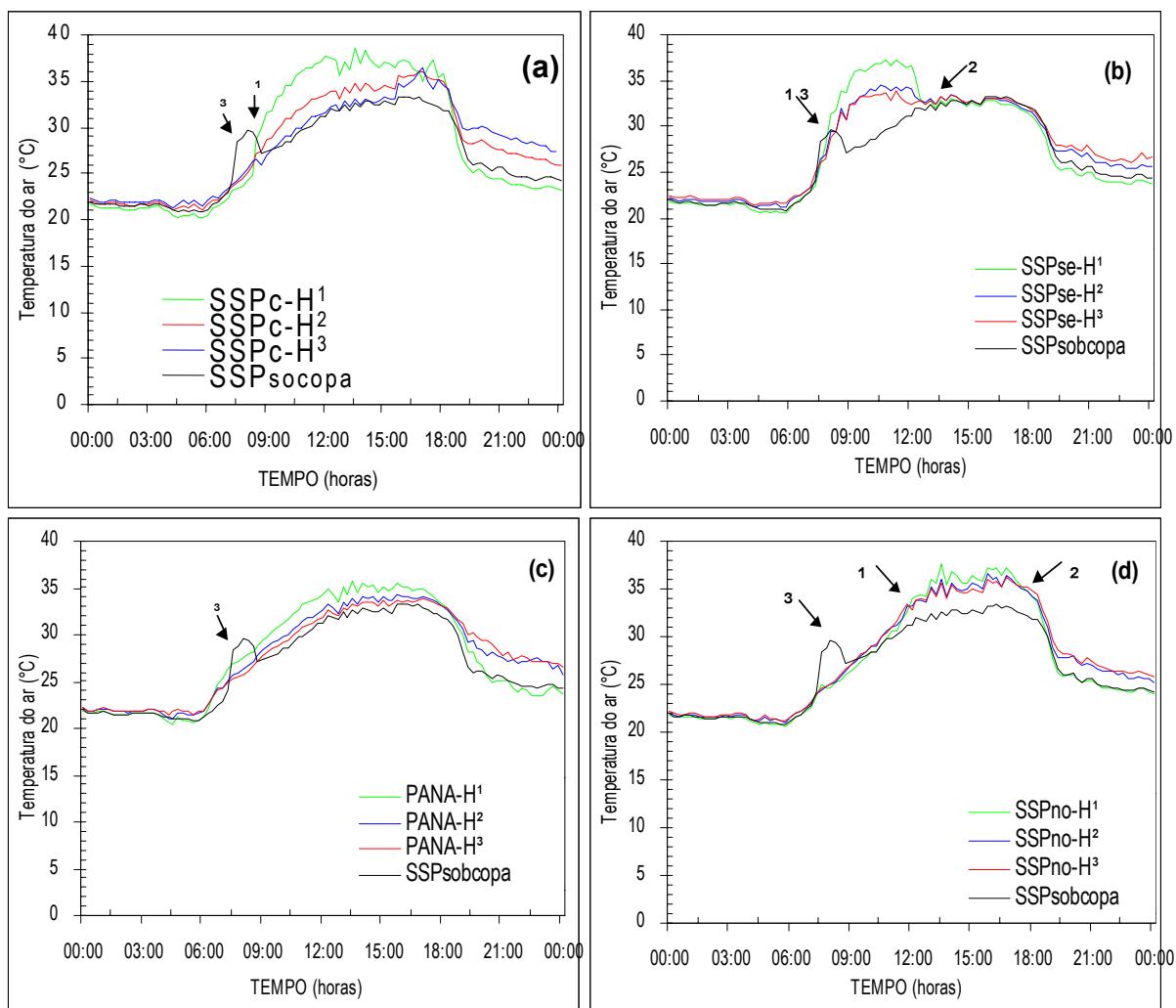
As posições junto ao renque (SSPno e SSPse) apresentaram maiores valores de temperatura do ar do que em PANA em dois momentos diferentes: SSPse das 7:45 às 12:15 horas e SSPno da 12:30 às 18:30 horas (Figura 22 (b),(d) e Figura 26). O comportamento da temperatura do ar nessas posições (SSPse é a face do renque 'voltada para o nascente' do sol e SSPno é a face 'voltada para o poente'), evidenciaram a condição de reflexão das copas o que proporcionou um aporte extra de radiação solar incidente, pois até por volta das 12:00 horas a posição na face do renque voltada para o Leste (SSPse) apresentou maiores temperaturas, enquanto que a posição voltada para Oeste (SSPno) apresentava temperaturas menores. Após as 12:00 horas, quando a incidência direta de radiação solar passa a atingir o lado do renque arbóreo, voltado para o Oeste, a situação inverteu-se. Possivelmente, deva ter contribuído para esse comportamento também a menor velocidade do vento no sistema silvipastoril.

Assim, em comparação aos valores registrados em PANA ( Figura 26), no período diurno a temperatura média do ar no perfil da posição SSPse apresentou valores maiores ( $P < 0,05$ ) para as alturas SSPse-H<sup>2</sup> e SSPse-H<sup>3</sup> e, embora maior, SSPse-H<sup>1</sup> não foi significativo nem ao limite de  $P < 0,20$ , isto porque os maiores valores atingidos até o meio-dia foram equilibrados por valores menores após o meio-dia. Para o perfil da posição SSPno, foi menor ( $P < 0,05$ ) na altura SSPno-H<sup>1</sup> e maiores ( $P < 0,10$  e  $P < 0,05$ ) nas alturas SSPno-H<sup>2</sup> e SSPno-H<sup>3</sup>, respectivamente.

No perfil da posição SSPc a temperatura do ar foi maior ( $P < 0,05$ ) das 8:30 às 18:30 horas.

Para o período diurno (6:30 às 18:30 horas) a temperatura do ar medida na posição SSPsobcoba foi menor ( $P < 0,05$ ) do que em PANA e demais posições dentro de SSP, atingindo valores de até 6,0°C a menos (Figura 26),

embora, tenham sido registradas temperaturas do ar maiores do que em PANA no intervalo das 7:15 às 8:30 horas (Figuras 8 e 22), horário que coincide com a incidência de radiação direta por sob as copas.



**Figura 22** - Desdobramento do comportamento da temperatura do ar para cada localização no dia 22/12/97, mantendo como referência de comparação os registros na posição sob a copa de renques. ( $1 \rightarrow$ ) e ( $2 \rightarrow$ ) indicam, respectivamente os horários em que o sombreamento deixou a posição pela manhã e, quando atingiu a posição à tarde; ( $3 \rightarrow$ ) horários em que a luz incidia diretamente por sob as copas pela manhã.

Para o período noturno (00:00 às 6:15 horas e 18:30 às 00:00 horas), com exceção das posições SSPsobcopa e SSPno-H<sup>1</sup> (na altura de 0,45 m do solo) que não apresentaram, pelo teste  $t$  aplicado, diferenças significativas em

relação à *PANA* nos valores da temperatura do ar, nem à probabilidade de 80% ( $P < 0,20$ ), todas as demais posições dentro do sistema silvipastoril (*SSP*) apresentaram temperaturas do ar menores ( $P < 0,05$ ) do que na pastagem aberta (*PANA*). Esse comportamento foi decorrente de um menor valor do fluxo de calor latente e de fluxo de calor no solo no sistema silvipastoril.

O comportamento da temperatura do ar foi marcado fortemente pelo sombreamento cambiante, capaz de promover inversões rápidas no perfil. Por exemplo, na posição *SSPse*, representada na Figura 22(b) e 23, onde em quinze minutos (entre 12:30 e 12:45 horas), ocorreu uma inversão no perfil vertical da temperatura do ar (tornando a altura  $H^1$  de menor temperatura) devido ao 'avanço' da sombra; ou, na posição *SSPc* entre as 8:15 e 8:30 horas, quando a temperatura do ar tornou-se maior em  $H^1$  devido ao 'recuo' da sombra.

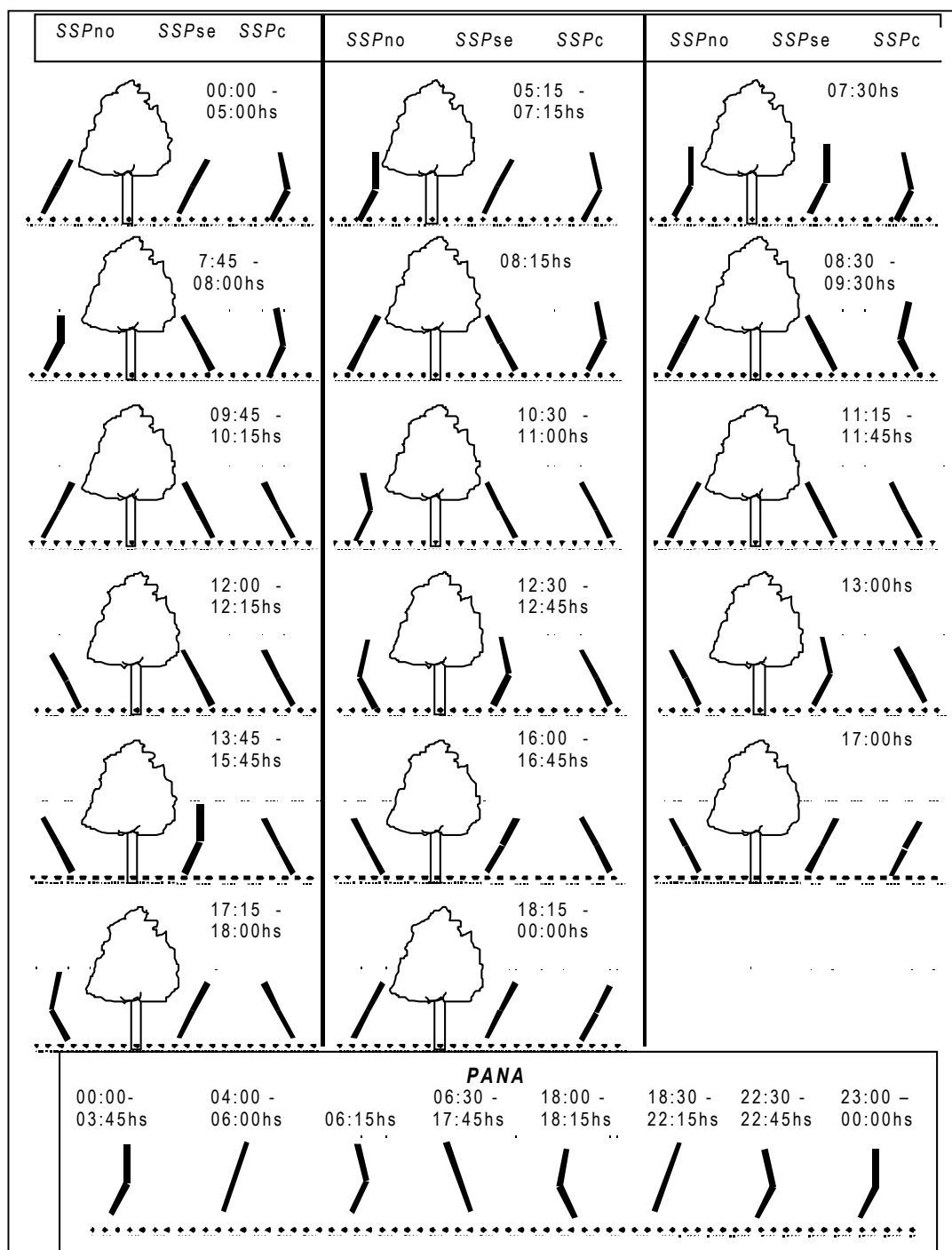
A variação vertical rápida e mais freqüente da temperatura do ar nas posições dentro do sistema silvipastoril, podem propiciar ocorrência de fluxos verticais do ar.

As posições *SSPc* e *SSPse* apresentaram maior variação no gradiente vertical, demonstrado pela maior inclinação dos segmentos de reta na Figura 24, e, onde a de temperatura do ar no perfil vertical variou em até  $6,5^\circ\text{C}$ . Uma vez que cada segmento de reta se refere a um horário, o agrupamento ou afastamento desses indica a variação no tempo; nesse aspecto, *SSPc* apresentou maior diferenciação e também maior ocorrência de inversão térmica no perfil.

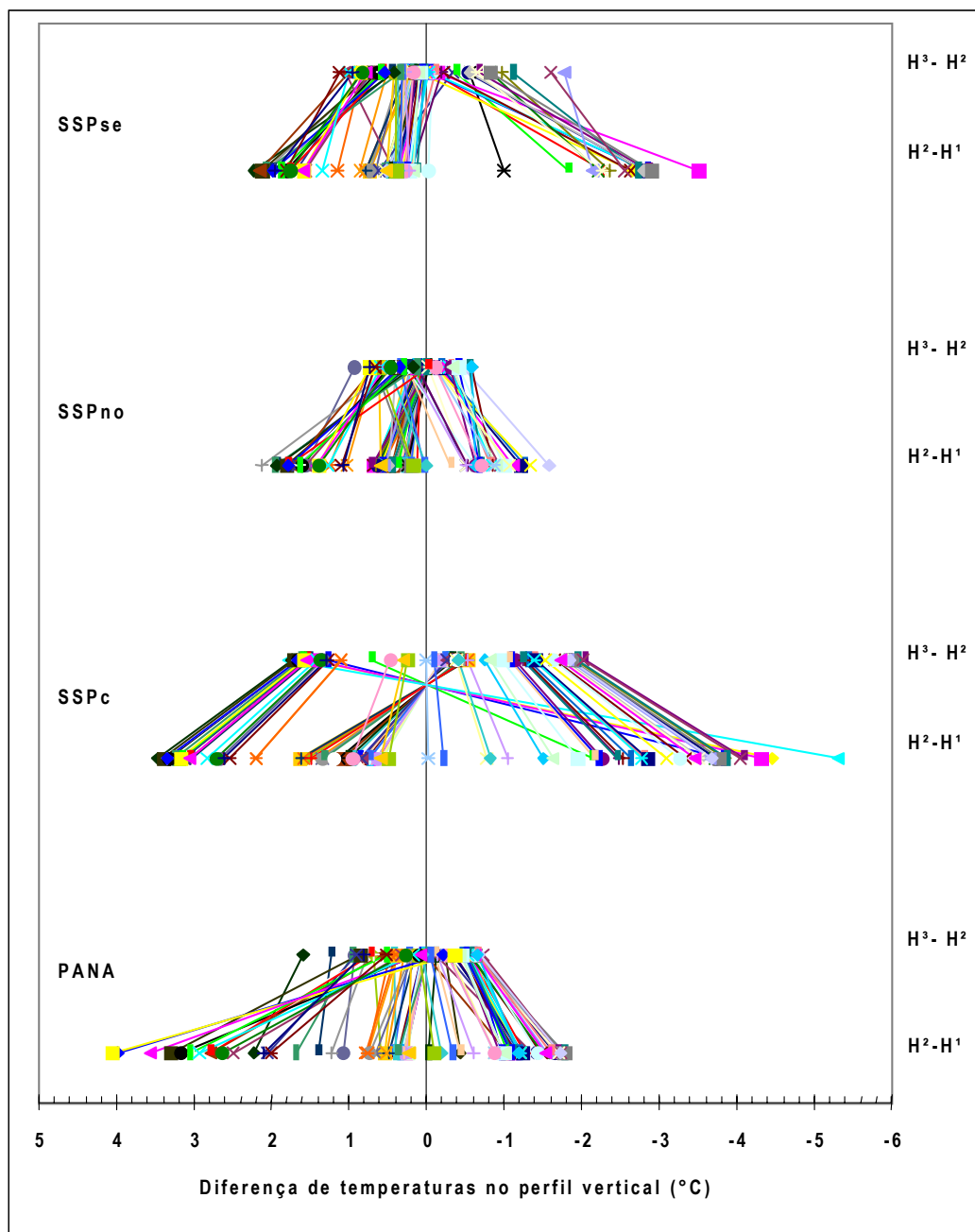
Na Figura 24, todo segmento de reta que se **inicia ( $H^2 - H^1$ ) e termina ( $H^3 - H^2$ )** positivo indica a condição de camada(s) superior(es) de maior temperatura. Caso inicie e termine negativo, indica condição de menor temperatura do ar nas camadas mais altas (perfil típico da temperatura do ar à noite sobre solo descoberto). Quando, porém, o segmento inicia negativo e termina positivo, indica inversão do gradiente térmico na camada  $H^3$  (mais alta) que estava mais aquecida do que  $H^2$  e, em alguns horários, também mais aquecida do que  $H^1$ . A condição contrária, com início positivo e término negativo, indica a inversão, com  $H^2$  sendo a altura de maior temperatura no perfil.

A existência de zonas sombreadas e zonas ensolaradas (razão sombra:sol de 1:5,6) implicou também em variação da temperatura do ar no





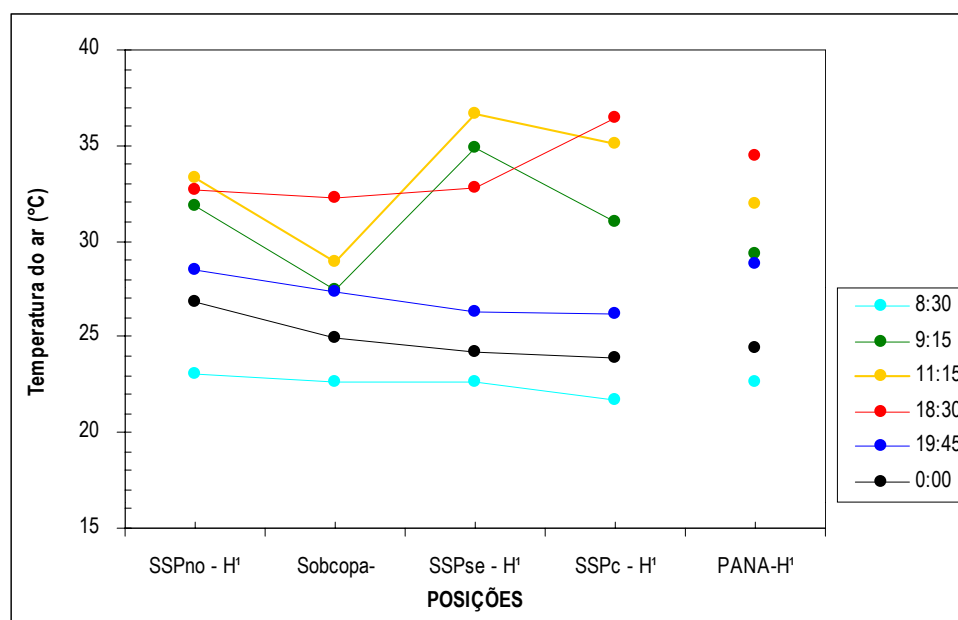
**Figura 23** – Representação esquemática do perfil de temperatura do ar nas três posições dentro de SSP e na posição PANA para o dia 22/12/97. Onde:  $\rangle$  ( $H^3 < H^2 > H^1$ );  $\langle$  ( $H^3 > H^2 < H^1$ );  $/$  ( $H^3 > H^2 > H^1$ );  $\backslash$  ( $H^3 < H^2 < H^1$ );  $\lrcorner$  ( $H^3 < H^2 = H^1$ );  $\ulcorner$  ( $H^3 > H^2 = H^1$ ).



**Figura 24** – Dinâmica da temperatura do ar nas três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA) para o dia 22/12/97. Explicação no texto.  $H^n - H^{n-1}$  = diferença de temperatura entre duas alturas no perfil).

plano horizontal entre as posições dentro do sistema silvipastoril. Na Figura 25 está demonstrada essa variação da temperatura do ar. Cada perfil traçado é uma média dos valores que ocorreram até o horário mostrado na figura ou entre um horário e outro. Os horários que rotulam os perfis coincidem com os momentos de mudança no comportamento de pelo menos uma posição em relação às demais. Os valores plotados para a posição *PANA* foram obtidos considerando os mesmos intervalos de tempo que em *SSP* e são mostrados como referência.

Os gradientes térmicos deste período apresentaram o mesmo comportamento do inverno.



**Figura 25** – Variação horizontal da temperatura do ar, a 0,45 metros do solo, nas diferentes posições dentro do *SSP* e na posição *PANA*, para um período de 24 horas do dia 22/12/97.

