



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ANÁLISE DO CONTROLE AMBIENTAL NAS TROCAS DE ENERGIA,  
VAPOR D'ÁGUA E CO<sub>2</sub> EM ÁREA DE CAATINGA**

**SAMIRA DE AZEVEDO SANTOS**

**Campina Grande-PB**

**2011**

**SAMIRA DE AZEVEDO SANTOS**

**ANÁLISE DO CONTROLE AMBIENTAL NAS TROCAS DE ENERGIA,  
VAPOR D'ÁGUA E CO<sub>2</sub> EM ÁREA DE CAATINGA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Micrometeorologia

Orientadora: Magaly de Fátima Correia

**Campina Grande-PB**

**2011**

## FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- S237a Santos, Samira de Azevedo.  
Análise do controle ambiental nas trocas de energia, vapor d'água e CO<sub>2</sub> em área de caatinga / Samira de Azevedo Santos. - Campina Grande, 2011.  
82f.: il. col.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Magaly de Fátima Correia.  
Referências.
1. Fluxos Turbulentos. 2. CO<sub>2</sub>. 3. ACP. 4. Semiárido Brasileiro. I.  
Título.


CDU 551.584(043)

SAMIRA DE AZEVEDO SANTOS


ANÁLISE DO CONTROLE AMBIENTAL NAS TROCAS DE ENERGIA, VAPOR  
D'ÁGUA E CO<sub>2</sub> EM ÁREA DE CAATINGA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 11/3/2011


BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. MAGALY DE FATIMA CORREIA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOSÉ LEONALDO DE SOUZA  
Instituto de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Alagoas

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Angeilton Medeiros e Maria de Fátima Medeiros,  
os maiores incentivadores do meu sonho.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo amparo nos momentos difíceis, o que tornou possível a realização desse trabalho.

À minha orientadora, Magaly de Fátima Correia, pela orientação, conhecimentos transmitidos e sobretudo pela enorme paciência. Sem o seu impulso desde a graduação, eu talvez não chegasse até aqui.

Ao CNPq que, num país cheio de dificuldades financeiras, prima pelo desenvolvimento de pesquisas, fornecendo o suporte financeiro durante a execução deste trabalho (Processo Nº 551396/2009-1).

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA SEMIÁRIDO) pela cessão dos dados micrometeorológicos e climatológicos.

À minha família, meus pais Angeilton e Fátima, tia Cilene e Leda, que sempre me apoiaram incondicionalmente e me ensinaram a ser a pessoa de bem que eu tento ser.

A todos os professores e funcionários do DCA que contribuíram para minha formação, em especial a professora Maria Regina da Silva Aragão.

Aos membros da banca examinadora pelas sugestões no sentido de melhorar o trabalho.

A Diva, pelo seu excelente desempenho e atenção com todos os pós-graduandos.

A Eyres, pela ajuda na elaboração dos programas computacionais indispensáveis para realização desse trabalho.

Ao meu amigo Ewerton, que sempre me recebeu com toda a paciência quando eu chegava e dizia “Ewerton, posso te fazer uma perguntinha?”

Às minhas amigas Pollyanna pelas discussões e sugestões construtivas a este trabalho e Richelle pelo companheirismo e amizade.

A todos os meus amigos e companheiros do mestrado, pelos momentos tão intensamente partilhados ao longo desses dois anos.

Às minhas amigas Virgínia, Clarissa e Danuza pela amizade e apoio, pelos conselhos em meus tantos desabafos. Em especial a Virgínia e Clarissa pelo acolhimento por tantas vezes solicitado.

*“Às vezes parecia  
que era só improvisar  
e o mundo então seria  
um livro aberto...”*

*Renato Russo*

## RESUMO

As análises feitas neste estudo tiveram como objetivo quantificar aspectos da dinâmica dos fluxos de água, energia e CO<sub>2</sub> no bioma caatinga. A análise fatorial por componentes principais foi escolhida como ferramenta fundamental na caracterização da dependência entre as condições atmosféricas e a disponibilidade hídrica e detecção de padrões relacionados com fontes e sumidouros de CO<sub>2</sub>. Três fatores físicos se mostraram preponderantes nos processos de troca de massa (CO<sub>2</sub> + vapor d'água) e energia entre a caatinga e a atmosfera no período diurno. O conjunto de variáveis que agregam o primeiro fator associa-se a transportes turbulentos na camada limite convectiva gerados principalmente pelo efeito térmico, células convectivas e concentração de vapor na atmosfera. As variáveis com maior carga fatorial no segundo fator são indicadores dos processos de evapotranspiração e sofrem influência marcante da sazonalidade já que, dependendo do período, a transferência de água para a atmosfera é controlada pelos estômatos da vegetação ou pela disponibilidade de energia. O padrão de distribuição das variáveis que agregam o terceiro fator indica que a transferência de energia para atmosfera na forma de calor sensível é modulada pela radiação de ondas longas. Os resultados obtidos com a análise da evolução do fluxo de carbono permitiram concluir que no período de estiagem, embora com taxas mínimas, o bioma atua como emissor de CO<sub>2</sub>. Valores substancialmente mais elevados (negativos) observados no período chuvoso indicam um comportamento inverso em que o bioma atua como sumidouro de carbono da atmosfera (seqüestro de CO<sub>2</sub>). Esse resultado reflete a importância da conservação do bioma como controle do aquecimento global.

**Palavras-chave:** fluxos turbulentos, CO<sub>2</sub>, ACP, semiárido brasileiro.



## ABSTRACT

The analyses made in this study were aimed at quantifying aspects of the dynamics of the water, energy and carbonic gas (CO<sub>2</sub>) in the caatinga bioma. The factorial analysis by principal components was chosen as the fundamental tool in the characterization of the dependence between the atmospheric conditions and the hydric availability, and the detection of patterns related to sources and sinks of CO<sub>2</sub>. Three physical factors dominated the processes of mass (CO<sub>2</sub> and water vapour) and energy exchange between the caatinga and the atmosphere during daytime. The aggregate variables that emerged in the first factor have association with turbulent transports within the convective boundary layer generated mainly by the thermal effect, convective cells and water vapour concentration in the atmosphere. The variables with higher factor loadings in the second factor are indicative of the evapotranspiration processes and are highly influenced by the seasonal cycle since the water transfer to the atmosphere is controlled by the vegetation stomata or by the energy availability, depending on the period. The aggregate variables of the third factor indicate that the energy transfer to the atmosphere as sensible heat is modulated by the longwave radiation. The results obtained in the analysis of the evolution of the CO<sub>2</sub> flux allowed the conclusion that, although with minima rates, the bioma acts as a source of CO<sub>2</sub> during the dry period. Substantially higher values (negative) observed during the rainy period indicate an opposite behaviour in which the bioma acts as a sink of atmospheric CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> sequestration). This result reflects the importance of the caatinga conservation for global warming control.

**Keys-word:** turbulent flows, CO<sub>2</sub>, PCA, Brazilian semiarid region.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cactáceas (a), arbustos (b), flores da caatinga (c), árvores (d) e plantas da caatinga no início do período chuvoso - novembro de 2004 - (e) e plantas em pleno período chuvoso - março de 2005 - (f). Fonte: <a href="http://fatosefotosdacaatinga.blogspot.com/">http://fatosefotosdacaatinga.blogspot.com/</a> . ....	5
Figura 2: Localização do semiárido do Nordeste do Brasil. Fonte: Oliveira-Galvão (2001). ...	6
Figura 3: Torre micrometeorológica em área de caatinga situada no campo experimental da EMBRAPA Semiárido. ....	10
Figura 4: Matriz de entrada formada pelos dados das 30 variáveis pela quantidade de períodos gerados para cada mês estudado. ....	18
Figura 5: Precipitação pluviométrica média mensal (mm) das Estações Agrometeorológicas de Bebedouro (BE) e Mandacaru (MA) calculada no período de 1970 a 2007 (a) e comparativos entre os totais mensais das mesmas estações referentes ao meses estudados em 2004 (MA 2004 e BE 2004) (b) e em 2005 (BE 2005 e MA 2005) (c), o histograma de 2004 teve o máximo de precipitação fixado em 80 mm. ....	22
Figura 6: Variação média horária mensal da Radiação de onda curta incidente ( $W/m^2$ ), para o período de julho de 2004 a julho de 2005. ....	23
Figura 7: Variação média horária mensal do Saldo de Radiação em $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005. ....	24
Figura 8: Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Sensível em $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005. ....	25
Figura 9: Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Latente em $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005. ....	26
Figura 10: Variação média horária mensal da Irradiância de Onda Longa Emitida em $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005. ....	27
Figura 11: Variabilidade média diária do Fluxo de $CO_2$ em $\mu mol/m^2s$ dos meses de agosto (a) e setembro (b) de 2004, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno. ....	29
Figura 12: Variabilidade média diária do Fluxo de $CO_2$ em $\mu mol/m^2s$ dos meses de fevereiro (a) e março (b) de 2005, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno. ....	30
Figura 13: Esquema ilustrativo dos transportes turbulentos. ....	34
Figura 14: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Julho de 2004. ....	37

Figura 15: Esquema ilustrativo dos processos de evaporação e transpiração. ....	38
Figura 16: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo em diferentes profundidades para o mês de Julho de 2004. O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C). ....	39
Figura 17: Esquema ilustrativo dos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera. ....	40
Figura 18: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Agosto de 2004.....	42
Figura 19: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Setembro de 2004.....	44
Figura 20: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Outubro de 2004.....	45
Figura 21: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Novembro de 2004. ....	48
Figura 22: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo. O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C). E histograma de precipitação em (mm) (c) para o mês de Novembro de 2004 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).....	49
Figura 23: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Janeiro de 2005.....	52
Figura 24: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Março de 2005.....	53
Figura 25: Perfis de umidade do solo para Janeiro (a) e Março (b) , temperatura do solo para Janeiro (c) e Março (d). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C). ....	54
Figura 26: Histogramas de precipitação para Janeiro (a) e Março (b) de 2005 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE). ....	55
Figura 27: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Fevereiro de 2005.....	57
Figura 28: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo, o intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C), e histograma de precipitação em mm para Fevereiro de 2005 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE). ....	58
Figura 29: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Abril de 2005.....	60

Figura 30: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Maio de 2005. ....	61
Figura 31: Perfis de umidade do solo para Abril (a) e Maio (b) , temperatura do solo para Abril (c) e Maio (d) e histogramas de precipitação para Abril (e) e Maio (f). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C). ....	62
Figura 32: Histogramas de precipitação para Abril (e) e Maio (f) das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).....	63
Figura 33: Variação média diurna da Radiação de onda curta e de onda longa incidente em W/m <sup>2</sup> para os meses de Abril (a) e (c) e Maio (b) e (d) respectivamente. ....	65
Figura 34: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Junho de 2005. ....	68
Figura 35: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Julho de 2005. ....	69
Figura 36: Perfis de umidade do solo para Junho (a) e Julho (b) , temperatura do solo para Junho (c) e Julho (d). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) e da temperatura do solo é de 0,5 (°C). ....	70
Figura 37: Histogramas de precipitação para Junho (a) e Julho (b) das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).....	71

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Síntese dos resultados mensais obtidos com o Teste KMO.....	31
Tabela 2: Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Explicada e Acumulada obtidos no período <i>diurno</i> de julho a novembro de 2004.....	32
Tabela 3: Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Explicada e Acumulada obtidos no período <i>diurno</i> de janeiro a julho de 2005.....	33
Tabela 4: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Junho e Agosto de 2004, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	77
Tabela 5: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Setembro e Outubro de 2004, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	78
Tabela 6: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Novembro de 2004 e Janeiro de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	79
Tabela 7: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Fevereiro e Março de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	80
Tabela 8: Matriz dos fatores rotacionados para os meses Abril e Maio de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	81
Tabela 9: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Junho e Julho de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.....	82

**LISTA DE QUADROS**

- Quadro 1 Instrumentos instalados no experimento de campo realizado na Caatinga.
- Quadro 2 Relação das variáveis utilizadas na análise.

**LISTA DE SIGLAS**

ACP	Análise de Componentes Principais
AF	Análise Fatorial
BATS	Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme
BE	Bebedouro
BES	Balço de energia em superfície
CLA	Camada Limite Atmosférica
CLC	Camada Limite Convectiva
CPATSA	Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
HL	Hora local
H <sub>2</sub> O	Vapor d'água
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
MA	Mandacaru
MUCLISA	Mudanças Climáticas no Semiárido
PE	Pernambuco
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
SANEB	Semiárido do Nordeste do Brasil
SBPL	Aeroporto de Petrolina
SIB	Simple Biosphere Model
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## LISTA DE SÍMBOLOS

H	Fluxo de calor sensível
f_CO2	Fluxo de dióxido de carbono
LE	Fluxo de calor latente
U*	Velocidade de fricção
Z/L	Parâmetro de estabilidade de Monin-Obukhov
V	Velocidade do vento
dir	Direção do vento
P	Pressão
Rg	Radiação global
ROC_i	Radiação de onda curta incidente
ROC_r	Radiação de onda curta refletida
ROL_i	Irradiação de ondas longas incidente
ROL_e	Irradiação de ondas longas refletida
RN	Saldo de Radiação
FE	Fração evaporativa
TA	Temperatura do ar
U	Umidade relativa
es	Pressão de vapor saturada
DPV	Déficit de vapor d'água na atmosfera
G	Fluxo de calor no solo
us10	Umidade do solo a 10 cm de profundidade
us20	Umidade do solo a 20 cm de profundidade
us30	Umidade do solo a 30 cm de profundidade
us40	Umidade do solo a 40 cm de profundidade
us60	Umidade do solo a 60 cm de profundidade
us100	Umidade do solo a 100 cm de profundidade
ts2	Temperatura do solo a 2 cm de profundidade
ts5	Temperatura do solo a 5 cm de profundidade
ts10	Temperatura do solo a 10 cm de profundidade
ts20	Temperatura do solo a 20 cm de profundidade
ts50	Temperatura do solo a 50 cm de profundidade