A Figura 26 representa as diferenças obtidas entre os valores de temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril (*SSP*) e aqueles obtidos na pastagem aberta (*PANA*). Os valores positivos resultaram de valores de temperatura do ar mais elevados numa posição em *SSP* do que em *PANA*. O inverso ocorreu para os valores negativos.

O comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água nas posições do sistema silvipastoril também foi menor ( $P < 0,05$ , pelo teste  $t$ ) do que em *PANA* (Figura 27).

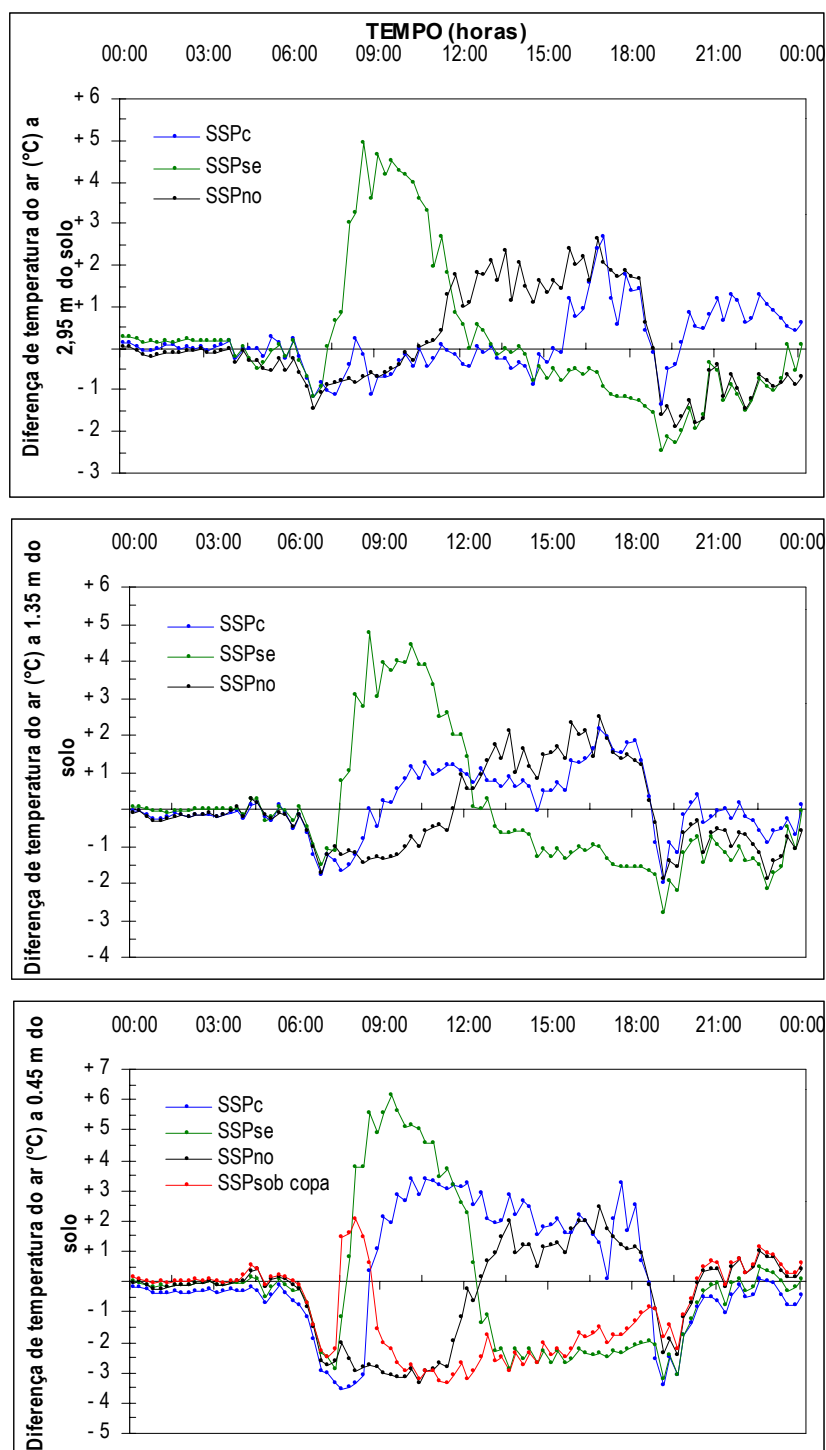
Tanto para o dia 5/7/97 como para o dia 22/12/97, as taxas de DPV no sistema silvipastoril foram dependentes da condição imposta pelo sombreamento e pela menor velocidade dos ventos, uma vez que, a diminuição da velocidade dos ventos pode causar aquecimento da folha exposta à radiação. Dado que a condutância estomatal sob menores temperaturas controla a evapotranspiração. Então, segundo BRENNER (1996), para transferir vapor d'água o DPV aumentaria e a condutância estomatal continuaria a mesma, configurando em existência de mais energia dissipada por evaporação que antes do aquecimento.

Assim, a folha sombreada tem temperaturas menores o que faz com que continue transpirando à taxas menores, porém continuamente, com conseqüente aumento da eficiência de uso da água (unidade de carbono fixado por unidade de água transpirada).

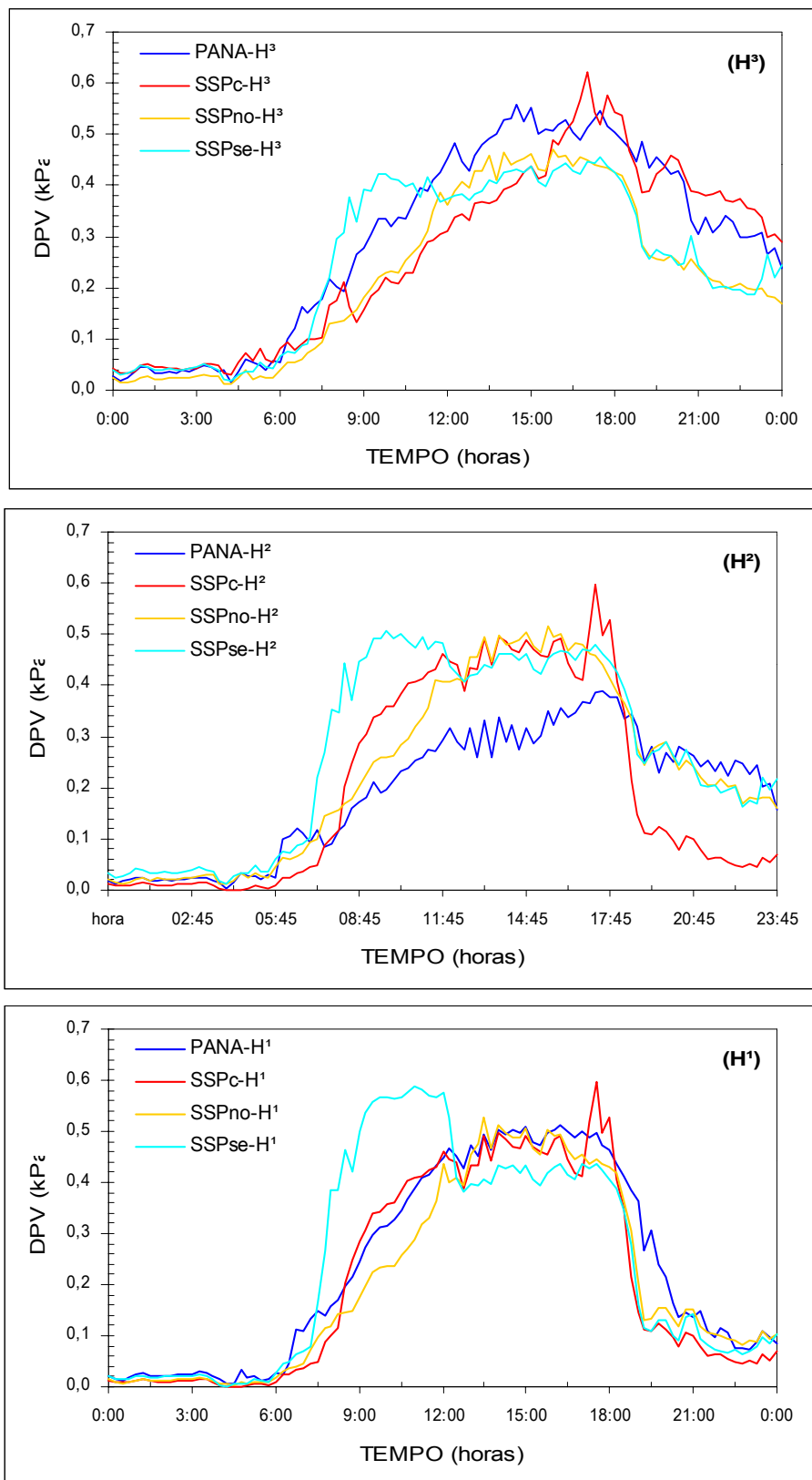
Isto contraria a expectativa intuitiva de que haveria menor transpiração pelas plantas com a diminuição da velocidade do vento. Significa que a diminuição da velocidade dos ventos até um nível mínimo capaz de propiciar a quebra de gradientes não interferirá negativamente no metabolismo das plantas. Abaixo desse nível (variável de espécie para espécie) pode interferir negativamente.

Em condições de menor velocidade dos ventos e de taxas de transpiração da vegetação, a pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) pode aumentar dada a condição de lento transporte do vapor d'água para fora da área. Isto é o que pode ocorrer em áreas protegidas por barreiras de quebra-ventos.

Dependendo de como os quebra-ventos influenciam na incidência de radiação sobre a área protegida (devido à sua altura e disposição/orientação no terreno) tem-se uma resposta na temperatura do ar. Assim, o DPV pode aumentar ou diminuir, dependendo do aumento relativo da temperatura do ar e da pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ).



**Figura 26** – Diferenças entre a temperatura do ar medida nas posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta PANA para o dia 22/12/97. A posição SSPsobcopa trata-se de uma só altura ( $H^1$ ) instalada sob a copa e no alinhamento dos troncos das árvores.



**Figura 27** – Comportamento do déficit de pressão atual de vapor d'água (DPV) em diferentes posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem aberta (PANA), para o dia 22/12/97.

#### 4.5 - A pressão atual de vapor ( $e_a$ )

A pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) é um parâmetro estimado através da equação (7) ( $e_a = e_s - \gamma (t_s - t_u)$ ), que reflete o comportamento da umidade atual de vapor d'água no meio.

Em ambas as datas, 5/7/97 e 22/12/97, a pressão atual de vapor d'água ( $e_a$ ) na altura  $H^2$  da locação PANA foi, pela aplicação do teste  $t$  unilateral, maior ( $P < 0,05$ ) do que nas locações dentro do sistema silvipastoril (SSP). Isto fez com que, pela comparação das médias, a locação PANA- $H^2$  apresentasse menor DPV, embora diante de uma temperatura do ar maior ( $P < 0,05$ ) conforme mostram as Figuras 21 e 27.

No caso, os valores maiores de  $e_a$  em PANA- $H^2$  podem decorrer de que, ao prevalecer velocidades maiores de vento por mais tempo (Anexo 1), gera-se grande superfície de aquecimento/evaporação na pastagem aberta em superfície plana, aumentando a umidade do ar nas camadas mais próximas da superfície (devido à evaporação). Essa ação combinada com velocidades maiores e mais constantes de vento em  $H^3$  (Anexo 2) estabelece uma condição de compressão das camadas abaixo (Figura 28) concentrando a mistura de modo que, assim, a altura  $H^2$  recebe umidade da superfície e, com a compressão de  $H^3$ , incrementa os valores de  $e_a$ . Em condições de menores velocidades de vento a compressão seria menor, e sendo alta a temperatura do ar (sem atenuação da radiação solar direta), haveria grande taxa de evapotranspiração (desde que a temperatura da folha não atingisse valores deletérios). O gradiente de temperatura do ar permitiria a ocorrência de aceleração vertical, estabelecendo fluxos turbulentos que homogeneizariam o perfil de pressão atual de vapor d'água.

Como as mensurações correspondem a um período no qual não havia déficit de umidade no solo, estaria havendo cessão de umidade do solo para o ar, pelo processo de evapotranspiração o que, juntamente com as condições de vento, propiciaram valores de  $e_a$  maiores na altura  $H^2$  acima da pastagem. Porém, tal condição não pode ser mantida por muito tempo sem nova reposição de chuvas. A quantidade de umidade que deixa o solo na forma de vapor d'água e faz com que a  $e_a$  seja maior, reduzindo o DPV, irá diminuir e o DPV voltará a ampliar-se. Com o ar tornando-se mais seco, seu

aquecimento se dará mais rapidamente e os deslocamentos da massa de ar serão mais rápidos, contribuindo para arrastar a umidade (vapor d'água) existente, instalando-se um contínuo crescente até que novas chuvas ocorram e se restabeleça o equilíbrio.

Essas características de grande área de aquecimento e, portanto, de evaporação na condição *PANA*, imprime amplitudes maiores na variação da *ea*, enquanto que na área arborizada (*SSP*), devido ao sombreamento, o aumento e/ou declínio da *ea* no período é mais lento e de menor amplitude. E, no *SSP*, embora as características do movimento do ar possam ser mais turbulentas, com fluxos advectivos e convectivos, que podem ser promovidos pela existência de áreas próximas e contíguas com aquecimento e resfriamento diferenciados pelo comportamento cambiante da sombra, a velocidade de saída para fora do sistema é menor, o que permite um gradiente não abrupto na pressão atual de vapor d'água, ou seja, ocorrem mais misturas mantendo o perfil mais homogêneo. Além do que, as velocidades de vento na altura  $H^3$  não diferenciam de  $H^2$  nem a  $P < 0,20$ , ocorrendo inclusive, inversão no período noturno, onde  $H^2$  foi maior do que  $H^3$ . Esse comportamento dos ventos se deve ao fato de que  $H^2$  está no plano da *zona de falha* e  $H^3$  no da *zona de copas*.

Analisando a influência da velocidade dos ventos (movimento horizontal das massas de ar) e da temperatura do ar sobre a pressão atual de vapor d'água (*ea*) (Figuras 29 e 30), encontrou-se correlações significativas ( $P < 0,05$ ) tanto com a temperatura do ar quanto para a velocidade do vento, embora havendo predomínio de um componente sobre o outro.

Assim, assumindo que a temperatura do ar, a velocidade do vento e a pressão atual de vapor d'água não poderiam ser avaliados separadamente com respeito aos seus efeitos sobre o DPV, procedeu-se a análise de componentes principais para detectar qual a participação do efeito de cada um na variância total.

Para as condições dentro do sistema silvipastoril, no dia 5/7/97, a análise detectou somente um componente principal, o qual explicou sozinho 70,22% da variância total na posição *SSPc-H<sup>2</sup>* ( $\lambda = 2,1066$ ) e avaliava principalmente o efeito do vento; enquanto que na posição *PANA-H<sup>2</sup>* detectou-se dois componentes principais, onde o primeiro componente avaliava os efeitos

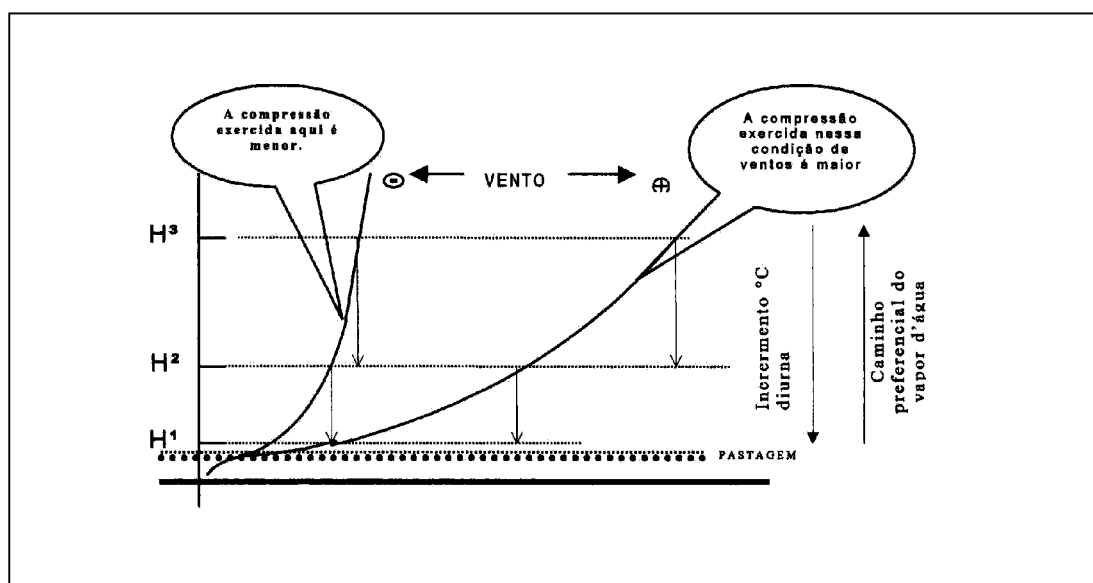


do vento e da temperatura do ar, explicando 58,98% da variância total ( $\lambda = 1,7694$ ) e o segundo componente avaliava principalmente o efeito da pressão atual de vapor d'água sobre variância total, explicando 38,94% da mesma ( $\lambda = 1,1655$ ).

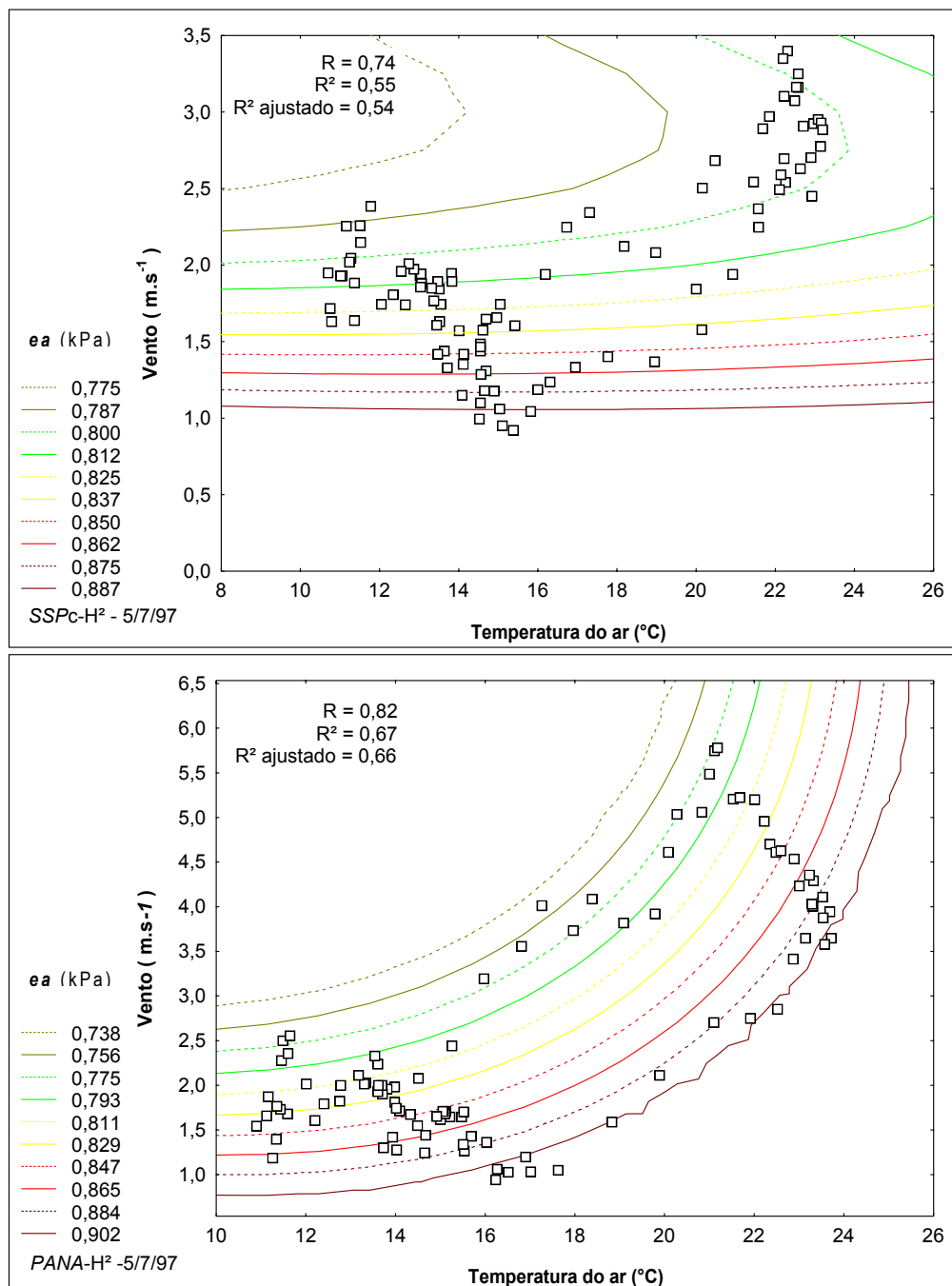
Para as condições do dia 22/12/97, a análise detectou um componente principal para cada uma das locações. Em *SSPc-H<sup>2</sup>*, avaliou principalmente o efeito da temperatura do ar na variância total ( $\lambda = 1,9585$ ) e explicou sozinho 65,28% da mesma, enquanto que em *PANA-H<sup>2</sup>* avaliou principalmente o efeito da pressão atual de vapor d'água, explicando 56,12% da variância total ( $\lambda = 1,9838$ ).