$e$	Pressão de vapor
$Z_p$	Combinações lineares das variáveis originais
$b_{ij}$	Autovetores da matriz de correlação
$e_i$	Combinação linear das componentes principais
$\lambda$	Autovalor correspondente
$F_i$	Fatores não rotacionados
$c_{pm}$	Cargas Fatoriais
$F_m^*$	Fatores rotacionados
$F^*$	Matriz dos fatores rotacionados
$X$	Matriz dos dados originais
$C$	Matriz das cargas fatoriais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
2.1	O BIOMA CAATINGA .....	4
2.2	A REGIÃO SEMI-ÁRIDA .....	6
2.3	A IMPORTÂNCIA DE OBSERVAÇÕES EM ESCALA LOCAL .....	7
2.4	CAMPANHAS OBSERVACIONAIS EM ÁREAS DE CAATINGA.....	8
<b>3</b>	<b>DADOS E METODOLOGIA</b>	<b>10</b>
3.1	DADOS .....	10
3.2	INSTRUMENTAÇÃO, COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS MICROMETEOROLÓGICOS 11	
3.3	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS E TRATAMENTO DOS DADOS.....	12
3.4	METODOLOGIA .....	14
3.4.1	<i>Obtenção de variáveis</i> .....	14
3.4.2	<i>Análise Estatística</i> .....	15
3.4.3	<i>O método de Análise Fatorial com Extração em Componentes Principais</i> .....	15
3.4.4	<i>Descrição do método</i> .....	17
3.4.5	<i>Obtenção dos fatores</i> .....	18
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
4.1	ASPECTOS DA VARIABILIDADE SAZONAL DE ALGUMAS VARIÁVEIS MEDIDAS EM ÁREA DE CAATINGA .....	21
4.1.1	<i>Precipitação</i> .....	21
4.1.2	<i>Radiação de onda curta incidente</i> .....	23
4.1.3	<i>Saldo de radiação</i> .....	24
4.1.4	<i>Fluxo de calor sensível e latente</i> .....	25
4.1.5	<i>Radiação de ondas longas emitidas</i> .....	26
4.1.6	<i>Fluxo de CO<sub>2</sub></i> .....	27
4.2	ANÁLISE FATORIAL.....	31
4.2.1	<i>Julho de 2004</i> .....	35
4.2.1.1	Considerações sobre o primeiro Fator (F1) .....	35
4.2.1.2	Considerações sobre o segundo Fator (F2).....	38
4.2.1.3	Considerações sobre o terceiro Fator (F3).....	40
4.2.2	<i>Agosto de 2004</i> .....	40
4.2.3	<i>Setembro e Outubro de 2004</i> .....	43

4.2.4	<i>Novembro de 2004</i> .....	46
4.2.4.1	Considerações .....	46
4.2.5	<i>Janeiro e Março de 2005</i> .....	50
4.2.5.1	Considerações .....	51
4.2.6	<i>Fevereiro de 2005</i> .....	55
4.2.6.1	Considerações .....	55
4.2.7	<i>Abril e Maio de 2005</i> .....	58
4.2.7.1	Considerações .....	59
4.2.8	<i>Junho e Julho de 2005</i> .....	66
<b>5</b>	<b>SUMÁRIO E CONCLUSÕES</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>74</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alterações nas propriedades da superfície estão muitas vezes associadas com mudanças nas características da vegetação e do solo e podem ter efeitos marcantes sobre os mecanismos de trocas de água e energia entre a biosfera e a atmosfera. Nos últimos anos inúmeros esforços foram feitos com o objetivo de avaliar a capacidade da liberação ou seqüestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Esses estudos na maioria das vezes têm como finalidade adquirir conhecimentos que permitam melhorar a condição de contorno inferior dos modelos atmosféricos e permitir avaliações precisas do impacto de mudanças na superfície sobre processos hidrológicos e climáticos.

Nos ecossistemas cuja atividade biológica é limitada pela disponibilidade de água, alterações na quantidade e intensidade das chuvas sazonais influenciam fortemente a estrutura e função do ecossistema. Entretanto, apesar do interesse crescente em relação ao entendimento de como a variabilidade climática afeta a estrutura da vegetação, existe ainda uma carência de estudos nesta área. Tanto o solo como a CLA (camada limite atmosférica) são alterados localmente pelas mudanças no clima. Essas modificações têm despertado preocupações da comunidade científica. No entanto, mesmo em relação às condições climáticas atuais ainda se conhece muito pouco sobre os processos de troca de energia, água e CO<sub>2</sub> entre o bioma e a atmosfera.

Além das modificações decorrentes da irregularidade na precipitação, ecossistemas de regiões áridas e semiáridas estão normalmente sob crescente pressão antrópica. Em áreas com altas taxas de crescimento populacional a demanda sobre os ecossistemas de sequeiro tem como consequência mudanças na composição da comunidade vegetal mais comumente associadas com introdução de espécies não nativas ou desmatamentos para formação de pastagens.

A área escolhida como foco central deste estudo é o semiárido nordestino, também conhecido como Polígono das Secas pela grande incidência de estiagens prolongadas e possui como características básicas o clima semiárido e a vegetação predominante do tipo *caatinga*.

Em março de 2010, o Centro de Monitoramento Ambiental do IBAMA, sob a coordenação da Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente divulgou dados assustadores sobre o desmatamento na caatinga. Na época, o então ministro

do Meio Ambiente, Carlos Minc, informou que foram desmatados 16.576 quilômetros quadrados no período entre 2002 e 2008. No entanto, segundo o IBAMA, uma área de aproximadamente 826.411 quilômetros quadrados, 45,39% não existe mais, devido à intensa devastação (<http://www.ecodesenvolvimento.org.br>).

O estado da superfície terrestre afeta a atmosfera através dos fluxos de água, energia e momentum. O albedo e a umidade do solo controlam a natureza destes fluxos por meio da partição da energia disponível entre calor latente e calor sensível (STANHILL *et al.*, 1968; BLAD & BAKER, 1972). O entendimento destes mecanismos é fundamental para modelagem de processos relacionados à interação biosfera-atmosfera. Somente a partir do monitoramento e gerenciamento adequado dos ecossistemas em ambientes vulneráveis é possível definir práticas agrícolas sem perdas da biodiversidade.

Na realização deste trabalho procurou-se identificar mecanismos importantes na troca de energia e água em áreas de caatinga que possam melhorar as parametrizações utilizadas em modelos numéricos e melhorar simulações hidrológicas e meteorológicas.

São apresentadas análises de dados coletados em campanha experimental realizada em área de caatinga preservada situada no vale do rio São Francisco. A definição de fatores físicos determinantes nos mecanismos naturais de troca de energia e água no sistema solo-vegetação e atmosfera é apresentada como resultado importante para utilização em planejamentos agrícolas e hidrológicos.

## **2. OBJETIVOS DA PROPOSTA**

### *2.1. Objetivo Geral*

Analisar dados micrometeorológicos medidos em um sítio experimental sobre uma área de caatinga preservada e determinar possíveis padrões de variabilidade diurna e sazonal dos ciclos de energia e água.

### *2.2. Objetivos específicos:*

Obter informações sobre o bioma caatinga fundamentais na definição de condições iniciais de modelos atmosféricos e hidrológicos;

Explorar a natureza da “realimentação” entre teor de umidade do solo, vegetação e ocorrência de precipitação em região semi-árida;

Investigar a magnitude e a variação nas respostas da vegetação às variáveis ambientais e a ligação entre a absorção de energia e perda de água;

Determinar padrões de associação entre variáveis atmosféricas da camada limite em situações extremas de umidade do solo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 O Bioma Caatinga

A *caatinga* é um complexo vegetacional composto por um conjunto de plantas decíduas (plantas cujas folhas caem totalmente em determinadas épocas do ano) e xerófilas (plantas que possuem dispositivos anatômicos e fisiológicos para restringir a transpiração) formado por vegetais lenhosos e uma infinidade de cactáceas e bromeliáceas.

A área que ocupa representa aproximadamente 11% do território brasileiro e abrange principalmente a região semi-árida do Nordeste concentrando-se, sobretudo, nos estados do Bahia, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Essa abrangência implica em que as plantas se desenvolvem em diferentes substratos sendo, portanto, bastante heterogênea quanto à fisionomia e estrutura. A predominância de uma determinada espécie depende da natureza do substrato e da rigidez do clima (RIZZINI, 1997). Embora exista um grande número de espécies, em sua maioria as plantas são constituídas por cactáceas, arbustos e árvores. Diferentes aspectos da vegetação podem ser vistos na Figura 1(a-d). Uma característica marcante das plantas da caatinga é a forte alteração na estrutura do dossel onde as plantas perdem as folhas e entram na fase de dormência vegetativa, no período de estiagem (Figura 1-e e 1-f).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 1: Cactáceas (a), arbustos (b), flores da caatinga (c), árvores (d) e plantas da caatinga no início do período chuvoso - novembro de 2004 - (e) e plantas em pleno período chuvoso - março de 2005 - (f). Fonte: <http://fatosefotosdacaatinga.blogspot.com/>.



## 2.2 A Região Semi-árida

Fitogeograficamente, o SANEB (Semiárido do Nordeste do Brasil) é limitado a leste pela Mata Atlântica, a oeste pela Floresta Amazônica e ao sul pelo Cerrado, estendendo-se por uma área de cerca de 735.000 km<sup>2</sup>, cobrindo a maior parte dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e a parte nordeste do estado de Minas Gerais, o Vale do Jequitinhonha. (Figura 2).

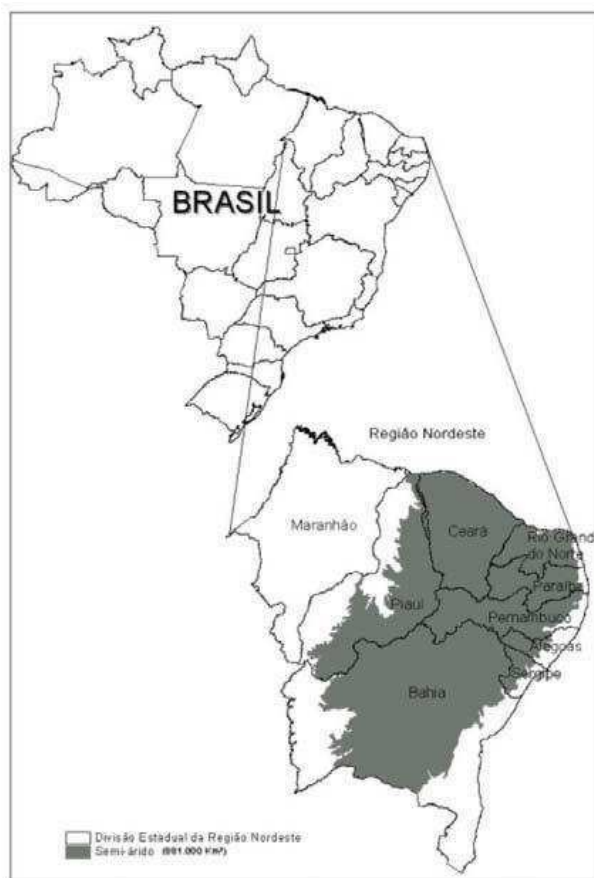


Figura 2: Localização do semiárido do Nordeste do Brasil. Fonte: Oliveira-Galvão (2001).

O regime pluviométrico do SANEB se caracteriza pela ocorrência de precipitação em períodos de 2 a 5 meses, com alto grau de variabilidade espacial e temporal nas meso-regiões e variabilidade interanual da precipitação, devido à influência de fenômenos de grande escala resultantes da interação entre a atmosfera e os oceanos tropicais (SOUZA *et al.*, 2001).

O principal mecanismo produtor de chuvas na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que atinge sua posição mais austral, cerca de 4° Sul, durante o outono (de Março a Abril). Todavia, aspectos meteorológicos em escala global podem acentuar ou inibir a atuação de sistemas como a ZCIT. A precipitação média anual na região não ultrapassa os 800 mm. Esse valor, em algumas áreas, pode ser inferior a 400 mm, como na região do Cariri, Estado da Paraíba. Em termos de temperatura, a região se caracteriza por apresentar temperaturas elevadas durante todo ano, e amplitudes térmicas muito baixas variando em torno de 6°C (SOUZA, 2006).

### **2.3 A importância de observações em escala local**

Grande parte do conhecimento adquirido até o presente sobre a dinâmica da atmosfera no Nordeste resulta de estudos realizados utilizando informações que permitem diagnosticar apenas a circulação atmosférica de grande escala. Por outro lado, atividades regionais como aquelas ligadas ao setor agropecuário necessitam de informações meteorológicas e climatológicas a nível sub-regional, inclusive.

Uma das grandes dificuldades encontradas pelos pesquisadores é a ausência de uma rede de coleta de dados adequada, o que impede a realização de pesquisas hidrológicas e/ou meteorológicas com a precisão necessária para avaliar o grau de vulnerabilidade de ecossistemas frágeis como a caatinga decorrente das ações antrópicas. Somente através da utilização de modelos regionais é possível avaliar o impacto das mudanças na cobertura e uso do solo em áreas de tensão ecológica.

Para entender os efeitos das mudanças na superfície é necessário medidas com alta resolução temporal além de medições sobre diferentes coberturas vegetais.

Simulações numéricas de impactos ambientais na área do Nordeste e, em particular, em sua porção semi-árida, exige a utilização de diferentes dados, tanto no processo de realização dos experimentos numéricos quanto na validação de seus resultados. Sem o ajuste adequado os modelos numéricos podem gerar resultados pouco realistas.

Estudos sobre o impacto de mudanças no uso da terra nas condições atmosféricas na região semi-árida da bacia do São Francisco, realizados com o modelo regional RAMS

(CORREIA, 2001; CORREIA & SILVA DIAS, 2003; CORREIA *et al.*, 2006) ressaltam a importância da utilização de dados observacionais no ajuste e validação de simulações numéricas. Apenas com informações precisas sobre os mecanismos de troca de energia e água entre o bioma caatinga e a atmosfera é possível avaliar o efeito das alterações na cobertura e uso da terra sobre o balanço de energia em superfície. Entretanto, o ponto crítico da realização desses estudos foi sempre a carência de informações precisas sobre a vegetação nativa da região.

## **2.4 Campanhas observacionais em áreas de caatinga**

A grande quantidade de dados gerados em campanhas observacionais na região amazônica já permite calibrar com grande precisão esquemas importantes de parametrização de superfície usados em modelos numéricos, a exemplo do SIB (Simple Biosphere Model) e do BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme) e melhorar consideravelmente as simulações dos processos de troca de energia nas proximidades do solo em áreas de *florestas*. No entanto, outros ecossistemas igualmente importantes carecem de igual atenção já que o controle da vegetação sobre os fluxos de energia em superfície varia consideravelmente com a espécie.

De forma menos abrangente, porém, com objetivos semelhantes vem-se gradativamente despertando para importância a nível nacional do ecossistema *caatinga*. Em algumas localidades desta região estão sendo realizados experimentos de campo e informações importantes sobre o comportamento dos parâmetros micrometeorológicos em áreas de *caatinga* já podem ser obtidas com o uso de medições feitas com instrumentos de alta precisão.

As primeiras medições micrometeorológicas em áreas de caatinga foram realizadas em 1996 através da execução do Projeto MUCLISA (Mudanças Climáticas no Semiárido) desenvolvidas numa área de preservação ambiental do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) situada na estação ecológica do Seridó (Rio Grande do Norte). Um dos principais objetivos do projeto foi avaliar as mudanças microclimáticas causadas por reflorestamento com algaroba no SANEZ (SIQUEIRA, 1997).

Com objetivos similares foi instalado no município de São João do Cariri (PB) um experimento de campo para coleta de dados micrometeorológicos. As medições tiveram início em 2001. Esta é uma região de caatinga composta predominantemente de pastagem, plantas arbóreas, e cactáceas. Em meados de 2003, através de um convênio entre o INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) e a CPATSA-EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em Petrolina (PE), foi instalada uma torre micrometeorológica com nove metros de altura em área de preservação da caatinga. A região caracteriza-se por uma vegetação do tipo de jurema, com árvores atingindo cerca de 5 a 7 metros de altura (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Instrumentos de última geração instalados nesta torre capazes de fornecer informações com alta resolução temporal sobre a vegetação nativa da região semi-árida motivaram o desenvolvimento desta pesquisa.

### 3 DADOS E METODOLOGIA

#### 3.1 Dados

Nesse estudo o principal conjunto de dados é composto por medidas feitas numa torre micrometeorológica situada em campo experimental da EMBRAPA/PETROLINA no período de julho de 2004 a julho de 2005. A torre é equipada com sensores instalados em dois sistemas de observações, sendo um em alta frequência (fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e calor sensível) e outro em baixa frequência (medidas de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, umidade e temperatura do solo) (Figura 3).

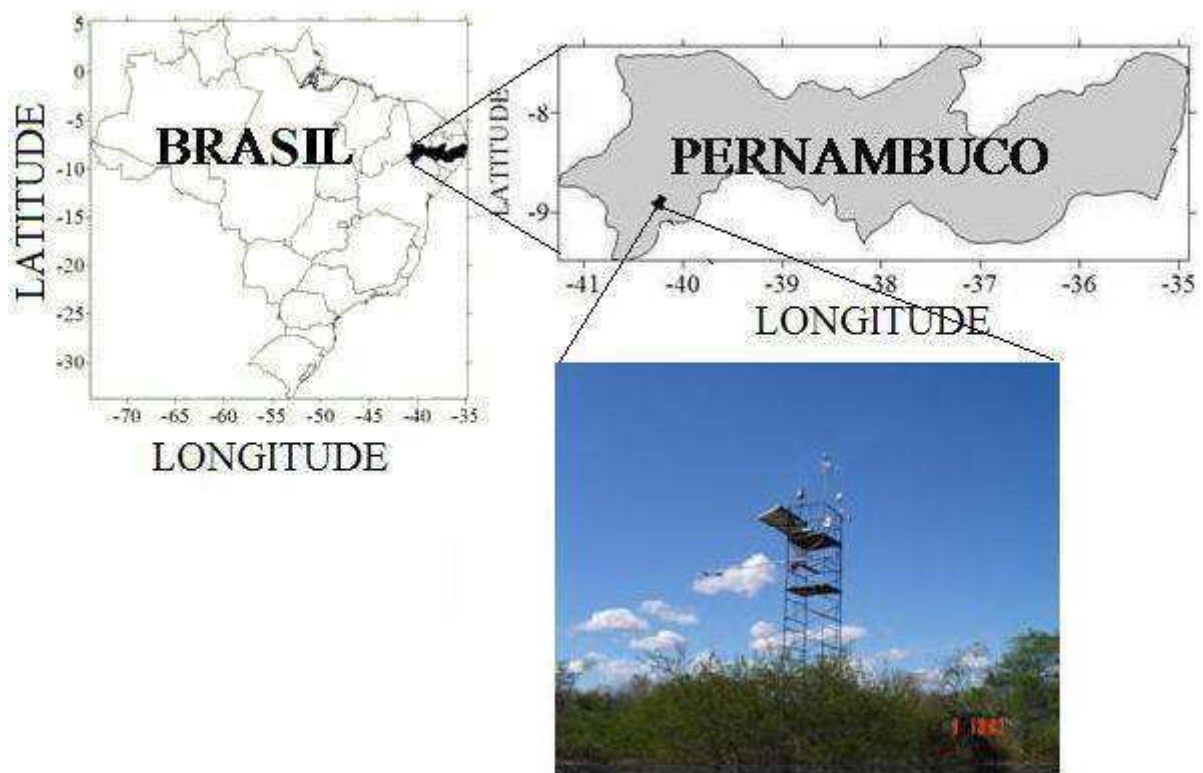


Figura 3: Torre micrometeorológica em área de caatinga situada no campo experimental da EMBRAPA Semiárido.

Séries históricas de observações feitas nas estações climatológicas dos campos experimentais de Bebedouro-PE (09°09'S–40° 22'W; 365,5 m) e Mandacaru-BA (9°24'S; 40°26'W; 375m) pertencentes a EMBRAPA – Semiárido também foram utilizadas na obtenção de parâmetros meteorológicos necessários para avaliação de condições climáticas local e regional. A EMBRAPA disponibilizou registros médios diários de leituras horárias relativo ao período de 1970 a 2007. Foram utilizadas também mensagens METAR elaboradas no aeroporto de Petrolina (SBPL).

Um problema no funcionamento do pluviômetro instalado na torre impossibilitou o uso de informações sobre a precipitação local com a mesma resolução temporal das outras medições. Para contornar o problema e possibilitar as interpretações físicas das informações relacionadas com a chuva foram usados totais diários de precipitação coletados nas estações de Bebedouro e Mandacaru.

### **3.2 Instrumentação, coleta e processamento dos dados micrometeorológicos**

As medições foram realizadas no Campo Experimental da EMBRAPA - Semiárido, situado em Petrolina- PE (9.9°S, 40.22°W, 365,5 m) Nordeste do Brasil, numa área coberta por vegetação do tipo *caatinga* cuja altura varia de 5 a 7 metros. Uma síntese dos instrumentos e variáveis medidas na torre micrometeorológica é apresentada no Quadro 1.

Os dados foram lidos a cada minuto e armazenados seus valores médios e totais a cada 10 minutos em um coletor de dados (CR23X – Campbell). No caso do Sistema de fluxos (Anemômetro sônico tridimensional -CSAT3 – Campbell e o analisador de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O - LI7500 – Licor) os dados foram lidos a cada 0,0625 segundos (16 vezes por segundo) por um coletor de dados (CR10X – Campbell) e armazenados em um notebook dedicado.

Quadro 1: Instrumentos instalados no experimento de campo realizado na Caatinga

Altura (m)	Variáveis Meteorológicas	Instrumento
9	Temperatura e Umidade do ar	Termohigrômetro HMP45C da Campbell
11	Direção e Velocidade do vento	Anemômetro sônico (Young)
9	Precipitação	Pluviômetro TB4 da Campbell
9	Pressão	Barômetro (CS105 Campbell)
-0,05	Fluxo de Calor no Solo	Placa de Fluxo (HFP01 da Hukseflux)
9	Radiação PAR incidente/refletida	Radiômetro PAR Lite (Kipp & Zonen)
9	Radiação global incidente/refletida	Piranômetro (Kipp & Zonen)
9	Saldo de Radiação	Saldo Radiômetro NR Lite (Kipp & Zonen)
9	Irradiação de ondas longas Incidente e refletida	Pirgeômetro (Kipp & Zonen)
11	Três componentes do vento e temperatura virtual	Anemômetro sônico tridimensional (CSAT3- 3D Campbell)
11	Concentrações de H <sub>2</sub> O e CO <sub>2</sub>	LICOR LI7500
-0,10; -0,20; -0,30; -40; -0,60; -1,0	Perfil de umidade do solo	Delta
-0,02; -0,05; -0,10; -0,20; -0,50	Perfil de temperatura do solo	STP01 da Hukseflux

O processamento dos dados para obtenção dos fluxos de calor latente, sensível e de dióxido de carbono foi feito com o sistema de covariância dos vórtices turbulentos utilizando um programa escrito em linguagem FORTRAN (programa ‘Eddyinpe’), que foi desenvolvido no Alterra, Holanda, e adaptado no CPTEC/INPE para o sistema instalado na Caatinga. O programa calcula as flutuações turbulentas em intervalos de 30 minutos, realizando uma série de correções necessárias para a estimativa dos fluxos, conforme a metodologia sugerida por AUBINET *et al.* (2000). Uma descrição detalhada do processamento pode ser encontrada em OLIVEIRA *et al.* (2006).

### 3.3 Seleção das variáveis e tratamento dos dados

Após o processamento dos dados brutos e estimativa dos fluxos turbulentos (H, LE e CO<sub>2</sub>), os dados foram organizados em planilhas EXCEL para reprocessamento e cálculo das variáveis meteorológicas e realização das análises estatísticas.

Com base nos dados disponíveis e considerando os objetivos da pesquisa foram selecionadas 30 variáveis para análise conforme descrição apresentada no Quadro 2.

Quadro 2: Relação das variáveis utilizadas na análise.

Variável	Símbolo	Unidade
Fluxo de calor sensível	H	W/m <sup>2</sup>
Fluxo de dióxido de carbono	f_CO2	μmol/m <sup>2</sup> s
Fluxo de calor latente	LE	W/m <sup>2</sup>
Velocidade de fricção	U*	m/s
Parâmetro de estabilidade de Monin-Obukhov	Z/L	m/m
Velocidade do vento	V	m/s
Direção do vento	Dir	Graus
Pressão	P	mb
Radiação de onda curta incidente	ROC_i	W/m <sup>2</sup>
Radiação de onda curta refletida	ROC_r	W/m <sup>2</sup>
Irradiância de ondas longas incidente	ROL_i	W/m <sup>2</sup>
Irradiância de ondas longas emergente	ROL_e	W/m <sup>2</sup>
Saldo de Radiação	RN	W/m <sup>2</sup>
Fração evaporativa	FE	-
Temperatura do ar	TA	°C
Umidade relativa	U	%
Pressão de vapor saturada	es	mb
Déficit de vapor d'água na atmosfera	DPV	mb
Fluxo de calor no solo	G	W/m <sup>2</sup>
Umidade do solo a 10 cm de profundidade	us10	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade do solo a 20 cm de profundidade	us20	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade do solo a 30 cm de profundidade	us30	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade do solo a 40 cm de profundidade	us40	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade do solo a 60 cm de profundidade	us60	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Umidade do solo a 100 cm de profundidade	us100	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Temperatura do solo a 2 cm de profundidade	ts2	°C
Temperatura do solo a 5 cm de profundidade	ts5	°C
Temperatura do solo a 10 cm de profundidade	ts10	°C
Temperatura do solo a 20 cm de profundidade	ts20	°C
Temperatura do solo a 50 cm de profundidade	ts50	°C



### 3.4 Metodologia

#### 3.4.1 Obtenção de variáveis

A resposta da condutância estomática às variações na disponibilidade de água no solo e à demanda evaporativa da atmosfera é importante na avaliação dos processos de evapotranspiração e, conseqüentemente, no entendimento do balanço de energia em superfície. Neste sentido foi fundamental a obtenção e utilização dos parâmetros DPV (déficit de vapor de água na atmosfera) e FE (fração evaporativa) para o desenvolvimento deste estudo.

O déficit de vapor de água na atmosfera (DPV) foi calculado com base na equação 1.

$$DPV(mb) = e_s - e \quad (1)$$

Em que,

$e = U \times e_s(T)$  , é a pressão de vapor (mb);

U é a umidade relativa (%); e;

$e_s(T) = 6,11 \times \exp\left[\frac{(17,67T)}{(T + 243,5)}\right]$  é a pressão de vapor de saturação (mb).

Na obtenção da fração evaporativa (FE) foi utilizada a equação 2. Os cálculos foram feitos também com o objetivo de avaliar a resposta da superfície com vegetação esparsa (caatinga) a ocorrência de precipitação e possíveis associações com a retenção de umidade do solo.

$$FE = \frac{LE}{RN - G} \quad (2)$$

onde LE é o fluxo de calor latente, RN é o saldo de radiação e G é o fluxo de calor no solo.

### 3.4.2 Análise Estatística

Conforme mencionado anteriormente este estudo tem como proposta quantificar aspectos da dinâmica dos fluxos de água, energia e CO<sub>2</sub> no bioma caatinga. A análise fatorial (AF) foi escolhida como ferramenta fundamental na caracterização da dependência entre as condições atmosféricas e disponibilidade hídrica e detecção de padrões relacionados com fontes e sumidouros de CO<sub>2</sub>. Entretanto, a grande contribuição da técnica da AF é identificar fatores não diretamente observáveis, a partir da correlação entre conjuntos de variáveis mensuráveis (CORRAR *et al.*, 2007).

A análise de componentes principais (ACP) é aplicada aos dados iniciais com o intuito de encontrar funções matemáticas que expliquem o máximo das variações existentes entre as variáveis e que possam descrever e reduzir o número dessas variáveis. A AF é usada para explicar a estrutura da covariância entre as variáveis. Os fatores extraídos com a técnica expressam o que existe de comum entre as variáveis originais. Portanto, o método permite determinar as variáveis que pertencem a um determinado fator e quanto cada uma delas explica esse fator.

Antes da aplicação da técnica da AF por componentes principais os dados foram reorganizados em quatro grupos sendo dois no período diurno, compreendendo as medições nos intervalos entre 06 e 12 HL (manhã) e entre 12 e 18 HL (tarde) e dois grupos no período noturno compreendendo as medições feitas nos intervalos entre 18 e 24 HL (noite) e entre 00 e 06HL (madrugada). Em virtude do grande volume de informações extraídas com essa técnica, as análises apresentadas nesta dissertação foram concentradas no período diurno (manhã e tarde).

### 3.4.3 O método de Análise Fatorial com Extração em Componentes Principais

Em estudos que usam grandes quantidades de variáveis é bastante comum a existência de dados redundantes por estarem medindo a mesma coisa. Neste sentido a técnica estatística multivariada com base na matriz de correlação pelo método da Análise de Componente Principais (ACP) permite a redução no número de variáveis e as coordenadas

são reescritas em um sistema de eixos mais apropriado permitindo análises mais concisas. As novas coordenadas provêm de combinações lineares entre os autovetores normalizados e as variáveis originais.

A enorme quantidade de informação simultânea das várias variáveis coletadas explica a natureza multivariada do estudo. A tecnologia computacional disponível nos dias de hoje permite avanços extraordinários na análise de dados o que seria impensável algumas décadas atrás. O uso conjunto de programas estatísticos e computadores potentes gera, com relativa facilidade, grande quantidade de informações sobre problemas considerados fisicamente complexos.

A Análise Fatorial (AF) assim como a ACP é uma técnica estatística que busca, através da avaliação de um conjunto de variáveis, a identificação de dimensões de variabilidade comuns existentes em um conjunto de fenômenos; o intuito é desvendar estruturas existentes, mas não observáveis diretamente. Cada uma dessas dimensões de variabilidade comum recebe o nome de fator. Parte-se do pressuposto de que a correlação entre as variáveis surge porque as variáveis compartilham ou estão relacionadas pelo mesmo fator.

Embora seja bastante comum na literatura encontrar a mesma denominação para resultados de análises feitas com ACP e AF, de acordo com MANLY (2008), existe uma diferença entre os dois métodos. Esta diferença ocorre em função da análise de componentes principais não ser baseada em um modelo estatístico particular, enquanto que a análise de fatores é baseada em um modelo.

Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método *VARIMAX* proposto por KAISER (1958). O processo de rotação de fatores gera resultados melhores em relação à sua interpretação.