Assim, essa análise sugere que o vento atuou mais decisivamente do que a temperatura do ar sobre o DPV, em ambas as posições, no dia 5/7/97. Além do que, o comportamento da *ea* em *PANA*, descrito anteriormente, contribuiu para o menor DPV na camada *PANA-H<sup>2</sup>*. Para o dia 22/12/97, a temperatura foi mais influente sobre o DPV na condição *SSPc*; na condição da *PANA* a *ea* influenciou o DPV devido ao seu comportamento na camada *PANA-H<sup>2</sup>*.

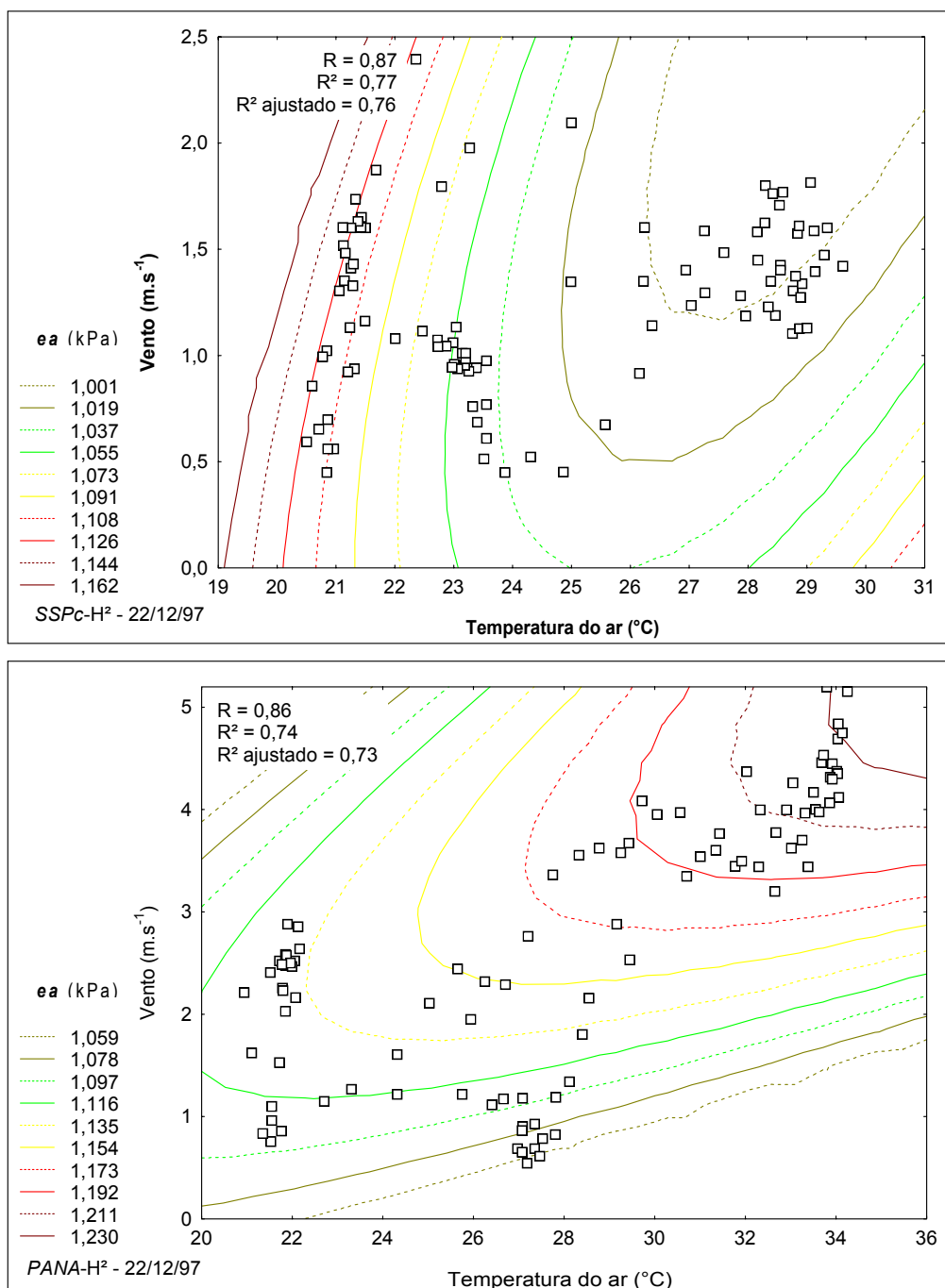
Portanto, embora pareça contrário, a elevação ou declínio do DPV dentro do sistema silvipastoril, depende relativamente mais do vento do que da temperatura do ar. Por exemplo, desde que a temperatura média no sistema silvipastoril foi menor do que na condição *PANA*, fazendo, portanto, com que a pressão de saturação de vapor d'água (*es*) fosse menor, a *ea*, por sua vez, poderia sofrer incrementos caso a velocidade do vento não fosse suficiente para promover a quebra de gradientes e o arraste da umidade incrementada pelas taxas contínuas de transpiração (devido a menor temperatura da folha sombreada).



**Figura 28** – Esquema hipotético de como o deslocamento do vento em condições de altas temperaturas e umidade disponível no solo estaria exercendo compressão sobre a altura  $H^2$ . Em condições de menor velocidade do vento a inclinação dessa resultante do deslocamento seria pequena (quase perpendicular ao plano de referência  $H^2$ ). Quando a velocidade do vento aumenta a inclinação dessa resultante aumenta também, exercendo uma compressão que confinaria mais vapor d'água em  $H^2$ , uma vez que da superfície aquecida também estaria havendo uma componente de ascensão que equilibraria a compressão para uma dada condição de velocidade do vento. Se a velocidade continuar sendo incrementada a compressão torna-se maior que a componente de ascensão. A camada com mais vapor d'água se deslocaria mais para baixo, persistindo o aumento da velocidade do vento essa camada seria praticamente “varrida”.



**Figura 29** – Comportamento da pressão atual de vapor d’água (**ea**) em função dos efeitos combinados do vento e da temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril (acima) e na pastagem aberta (abaixo) para o dia 05/07/97, ambas na altura H<sup>2</sup> do perfil para cada locação.



**Figura 30** – Comportamento da pressão atual de vapor d'água ( $ea$ ) em função dos efeitos combinados do vento e da temperatura do ar dentro do sistema silvipastoril (acima) e na pastagem aberta (abaixo) para o dia 22/12/97, ambas na altura H<sup>2</sup> do perfil para cada localização.

## 4.6 - Umidade no solo

### 4.6.1 - A fração de água disponível no solo

A Figura 31 mostra que a fração de água disponível (FAD) para as plantas na camada de 0-35 cm, foi significativamente modificada ( $P < 0,05$ , pelo teste F) dentro das condições do sistema silvipastoril. A comparação de médias pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), mostra a diferença significativa na FAD entre as posições amostradas dentro do sistema silvipastoril (Tabela 7)

Em sistemas onde haja ocorrência de sombreamento é esperado aumentos na umidade do solo. Estudos com sombra artificial, invariavelmente, relatam aumento nos teores dessa umidade como função do nível de restrição da radiação solar direta sobre o solo (CASTRO, 1996; WILSON *et al*, 1990). A proteção da superfície do solo dos efeitos da radiação solar e do vento, eleva a “superfície ativa” (superfície onde ocorre os processos de transferência de energia) acima da superfície do solo, ou seja, acima da superfície de concentração da umidade no solo (LIMA, 1986).

OVALLE & AVENDAÑO (1984), comentaram que sob 30% de recobrimento do solo pelas copas de *Acacia caven*, a diferença no conteúdo de água disponível era bem menor do que sob 50% ou 80% de cobertura pelas copas, embora não tivessem submetido a testes estatísticos de comparação, devido a variabilidade dos solos sedimentares em relação aos demais solos.

**Tabela 7** – Fração de água disponível (FAD)(médias de seis avaliações) na camada de 0-35 cm de profundidade para as posições dentro do sistema arborizado de pastagem (SSP) e para condição não arborizada (PANA)

| Posições     | FAD (mm)           | FAD(%)             |
|--------------|--------------------|--------------------|
| SSPsobcopaSE | 7,24 <sup>b</sup>  | 17,42 <sup>b</sup> |
| SSPc         | 23,16 <sup>a</sup> | 50,12 <sup>a</sup> |
| SSPsobcopaNO | 1,81 <sup>b</sup>  | 3,50 <sup>b</sup>  |
| PANA         | 14,38              | 29,69              |

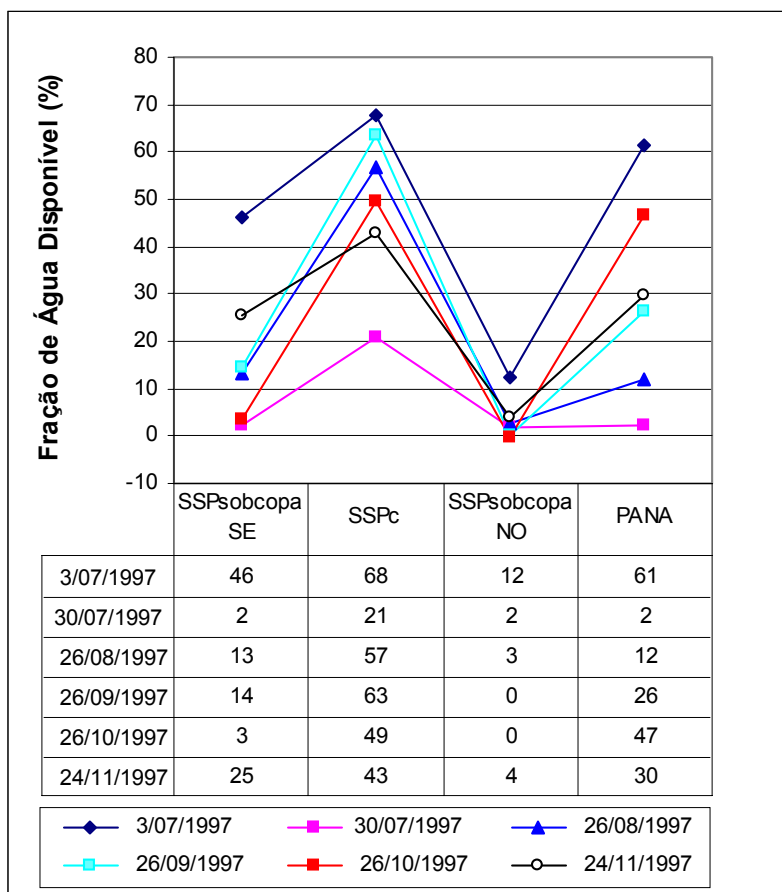
(Valores não apresentaram diferenças a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey)

Conforme FERREIRA (s.d.) e GREGORY (1995), o efeito protetivo das árvores sobre a economia da água pode ser notado em condições de deficiência hídrica.

No sistema estudado aqui, os resultados não corroboram com aqueles obtidos sob condições de sombra artificial, devido à condição dinâmica do comportamento de sombras (ver item 4.1.1). Também a percentagem de recobrimento da área (17 e 22%) pelas copas de *G. robusta*, juntamente com o arranjo espacial (em renques) das árvores, as diferenças de penetração de radiação solar global, a partição da água das chuvas pelas copas e da direção predominante dos ventos durante as chuvas, devem contribuir para os valores encontrados da fração de água disponível (FAD).

Os menores valores médios de FAD nas posições sob as copas, podem ser atribuídos à presença das árvores. No entanto, por exemplo, a data de 26/10/97 mostra que mesmo tendo ocorrido uma chuva de 60,1 mm no dia anterior, as posições *SSPsobcopano* e *SSPsobcopase* (Figura 31) apresentaram quase 50 pontos percentuais à menos do que as demais posições, o que pode ter sido decorrente da interceptação promovida pelas copas e da direção predominante dos ventos durante a chuva. Dessa maneira, no dia 3/7/97 (essa data foi precedida por 6 dias consecutivos de chuvas que acumularam 57,2 mm), registrou-se diferença de mais de 30 pontos na FAD entre as posições sob as copas. Com efeito, os ventos em tal época do ano predominam no sentido **SE-E**. Da mesma forma, os valores registrados no dia 30/07/97 (quando antecediam 9 dias consecutivos sem chuvas e somente haviam sido precipitados 32 mm desde o dia 3/7/97), mostram que na posição *SSPc* a FDA ainda era 20 pontos mais elevada. Embora nas posições sob as copas, a situação fosse similar à *PANA*, na posição *SSPc* ainda restava umidade que provavelmente era cedida para as demais locações dentro do sistema silvipastoril.

Portanto, embora existam diferenças significativas no conteúdo de umidade no solo, não podem ser realisticamente afirmadas como sendo devidas à demanda hídrica, por parte do componente arbóreo, ou pela modificação na distribuição das chuvas precipitadas sobre a área. É necessário um trabalho onde se considere o balanço hídrico dentro desses sistemas.



**Figura 31** – Comportamento da umidade do solo na camada de 0-35 cm de profundidade dentro do sistema de pastagem arborizada (SSP) e no sistema de pastagem convencional (PANA).

#### 4.7 – Atributos morfológicos da pastagem

##### 4.7.1 - Comprimento e largura médios de lâmina foliar

Esses atributos não foram afetados pelas posições, porém, a largura média da lâmina de folha sofreu efeito significativo do tempo (época do ano) (Anexo 3).

Apesar de não apresentar significância estatística (Tabela 8), observa-se tendência da folha colhida nas posições  $SSP_{sobcopaSE}$  e  $SSP_{sobcopaNO}$  ter maior comprimento médio (Figura 32). Além de serem mais delgadas enquanto que folhas das posições SSPc e PANA eram mais grossas e curtas. Conforme WHATLEY & WHATLEY (1982), o tamanho e a espessura de folha podem ser

influenciados pela duração e pelo espectro de luz, mas as diferenças na intensidade da luz são mais responsáveis pelas maiores variações no tamanho de folhas.

A estrutura interna de folhas adaptadas à sombra é diferente da das folhas que se desenvolvem à pleno sol. Nelas o tecido paliçádico é menos desenvolvido e o volume intercelular é maior, os cloroplastos são maiores. Há mais clorofila por cloroplasto, e a razão da clorofila *b:a* é também maior. Algumas espécies de sombra podem inclusive apresentar ocelos na face superior das folhas, que atuariam como lentes para concentrar a luz existente (WHATLEY & WHATLEY, 1982; LARCHER, 1986).

LARCHER (1986), apresentou uma relação sobre as diferenças entre folhas de sol e folhas de sombra englobando seus aspectos estruturais, funcionais e químicos. Segundo esse autor, ao apresentarem maior volume intercelular, as folhas de sombra teriam baixa resistência interfacial à difusão de CO<sub>2</sub> no sistema intercelular. Todas essas diferenças resultam em eficiente utilização de luz menos intensa e mais esverdeada, característica de sombra.

A alteração da largura de folhas de plantas cultivadas sob menor intensidade de luz parece ser dependente da duração da intensidade luminosa disponível e da espécie em questão. Assim, em condições de sombra artificial: WONG & WILSON (1980), observaram incremento progressivo em *Panicum maximum* e *Macroptilium atropurpureum*. CASTRO (1996), relatou que a *Brachiaria brizantha* apresentou resposta quadrática à crescente redução da luminosidade, onde a maior largura de lâmina de folha se deu ao nível de 60% e a menor ao nível de 30% de sombreamento com telas plásticas. Dentre outras cinco gramíneas tropicais trabalhadas pelo mesmo autor, somente a *B. decumbens* não foi afetada pelos diferentes níveis de sombreamento. Espécies como *Andropogon gayanus* e *Setaria sphacelata* foram afetadas quadraticamente com a diminuição de luz, embora de maneira inversa à *B. brizantha*.

Nas condições deste trabalho a intensidade de luz foi muito variável. Tratou-se de uma condição de sombra natural, onde durante algumas horas ocorria insolação plena não caracterizando um ambiente modificado e estático e que, provavelmente, não promoveu horas de sombreamento capaz de induzir modificações de aumento ou diminuição da largura de folha como as registradas

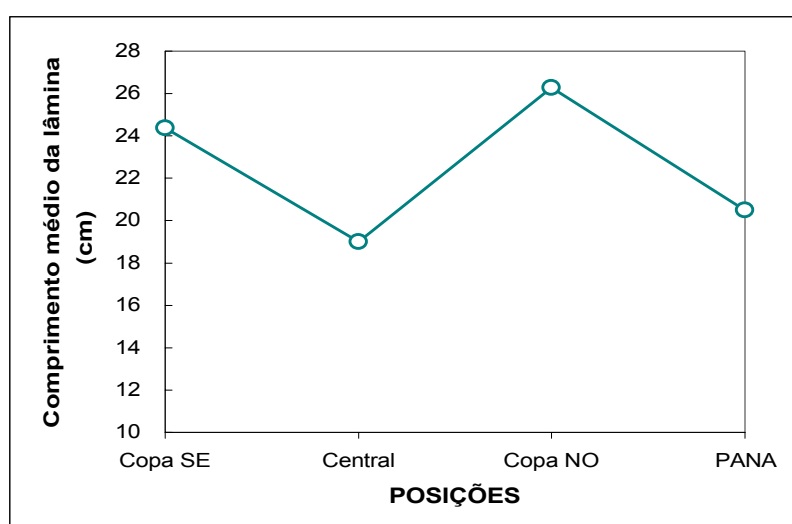


por outros trabalhos onde houve redução percentual permanente da luminosidade. No entanto, é provável que alterações internas de estrutura, tais como: menor tecido paliçádico e maior volume intercelular ocorram nas plantas de pastagens que se desenvolvem sob e mais próximas aos renques. Visual e taticamente é distinguível o aspecto menos piloso e menos 'coriáceo' das folhas nas posições sob copas.

**Tabela 8** - Valores médios referentes ao comprimento e largura médios da lâmina foliar (média de três avaliações em pastagens de *Brachiaria brizantha* – Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, não arborizada (PANA).

| Posição           | Comprimento médio da lâmina foliar (cm) | Largura média da lâmina foliar (cm) |
|-------------------|---|-------------------------------------|
| $SSP_{sobcopaSE}$ | 24,37 <sup>a</sup>                      | 1,45 <sup>a</sup>                   |
| $SSP_C$           | 19,00 <sup>a</sup>                      | 1,27 <sup>a</sup>                   |
| $SSP_{sobcopaNO}$ | 26,28 <sup>a</sup>                      | 1,37 <sup>a</sup>                   |
| <b>PANA</b>       | <b>20,49</b>                            | <b>1,52</b>                         |

Em cada posição, valores seguidos de mesma letra não são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 32** - Comprimento médio de lâmina foliar de pastagem de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril (SSP) com arborização disposta em renques curvilíneos e na pastagem aberta não arborizada (PANA).

#### **4.7.2 - Parâmetros da produção**

##### **4.7.2.1 - Área específica da folha (AEF)**

A AEF da pastagem foi significativamente influenciada pela posição conforme mostra a análise de variância apresentada no Anexo 4. As posições sob as copas apresentaram os maiores valores médios de área específica de folha, a posição SSPc, embora não diferenciada da posição PANA ( $P < 0,05$  pelo teste de Tukey), foi a que apresentou o menor valor de AEF (Tabela 9). CASTRO (1996) ao estudar o comportamento da *B. brizantha* nas condições edafoclimáticas de Coronel Pacheco-MG, registrou maiores valores de AEF para a gramínea em sombreamento artificial de 60%. Esse autor mostra que embora não-significativa estatisticamente, a espécie apresentou tendência de aumento da AEF com o incremento de sombra.

Em sombreamento variando entre 30 a 80% a gramínea *Brachiaria brizantha* apresentou AFE crescente (SMITH & WHITEMAN, 1983).

Informações sobre a AEF, têm interesse em sistemas agroflorestais em geral, visto que têm sido associadas com a adaptação e/ou tolerância de plantas ao sombreamento, uma vez que as chamadas folhas de sol são menores e mais grossas. As folhas de sombra, por sua vez, têm estruturas externas e internas modificadas em resposta à condição lumínica dentre as quais o tamanho e a espessura.

##### **4.7.2.2 - Índice de área foliar (IAF)**

O IAF não sofreu efeito significativo pelas condições em SSP ou PANA (Anexo 4), entretanto, foi normalmente afetado pela época do ano. Por caracterizar a magnitude da superfície assimilatória de uma comunidade vegetal é considerado uma medida do potencial de desenvolvimento e produção da comunidade, estando relacionado com a utilização da radiação solar incidente através da fotossíntese (GOMIDE 1973)

O IAF expressa a área foliar útil para absorção de luz por uma planta, estando relacionado às suas taxas de assimilação e, portanto de produção, os quais se relacionam com a eficiência fotossintética.

Em valores médios, o IAF apresentou-se, aproximadamente, 3 vezes menor na posição *SSPc* do que na demais posições. Embora não significativo estatisticamente, observou-se a tendência geral de IAF médio menor dentro do sistema silvipastoril, em particular na posição *SSPc* (Tabela 9), porém, quando se tratou de valores absolutos para cada colheita, os valores de inverno foram maiores no *SSP* do que na *PANA*.

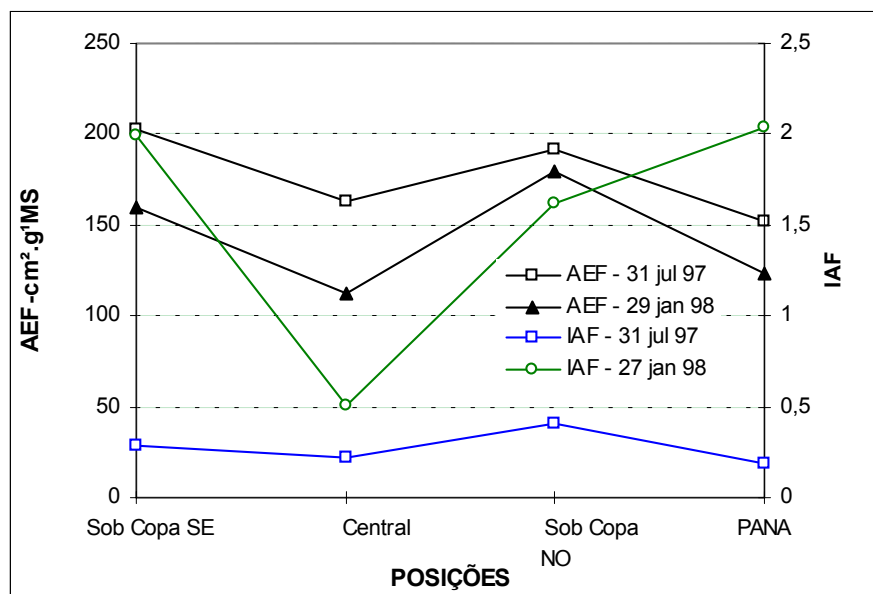
A Figura 33, mostra o comportamento para AEF e IAF. Nota-se que a AEF não apresentou amplitude de variação na mesma proporção que o IAF. A AEF é característica da genética e de sua interação com o meio, ou seja, existindo a folha, independentemente da grandeza de seu IAF, existe AEF. O índice de área foliar esteve relacionado com as condições para o crescimento vegetativo da planta; assim, durante o inverno quando as condições são menos favoráveis à emissão de novas folhas (crescimento), além de promover morte e queda de folhas, o IAF tende a diminuir.

Nas condições do sistema arborizado (*SSP*), no inverno, o IAF foi levemente maior do que em *PANA*, o que provavelmente contribuiu para produções maiores de matéria seca nesse período (Tabela 10). A manutenção de maior IAF no inverno pode ser atribuída à proteção oferecida pelas árvores. De modo similar ocorreu com a AEF, ou seja, aquelas folhas emitidas no período encontraram um microclima mais favorável para sua manifestação característica, onde tendo maior área foliar acumularam mais carbono.

Este microclima mais favorável é devido à temperaturas diurnas mais elevadas, menor velocidade de ventos e radiação líquida utilizada principalmente na evaporação significando que havia mais umidade, ou melhor, maior atividade transpiratória – plantas com folhas verdes fotossinteticamente ativas. Na pastagem não arborizada (*PANA*) houve menor atividade transpiratória (folhas secas, mortas) e a radiação líquida partilhou-se em maiores fluxos de calor sensível ( ver Figura 11).

Ao avançar no tempo, e com condições melhores de ambiente (maior temperatura) no verão observou-se o incremento do IAF. Na posição *SSPc*, no entanto, não foi observado incremento nas mesmas proporções das outras

posições, o que pode ser decorrente de combinações de variáveis que estariam sendo limitantes, como por exemplo, altas temperaturas decorrentes do aporte extra de radiação solar oriunda da reflexão dos renques com conseqüente influencia sobre a morfologia e crescimento da pastagem. Além disso, junto aos renques existe maior deposição de matéria orgânica pelas árvores o que favorece as condições de nutrição da gramínea.



**Figura 33** - Comportamento área específica de folha (AEF) e do índice de área foliar (IAF) em três posições dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na pastagem não arborizada (PANA).

#### 4.7.2.3 - Razão de área foliar (RAF)

As folhas que cresceram sob a influência das copas ( $SSP_{sobcopaSE}$  e  $SSP_{sobcopaNO}$ ) apresentaram maiores valores de RAF (Tabela 9), sendo que a posição exerceu efeito significativo sobre esse parâmetro (Anexo 4).

Aumentos na RAF ocasionados pelo sombreamento constituem-se em manifestação de adaptação da planta, uma vez que representa maior proporção de tecido fotossintetizante, em forma de área de folha, expressando assim a

área foliar que a planta está usando para produzir um grama de matéria seca (BENINCASA, 1988).

CASTRO (1996), não encontrou efeitos significativos do sombreamento artificial conduzido durante seis meses sobre gramíneas tropicais na RAF, embora as espécies *B.brizanha* e *Panicum maximum* tenham demonstrado tendência de decrescer sob sombra moderada (30%) e a aumentar sob sombreamento de 60%.

Então, se a RAF aumenta significa que a planta usa mais área foliar para produzir a mesma quantidade de matéria seca (MS). Mas, se por outro lado, a planta também apresenta aumento na AEF e IAF, poderá produzir tanto quanto a condição anterior ou mais (menor RAF para a mesma quantidade de MS), principalmente, se variáveis como a temperatura do ar e do solo, umidade e matéria orgânica (fertilidade) forem favorecidas pela intensidade de sombreamento. Logo, é possível pensar em manejo fundamentado em intensidade e espectro de luz. O que decorre do arranjo e das espécies arbóreas utilizadas, aliado as melhorias que o componente arbóreo pode promover nas condições física, química e biológicas do solo.

**Tabela 9** - Valores médios referentes a área foliar específica (AEF), índice de área foliar (IAF) (médias de três avaliações) e razão de área foliar (RAF) (média de duas avaliações em pastagens de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (*SSP*) e, não arborizada (*PANA*).

| Posição                         | Área específica de folha (cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ) | Índice de área foliar | Razão de área foliar(cm <sup>2</sup> .g <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|--|-----------------------|---|
| <i>SSP</i> <sub>sobcopaSE</sub> | 181,96 <sup>a</sup>  | 0,94 <sup>a</sup>     | 177,00 <sup>a</sup>                                     |
| <i>SSP</i> <sub>c</sub>         | 138,55 <sup>b</sup>  | 0,33 <sup>a</sup>     | 135,09 <sup>b</sup>                                     |
| <i>SSP</i> <sub>sobcopaNO</sub> | 184,99 <sup>a</sup>  | 0,98 <sup>a</sup>     | 183,43 <sup>a</sup>                                     |
| <i>PANA</i>                     | 139,71   | 1,06                  | 137,01  |

Em cada posição, valores seguidos de mesma letra não são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## **4.8 - A produção da pastagem**

### **4.8.1 - Produção de matéria seca (MS) e teor de proteína bruta (PB)**

As posições sob as copas das árvores ( $SSP_{sobcopaSE}$  e  $SSP_{sobcopaNO}$ ) apresentaram as melhores produções dentro do sistema silvipastoril (SSP).

Na média geral, a produção de MS nas condições da PANA foi superior, embora sem apresentar diferença estatisticamente significativa, conforme mostra a Tabela 10.

A análise conjunta das Tabelas 9 e 10, apontam para uma condição de compensação, onde, a produção de MS maior nas posições mais próximas aos renques coincide com os maiores valores de AEF, IAF e RAF (Tabela 9). A relação existe entre esses parâmetros e a quantidade de MS produzida indica, então, que o componente arbóreo não afetou negativamente a produção da pastagem. Ao contrário, a quantidade de MS produzida é similar àquela obtida nas condições da PANA (Tabela 10), que é cinco anos mais nova pois fora reformada faziam três anos.

Devido a produção de MS ter sido favorecida nas condições mais próximas aos renques, surge a possibilidade de serem arranjados em menores espaçamentos. Mas, para isso, será necessário maior atenção para com o manejo da altura de inserção de copas.

Com relação aos teores de proteína bruta, no SSP ocorreu maior disponibilidade do que na pastagem aberta (PANA). No valor médio de duas colheitas, a produção no SSP foi 9,70% superior. Para as condições de inverno (27/08/97), a disponibilidade de PB em valores relativos, foi de 22,52% superior e, no verão (26/11/97), caiu para 0,95% superior (Figura 34). Essas diferenças, no entanto não atingiram significância ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Vários trabalhos registram aumentos ou melhores rendimentos de gramíneas, entre as quais a *Brachiaria brizantha*, quando cultivadas em diferentes percentuais de sombreamento (REYNOLDS, 1978; ERIKSEN & WHITNEY, 1981) porém, existem também trabalhos que registraram decréscimos de rendimento (SMITH & WHITEMAN, 1983; WAIDYANATHA *et al*i, 1984).

Fundamentalmente, a diferença de comportamento produtivo da

**Tabela 10** – Produção de matéria seca ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) da forragem colhida acima de 25 cm do solo na pastagem de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA). Valores médios de três repetições para cada posição de colheita.

| Posição colheita | Datas de colheitas |         |         |        |         |         |          |          |          |         | MÉDIA  |
|------------------|--------------------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|--------|
|                  | 2/5/97             | 31/5/97 | 3/7/97  | 1/8/97 | 29/8/97 | 26/9/97 | 23/10/97 | 26/11/97 | 23/12/97 | 27/1/98 |        |
| <b>CopaSE</b>    | 164,11a            | 120,96a | 43,15a  | 14,09a | 29,80ab | 55,33a  | 76,13a   | 161,97ab | 87,88a   | 125,11a | 87,85a |
| <b>SSPSE</b>     | 63,07bcd           | 58,48cd | 16,57cd | 10,93a | 17,88b  | 34,96a  | 39,85a   | 148,15ab | 53,59b   | 92,43a  | 53,59a |
| <b>SSPc</b>      | 49,63bcd           | 36,57de | 13,04d  | 13,44a | 19,61b  | 27,61a  | 38,52a   | 91,32b   | 37,35b   | 45,36b  | 37,25a |
| <b>SSPNO</b>     | 38,41bcde          | 28,32e  | 10,11d  | 12,25a | 18,29b  | 36,96a  | 45,07a   | 133,24ab | 44,92b   | 81,29ab | 44,89a |
| <b>CopaNO</b>    | 127,52b            | 94,00b  | 33,52b  | 21,23a | 49,03ab | 56,67a  | 63,00a   | 215,41a  | 83,51a   | 90,07ab | 83,39a |
| <b>PANA</b>      | 93,73              | 69,09   | 24,64   | 21,83  | 58,29   | 74,48   | 68,39    | 267,91   | 100,04   | 165,03  | 94,34  |

(Médias seguidas de mesma letra não diferenciam-se ao nível de 5% pelo teste de Tukey.)

pastagem deve-se às interações com os ambientes modificados pela presença do componente arbóreo em que foram efetuados tais estudos, assim WAIDYANATHA *et al.*(1984), registrou redução na produção devido ao crescimento das árvores de *Hevea* (pelo aumento das copas e do sistema radicular). REYNOLDS (1978), obteve rendimentos favoráveis sob plantação de coqueiros adultos onde a transmissão de luz era de 50% (coqueirais adultos estabilizam a área de copa o que passa a influir então é o espaçamento entre os coqueiros, o sistema radicular não é tabular como nas seringueiras).

A análise de variância revelou que os teores de proteína bruta (PB), da pastagem colhida ao longo dos transectos no sistema silvipastoril não foram significativamente afetadas pelas posições (Anexo 5).

A não existência de efeito significativo ( $P < 0,05$ , pelo teste F) entre as posições confirma que o componente arbóreo, no presente caso, não estaria impondo efeitos negativos à qualidade da pastagem. Ou seja, que o pasto sombreado (mesmo sendo cinco anos mais velho) pode produzir tão bem como o pasto à pleno sol, embora sejam pastagens implantadas com material genético focado nas suas performances para as condições de pleno sol e não para condições de relativa restrição à radiação solar global.

Assim, embora na média para as duas épocas de colheita, a diferença não tenha sido significativa, a condição de pastagem arborizada demonstrou uma tendência de maiores teores de PB, principalmente no inverno quando a pastagem torna-se mais fibrosa. Isto passa a ser importante uma vez que maior concentração de proteína implica em incremento na digestibilidade de suas fibras, garantindo assim alimento de qualidade para os animais, exatamente numa época em que, nas condições desprotegidas da PANA, as pastagens tornam-se o ponto crítico que caracteriza a entressafra da pecuária, ou seja, período de baixa disponibilidade e qualidade de alimentos.

Nas condições de clima frio, SIBBALD *et al.* (1991), registraram que a produção da pastagem de Azevém (*Lolium perene*) na presença de árvores de *Picea sitchensis* se estendeu por alguns dias além do final da estação de produção/crescimento, o que atribuíram ao efeito das árvores sobre o microclima, uma vez que haviam isolado o efeito do solo.

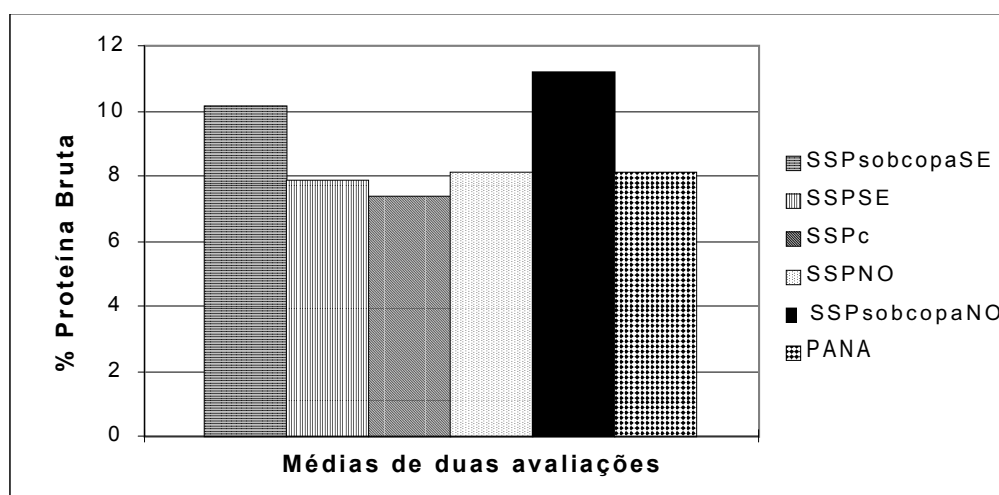
SILVA (1994), na mesma região do presente estudo, relatou manutenção de forragem verde durante o inverno, mesmo após geadas, em pastagens de



Grama Estrela (*Cynodon plectostachyus*), o que foi atribuído ao efeito protetivo da presença de árvores de *G. robusta*.

BARBOSA & GURGEL GARRIDO (1990), constataram que o teor de PB, em *Brachiaria decumbens* crescendo sob povoamento de *Pinus kesiya*, não diferenciou-se daquele registrado em áreas adjacentes não sombreadas.

Os mesmos padrões de resultados foram obtidos em trabalhos com *Brachiaria brizantha*, *B. miliformis* e *Panicum maximum*, sob e fora de um povoamento de *Hevea* (seringal) (WAIDYANATHA *et al.*(1984).



**Figura 34** - Teor de proteína bruta (%) na forragem colhida acima de 25 cm do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* –Marandú-, em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA).

O fato da pastagem sob a condição arborizada (SSP) ser mais velha, deve-se à prática de que nas condições da região do estudo, as áreas de pastagens sofrem reformas a intervalos de quatro a seis anos devido ao desgaste imposto por manejo inadequado. A área arborizada, mesmo com manejo inadequado de sua pastagem, apresenta após o oitavo ano de uso, condições que a deixam em igualdade (do ponto de vista da produção de forragem) com uma pastagem (PANA), em que mais recentemente teve entradas de nutrientes através de adubações ocorridas por ocasião de sua reforma.

A condição de permitir produções similares àquelas de uma área que recebeu aportes de nutrientes pode ser advinda da reciclagem de nutrientes que esteja ocorrendo através do componente arbóreo (a Tabela 11 mostra tendências nesse sentido), aliada às condições microclimáticas que permitem uma otimização dos recursos existentes.

SILVA (1994), relatou o incremento de nutrientes no solo, principalmente fósforo e potássio, sob pastagem de *Cynodon plectostachyus* arborizada com *G.robusta* num intervalo de oito anos na mesma região do presente estudo.

Diversos outros trabalhos demonstraram ser possível às árvores melhorarem o fluxo de nutrientes para o solo, particularmente pela contribuição de matéria orgânica (folhas e pequenos ramos que caem), pela retenção/captura de nutrientes em profundidade, pela redução e/ou prevenção de acidificação do solo (LIMA,1986; YOUNG, 1994; BIRD *et al.* 1992; NAIR, 1993; RHOADES, 1997).

Por exemplo, NAIR (1993), numa revisão, mostrou valores da ordem de 6 a 20 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de matéria orgânica; de 89 a 328 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de Cálcio; de 4 a 35 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de Fósforo; de 52 a 360 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de Nitrogênio. LIMA(1986), comentou que a lixiviação de metabólitos lábeis dos tecidos das folhas e a lavagem da deposição aerossóis/poeiras sobre suas folhas, constituem importante mecanismo de auto-sustentação dos ecossistemas florestais.

Em solos com baixa saturação de bases e baixos teores de argila, como é o caso da área, um dos agravantes é a acidificação que ocorre quando o nitrogênio é convertido em nitrato (NO<sub>3</sub>) podendo ser lixiviado para fora da zona de raízes da gramínea. As árvores conseguem capturar o nitrato e (re)convertê-lo em proteína, para devolver, então, na forma de folhas que caem (matéria orgânica) mantendo a reposição do nitrato. Dessa forma, também se dá a deposição de outros elementos contidos na matéria orgânica, além de diminuir suas perdas por lixiviação no solo.