O método de rotação *VARIMAX* é um tipo de rotação ortogonal (mantém os fatores perpendiculares entre si, isto é, sem correlação entre eles) e tem como característica o fato de minimizar a ocorrência de uma variável ter altas cargas fatoriais para diferentes fatores, permitindo que uma variável seja facilmente identificada como um único fator (CORRAR *et al.*, 2007).

Na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser, (GARAYALDE *et al.*, 1986). Na aplicação deste critério são excluídos os fatores com autovalores menores que um. Além disso, foram aplicados testes de significância aos dados, o de esfericidade de *BARTLETT*, que indica se existe relação suficiente entre as variáveis para aplicação da AF, a análise é válida se os valores do teste forem menores que 0,05. O teste de *KAISER-MEYER-OLKIN* (KMO) que mede o grau de correlação parcial entre as variáveis. Valores do teste próximos de 1 indica que maiores são as correlações entre as variáveis. Um grau de explicação menor que 0,5, significa que os fatores encontrados na AF não conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais.

#### 3.4.4 Descrição do método

O método da ACP permite identificar um número mínimo de fatores que venha a explicar a parcela máxima da variância existente nas variáveis originais, dentro da AF. Neste estudo, com o uso da AF foi possível gerar agrupamentos de variáveis com base numa estrutura de relacionamento. Esse tipo de análise é denominado análise fatorial no modo R (*R-mode factor analysis*). Ou seja, nos procedimentos da análise fatorial R procura-se agrupar as diferentes variáveis em fatores específicos.

Dessa forma, as colunas representam as variáveis em estudo e as linhas são os casos: *manhã* (valor médio das medições no intervalo entre 06 e 12 HL) e *tarde* (valor médio das medições no intervalo entre 12 e 18 HL). Em síntese, esse modo é utilizado quando se busca identificar estruturas subjacentes capazes de serem percebidas pela construção de relacionamentos entre variáveis. A análise é feita para cada mês isoladamente, com exceção do mês de dezembro de 2004, que não continha dados suficientes para aplicação do método. Uma ilustração da matriz de entrada dos dados é mostrada na Figura 4.

		Variáveis				
		V1	V2	...	V29	V30
Períodos	1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,29}$	$x_{1,30}$
	2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,29}$	$x_{2,30}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	$n$	$x_{n,1}$	$x_{n,2}$	...	$x_{n,29}$	$x_{n,30}$

Figura 4: Matriz de entrada formada pelos dados das 30 variáveis pela quantidade de períodos gerados para cada mês estudado.

### 3.4.5 Obtenção dos fatores

Existem vários métodos para o cálculo dos escores fatoriais, contudo o pacote computacional utilizado nesse estudo baseia-se em componentes principais. Para a obtenção dos fatores segue-se o método análogo ao de MANLY (2008). Quando temos  $p$  variáveis, haverá o mesmo número de componentes principais. Estas são combinações lineares das variáveis originais

$$Z_1 = b_{11} X_1 + b_{12} X_2 + \dots + b_{1p} X_p$$

$$Z_2 = b_{21} X_1 + b_{22} X_2 + \dots + b_{2p} X_p$$

⋮

$$Z_p = b_{p1} X_1 + b_{p2} X_2 + \dots + b_{pp} X_p$$

os valores de  $b_{ij}$  são dados pelos autovetores da matriz de correlações. Esta transformação dos valores  $X$  para valores  $Z$  é ortogonal. Para uma AF, apenas  $m$  componentes principais são retidas, logo

$$X_1 = b_{11} Z_1 + b_{21} Z_2 + \dots + b_{m1} Z_m + e_1$$

$$X_2 = b_{12} Z_1 + b_{22} Z_2 + \dots + b_{m2} Z_m + e_2$$

⋮

$$X_p = b_{1p} Z_1 + b_{2p} Z_2 + \dots + b_{mp} Z_m + e_p$$

em que  $e_i$  é uma combinação linear das componentes principais  $Z_{m-1}$  a  $Z_p$ . Ao dividirmos  $Z_i$  pelo seu desvio-padrão, escalonamos as componentes deixando as variâncias unitárias, como requerido pelos fatores, assim

$$X_1 = \sqrt{\lambda_1} b_{11} F_1 + \sqrt{\lambda_2} b_{21} F_2 + \dots + \sqrt{\lambda_m} b_{m1} F_m + e_1$$

$$X_2 = \sqrt{\lambda_1} b_{12} F_1 + \sqrt{\lambda_2} b_{22} F_2 + \dots + \sqrt{\lambda_m} b_{m2} F_m + e_2$$

⋮

$$X_p = \sqrt{\lambda_1} b_{1p} F_1 + \sqrt{\lambda_2} b_{2p} F_2 + \dots + \sqrt{\lambda_m} b_{mp} F_m + e_p$$

em que  $\lambda$  é o autovalor correspondente e  $F_i = Z_i / \sqrt{\lambda_i}$ . Dessa forma o modelo de fatores não rotacionados é dado por

$$X_1 = a_{11} F_1 + a_{12} F_2 + \dots + a_{1m} F_m + e_1$$

$$X_2 = a_{21} F_1 + a_{22} F_2 + \dots + a_{2m} F_m + e_2$$

⋮

$$X_p = a_{p1} F_1 + a_{p2} F_2 + \dots + a_{pm} F_m + e_p$$

$$a_{ij} = \sqrt{\lambda_j} b_{ji}.$$

Em geral, a primeira solução obtida com a aplicação da ACP não fornece fatores que tenham a interpretação física mais adequada. Para aumentar o poder explicativo dos fatores na análise efetuou-se o procedimento de rotação de fatores através do método *VARIMAX*. A nova solução tem a forma

$$X_1 = c_{11} F_1^* + c_{12} F_2^* + \dots + c_{1m} F_m^* + e_1$$

$$X_2 = c_{21} F_1^* + c_{22} F_2^* + \dots + c_{2m} F_m^* + e_2$$

⋮

$$X_p = c_{p1} F_1^* + c_{p2} F_2^* + \dots + c_{pm} F_m^* + e_p$$

em que  $F_i^*$  representa o novo  $i$ -ésimo fator. Os valores dos fatores rotacionados são mais complicados de se obter, contudo pode-se observar que são dados pela equação matricial

$$F^* = X C (C' C)^{-1}$$

$F^*$  é uma matriz  $n \times m$  contendo os valores para os  $m$  fatores rotacionados em suas colunas, com uma linha para cada uma das  $n$  linhas originais de dados;  $X$  é a matriz  $n \times p$  dos dados originais para  $p$  variáveis e  $n$  observações, normalizadas; e  $C$  é a matriz  $p \times m$  das cargas fatoriais rotacionadas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são analisados aspectos que caracterizam condições atmosféricas e ambientais da região semi-árida. Inicialmente, é discutida a sazonalidade de variáveis meteorológicas fundamentais para o entendimento da interação biosfera-atmosfera e a variabilidade no balanço de energia em superfície. Na seção seguinte é apresentada uma análise mensal detalhada dos principais resultados com a aplicação da análise fatorial através da análise de componentes principais.

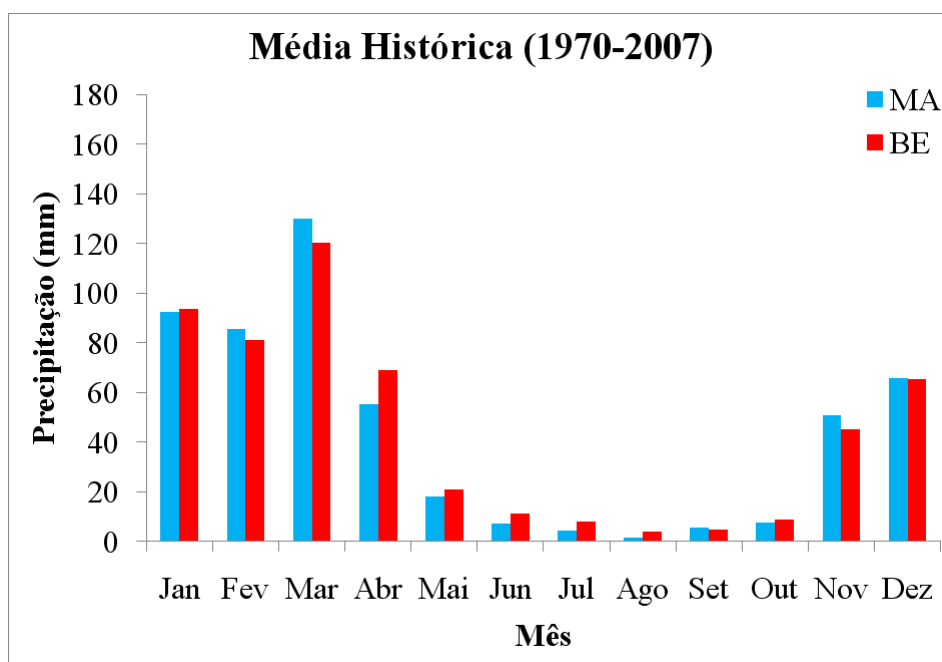
### **4.1 Aspectos da variabilidade sazonal em área de caatinga**

#### **4.1.1 Precipitação**

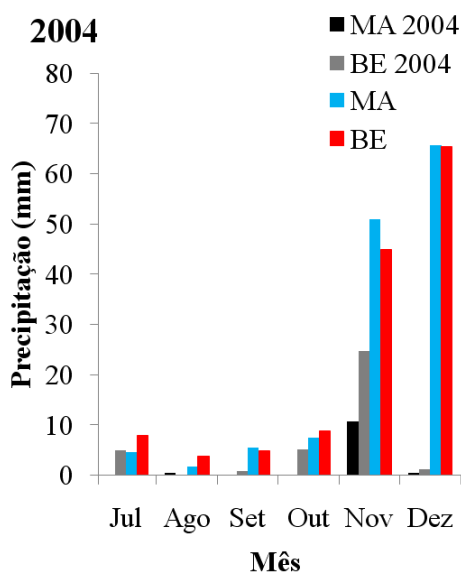
A distribuição da precipitação mensal medida em Bebedouro e Mandacaru no período entre 1970 e 2007 é ilustrada na Figura 5-a. O regime de chuvas é bem definido na região. O período chuvoso, concentrado entre os meses de novembro e abril, é evidente nos histogramas das duas estações. O baixo volume de chuvas observado entre os meses de maio e outubro indica claramente a existência de uma estação seca intensa e duradoura.

Em 2005, os totais mensais de chuva registrados nos meses de fevereiro e março foram acima da média histórica. Março foi o mês com maior número de dias com chuva (10 dias). O total mensal registrado em setembro, outubro, novembro e dezembro de 2004 estiveram abaixo da média histórica.

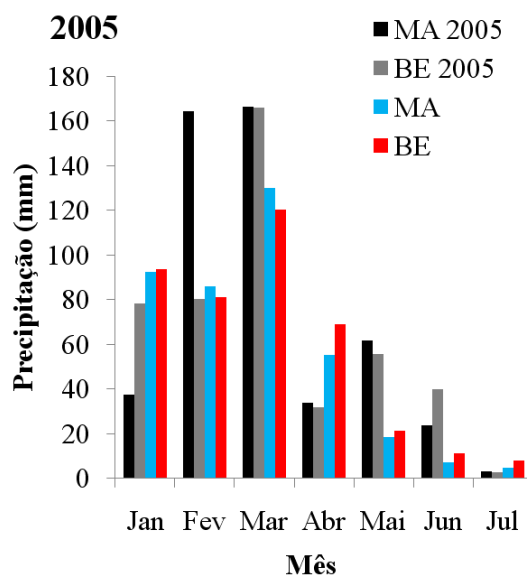




(a)



(b)



(c)

Figura 5: Precipitação pluviométrica média mensal (mm) das Estações Agrometeorológicas de Bebedouro (BE) e Mandacaru (MA) calculada no período de 1970 a 2007 (a) e comparativos entre os totais mensais das mesmas estações referentes ao meses estudados em 2004 (MA 2004 e BE 2004) (b) e em 2005 (BE 2005 e MA 2005) (c), o histograma de 2004 teve o máximo de precipitação fixado em 80 mm.

#### 4.1.2 Radiação de onda curta incidente

A variação sazonal média horária da radiação de onda curta incidente e referenciada neste texto como (ROC\_i), medida no período de julho de 2004 a julho de 2005 é mostrada na Figura 6. Verifica-se que os valores máximos se concentram nos meses de outubro e novembro entre 11 e 13 horas local (HL). Valores elevados, da ordem de  $900 \text{ W/m}^2$  também são observados no mês de janeiro.

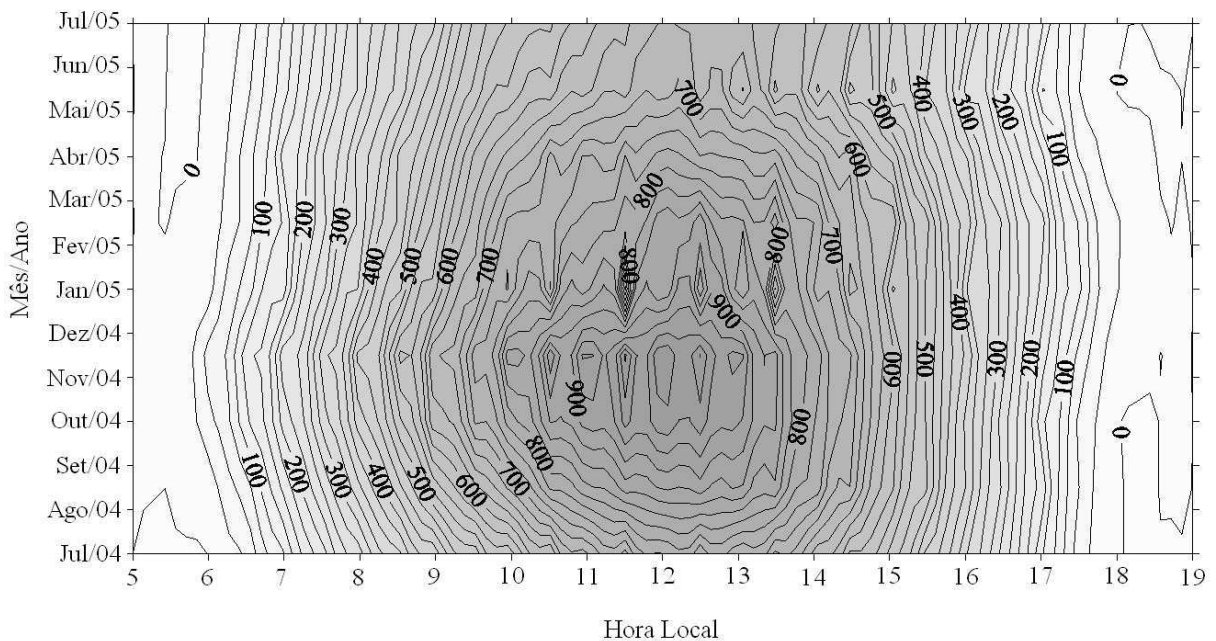


Figura 6: Variação média horária mensal da Radiação de onda curta incidente ( $\text{W/m}^2$ ), para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Os valores mínimos médios mensais (aproximadamente,  $650 \text{ W/m}^2$ ) são observados no mês de maio. No entanto, quando consideradas medidas instantâneas os resultados mostram que o valor máximo da radiação global foi registrado em outubro e o valor mínimo no mês de janeiro.