Decorrente também da atividade biológica das árvores no corpo do solo e da deposição de material orgânico na superfície, surgem reflexos nas suas condições físicas, tornando-o mais poroso, melhorando as condições da concentração de oxigênio no solo e afetando positivamente a atividade microbiana. Nas posições dentro do sistema silvipastoril, a porosidade total do solo era praticamente igual nas três posições ( a diferença média era de 1%

**Tabela 11** – Características químicas e físicas das amostras de solo das áreas do estudo.

| De amostragem                     | cm Prof. | CaCl <sub>2</sub> | cmol <sub>c</sub> / |      |      |      |      | mg /dm <sup>3</sup> |        | %     |       |    |
|-----------------------------------|----------|-------------------|---------------------|------|------|------|------|---------------------|--------|-------|-------|----|
|                                   |          | pH                | H + Al              | Ca   | Mg   | K    | P    | C                   | Argila | Silte | Areia |    |
| Sob Copa SE                       | 0 - 20   | 4,90              | 0,00                | 3,42 | 1,96 | 0,65 | 0,20 | 1,9                 | 8,92   | 12    | 2     | 86 |
|                                   | 20 - 40  | 4,30              | 0,14                | 3,17 | 1,13 | 0,25 | 0,10 | 1,1                 | 4,69   | 13    | 1     | 86 |
| SE                                | 0 - 20   | 4,40              | 0,13                | 3,97 | 1,13 | 0,44 | 0,14 | 1,9                 | 9,23   | 11    | 1     | 88 |
|                                   | 20 - 40  | 4,20              | 0,26                | 4,27 | 1,13 | 0,08 | 0,07 | 1,7                 | 7,28   | 12    | 1     | 87 |
| Central (entre linhas de Árvores) | 0 - 20   | 4,40              | 0,13                | 3,97 | 1,16 | 0,48 | 0,12 | 1,7                 | 10,0   | 12    | 1     | 87 |
|                                   | 20 - 40  | 4,30              | 0,18                | 3,42 | 1,23 | 0,14 | 0,07 | 0,8                 | 5,67   | 14    | 1     | 85 |
| NO                                | 0 - 20   | 4,50              | 0,11                | 3,97 | 1,36 | 0,50 | 0,18 | 1,9                 | 10,1   | 12    | 1     | 87 |
|                                   | 20 - 40  | 4,40              | 0,16                | 3,68 | 1,49 | 0,10 | 0,07 | 0,9                 | 6,49   | 14    | 1     | 85 |
| Sob Copa NO                       | 0 - 20   | 5,00              | 0,00                | 3,42 | 2,49 | 0,59 | 0,14 | 1,8                 | 10,5   | 12    | 1     | 87 |
|                                   | 20 - 40  | 4,80              | 0,00                | 2,94 | 2,36 | 0,18 | 0,07 | 0,9                 | 6,14   | 13    | 1     | 86 |
| (Pastagem não arborizada)         | 0 - 20   | 4,20              | 0,47                | 5,34 | 0,79 | 0,33 | 0,20 | 2,2                 | 12,7   | 12    | 1     | 87 |
|                                   | 20 - 40  | 3,80              | 0,88                | 5,76 | 0,46 | 0,06 | 0,07 | 1,6                 | 6,41   | 13    | 1     | 86 |

favorável à SSPc). Porém, em SSPc a quantidade percentual de macroporos era 21% maior e a de microporos era 23% menor do que as outras duas posições. Com um volume de macroporos (50,63%) maior, à tensão de 0,1 MPa de pressão, reteve somente 64% de umidade, por volume (cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>), em comparação com os volumes retidos nas outras posições, em outras palavras, perdeu 36% à mais de umidade do que as outras posições.

Com menor capacidade de retenção de água, baixo IAF e com aporte de radiação extra refletida das copas, a posição SSPc estava sob uma condição altamente energética, que poderia ocasionar rápidas perdas de umidade, tornando-a deficitária para a pastagem e também para a atividade microbiana e ciclagem de nutrientes.

No entanto, os dados de fração de água disponível (FAD) indicam que em SSPc havia mais umidade. O que ocorre então, é que, o termo aerodinâmico,

que contribui para a retirada de umidade do ar, foi modificado dentro do sistema silvipastoril (ver item 4.3), bem como, o balanço de energia disponível no meio (ver item 4.2) e a partição de água das chuvas.

#### **4.8.2 - Produção de matéria seca (MS) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA)**

A análise conjunta das Figuras 35, 36, 37, 38 e 39, mostrou a tendência de que sob as copas dos renques das árvores exista menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). No entanto, é provável que dada as respostas modulativas e modificativas<sup>3</sup> em aspectos estruturais, químicos e funcionais às quais estão sujeitas as plantas sob as copas, bem como as alterações das outras variáveis microclimáticas ( temperatura, DPV, velocidade de vento), ocorram condições de uso mais eficiente dos recursos reinantes de umidade do solo, nutrientes e da própria radiação fotossinteticamente ativa a ponto de não apresentar diferenças significativas na produção média da pastagem para o período avaliado.

Entretanto, a produção de matéria seca para cada mês, apresentou diferenças estatisticamente significativas (Tabela 10), favoráveis às posições sob as copas das árvores onde as condições de temperatura do ar, da intensidade e duração de luz e a fração de água disponível foram menores. Provavelmente, as alterações modificativas deixam as plantas na condição sob copas do SSP mais eficientes para utilizar baixa oferta de radiação solar o que oferece, aliado a outros aspectos microclimáticos, uma melhor performance de produção, mesmo no inverno, quando as condições de clima regional inibem o crescimento das pastagens.

Essa condição de eficiência, pelas plantas, no uso dos recursos disponíveis, pode ser sondada pelo fato de que, entre os dias 31/5/97 a 3/7/97 (intervalo de colheita da forragem) haviam chovido 330,9 mm, a fração de água disponível registrada na última data era 57% menor (percentual obtido da média

---

<sup>3</sup> /As adaptações das plantas ao clima de radiação local – modulativas quando ocorrem rapidamente e são temporárias, como por exemplo, movimentos fototrópicos e adaptações funcionais da fotossíntese e respiração às flutuações de intensidade de luz – modificativas, quando ocorrem em resposta às condições médias de radiação durante o seu período de crescimento onde os órgãos de assimilação estão sendo iniciados e diferenciados, modificando assim a estrutura específica da planta, a estrutura celular e atividade bioquímica deixando-a mais apta para "usar" o ambiente (Larcher, 1986).

dos valores sob as copas em relação à posição entre renques) sob as copas das árvores do que na posição entre renques e em *PANA* (Figura 31). Não obstante, a quantidade de matéria seca colhida nas posições sob as copas foi superior àquelas obtidas nas demais posições, inclusive em *PANA* (Tabela 10). Já no período seguinte, de 3/7/97 a 30/7/97, as chuvas acumularam somente 32 mm (distribuídos em 2 dias), a fração de água disponível era 90% menor (percentual obtido da média dos valores sob as copas em relação a posição entre renques) (Figura 31), a quantidade de matéria seca colhida foi, então, praticamente igual.

Embora a disponibilidade de RFA tenha sido menor nas posições sob as copas das árvores, a produção de matéria seca não foi negativamente afetada. Isso ocorreu em função das interações entre as condições reinantes de umidade do solo, umidade e temperatura do ar e fertilidade, juntamente com RFA. As interações dessas variáveis foram mais relevantes para o acúmulo de carbono e produção de matéria seca nas posições sob as copas do que nas outras posições, apesar de que nessas outras posições, a RFA apresentou maior densidade de fluxo, mas sua performance produtiva foi restringida pela manifestação menos equilibrada dessas outras variáveis (fertilidade e umidade do solo, temperatura e umidade do ar).

Particularmente na posição entre-renques (*SSPc*), embora com maiores densidades de fluxo da RFA, seu potencial produtivo foi restringido, provavelmente pela manifestação de desequilíbrio entre variáveis, por exemplo: a radiação extra refletida pelas copas, na posição *SSPc*, podendo causar elevação abrupta da temperatura do ar (ver Figuras 13, 16 e 20) o que traz efeitos negativos ao processo da fotossíntese. Segundo PINTO & SÁ (1989), quando as folhas atingem temperaturas próximas a 40°C a fotossíntese diminui fortemente porque os estômatos se fecham e a transpiração é reduzida aos níveis mínimos, mesmo havendo maior fração de água disponível no solo (Figura 31).

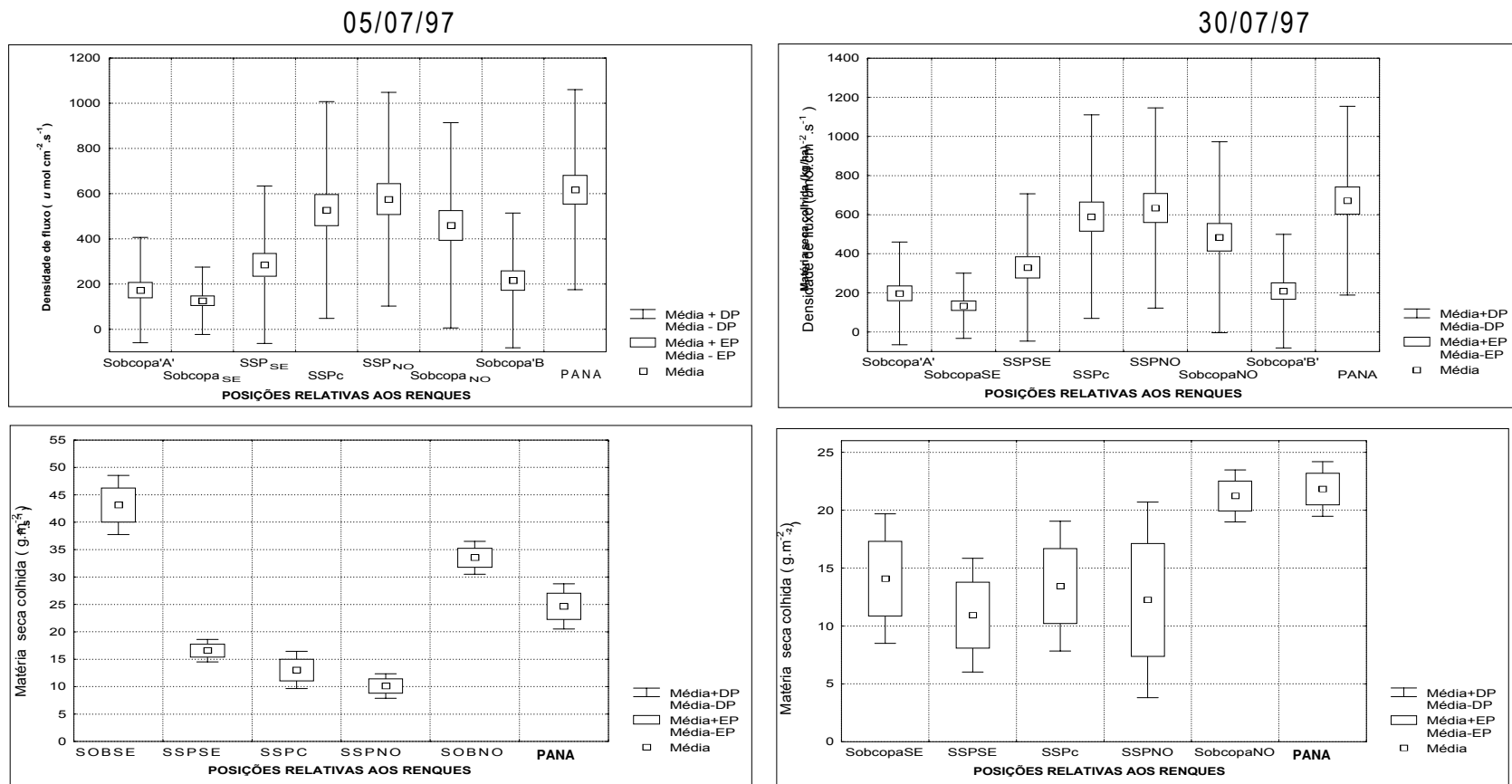
WHATLEY & WHATLEY (1982), comentaram que altas temperaturas, comuns ao meio do dia no verão, devem causar murchamento e fechamento dos estômatos, limitando assim a entrada de CO<sub>2</sub>. As folhas das plantas sob sombra podem, assim continuar seu processo fotossintético mesmo nesses horários uma vez que têm menor resistência intercelular à difusão de CO<sub>2</sub>. As folhas das

plantas sob sombra podem, assim continuar seu processo fotossintético mesmo nesses horários uma vez que têm menor resistência intercelular à difusão de  $\text{CO}_2$ .

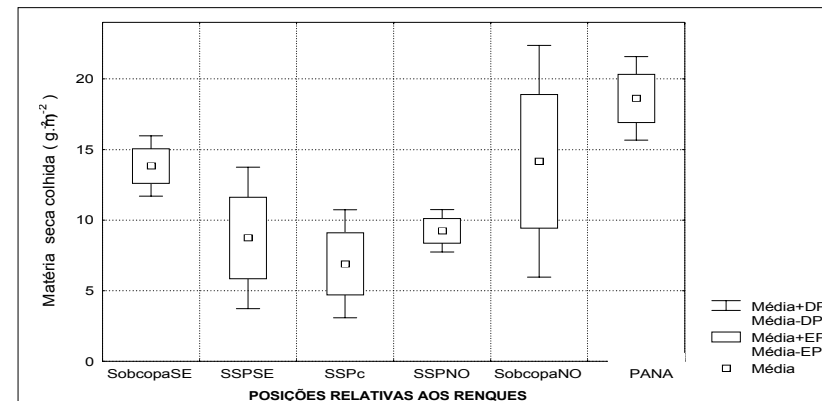
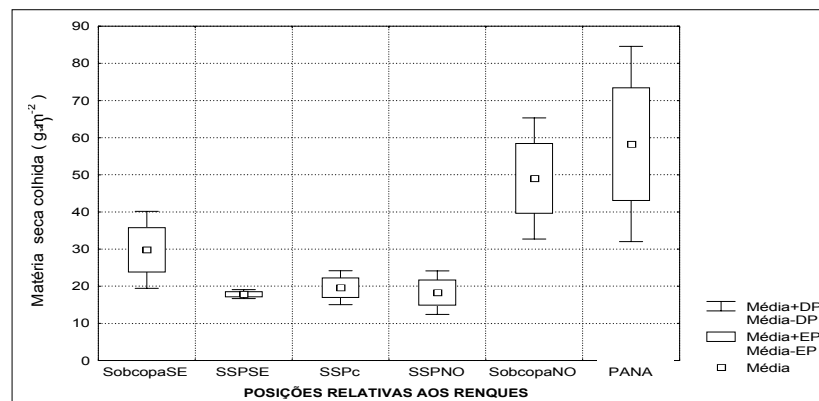
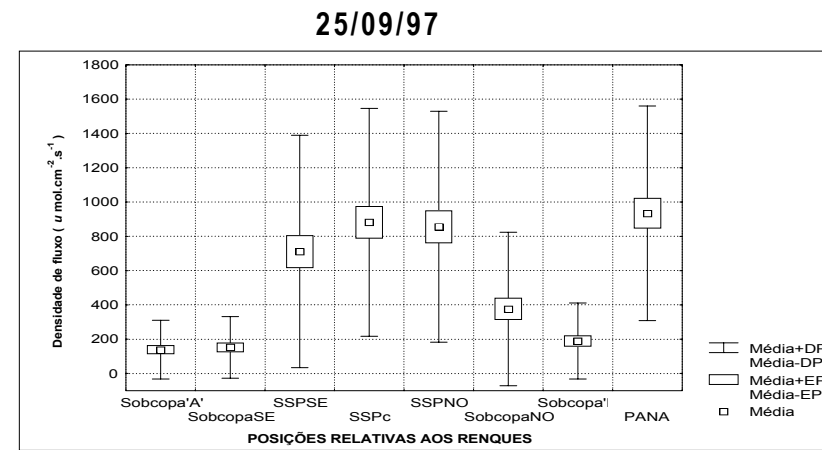
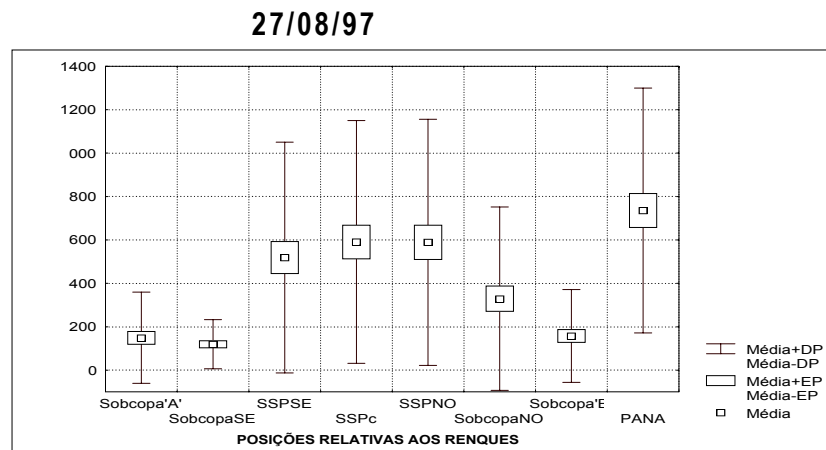
Em valores médios a RFA sob as copas é pequena, porém, muito variada em cada momento devido as características de arranjo do componente arbóreo, altura de copa, altura de inserção de copa, geometria de copa, enfolhamento e movimento dos galhos pelo vento, como pode ser visto nas Figuras 35, 36, 37 e 38 com suas barras de desvio padrão, bem como na Figura 39. Nessa última, a amplitude entre quartis mostra a condição de variabilidade da RFA, onde a posição *PANA* foi mais estável em contraste com as posições sob copas, sugerindo a existência de dependência horária para a magnitude da razão entre RFA e  $R_g$ , o que implica na diferença da qualidade de luz que atinge a pastagem sob as copas.

Outro aspecto possível é o de que a RFA na posição *SSPc* (entre dois renques) tenha sido atingida por maiores valores de densidade de fluxo da RFA do que na condição *PANA* (decorrente do mesmo efeito de reflexão das copas).

Além da intensidade e da duração, a qualidade de luz é um aspecto afetado pela presença dos renques, conforme foi comentado anteriormente. Naturalmente a distribuição espectral da radiação solar, filtrada/refletida pelas copas mostra ao entardecer razão mais alta do espectro vermelho-distante : vermelho do que em outros horários do dia (WHATLEY & WHATLEY, 1982). A energia do comprimento de onda localizada no vermelho e vermelho-distante tem efeito no alongamento dos entrenós da planta, o que estimula o alongamento quando há oferta de luz na banda do vermelho-distante imediatamente antes do período escuro (WHATLEY & WHATLEY, 1982; LARCHER, 1986). Portanto nos horários onde, naturalmente, a razão vermelho-distante : vermelho é maior, pela manhã e a tarde, os renques fazem um papel de "refletor", para as posições mais abaixo de suas copas, daquela radiação luminosa que atinge a vegetação por sob as copas.