A alta variabilidade nos valores deste parâmetro é esperada já que a quantidade de radiação solar que atinge a superfície depende de vários fatores tais como transmissividade da atmosfera, cobertura de nuvens e topografia. Ao atravessar a atmosfera, a radiação é refletida pelas nuvens, e sofre difusão (espalhamento) na interação com moléculas de ar, aerossóis, vapor d'água e dióxido de carbono.

### 4.1.3 Saldo de radiação

A obtenção e análise do saldo de radiação (RN) em superfícies vegetadas é um procedimento importante já que RN representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera. Essa energia é utilizada no aquecimento do ar e solo, na evapotranspiração pela transferência de vapor da superfície para atmosfera e no metabolismo das plantas principalmente na fotossíntese (AZEVEDO *et al.*, 1990).

A variação sazonal média horária do saldo de radiação, no período de julho de 2004 a julho de 2005, é mostrada na Figura 7. Os valores são negativos a noite e positivos durante o dia já que o fluxo incidente passa a ser apenas da atmosfera. A energia emitida pela superfície é substancialmente superior. Os dados mostram valores entre -60 e 600 W/m<sup>2</sup>.

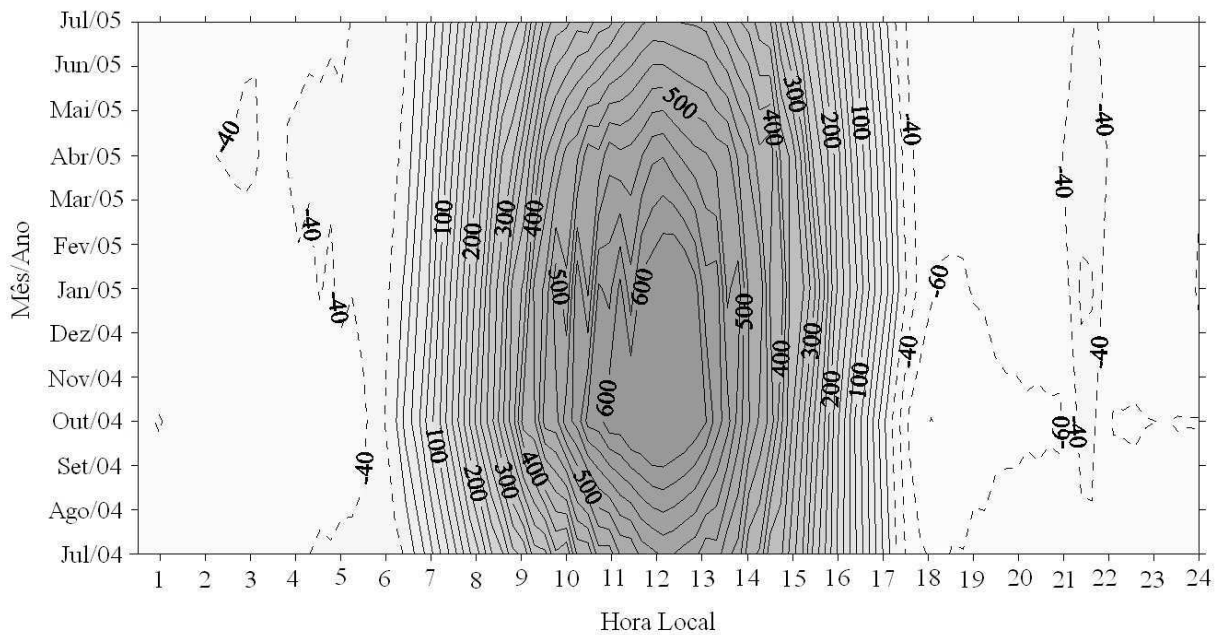


Figura 7: Variação média horária mensal do Saldo de Radiação em W/m<sup>2</sup>, para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Observa-se ainda que o saldo de radiação entre 18 e 24 HL, é negativo, mostrando maiores perdas radiativas. Esse comportamento é mais evidente entre setembro e fevereiro, principalmente no mês de outubro, em que os valores chegam a -60 W/m<sup>2</sup> em torno das 21 HL. Nesses meses também ocorre maior absorção de energia no período diurno, o que explica uma maior emissão de radiação de ondas longas durante a metade inicial da noite. Essa alta

taxa de absorção é resultado da alta incidência de radiação global, vistas na figura 6, aliada a dias com pouca nebulosidade.

#### 4.1.4 Fluxo de calor sensível e latente

A variação sazonal média horária dos fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) são mostradas nas Figuras 8 e 9 respectivamente. Observa-se que os valores médios máximos de H ocorrem no período seco sendo particularmente elevados entre agosto e janeiro. Também é nitidamente observado que durante todo ano a maior parte da energia absorvida pela superfície é liberada na forma de calor sensível. Esse resultado reflete bem a resposta da vegetação à insuficiência hídrica característica marcante em áreas de caatinga. Os baixos valores observados nos fluxos de calor latente estão relacionados à eficiência do controle pelas plantas no uso da água disponível no solo.

Os valores médios máximos do fluxo de calor latente são observados no período chuvoso entre os meses de dezembro e abril.

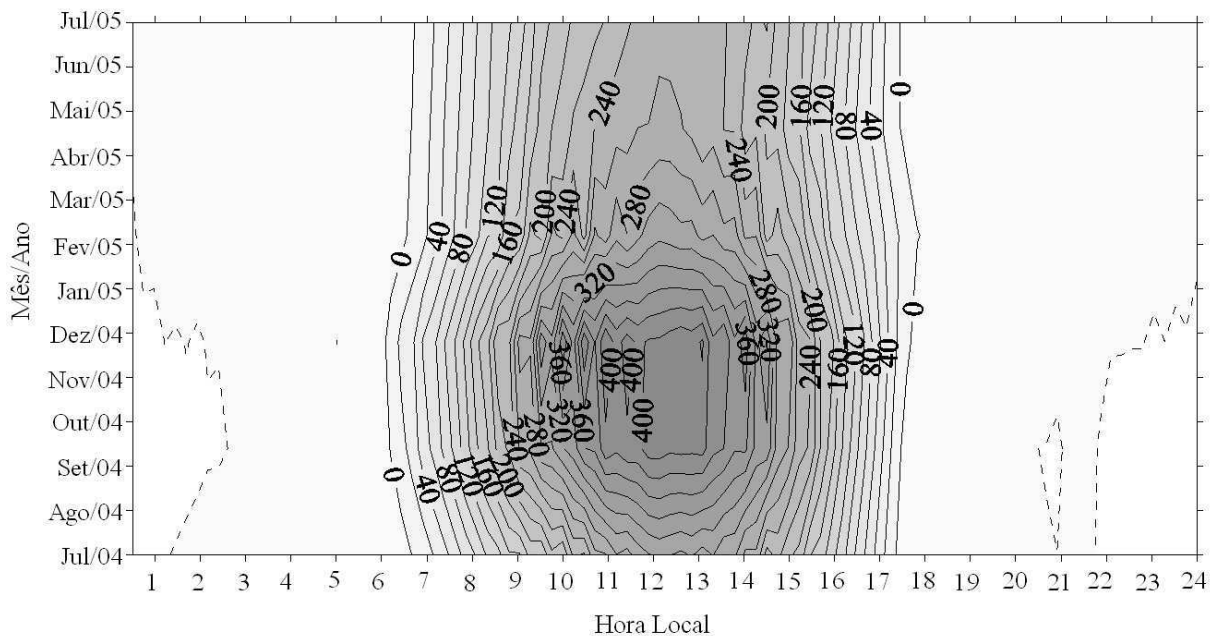


Figura 8: Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Sensível em  $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

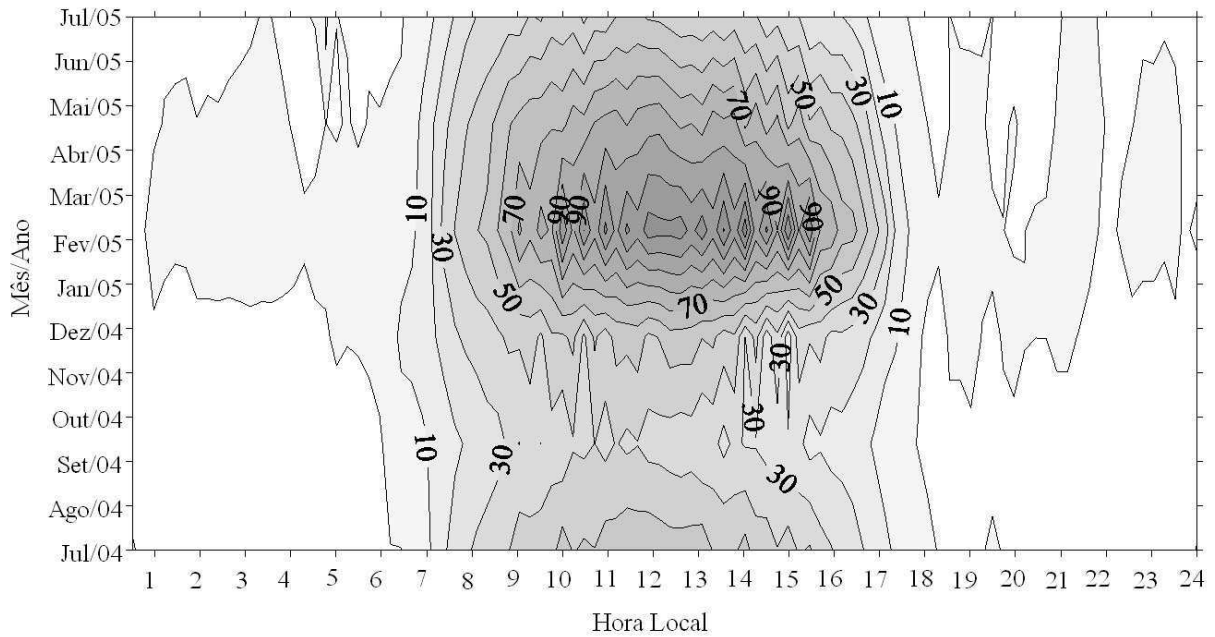


Figura 9: Variação média horária mensal do Fluxo de Calor Latente em  $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

#### 4.1.5 Irradiância de ondas longas emergente ou emitida

A variação sazonal média horária da Irradiância de ondas longas emitida pela superfície ( $ROL_e$ ) para o período de julho de 2004 a julho de 2005 é mostrada na Figura 10. Verifica-se que os valores médios máximos da  $ROL_e$  ocorreram entre os meses de setembro e dezembro no intervalo das 15 as 17 HL. Valores elevados dessa variável também são observados entre 23:00 e 02:00 no período noturno. Resultados semelhantes foram obtidos por MOURA *et al.* (2002) em um estudo sobre balanço de energia num pomar de goiabeiras situado no Vale do São Francisco.

A irradiância de ondas longas emitidas ( $ROL_e$ ) varia principalmente com a temperatura em superfície. A variabilidade do albedo decorrente do aumento ou redução na cobertura vegetal influencia o comportamento dessa variável.

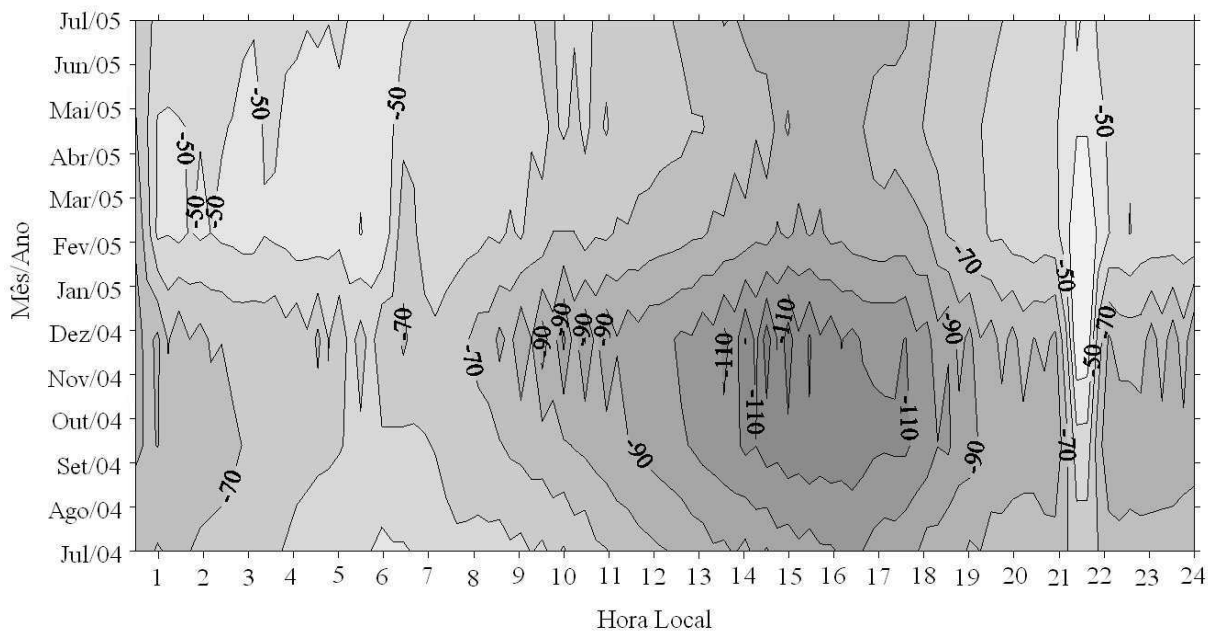


Figura 10: Variação média horária mensal da Irradiância de Onda Longa Emitida em  $W/m^2$ , para o período de julho de 2004 a julho de 2005.

Em relação à ilustração dessa variável, vale ressaltar que como os valores negativos tem significado puramente físico indicando que o fluxo é da superfície para atmosfera, optou-se por mostrar a variabilidade da ROL\_e usando somente linhas contínuas. As linhas tracejadas usadas até o momento para ilustrar valores negativos, se utilizado nesse caso, dificulta a interpretação dos resultados.

#### 4.1.6 Fluxo de $CO_2$

Regiões semi-áridas são particularmente sensíveis à variabilidade nas chuvas com respostas imediatas da superfície com aumento ou redução na evaporação do solo e transpiração pelas plantas. Dessa forma, a variabilidade no teor de umidade do solo decorrente das chuvas representa um fator determinante nas trocas de calor, vapor e de  $CO_2$  entre o ecossistema e a atmosfera.