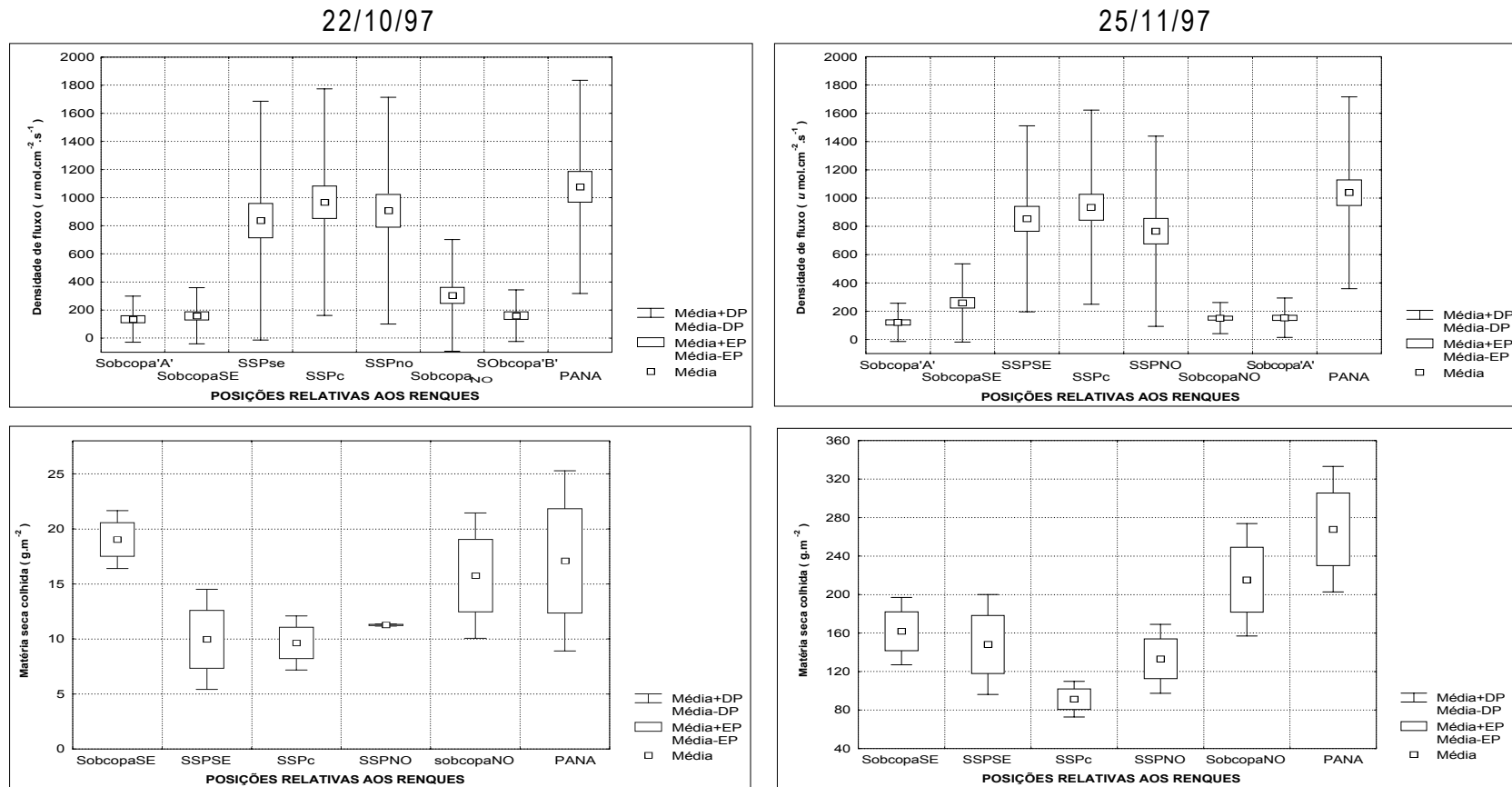


**Figura 35** – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medidas nos dias 05/07/97 e 30/07/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leitura da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta, não arborizada (PANA).



**Figura 36** – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medidas nos dias 27/08/97 e 25/09/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leitura da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta, não arborizada (PANA).





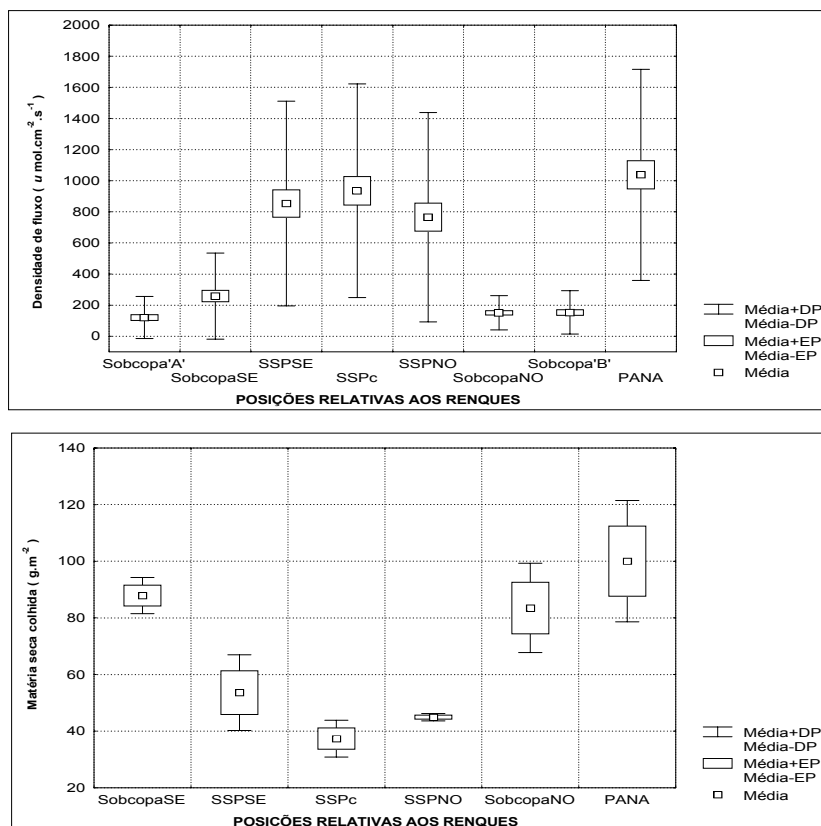
**Figura 37** – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medidas nos dias 22/10/97 e 25/11/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leitura da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta, não arborizada (PANA).

**Tabela 10** – Produção de matéria seca (g.m<sup>-2</sup>) da forragem colhida acima de 25 cm do solo na pastagem de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA). Valores médios de três repetições para cada posição de colheita.

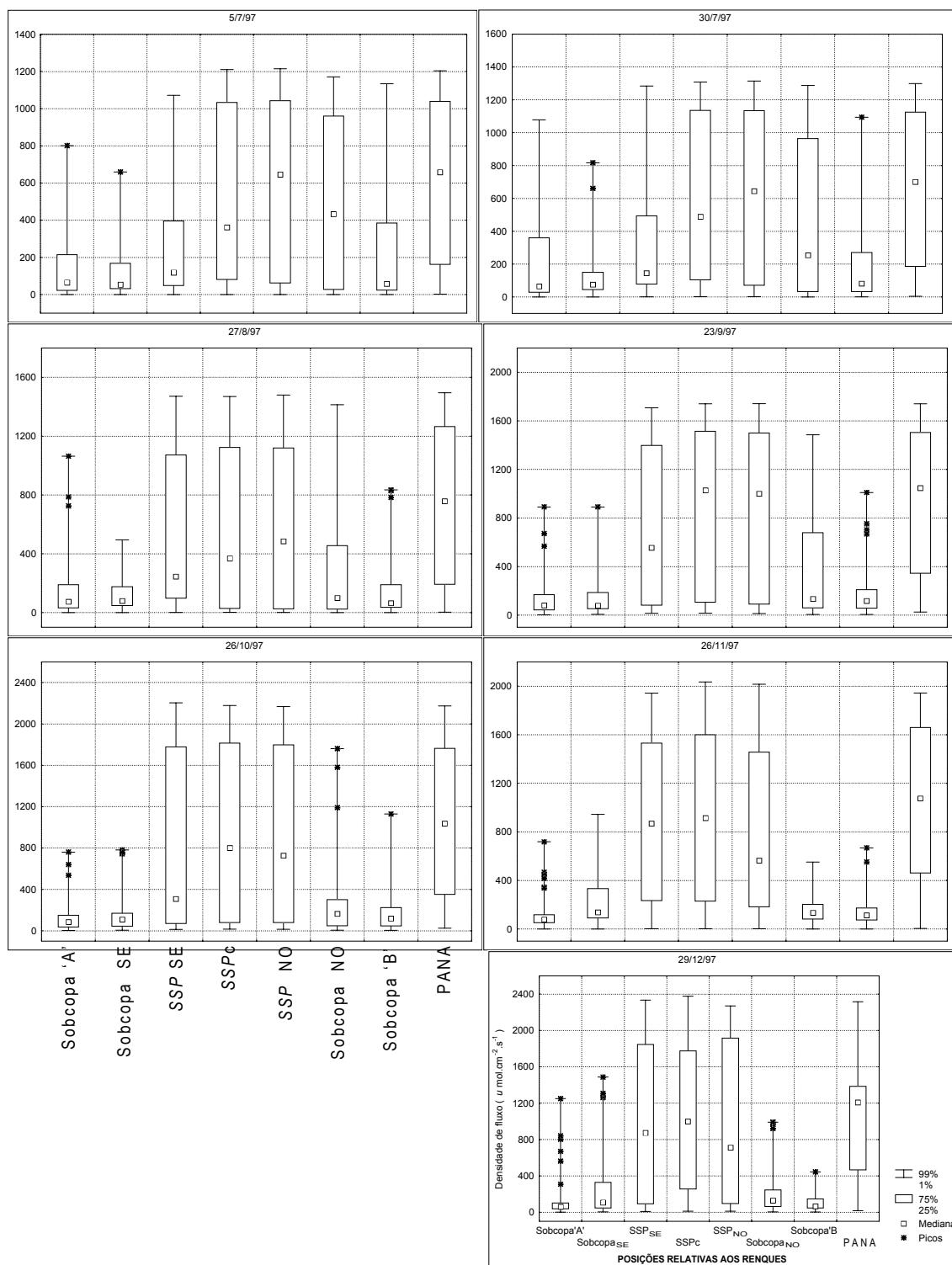
| Posição colheita | Datas de colheitas |         |         |        |         |         |          |          |          |          |        |
|------------------|--------------------|---------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|--------|
|                  | 2/5/97             | 31/5/97 | 3/7/97  | 1/8/97 | 29/8/97 | 26/9/97 | 23/10/97 | 26/11/97 | 23/12/97 | 27/1/98  | MÉDIA  |
| <b>CopaSE</b>    | 164,11a            | 120,96a | 43,15a  | 14,09a | 29,80ab | 55,33a  | 76,13a   | 161,97ab | 87,88bc  | 125,11ab | 87,85a |
| <b>SSPSE</b>     | 63,07bcd           | 58,48cd | 16,57cd | 10,93a | 17,88b  | 34,96a  | 39,85a   | 148,15ab | 53,59ab  | 92,43bc  | 53,59a |
| <b>SSPc</b>      | 49,63bcd           | 36,57de | 13,04d  | 13,44a | 19,61b  | 27,61a  | 38,52a   | 91,32b   | 37,35c   | 45,36c   | 37,25a |
| <b>SSPNO</b>     | 38,41bcd           | 28,32e  | 10,11d  | 12,25a | 18,29b  | 36,96a  | 45,07a   | 133,24b  | 44,92bc  | 81,29bc  | 44,89a |
| <b>CopaNO</b>    | 127,52b            | 94,00b  | 33,52ab | 21,23a | 49,03ab | 56,67a  | 63,00a   | 215,41ab | 83,51ab  | 90,07bc  | 83,39a |
| <b>PANA</b>      | 93,73bc            | 69,09c  | 24,64bc | 21,83a | 58,29a  | 74,48a  | 68,39a   | 267,91a  | 100,04a  | 165,03a  | 94,34a |

(Médias seguidas de mesma letra não diferenciam-se ao nível de 5% pelo teste de Tukey.)

29/12/97



**Figura 38** – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medidas no dia 29/12/97 e a produção de matéria seca (MS) colhida nos mesmos pontos de leitura da RFA nas condições da pastagem arborizada (SSP) e na da pastagem aberta (PANA)



**Figura 39** – Comportamento da RFA nas posições referenciadas dentro do sistema silvipastoril (SSP) e na condição da pastagem aberta (PANA), em sete datas diferentes entre o inverno e o verão.

#### 4.9 - O conforto térmico para os animais.

A Figura 40 mostra o comportamento do Índice Temperatura-Umididade (THI) para as datas de 5/7/97 (inverno) e 22/12/97 (verão).

Pela escala proposta por HAHN (1985), no dia 5/7/97, da 13:45 às 16:30 horas, a posição *PANA* atingiu valores críticos (THI entre 71 e 78) para o conforto térmico dos animais. Nas demais posições os valores de THI permaneceu abaixo de 71, condição normal segundo HAHN (1985), e onde vacas em lactação apresentam quase ou nenhum desconforto térmico (Oliveira, 1980 citado por NÃAS, 1989).

Para o dia 22/12/97, a partir das oito horas, nas posições que recebiam radiação solar direta (*PANA* e *SSP<sub>SE</sub>*) ocorreu rápido incremento do THI, enquanto que nas posições *SSP<sub>C</sub>* e *SSP<sub>NO</sub>*, mais protegidas (principalmente *SSP<sub>NO</sub>*), a elevação dos valores do índice deu-se mais vagarosamente. No período da tarde, quando a posição *SSP<sub>SE</sub>* foi atingida pelo sombreamento, os valores do THI diminuíram rapidamente, enquanto que *SSP<sub>NO</sub>* (agora recebendo também radiação solar direta) continuou incrementando. Assim as posições *PANA* e *SSP<sub>NO</sub>* apresentaram valores críticos e continuaram aumentando, o que determinou a existência de perigo (THI de 79 a 83) para o conforto animal até por volta das 18:00 horas.

Valores de THI igual a 75 podem prejudicar seriamente a produção de leite e a ingestão de alimentos (NÃAS, 1989; CARGILL *et al.*, 1966). Entre as 13:00 e 19:00 horas, a posição *PANA* atingiu níveis de emergência (THI > 83) para as condições de conforto térmico animal.

O índice THI mostra que para as posições simétricas (*SSP<sub>sobcopaSE</sub>* e *SSP<sub>sobcopaNO</sub>*) os valores foram bem distintos, tendo sido consideradas diferenças ao nível de 5% de probabilidade (teste *t* unilateral). A posição *SSP<sub>sobcopaSE</sub>* apresentou os menores valores do índice entre todas as posições.

Embora a temperatura do ar na posição *SSP<sub>sobcopaNO</sub>* somente tenha superado 30°C após o meio-dia (a posição *SSP<sub>sobcopaSE</sub>* atingiu 30°C antes das 9:00 horas – ver Figura 16), essa posição (*SSP<sub>sobcopaNO</sub>*) vinha de um processo contínuo de aquecimento desde o amanhecer, passando à tarde a receber radiação solar direta devido ao “caminhamento” do sol e à dinâmica de

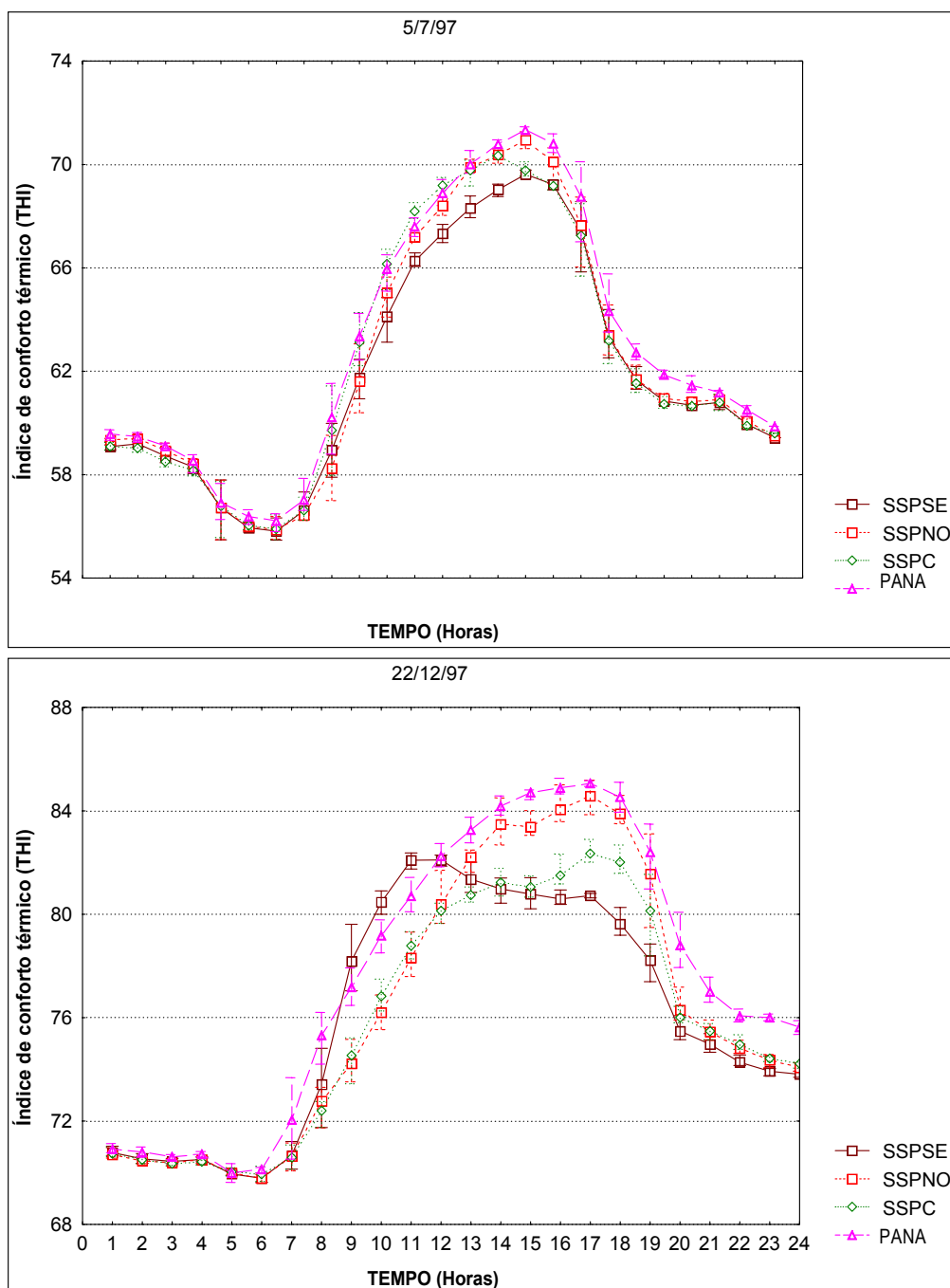
sombras, permanecendo então sob iluminação direta até por volta das 18:00 horas. A posição  $SSP_{sobcopaSE}$ , encontrava-se sombreada a partir das 12:00 horas, com a temperatura do ar declinando rapidamente devido à sombra, potencializada pelo declínio normal da temperatura no final do dia. Isto fez com que a posição  $SSP_{sobcopaSE}$ , juntamente com a  $SSP_c$  fossem as de menor THI no dia.

O THI foi menor nas condições dentro do sistema arborizado, sinalizando que provavelmente as condições de conforto fossem melhores no  $SSP$  do que em  $PANA$ . As diferenças em valores de THI atingiram 2 e 5 pontos menores na condição arborizada, respectivamente para os dias 5/7/97 e 22/12/97.

A equação do índice THI não leva em consideração os efeitos da radiação solar global e do vento. Um animal ao sol, pode estar exposto a uma carga de calor radiante maior que a sua produção metabólica de calor (NÃAS,1989; BARBOSA & SILVA, 1995). Nessa situação, a temperatura basal tende a elevar-se e o animal reduz a ingestão de alimentos para manter sua homeotermia. O vento, por sua vez também pode ser uma variável de aquecimento ou de resfriamento. Muitos trabalhos já demonstraram a relação entre ventos e performance animal.

A utilização do Índice Globotermômetro-Umididade (BGHI) (Figura 41), que considera o efeito da radiação térmica direta e indireta e, da velocidade do vento, mostrou que para as posições dentro do  $SSP$  o comportamento do índice teve a mesma tendência, aparentemente não sendo afetado pelo sombreamento como ficou notório no THI. Os valores médios foram significativamente diferentes ( $p < 0,05$  – teste  $t$  unilateral) entre as posições. Dentro do  $SSP$ , nos horários de maior intensidade de radiação solar, os valores de BGHI nas posições sob copas foram até 4 (quatro) pontos menores do que na posição  $SSP_c$  e até 7 pontos menores do que a condição  $PANA$ .

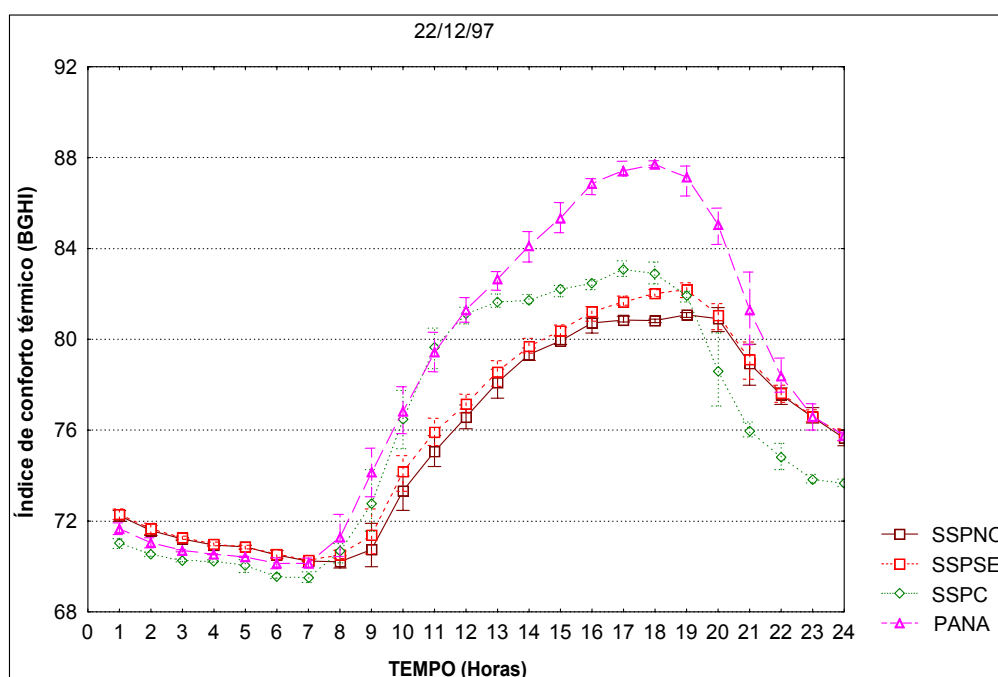
Esses índices (THI e BGHI) procuram relacionamento com “zonas de conforto”, as quais seriam aquelas limitadas pelos máximos e mínimos de temperatura ótima para a performance da espécie. Conforme NÃAS (1989), devem ser encaradas como indicação e analisadas acerca de sua aplicabilidade às condições locais, uma vez que a determinação da zona de conforto depreende uma série de estudos envolvendo até instalações especiais, ampla amostragem e grupos de estudo.



**Figura 40** – Comportamento dos valores do “índice de conforto térmico” THI para os dias 5/7/97 e 22/12/97 nas condições da pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na pastagem aberta, não arborizada (PANA).

Portanto, a aplicação de “índices de conforto” e das suas zonas de conforto, depende das condições climáticas locais e das relações entre as variáveis consideradas pelo índice e as condições de conforto experimentadas pelos animais e representadas pela “zona de conforto”.

Neste estudo, apresentamos os resultado relativizados, isto é, o que importa é somente a proporcionalidade de magnitude nos índices de conforto térmico ocasionada pelas posições dentro e fora do sistema silvipastoril, sem contudo distinguir fases ou limites, por causa da relação entre as variáveis ambientais serem diferentes daquela em que tais índices foram desenvolvidos.



**Figura 41** – Comportamento dos valores do “índice de conforto térmico” BGHI para o dia 22/12/97 nas condições da pastagem arborizada em renques curvilíneos (SSP) e na pastagem aberta não arborizada (PANA).

A performance do gado em sistemas silvipastoris necessita de maiores estudos, pois sabe-se que algumas variáveis climáticas afetam o balanço térmico dos animais a campo.

Nas condições de pasto, o ar que envolve o corpo do animal é muito raramente parado e em algumas situações/regiões pode atingir grandes



velocidades. Ventos fortes diminuem o isolamento térmico existente no corpo do animal ( gerado pela pelagem e camada limite que envolve o corpo de mesma natureza de uma folha vegetal) fazendo com que aumente sua taxa de perda de calor.

Isto pode ser salutar em condições de ambiente quente, porém quando a temperatura do ar está próxima da temperatura crítica para o conforto térmico do animal (máxima ou mínima), os ventos podem agravar a situação ao aumentar a perda de calor por convecção. BIRD *et al.* (1992) registraram economia de energia gasta pelos animais (bovinos e ovelhas) para manutenção de funções basais em 17,5%, quando a velocidade dos ventos foram reduzidas de 10 km para 4,5 km.

Nas condições deste estudo a redução dos ventos foi, em média de 26% no inverno e 60% no verão ficando em torno de 1,4 a 2,2 m.s<sup>-1</sup>, valores considerados como os melhores de condições eólicas para a criação de animais ( NÃÃS, 1989; CARVALHO,1991; MCDOWELL,1975).

A incidência de radiação solar direta sobre a pele do animal faz com que ganhe calor, implicando em grandes efeitos sobre o seu balanço térmico. NÃÃS (1989), comenta para os resultados de balanço térmico em *Bos indicus*, que o calor absorvido do ambiente (27°C; 29-32%UR) chegou até mais de 12 vezes o calor metabólico. Isto tem efeitos diretos, por exemplo, na ingestão de alimento, a qual diminui. A exposição do animal a altas densidades de fluxos radiativos (superiores a 700 w.m<sup>-2</sup>) pode implicar em estreitamento de até 3°C das temperaturas críticas para a produção mínima em ruminantes (Stevens *et al.* (1974) citados por NÃÃS, 1989).

No sistema estudado, a oferta de sombra reduziu a temperatura do ar no verão em até 8°C e a incidência de radiação solar global (direta + difusa) em 80%. Assim, durante dias/noites frias os renques arbóreos podem funcionar como fonte de calor e em dias quentes e de forte insolação, a sombra decisivamente pode contribuir para condições de conforto animal. A radiação de onda longa recebida pelo corpo do animal protegido sob as copas ou próximo delas, também melhora o seu conforto térmico.

## 5. CONCLUSÕES

A presença dos renques arbóreos alterou os padrões de incidência de radiação solar e dos ventos, bem como o balanço energético, redundando em alterações dos padrões térmicos, de pressão de vapor d'água e, no saldo de energia disponível ao meio.

A radiação solar global, em cada posição medida dentro do sistema silvipastoril foi modificada pelo sombreamento imposto pelas árvores e reflexão de suas folhas.

O balanço de energia mostrou, para o plano medido, um saldo inferior de energia no sistema. O fluxo de calor no solo foi menor no inverno e maior no verão dentro do sistema silvipastoril, sendo que maiores densidade de fluxo de calor deixaram o solo nas posições sob a copa dos renques contribuindo para elevar a temperatura do ar no inverno.

A velocidade do vento em duas alturas bem como a sua amplitude média foram menores dentro do sistema silvipastoril (SSP). A direção do vento também foi modificada, especialmente nas direções *SE*, *NE*, e *E*.

O perfil de temperatura do ar, tanto horizontal quanto verticalmente foi bastante modificado, sendo que verticalmente predominou a inversão do gradiente térmico, variando os valores de temperatura do ar de acordo com a posição em relação aos renques, altura do perfil e "caminhamento" da sombra. À noite, a temperatura do ar foi maior sob os renques. Durante o dia, a temperatura do ar foi menor nas porções sombreadas, embora na posição entre renques tenha sido maior até do que na pastagem aberta.

A fração de água disponível no solo foi maior na posição entre renques e menor sob as copas, como resposta às condições para a evapotranspiração (alteração no regime de ventos e no saldo de energia) e partição da água das chuvas.

Essas modificações no sistema avaliado causaram alterações na produção da pastagem e nos índices de conforto térmico animal, pois, a introdução das árvores permitiu a formação de ambientes climatizados não rígidos.

A largura média de folha da pastagem e o IAF sofreram efeito da época do ano. A AEF da pastagem foi significativamente influenciada pela posição e época do ano. A RAF apresentou valores maiores para as folhas que cresceram sob a influência das copas, mostrando o efeito significativo da posição dentro do sistema silvipastoril.

A produção de matéria seca (MS) foi influenciada pela época do ano e pelas posições dentro do sistema silvipastoril, enquanto os teores de proteína bruta não foram afetados pelas posições. Nas posições sob as copas das árvores a produção média de matéria seca da pastagem não foi negativamente afetada embora a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) tenha sido menor.

O Índice Temperatura-Umididade (THI) atingiu valores extremos apenas nas condições da pastagem aberta (*PANA*) durante o inverno. No verão, *PANA* e a posição *SSPNO* apresentaram valores críticos que podem prejudicar seriamente o desempenho produtivo animal bem como a sua ingestão de alimentos.

Os resultados obtidos neste trabalho podem dar suporte ao estímulo de implantação dos sistemas silvipastoris, em especial ao estudado, como forma mais vantajosa e ambientalmente mais segura do que o sistema convencional de pastagens ( pastagens a céu aberto). Podem suportar também o estímulo aos cultivos anuais entre renques de *G.robusta* nas condições edafoclimáticas daquela região.

## 6. SUGESTÕES

Sem a pretensão de esgotar as possibilidades, sugere-se alguns estudos que poderiam auxiliar no entendimento e explicação de sistemas de arborização de pastagens.

O monitoramento de impactos (sócio-cultural-econômico-ambiental) causados pela introdução/implantação desses sistemas se fazem importantes devido ao pouco tempo de pesquisas existentes e a demanda de formas de produção sustentável.

Estudos sobre a qualidade espectral da luz refletida pelos renques e a que atinge por sob as copas (principalmente em sistemas de renques) de *Grevilla robusta*, dada às diferenças no espectro da radiação solar, poderiam gerar informações sobre o grau de rendimento quântico da fotossíntese em tais situações.

Pesquisas com relação aos processos de ciclagem de nutrientes nos sistemas silvipastoris, da distribuição dos dejetos animais (fezes e urina) e suas relações com o arranjo do componente arbóreo e da atividade de besouros coprófagos dentro de sistemas silvipastoris.

Apesar do comportamento das variáveis microclimáticas apontarem favoravelmente para a arborização de pastagem, poucas tentativas têm sido feitas para mensurar o balanço total de energia em animais a pasto. Isso, apesar de requerer um trabalho multidisciplinar, permitirá avaliar a extensão real do conforto térmico experimentado pelos animais dentro de sistemas silvipastoris.

Poucos estudos têm examinado o uso de água pelo componente arbóreo em sistemas silvipastoris. Existe a necessidade de se conhecer como se dá a partição de água precipitada nesses sistemas, por exemplo, qual seria a água que sai do sistema através de escoamento superficial, pela transpiração das árvores, por drenagem profunda no perfil do solo, e, por interceptação das copas. E assim, poder aquilatar a sua potencialidade no manejo de bacias hidrográficas.

Estudos com espécies nativas em sistema silvipastoril são raros nas condições do sul do país, apesar de necessários tanto para diminuir riscos da

utilização de poucas espécies exóticas, bem como buscar o aumento de oportunidades que os sistemas silvipastoris possam oferecer como alimento, outros produtos e para a fixação de nitrogênio atmosférico.

A produção animal assentada em bases da produção ambientalmente correta precisa ser analisada na perspectiva dos sistemas silvipastoris

A integração de formas rotativas espaciais e temporais com cultivos anuais em plantio direto pode vir a ser um modo eficiente de controle biológico e cultural ao quebrar o ciclo de vida de alguns organismos não desejados ou para a criação animal ou para os cultivos agrícolas, com a possibilidade de otimizar o uso sustentável da terra.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.C.C. **Comportamento do Eucalyptus citriodora Hooker em áreas pastejadas por bovinos e ovinos no Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** Viçosa : UFV, 1991. 44p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- ALTIERI, A.A. **Agroecologia: As bases científicas da Agricultura Alternativa.** [Trad. Patrícia Vaz] Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989. 240p.
- ANDERSON, I.S; SINCLAIR, F.L. Ecological interactions in agroforestry systems. **Agroforestry Abstracts**, 6 (2): 57-91, 1993.
- BAGGIO, A. J. **Sistema agroflorestal grevilea x café : início de nova era na agricultura paranaense ?** EMBRAPA-URPFCS. Curitiba, 1983. 15p. ( Circular Técnica, 09 )
- BAGGIO, A. J. & CARPANEZZI, O.B. Resultados preliminares de um estudo sobre arborização de pastagem com mudas de espera. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, (18/19), 1988.
- BAGGIO, A. J.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MONTOYA, L. Efeitos de diferentes espaçamentos de Grevillea robusta em consórcio com cafeeiros. IAPAR. Londrina, 1997. 24p. Ilust. ( IAPAR. Boletim Técnico, 56 )
- BARBOSA ,J. O . & GURGEL GARRIDO, L.M.A. Consorciação de pastagem e povoamentos de Pinus. **Revista do Instituto Florestal**, (2) 3:171-184, 1990. São Paulo, 1990.
- BARBOSA; O.R. & SILVA, R.G.da. Índice de conforto térmico para ovinos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, (24) 6:874-883, 1995. Viçosa, 1995
- BARRADAS, V.L. & FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (Coffea arabica) plantation in Mexico. **Agriculture, For. Meteorology**, 38: 101-112. 1986.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas, noções básicas.** Jaboticabal/FUNEP, 1988. 42p.
- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e Evapotranspiração. IPAGRO. Porto Alegre, 1981. 96p. (**Boletim Técnico-IPAGRO**, 07)
- BIRD,P.R.; BICKNELL, D.; BULMAN, P.A.; BURKE, S.J.A.; LEYS,J.F.; PARKER,J.N.; VAN DER SOMMEN F.J.; VOLLER, P. The role of shelter in Australia for protecting soils, plants and livestock. **Agroforestry Systems**, 20: 59-86. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1992.
- BRENNER, A.J. Microclimatic modification in agroforestry In: C.k. Ong e H. Huxley (ed.), **Tree – Crop interactions. A Physiological approach**, p. 159-187. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK, 1996.

- BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere. Theory, History, and Applications.** D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland, 1982.
- BUDOWSKI, G. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica. In: Peter A. Huxley (ed.), **Plant Research and Agroforestry**, 617p. International Council for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 1983. p.43-62
- CANTO, A.C.; SILVA, S.E.L.da; NEVES, E..J.M. Sistemas agroflorestais na Amazônia Ocidental: aspectos técnicos e econômicos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2. Curitiba. **Anais.** Colombo: EMBRAPA-CNPFFlorestas, V.1, p.23-35, 1992
- CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A.C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, 33: 205-214. . Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1996
- CARGILL, B.F.; STEWART, R.E. Effect of humidity on total heat and total vapor dissipation of Holstein cows. **Trans. of ASAE**, (9) 5: 702-706, 1966. St. Joseph, 1966.
- CARVALHO, N.M. **Efeitos da disponibilidade de sombra, durante o verão sobre algumas condições fisiológicas e de produção em vacas da raça holandês.** Santa Maria:UFSM, 1991. 199p. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia).
- CARVALHO, M.M.; FREITAS,V.P.;ALMEIDA,D.S.; VILLAÇA,H.A. Efeito de árvores isoladas sobre a disponibilidade e composição da forragem de pastagens de braquiária. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**,(23) 5: 709-718, 1994. Viçosa, 1994
- CASTRO, C.R.T.de. **Tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento.** Viçosa; UFV, 1996. 247p. (Tese de Doutorado em Zootecnia)
- CHINESE ACADEMY OF FORESTRY. **Paulownia in china: cultivation and utilization.** Asian Network for Biological Sciences and International Development Research Centre, Singapore. 1986. 65p.
- COPIJN, A. N. **Agrossilvicultura sustentada por sistemas agrícolas ecologicamente eficientes.** Tradução Anna Cecília Cortines. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1987.
- CUBBAGE, F.W. and GUNTER, J.E. Conservation reserves. **Journal of Forestry** 85(4): 21-27. 1987.
- CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI,H.; BERLATO,M.A.; MATZENAUER,R. Balanço de energia em cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, (4) 1: 1-14, 1996. Santa Maria, 1996.
- DANTAS, M. Aspectos ambientais dos sistemas agroflorestais. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR:EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1994. V. 1. p. 433-453.

- DJIMDE, M.; TORRES, F.; MIGONGO-BAKE, W. Climate, animal and agroforestry. In: REIFSNYDER, W.S.; DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1989. p. 463-471
- DUBOIS, J.C.L. Alternativas agroflorestais para a recuperação de solos degradados na região norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Curitiba. **Anais**. Curitiba: FUPEF/UFPR, p.107-125, 1992.
- ENCARNAÇÃO, R.O. & KOELLER, W.W. Importância do sombreamento em pastagem. **Informativo EMBRAPA-CNPGC**, 2 (6): 1-2. 1985.
- ERIKSEN, F.I. & WHITNEY, A. S. Effects of light intensity on the growth of some forage species, 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilisation on six forage grasses. **Agronomy Journal**, 73(3):423-433, 1981.
- FAO. **Production Yearbook**. FAO, Roma, Italia. 1985.
- FERREIRA, L.A.B. **Quebra-ventos arbóreos**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, s.d.. 6p. (mimeografado).
- GIJZEN, H. & GOUDRIAAN, J. A flexible and explanatory model of light distribution and photosynthesis in row crops. **Agricultural and Forest Meteorology**, 48: 1-20. 1989.
- GOMIDE, J.A. Fisiologia e manejo de plantas forrageiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, (2) 1; 17-26, 1973. Viçosa, 1973.
- GRACE, J.; THOMPSON, J.R. The after-effect of wind on the photosynthesis and transpiration of *Festuca arundinaceae*. **Physiologia plantarum** 28: 541-547. 1973.
- GRASER, E.A.; VERMA, S.B.; ROSEMBERG, N.J. Within-canopy temperature patterns of sorghum at two row spacings. **Agric. Forestry Meteorology**, 41: 187-205, 1987.
- GREGORY, N.G. The role of shelterbelts in protecting livestock: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 1995. Vol.38: 423-450.
- GRODZKI, P.; CARAMORI, P.H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, (4) 1: 93-99, 1996. Santa Maria, 1996.
- HAFEZ, E.S.E. **Adaptación de los animales domésticos**. Barcelona: Ed. Labor S.A., 1973. 563p.
- HAHN, G.L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOSEF, M.K. (ed.) **Stress physiology in livestock. Ungulates**. p. 151-174. Boca Raton: CRC Press, 1985.
- HAM, J.M. & KLUITENBERG, G.J. Positional variation in the soil energy balance beneath a row-crop canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, 63: 72-92. 1993.
- HARDY, R.N. **Temperatura e vida animal**. Trad. Isaías Pessotti e Sílvio Morato de Carvalho. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, 1981. 76p. (Temas de Biologia; v.24) [Tradução da 2ª edição inglesa]



- IAPAR-INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Erosão - inventário de áreas críticas no Noroeste do Paraná. Londrina, 1988. 20p. ilustr. (**IAPAR. Boletim Técnico,23**)
- IAPAR-INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Estado do Paraná. Londrina, 1994. 44p. ilustr. (**IAPAR. Documento,18**)
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU, 1986. 339p. [Tradução da 4ª ed. alemã]
- LEWIS, C.E. & PEARSON, H.A. Agroforestry using tame pastures under planted pines in the southeastern United States. In; H. L. Gholz (ed.), **Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials**, p. 195-212. Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, 1987.
- LIMA, W.P. Princípios de Hidrologia Florestal para o Manejo de Bacias Hidrográficas. Piracicaba: ESALQ/Depto. Silvicultura, 1986. 247p. (**apostila**)
- LOURENÇO, A.J. Produção animal com leguminosas arbóreas/arbustivas. In: SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E ARBUSTIVAS, 1. **Anais...** Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, 1993. p.131-146.
- LOWRY, J.B. Agronomy and forage quality of Albizia lebbek in the semi-arid tropics. **Tropical Grasslands**, 23(2):84-91, 1989.
- LUDLOW, M.M. Stress physiology of tropical pasture plants. **Tropical Grasslands**, Brisbane, 14: 136-145. 1980.
- MACEDO, R. L. G. Sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Curitiba. **Anais**. Curitiba: FUPEF/UFPR, p.107-125, 1992.
- MACEDO, R. L. G. & CAMARGO, I.P. Sistemas agroflorestais no contexto do desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1994. V. 2. p. 43-50.
- MAN YU, C. **Faxinais do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1985. 26p.
- MARQUES, L.C.T. & BRIENZA JR., S. Sistemas agroflorestais na amazônia oriental: aspectos técnicos e econômicos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2. Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPFFlorestas, V.1, p.37- 62, 1992.
- McARTHUR, A.J. Forestry and shelter for livestock. **Forestry, Ecology and Management.**, 45: 93-107, 1991.
- McDOWELL, R.E. **Bases biológicas de la producción animal em zonas tropicales**. Zaragoza (Espanha): Ed. Acibia, 1975. 629p.
- MEDRADO, M.J.S. Estabelecimento de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE USOS MÚLTIPLOS DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E ARBUSTIVAS, 1. **Anais...** Instituto de Zootecnia, Nova Odessa-SP, 1993. p.63-94.