As Figuras 11 e 12 mostram a variabilidade diária dos fluxos de carbono (liberação/absorção) nos períodos diurno e noturno, para dois meses do período seco (agosto e setembro) e dois meses do período chuvoso (fevereiro e março). Valores positivos indicam fluxos de

CO<sub>2</sub> da vegetação para a atmosfera enquanto que valores negativos indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação.

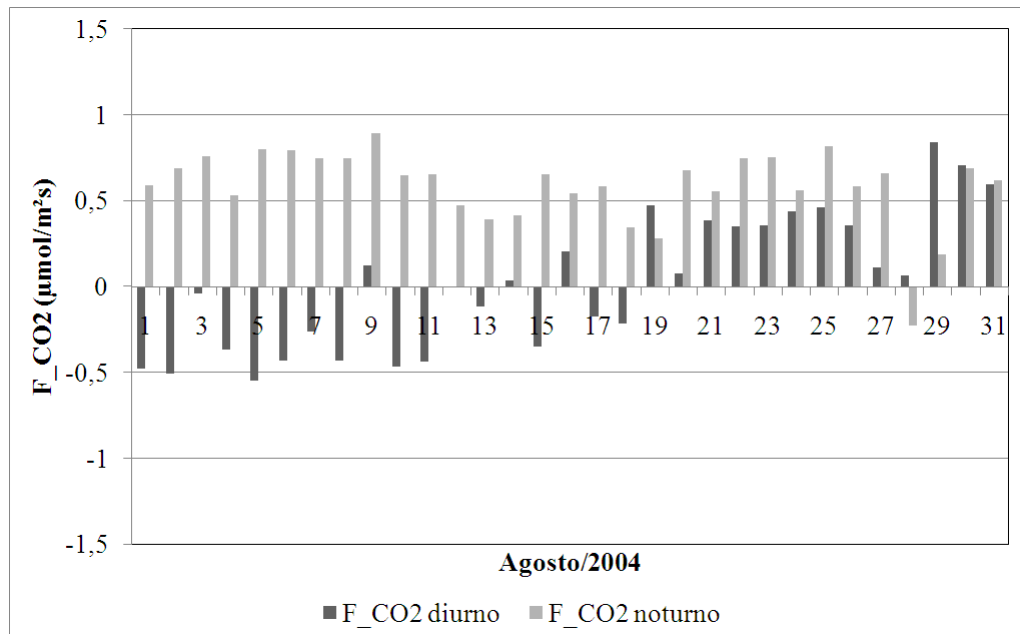
Nos meses de agosto e setembro há nitidamente predominância de liberação de CO<sub>2</sub> da vegetação para a atmosfera. Nesse período devido ao déficit hídrico, o controle das plantas através dos estômatos é dominante e na grande maioria das espécies as folhas caem eliminando a perda de água por transpiração. As folhas constituem a parte da planta responsável pelas atividades fotossintéticas, contribuindo com a absorção de CO<sub>2</sub> e liberação de O<sub>2</sub> para a atmosfera.

No mês de agosto (Figura 11-a) ainda nota-se uma alternância no padrão de comportamento do CO<sub>2</sub> apresentando valores positivos e negativos que indicam períodos de absorção e liberação, possivelmente associado com as características fisiológicas da vegetação, em resposta à redução das chuvas no final do período úmido, porém, ainda com cobertura foliar significativa. No mês de setembro (Figura 11-b) observam-se valores predominantemente positivos que indicam a liberação diária de CO<sub>2</sub>. Esse resultado mostra um comportamento típico da vegetação que se adapta à rigidez da estação com a queda das folhas para reduzir a perda da água por transpiração. Neste período a região se apresenta normalmente com extensas áreas de solo exposto. Vários fatores incluindo temperatura, umidade, profundidade do solo, aeração e populações microbianas determinam a taxa de fluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

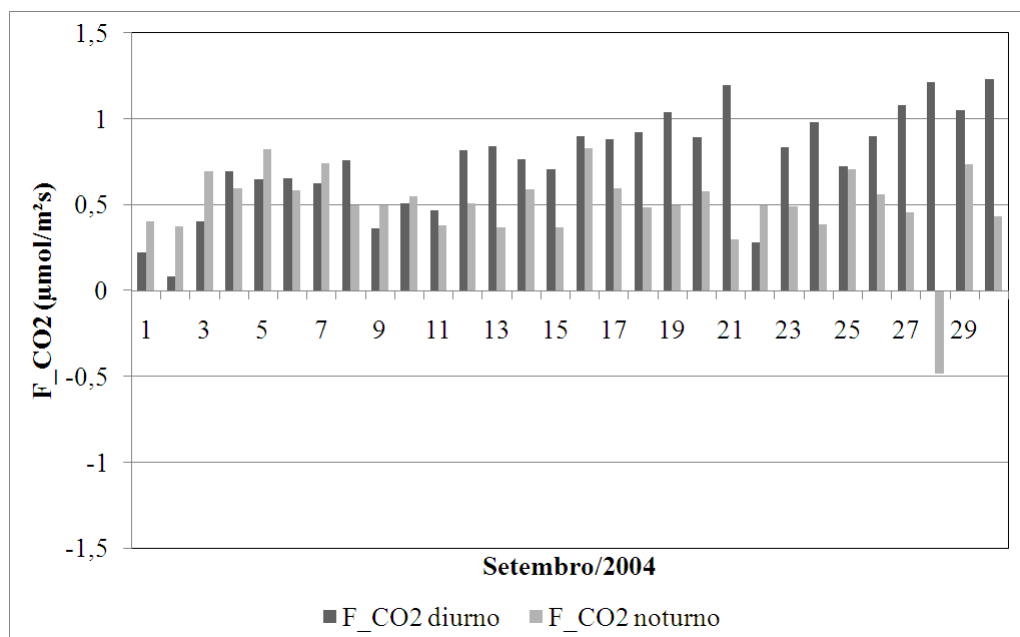
Os resultados obtidos para fevereiro e março (período chuvoso) apresentados nas Figuras 12-a-b, mostram um comportamento inverso. Valores predominantemente negativos indicam absorção de CO<sub>2</sub> no período diurno. O mês de fevereiro (Figura 12-a) apresenta alternância entre os padrões de absorção e liberação de CO<sub>2</sub>, passando de emissor no início do mês para sumidouro no final, quando a taxa de liberação é superada pela de absorção. O comportamento dos fluxos no mês de março (Figura 12-b) mostra que o ecossistema atua como sumidouro de CO<sub>2</sub>.

Vale salientar que no período seco em dias com indicativo de liberação de CO<sub>2</sub> os valores não atingem 1,5  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>s, todavia, no período chuvoso os valores indicando absorção de CO<sub>2</sub> atingiram -20  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>s. Esse resultado mostra a importância da caatinga no sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera e conseqüentemente a necessidade de preservação do bioma. Apenas as plantas típicas da caatinga tem condições de resistir às condições severas de

estresse hídrico associadas à ocorrência de secas prolongadas muitas vezes observadas na região do semiárido.



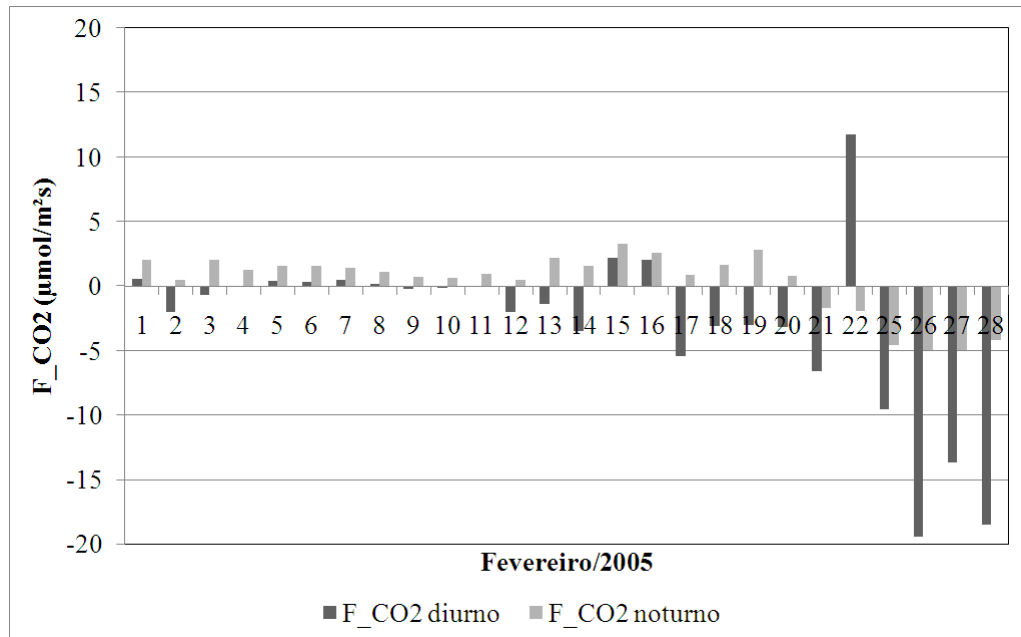
(a)



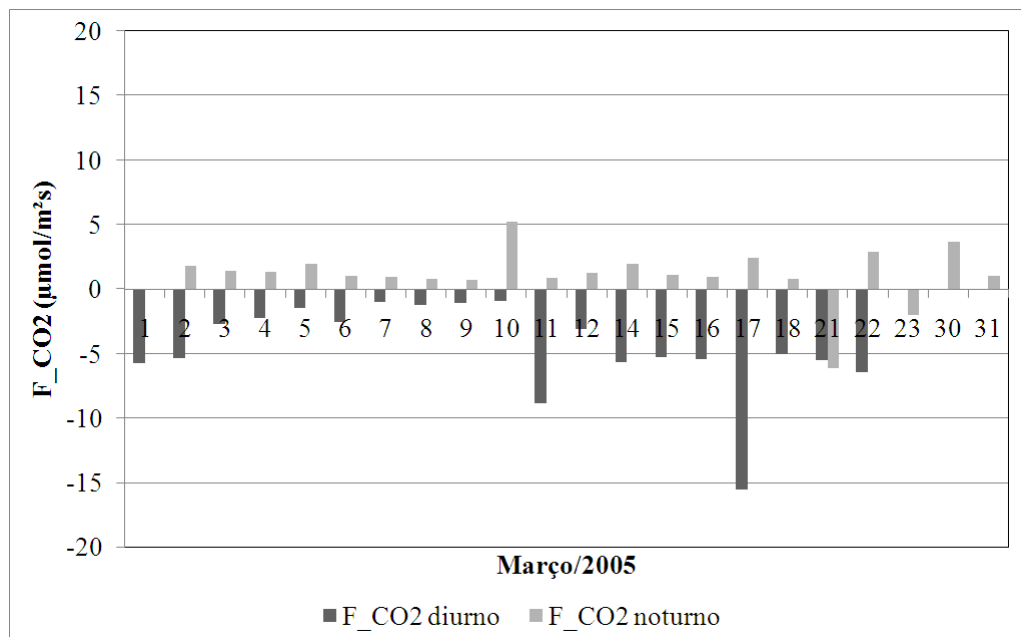
(b)

Figura 11: Variabilidade média diária do Fluxo de CO<sub>2</sub> em μ mol/m<sup>2</sup>s dos meses de agosto (a) e setembro (b) de 2004, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno.





(a)



(b)

Figura 12: Variabilidade média diária do Fluxo de CO<sub>2</sub> em  $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$  dos meses de fevereiro (a) e março (b) de 2005, o tom cinza escuro representa os valores do fluxo durante o período diurno e o tom de cinza claro representa o período noturno.

## 4.2 Análise fatorial

A aplicação dos testes de *KAISER* e *BARTLETT* permitiram avaliar a adequação dos dados para a realização da análise fatorial. A estatística *KMO* para os meses em análise estão na Tabela 1. Os altos valores obtidos com o teste indicam que as amostras selecionadas são apropriadas para aplicação da técnica. O teste de significância de *BARTLETT* apresentou valores inferiores a 0,05 validando a análise (*HAIR et al.*, 1995; *CORRAR et al.*, 2007).

Tabela 1: Síntese dos resultados mensais obtidos com o Teste KMO.

KMO Análise do Período Diurno											
2004					2005						
Jul	Ago	Set	Out	Nov	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
0,721	0,683	0,715	0,761	0,749	0,640	0,673	0,600	0,745	0,717	0,746	0,804

Ainda com base no critério de Kaiser nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados da AF pelo método das componentes principais utilizando o método de rotação *VARIMAX*. As informações dos autovalores e das variâncias explicada e explicada acumulada de cada fator retido são mostradas para cada mês separadamente. Observa-se que dependendo do mês foram retidos entre 4 e 6 fatores com poder de explicação variando entre 87,45 e 93,20% da variância dos dados originais.

O autovalor é a variância total explicada por cada fator do estudo. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as estimativas dos autovalores e respectivas porcentagens de variação total de cada fator. Embora pelo critério de Kaiser sejam retidos de 4 a 6 fatores, fisicamente se destacam os padrões encontrados nos três primeiros. Assim, as análises apresentadas no texto foram concentradas nos três primeiros fatores que, na maioria dos casos, explicam mais de 75% da variabilidade dos dados originais.

Tabela 2: Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Explicada e Acumulada obtidos no período *diurno* de julho a novembro de 2004.

Variância Total Explicada							
2004		Cargas Fatoriais Não Rotacionadas			Cargas Fatoriais Rotacionadas		
Mês	Fatores	Autovalores	% de Variância	Variância acumulada	Autovalores	% de Variância	Variância acumulada
Julho	1	13,388	44,628	44,628	9,197	30,657	30,657
	2	5,685	18,951	63,579	6,920	23,068	53,725
	3	4,502	15,007	78,586	6,299	20,998	74,723
	4	2,194	7,314	85,899	2,925	9,749	84,473
	5	1,179	3,931	89,830	1,375	4,583	89,056
	6	1,012	3,375	93,205	1,245	4,149	93,205
Agosto	1	12,261	40,870	40,870	10,140	33,799	33,799
	2	6,846	22,819	63,689	6,784	22,615	56,414
	3	4,469	14,895	78,585	6,087	20,289	76,703
	4	1,962	6,541	85,125	2,210	7,367	84,070
	5	1,329	4,430	89,555	1,595	5,318	89,388
	6	1,024	3,413	92,968	1,074	3,581	92,968
Setembro	1	12,649	42,162	42,162	9,757	32,523	32,523
	2	6,177	20,592	62,754	6,601	22,004	54,526
	3	4,360	14,534	77,288	6,295	20,983	75,509
	4	2,101	7,003	84,291	2,617	8,722	84,231
	5	1,116	3,718	88,009	1,133	3,778	88,009
Outubro	1	11,843	39,478	39,478	10,033	33,443	33,443
	2	6,202	20,672	60,150	6,147	20,489	53,931
	3	5,183	17,277	77,428	6,130	20,433	74,365
	4	2,258	7,528	84,956	2,791	9,304	83,668
	5	1,263	4,211	89,167	1,594	5,312	88,980
	6	1,151	3,837	93,004	1,207	4,024	93,004
Novembro	1	12,465	41,549	41,549	9,288	30,961	30,961
	2	7,203	24,011	65,560	9,028	30,092	61,053
	3	5,836	19,455	85,015	7,118	23,725	84,778
	4	1,206	4,019	89,034	1,277	4,255	89,034

Tabela 3: Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Explicada e Acumulada obtidos no período *diurno* de janeiro a julho de 2005.