- MONTEITH, J.L, ONG, C.K. e CORLETT, J.E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 45: 31-44 Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1991
- MONTOYA, L. J. & BAGGIO, A. J. Estudo econômico da introdução de mudas altas para sombreamento de pastagens. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2. Curitiba. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPFFlorestas, V.1, p.171-191, 1992.
- MONTOYA, L. J. & MAZUCHOWSKI, J. Z. Estado da arte dos SAF's na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFFlorestas, 1994. V. 1. p. 77-96.
- MÜLLER, P.B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. Porto Alegre: Ed. Sulina, 3ª ed. rev. atual., 1989. 262p.
- NÃÃS, I. de A. **Princípios do conforto térmico na produção animal**. Por: Irenilza de Alencar Nããs. São Paulo:Ícone, 1989.
- NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Kluwer academic publishers/ International Centre for Research in Agroforestry-ICRAF , Dordrecht, 1993.
- OKE, T.P. Intentionally modified climates. **Boundary layer climates**. London, Routledge. p. 229-261, 1992.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- OMETTO, J.C. & CARAMORI, P.H. Características do vento e suas implicações em algumas culturas. In: Resumos do Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2., Pelotas, RS., 1981. p.260-267 .
- ONG,C.K., CORLETT, J.E., SINGH, R.P. e BLACK, C.R. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, 45: 45-57. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1991
- ONG, C.K.;BLACK, C.R.; MARSHALL, F.M.; CORLETT F.E. Principles of resource capture and utilization of light an water. In: C.k. Ong e H. Huxley (ed.), **Tree – Crop interactions. A Physiological approach**, p. 73-154. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK, 1996.
- OVALLE, C. & AVEDAÑO, J. Utilizacion silvopastoral del espinal. II. Influencia del espino (Acacia caven (Mol.) Hook et Arn.) sobre algunos elementos del medio. **Agricultura Tecnica**, Valdivia (Chile),44 (4): 353-362, 1984.
- PEDRO Jr.,M.J; ALCÂNTARA, P.B.; ROCHA,G.L.;ALFONSI,R.R.,DONZELI,P.L. **Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo**. Campinas, SP. Instituto Agronômico de Campinas, 1990. 13p. (**Boletim Técnico**, 139).
- PEREIRA, B.A .S. Plantas nativas do cerrado pastadas por bovinos na região geo-econômica do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS NATIVAS, 1., **Anais...**, EMBRAPA/INPA, Olinda-PE, 1983.

- PEREIRA, A.R. **Introdução à micrometeorologia.** Piracicaba: Esalq/USP, 1996. 70p. (Apostila Curso de Pós-Graduação em Meteorologia)
- PINTO, H.S. & SÁ, T.D.A. Fluxo de energia e eficiência de conversão na produção de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS. Jaboticabal, 1989. **Anais...** Jaboticabal, FUNEP, 1989. p.1-25
- PORFÍRIO DA SILVA, V. & MAZUCHOWSKI, J.Z. **Sistemas silvipastoris; Perspectiva na produção animal sustentável.** Florianópolis: UFSC, 85p. (no prelo)
- REIS, G.G. & MULLER, M.W. **Análise de crescimento de plantas; mensuração do crescimento.** Belém, FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1979. 39p. (FCAP. Informe Didático, 1)
- REYNOLDS, S.G. Evaluation of pasture grasses under coconuts in western Samoa. **Tropical Grasslands**, (12) 2: 147-151. 1978. Brisbane, 1978.
- RHOADES, C.C. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. **Agroforestry Systems**, 35: 71-94. 1997.
- RODRIGUES, T.de J.D.; RODRIGUES, L.R.de A. & REIS, R.A. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2, Jaboticabal, 1993. **Anais...** (Eds.) Vanildo Favoretto e outros, Jaboticabal: FUNEP-UNESP, 1993. p.17-61.
- SÁ, J.P.G. **Avaliação estacional de 14 gramíneas forrageiras em 3 níveis de adubação nitrogenada e fosfatada.** IAPAR, Londrina, 1985. 12p. (Informe da Pesquisa, 61)
- SÁ, T. D. de A. Aspectos climáticos associados a sistemas agroflorestais: implicações no planejamento e manejo em regiões tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFlorestas, 1994. V. 1. p. 391-431.
- SANCHEZ, M. Integration livestock with perennial crops. WAR/RMZ, 82. 1995.
- SCHREINER, H.G. Viabilidade de um sistema silvipastoril em solos de areia quartzosa no Estado de São Paulo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, (17):33-38, 1988. Colombo-PR, 1988.
- SCHREINER, H.G. Viabilidade dos sistemas agroflorestais no sul do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2. Curitiba. **Anais.** Colombo: EMBRAPA-CNPFlorestas, V.1, p.171-191, 1992.
- SCHREINER, H.G. **Relatório de consultoria técnica em agrossilvicultura.** Contrante: Centro Nacional de Pesquisa de Florestas/EMBRAPA. Janeiro de 1994, 76p. 1994a.
- SCHREINER, H.G. Pesquisa em agrossilvicultura no sul do Brasil: resultados, perspectivas e problemas. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFlorestas, V.1, p.387-398. 1994b

- SEQUEIRA, W. & GHOLZ, H.L. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliotti*) silvo-pastoral system at different stand configurations in Florida. **Forestry Chronicle**, 67: 263-267, 1991
- SIBBALD, A.R.; GRIFFITHS, J.H.; ELSTON D.A. The effects of the presence of widely spaced conifers on under-storey herbage production in the U.K. **Forest Ecology and Management**, 45 : 71-77, 1991.
- SILVA, V.P. Sistema Silvopastoril (Grevílea+Pastagem: uma proposição para o aumento produção no arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1, 1994, Porto Velho. **Anais**, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFlorestas, 1994. V. 2. p. 291-297.
- SILVA, J.L.S.; GARCIA, R.; SIABRO, J.C. Desempenho de bovinos e seus efeitos sobre as árvores em florestas de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) na região fisiográfica da Depressão Central do RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 4, 1996, Belo Horizonte. Belo Horizonte, 1996. p. 342-345 (Biosfera, Volume de **Resumos**).
- SILVA, S. C. & PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2, Jaboticabal, 1997. **Anais...** (Eds.) Vanildo Favoretto e outros, Jaboticabal: FCAV-UNESP, 1997. p.1-62.
- SIMÓN, L.; HERNÁNDEZ, I.; DUQUESNE, P. Efecto del pastoreo de *Albizia lebbek* (Benth) -Algarrobo de olor - en el comportamiento de hembras bovinas em crecimiento. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, 18 (1): 67-72, 1995.
- SMITH, M.A. & WHITEMAN, P.C. Evaluation of tropical grasses in increasing shade under coconut canopies. **Experimental Agriculture**, (19) 2 :153-161, 1983. Cambridge, 1983.
- STURROCK, J.M. Shelter: its management and promotion. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 22/23: 1-13, 1988.
- TOLEDO, J.M. & TORRES, F. Potential of systems in the rain forest. In: MOORE, E. **Agroforestry land-use system**. NFTA/IITA. Waimando, 1991. p.35-52.
- VEIGA, J.B. & SERRÃO, E.A.S. Sistemas silvipastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da amazônia brasileira. In: PEIXOTO, A.M. et al. (Eds.). **Pastagens: Fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994, 2ª ed. 908p. il. p.495-531 (FEALQ, série Atualização em Zootecnia, 10).
- WAGNER, C.S.; BERNARDES, R.L.M.; CORREA, A.R.; BORROZZIMNO, E. Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná. IAPAR. Londrina, 1989. 28p. (IAPAR. **Boletim Técnico**, 26).
- WAIDYANATHA, U.P.S.; WIJESINGHE, D.S.; STAUSS, R. Zero-grazed pasture under immature Hevea rubber: productivity of some grasses and grass-legume mixtures and their competition with Hevea. **Tropical Grasslands**, (18) 1: 21-26, 1984. Brisbane, 1984.

- WALKER, R.T.; HOMMA, A.K.O.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C.A.P.; CONTO, A.J.; SCATENA, F.N.; ROCHA, A.C.P.N.; SANTOS, A.I.M.; OLIVEIRA, P.M. Sistemas agroflorestais como processo evolutivo: o caso dos agricultores da rodovia Cuiabá-Santarém, no Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1994, Porto Velho. Anais, Colombo-PR: EMBRAPA/CNPFFlorestas, V. 2. p. 29-42.
- WALLACE, J.S.; ROBERTS, J.M.; SIVAKUMAR, M.V.K. The estimation of transpiration from sparse dryland millet using stomatal conductance and vegetation area indices. **Agricultural and Forest Meteorology**, 51: 35-49. 1990
- WALLACE, J.S.; JACKSON, N.A.; ONG, C.K. Final report to the ODA Forestry Research Programme for the period 1 October 1992 to 30 September 1995. **Report N° ODA95/10**. Institute of Hydrology, Wallingford, 1995. 39p.
- WALLACE, J.S. The water balance of mixed tree-crop systems. In: C.K. Ong e H. Huxley (ed.), **Tree - Crop interactions. A Physiological approach**, p. 189-234. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK, 1996.
- WEBER, L.J. The social responsibility of land ownership. **Journal of Forestry** 89: 12-17. 1991
- WHATLEY, J.M. & WHATLEY, F.R. **A luz e a vida das plantas** Trad. Gil Martins Felipe. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, 1982. 101p. (Temas de Biologia; v.30)
- WHITE, I.D.; MOTTERSHEAD, D.N.; HARRISON, S.J. **Environmental systems. An Introductory text**. London: Chapman & Hall, 1992. 2ªed. 616p.
- WILSON, J.R. The eleven hypothesis: shade. **Agroforestry Today**, (1) 2: 14-15, 1990.
- WILSON, J.R. & WONG, C.C. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality of green panic and Siratro pastures. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, (33) 6: 937-349. 1982.
- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. and SHELTON, H.M. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantations canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, 24: 24-28. 1990.
- WILSON, J.R. e WILD, D.W.M. . Improvement of Nitrogen Nutrition and Grass Growth under Shading. **Forages for Plantation Crops, ACIAR Proc. N° 32**. pp 77-82. 1991.
- WONG, C.C. & WILSON, J.R. The effect of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliate at two frequencies. **Australian Journal of Agricultural Research**, 31(2):269-285. 1980.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Nairobi: ICRAF, 1991. 276 p. 3ªed. 1994.

ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9, Piracicaba, 1988. **Anais...** ed. Aristeu Peixoto e outros, Piracicaba: FEALQ, 1988. p.142-183.

## 8. ANEXOS

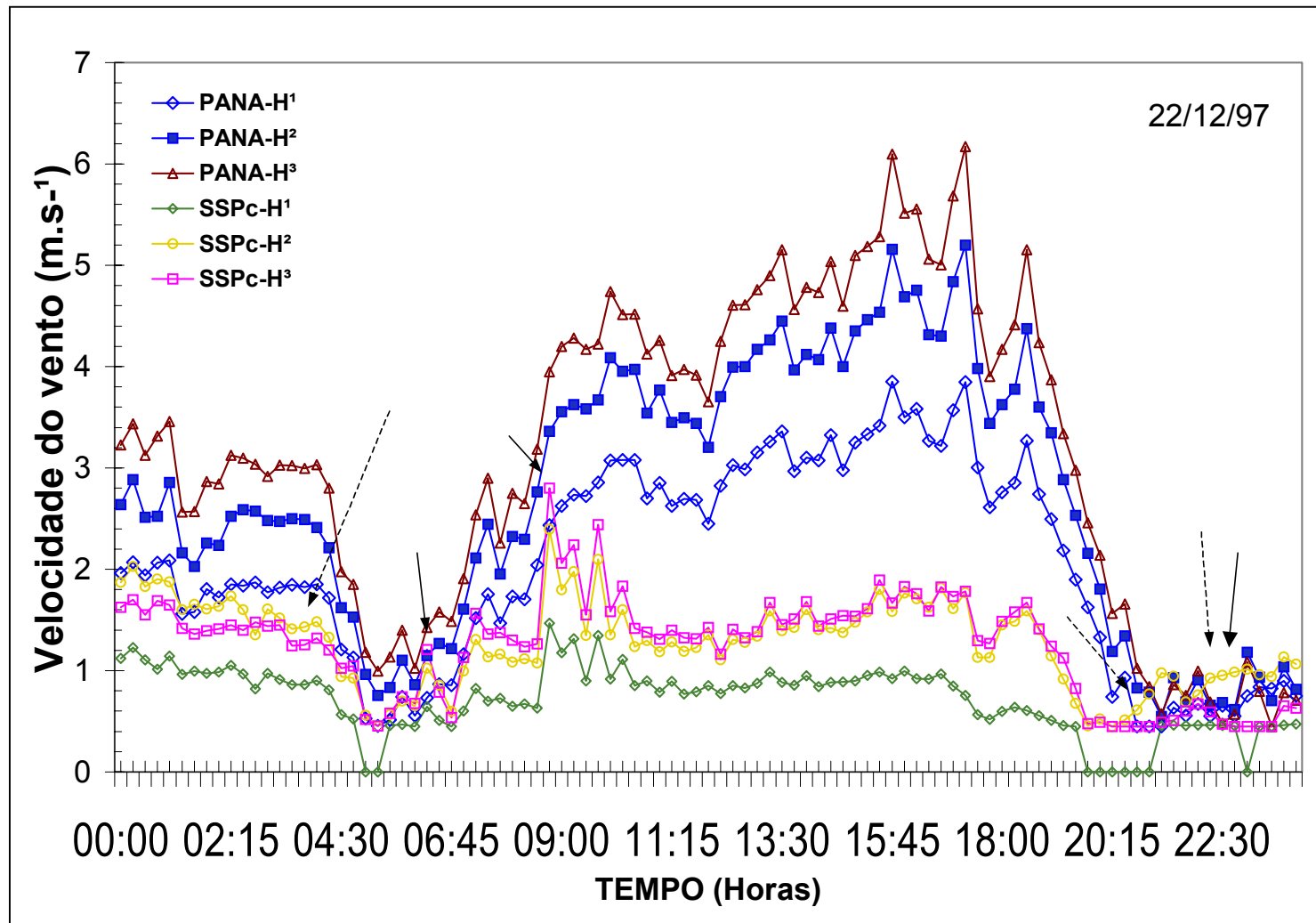
## ANEXO 1

Quadro resumo dos ventos. Comparação do regime de ventos nas condições da pastagem arborizada ( SSPc) e não arborizada( PANA). Medidas efetuadas no período de 24 horas em duas estações do ano, para uma mesma situação topográfica de exposição e declividade.

|          |   | <b>PANA</b> | <b>SSPc</b> |
|----------|---|-------------|-------------|
| 22/12/97 | Velocidade média das máximas (m.s <sup>-1</sup> ) | 5,17        | 2,22        |
|          | Velocidade média das médias (m.s <sup>-1</sup> )  | 2,65        | 1,05        |
|          | Amplitude   | 4,58        | 1,92        |
| 05/07/97 | Velocidade média das máximas (m.s <sup>-1</sup> ) | 4,89        | 2,89        |
|          | Velocidade média das médias (m.s <sup>-1</sup> )  | 2,21        | 1,64        |
|          | Amplitude   | 4,19        | 2,21        |
| 22/12/97 | <b>Tempo acumulado de ventos</b>                  | 05:45 hs    | 17:55 hs    |
|          | <1,4 m.s <sup>-1</sup>                            | 03:55 hs    | 03:02 hs    |
|          | 1,4 a 2,2 m.s <sup>-1</sup>                       | 14:30 hs    | 00:30 hs    |
|          | >2,2 m.s <sup>-1</sup>                            |             |             |
| 05/07/97 | <b>Tempo acumulado de ventos</b>                  | 08:15 hs    | 08:07 hs    |
|          | <1,4 m.s <sup>-1</sup>                            | 06:37 hs    | 11:37 hs    |
|          | 1,4 a 2,2 m.s <sup>-1</sup>                       | 09:52 hs    | 04:22 hs    |
|          | >2,2 m.s <sup>-1</sup>                            |             |             |



Perfil da velocidade dos ventos nas posições *PANA* e *SSPc* no dia 22/12/97. Verifica-se a ocorrência de inversão, com a altura *SSPc-H<sup>2</sup>* registrando em alguns horários, velocidade maior do que na altura *SSPc-H<sup>3</sup>* (----->). Também foram registradas, em alguns horários, velocidades de vento na posição *SSPc* superiores às das posições *PANA* (—>).



### ANEXO 3

Resumo das análises de variâncias dos dados referentes ao comprimento e largura médios da lâmina foliar (média de duas avaliações em pastagens de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA).

| F.V.     | G.L. | Q.M.                               |                                |
|----------|------|------------------------------------|--------------------------------|
|          |      | Comprimento médio da lâmina foliar | Largura média da lâmina foliar |
| Tempo    | 1    | 54,3846 <sup>ns</sup>              | 0,2752 *                       |
| Posições | 3    | 34,0714 <sup>ns</sup>              | 0,0353 <sup>ns</sup>           |
| Resíduo  | 4    | 15,2180                            | 0,0322                         |
| CV%      |      | 11,54                              | 8,54                           |

\* significativo a 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

## ANEXO 4

Resumo das análises de variâncias dos dados referentes área foliar específica (AEF), índice de área foliar (IAF) (médias de três avaliações) e razão de área foliar (RAF) (média de duas avaliações em pastagens de *Brachiaria brizantha* -Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA).

| F.V.     | G.L. | Q.M.                   |                       |                      |
|----------|------|------------------------|-----------------------|----------------------|
|          |      | Área foliar específica | Índice da área foliar | Razão de área foliar |
| Tempo    | 2    | 459,16 <sup>ns</sup>   | 0,79*                 | 176,80 <sup>ns</sup> |
| Posições | 3    | 1.971,73**             | 0,31 <sup>ns</sup>    | 1.315,40*            |
| Resíduo  | 6    | 159,16                 | 0,13                  | -                    |
| Resíduo  | 3    | -                      | -                     | 58,93                |
| CV%      |      | 5,42                   | 43,56                 | 4,85                 |

\*\* significativo a 1% de probabilidade

\* significativo a 5% de probabilidade

<sup>ns</sup> não significativo

## ANEXO 5

Resumo das análises de variâncias dos dados referentes ao teor de proteína bruta (PB) (média de duas avaliações em pastagens de *Brachiaria brizantha* –Marandú- em sistemas de pastoreio extensivo com arborização disposta em renques curvilíneos (SSP) e, sem arborização (PANA).

| F.V.               | G.L. | Q.M.               |
|--------------------|------|--------------------|
| Proteína Bruta (%) |      |                    |
| Posições           | 4    | 5,39 <sup>ns</sup> |
| Resíduo            | 5    | 2,43               |
| CV%                |      | 17,43              |

<sup>ns</sup> não significativo

## ANEXO 6

Locação na área não arborizada (*PANA*) do instrumental utilizado para a coleta de dados do clima local.



## ANEXO 7

Locações do instrumental utilizado para a coleta de dados na área arborizada. Na posição entre renques (acima) e em ambos os lados do renque (abaixo). No primeiro plano da imagem (abaixo) uma “gaiola” utilizada para a proteção de parcela de colheita da pastagem.





## ANEXO 8

Aspecto geral do gado na área arborizada. Na imagem de cima, o horário é vespertino e na imagem de baixo é próximo ao meio dia.





## ANEXO 9

Aspecto do comportamento do gado na área arborizada. O horário é de máxima insolação, as sombras estão projetadas exatamente sob as copas. Os animais se deslocam pastejando por sob as copas. Na imagem mais abaixo, o grupo de vacas com bezerro se dividiu em dois e seguem pela sombra.