Variância Total Explicada							
2005		Cargas Fatoriais Não Rotacionadas			Cargas Fatoriais Rotacionadas		
Mês	Fatores	Autovalores	% de Variância	Variância acumulada	Autovalores	% de Variância	Variância acumulada
Janeiro	1	11,434	38,114	38,114	8,589	28,632	28,632
	2	5,680	18,934	57,048	5,607	18,689	47,320
	3	4,400	14,667	71,714	5,207	17,357	64,678
	4	3,103	10,343	82,058	4,331	14,435	79,113
	5	1,318	4,392	86,450	1,813	6,044	85,157
	6	1,169	3,897	90,347	1,557	5,191	90,347
Fevereiro	1	12,246	40,821	40,821	9,151	30,503	30,503
	2	7,123	23,743	64,564	6,731	22,435	52,939
	3	3,986	13,287	77,852	6,014	20,045	72,984
	4	1,676	5,586	83,438	2,589	8,630	81,614
	5	1,204	4,014	87,451	1,751	5,838	87,451
Março	1	10,818	36,059	36,059	10,238	34,127	34,127
	2	6,270	20,901	56,960	6,504	21,681	55,808
	3	5,868	19,558	76,519	4,347	14,489	70,296
	4	2,158	7,194	83,713	3,451	11,504	81,801
	5	1,806	6,019	89,732	2,379	7,931	89,732
Abril	1	12,251	40,838	40,838	11,629	38,763	38,763
	2	6,284	20,946	61,784	5,952	19,841	58,604
	3	3,922	13,072	74,856	3,876	12,920	71,524
	4	1,884	6,278	81,135	2,486	8,285	79,809
	5	1,063	3,543	84,677	1,461	4,868	84,677
Maio	1	13,089	43,629	43,629	11,935	39,785	39,785
	2	6,455	21,517	65,146	6,383	21,277	61,062
	3	3,294	10,979	76,126	2,758	9,192	70,254
	4	1,750	5,835	81,960	2,553	8,510	78,763
	5	1,263	4,212	86,172	1,840	6,134	84,898
	6	1,100	3,665	89,837	1,482	4,939	89,837
figuraJunho	1	12,557	41,856	41,856	11,770	39,234	39,234
	2	6,327	21,090	62,946	6,745	22,483	61,717
	3	5,698	18,992	81,938	5,970	19,901	81,617
	4	1,348	4,494	86,432	1,444	4,815	86,432
Julho	1	16,663	55,545	55,545	13,430	44,766	44,766
	2	5,342	17,805	73,350	8,187	27,290	72,055
	3	1,935	6,450	79,800	1,706	5,686	77,741
	4	1,653	5,509	85,309	1,703	5,675	83,417
	5	1,125	3,751	89,060	1,693	5,643	89,060

Para facilitar a identificação de comportamentos similares e ilustrar melhor o grau de relação entre as variáveis e os fatores optou-se por apresentar os resultados por meio de diagramas. Nos diagramas são mostrados apenas os grupos das variáveis com maior carga fatorial nos 3 primeiros fatores. Tabelas contendo as informações completas incluindo os demais fatores são mostradas no apêndice A.

De maneira geral e independente do mês analisado é possível identificar um padrão de comportamento associado ao primeiro fator (F1) definido pela presença de dois grupos de variáveis: um deles formado pela temperatura do ar (TA), déficit de pressão de vapor (DPV), temperatura do solo nos níveis de 2, 5, 10, e 20 cm (ts2, ts5, ts10 e ts20) e pressão de vapor à saturação (es), e o outro formado pela pressão atmosférica (P) e umidade relativa do ar (U).

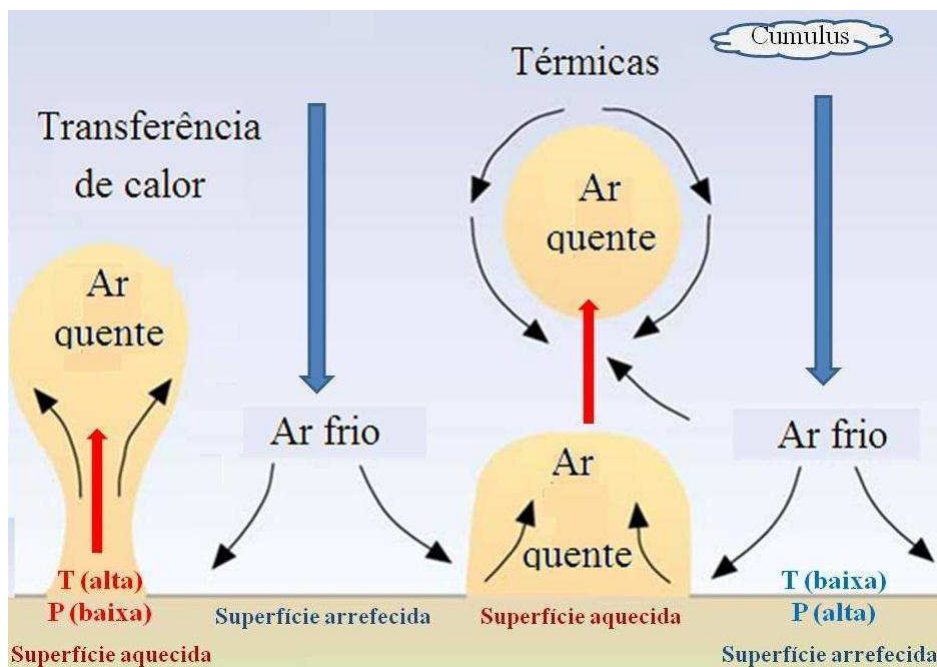


Figura 13: Esquema ilustrativo dos transportes turbulentos.

A combinação entre essas variáveis predominantemente presente no primeiro fator reflete características marcantes das condições atmosféricas diurnas da região semi-árida associadas normalmente com altas temperaturas do ar e grande variabilidade na nebulosidade. Enquanto as temperaturas médias mensais variam pouco ao longo do ano, as variações diurnas da temperatura e umidade são bastante pronunciadas. A combinação entre os efeitos da insolação, quantidade de nuvens e estrutura do solo definem o grau de aquecimento da superfície e intensidade dos transportes verticais de calor e água na camada limite convectiva (CLC).

#### 4.2.1 Julho de 2004

A representação diagramática para o mês de julho de 2004 é mostrada na Figura 14. Os diferentes grupos de variáveis organizados em função do grau de correlação com os fatores F1, F2 e F3 mostram que a análise feita a partir das medições em dois intervalos do período diurno (6-12 e 12-18 HL) evidencia mecanismos distintos de interações na troca de energia, água e carbono entre a biosfera e a atmosfera. A importância relativa das variáveis e do mecanismo dominante é determinada pela quantidade de variância explicada por cada um dos fatores observados na Tabela 2 (respectivamente 30,65%, 23,06% e 20,99%).

##### 4.2.1.1 Considerações sobre o primeiro Fator (F1)

Os altos valores de correlação entre o F1 e as variáveis, TA, DPV, ts (2, 5, 10, 20 cm), es, P e U indicam que a transferência turbulenta de calor e umidade é modulada pela instabilidade atmosférica típica do período diurno e particularmente intensa na estação seca. Com o aquecimento do solo (altos valores de ts) tem-se o aumento da instabilidade térmica e a transferência de calor da região próxima da superfície para outras camadas mais elevadas da atmosfera.

A presença da variável DPV (déficit de vapor do ar) associada positivamente com as temperaturas do solo, do ar e com a pressão de vapor à saturação é um indicativo do efeito das mudanças no balanço de energia em superfície (BES) e determina características da CLC (camada limite convectiva). Efetivamente a evolução da CLC é definida pelo BES em conjunto com a estratificação térmica e do vapor na atmosfera subjacente. Esse acoplamento representa um poderoso controle de troca de energia entre a atmosfera e a superfície.

Os fluxos turbulentos na CLC também são substancialmente influenciados por sistemas atmosféricos de grande e mesoescala. No período de estiagem a grande incidência de inversões térmicas tem influência direta na profundidade e teor de umidade da CLC.

A relação negativa entre a TA e a P (sinais opostos) é facilmente entendida já que numa superfície aquecida o ar torna-se mais leve e sobe justificando pressões mais baixas,

enquanto numa superfície arrefecida, formam-se altas pressões, porque o ar frio se torna mais denso e tende a descer.

Um dado considerado significativo é a correlação acima de 0,5 verificada entre o fluxo de carbono e o F1. Apesar dos valores bastante baixos do fluxo de CO<sub>2</sub> registrados em julho de 2004 os resultados mostram uma relação substancial dessa variável com o primeiro fator. Conforme já mencionado anteriormente, a grande maioria das espécies de plantas da caatinga perdem as folhas, no período de estiagem da região (maio a outubro) como mecanismo de proteção para eliminar a perda de água no processo de transpiração. Com a redução da atividade fotossintética a absorção ou seqüestro de carbono da atmosfera é reduzida. Com a diminuição da cobertura foliar do dossel, uma maior área de solo descoberto fica exposta aos efeitos da radiação solar e aumenta a emissão do CO<sub>2</sub> através do processo denominado de respiração.

Segundo PANOSSO *et al.* (2007), a temperatura e a umidade do solo são os principais fatores de controle da variabilidade da emissão de CO<sub>2</sub> nos solos. A relação positiva entre a variável fluxo de CO<sub>2</sub> e a temperatura do solo ts (2, 5, 10, 20) está em consonância com esse resultado.

Em síntese, o F1 apresentou autovalor igual a 9,19 e foi responsável por 30,65% da variância total dos dados tendo sido composto por 10 variáveis. Essas variáveis associam-se a transportes turbulentos na CLC gerados principalmente pelo efeito térmico, células convectivas e concentração de vapor na atmosfera.

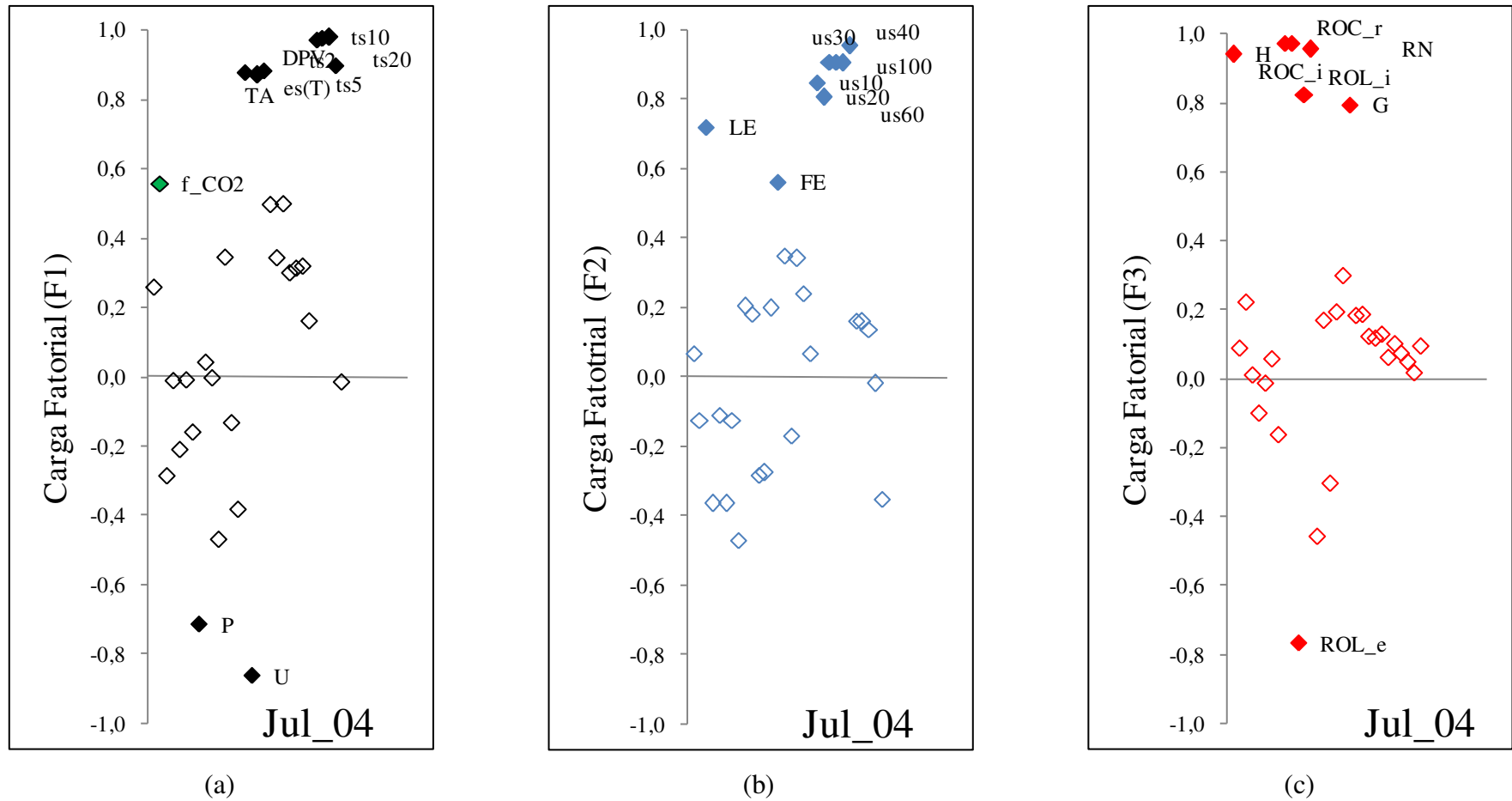


Figura 14: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Julho de 2004.



#### 4.2.1.2 Considerações sobre o segundo Fator (F2)

Na Figura 14-b é possível observar que oito variáveis apresentam correlações significativas com o F2 responsável por 23,06% da variância total. Neste fator concentram-se as variáveis LE (fluxo de calor latente), FE (fração evaporativa) umidade do solo nos níveis de 10, 20, 30, 40 e 60 cm. Essas variáveis associam-se aos processos de evaporação e transpiração nos quais a transferência de vapor d'água para a atmosfera depende da disponibilidade de energia, da água no solo e de fatores fisiológicos da vegetação como a resistência/condutância estomática.

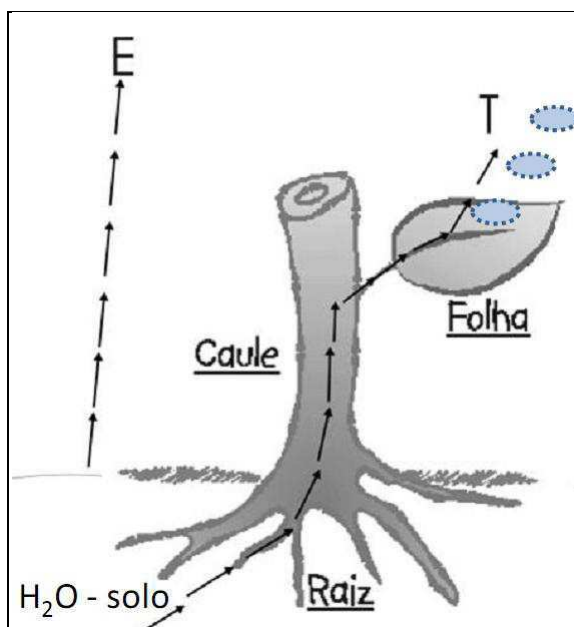


Figura 15: Esquema ilustrativo dos processos de evaporação e transpiração.

A alta relação entre a umidade do solo nos vários níveis de profundidade indica que a distribuição vertical da umidade e profundidade das raízes são atributos físicos da vegetação importantes no processo de armazenamento de água no solo e que também influencia o BES e fluxos de energia para atmosfera. Mudanças na disponibilidade de umidade praticamente definem as mudanças no regime de cobertura do dossel.

Com a estiagem tem-se a redução na disponibilidade de umidade no solo e essas mudanças impõem múltiplas adaptações aos vegetais na caatinga, que vão desde a perda das folhas no período mais seco até o aparecimento de longas raízes em busca de água. Essas alterações têm forte influência no BES. Em áreas de caatinga, entretanto, não se trata apenas

de um simples controle estomático em que sob a influência de altas temperaturas os estômatos se fecham para reduzir a perda d'água por transpiração. As plantas da caatinga em sua maioria perdem as folhas como mecanismo de defesa propiciando a retenção de água necessária para manter-se viva. A água retida varia com a profundidade e ao longo dos dias.

Perfis verticais da umidade e temperatura do solo para julho de 2004 são mostrados na Figura 16. Nos dois casos tem-se um gradiente vertical bem definido com valores mais baixos próximos da superfície, aumentando com a profundidade. No entanto, percebe-se nitidamente uma alta variabilidade diária na temperatura do solo, principalmente na camada entre a superfície e aproximadamente 30 cm de profundidade, o que não é observado nos perfis da umidade do solo que apresenta valores praticamente uniformes ao longo dos dias. Este resultado indica que mecanismos distintos são responsáveis pela variabilidade diária da  $t_s$  e  $u_s$  no mês de julho e justifica as correlações distintas em relação aos fatores F1 e F2.

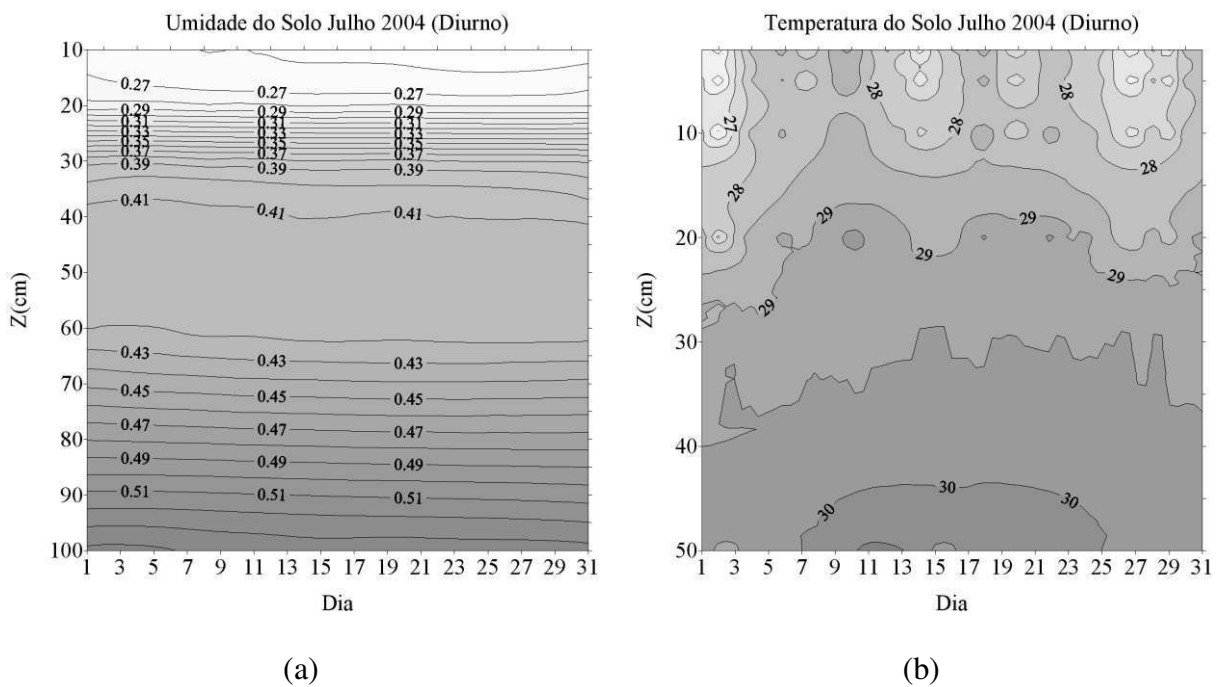


Figura 16: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo em diferentes profundidades para o mês de Julho de 2004. O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $m^3/m^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}C$ ).

Os mecanismos de interação entre a estrutura da vegetação e as condições do solo definem o grau de mudança no BES e na troca de água com a atmosfera.

### 4.2.1.3 Considerações sobre o terceiro Fator (F3)

O F3 apresentou autovalor igual a 6,2 e foi responsável por 20,99% da variância total dos dados sendo composto pelas variáveis H, RN, ROC\_i, ROC\_r, ROL\_i e ROL\_e mostradas na Figura 14-c. Esse grupo de variáveis reflete claramente a contribuição do aporte radiativo para os processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera em áreas de caatinga.

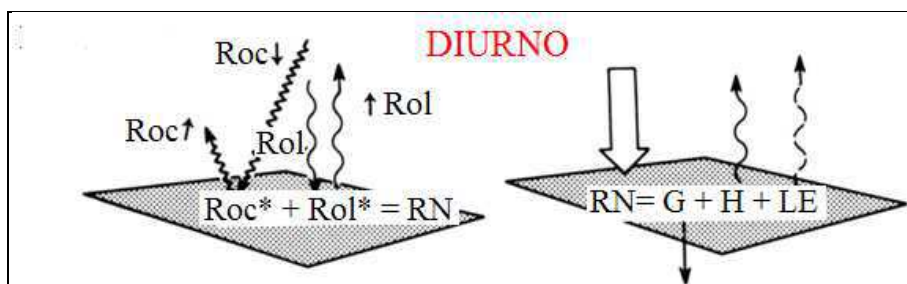


Figura 17: Esquema ilustrativo dos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera.

A relação inversa das variáveis (ROL\_i e ROL\_e) com altas cargas fatoriais em F3 indica que a transferência de energia para atmosfera na forma de calor sensível é modulada pela radiação de ondas longas.

A ROL\_e depende basicamente da temperatura em superfície que varia consideravelmente em áreas cobertas com vegetação esparsa como a caatinga. Por outro lado, a ROL\_i é substancialmente influenciada pela estratificação de vapor na atmosfera.

### 4.2.2 Agosto de 2004

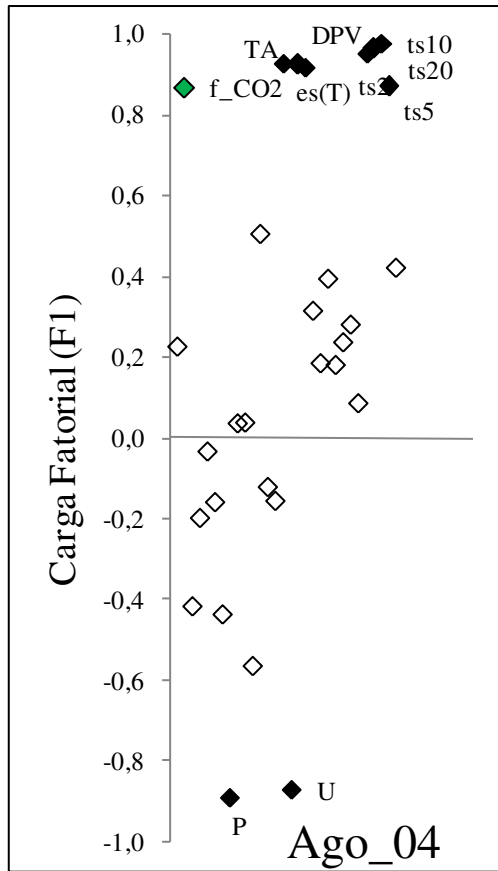
A representação diagramática para o mês de agosto de 2004 é mostrada na Figura 18. Verifica-se que a composição dos grupos de variáveis com cargas fatoriais mais significativas nos fatores F1, F2 e F3 vistas nas Figuras 18-a, 18-b e 18-c mantém basicamente o padrão do mês de julho de 2004. Uma exceção importante é a ausência das variáveis, LE e FE no segundo fator, F2.

Em agosto essas variáveis aparecem com cargas fatoriais significantes somente no quinto fator (F5). Como pode ser visto na tabela 4 do Apêndice A, o F5 explica aproximadamente 5,3% da variância dos dados originais.

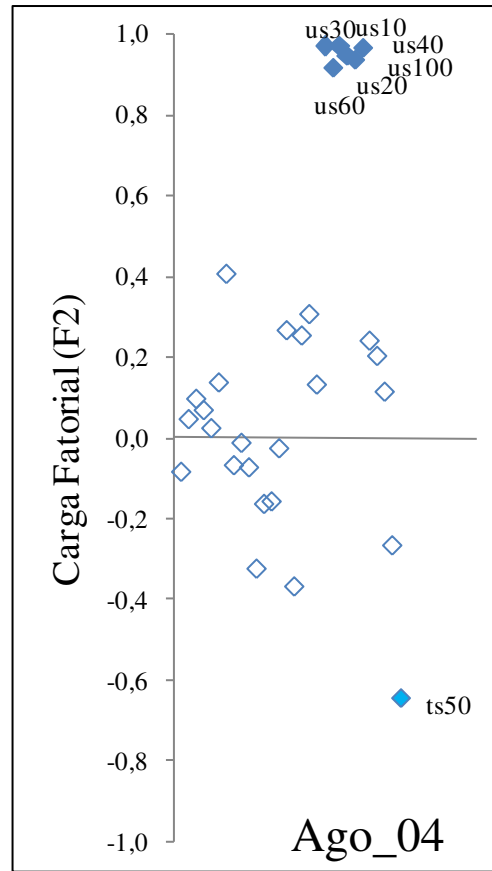
As variáveis RN e H mostram altas cargas fatoriais no F3 e estão fortemente correlacionadas com ROC\_r, ROC\_i, G e ROL\_i. Em situações de forte estresse hídrico (sem precipitação) a maior fração do saldo de radiação é transferido para a atmosfera como fluxo de calor sensível.

O fluxo de CO<sub>2</sub> mostra alta carga fatorial no F1. No mês de agosto grande parte das plantas da caatinga estão sem folhas com uma fração substancial do solo descoberto.

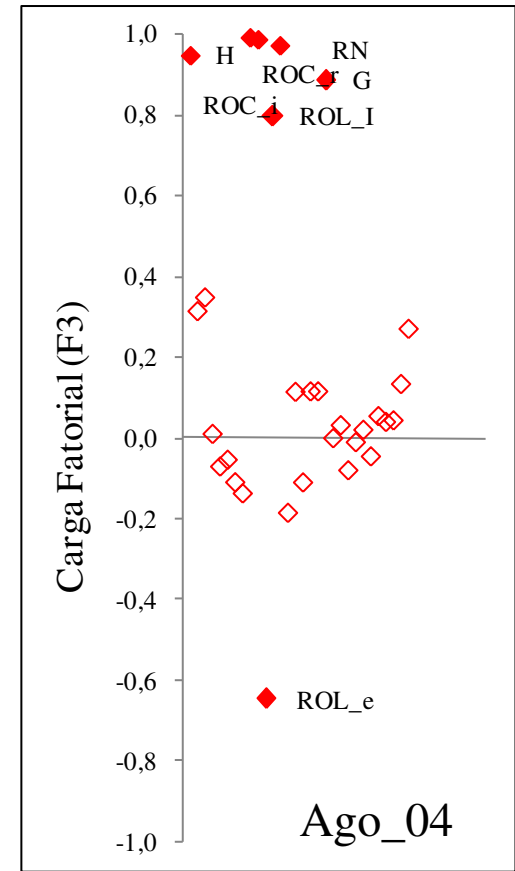
Geralmente a vegetação é tida como indicadora do nível de instabilidade dos ambientes e sua ausência permite uma maior susceptibilidade do ambiente aos efeitos de radiação e insolação, com grandes variações diárias de temperatura, acelerando a atividade microbiana e as perdas de CO<sub>2</sub> do solo (BIGARELLA, 1994).



(a)



(b)



(c)

Figura 18: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Agosto de 2004.

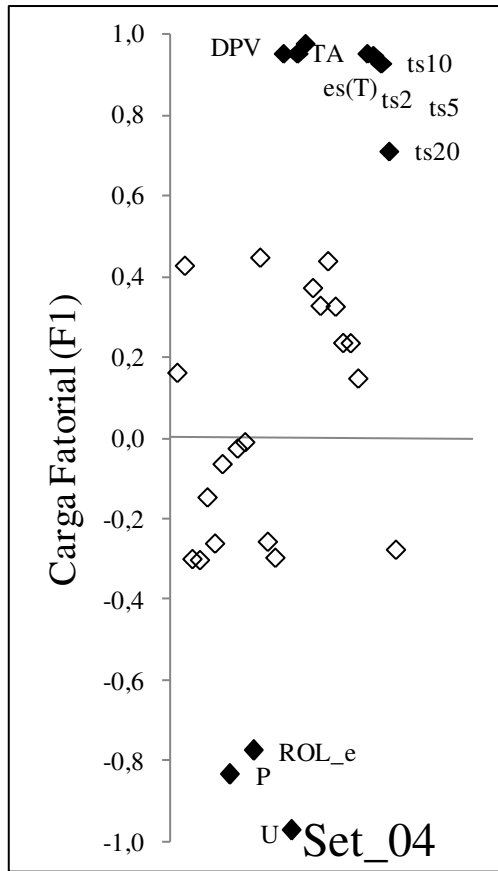
### 4.2.3 Setembro e Outubro de 2004

A representação diagramática para os meses de setembro e outubro de 2004 é mostrada nas Figuras 19 e 20, respectivamente. Verifica-se que o padrão geral de comportamento dos fatores é semelhante ao observado nos meses de julho e agosto de 2004 indicando que a sazonalidade também representa um fator importante nos processos de troca de energia e vapor d'água entre a caatinga e a atmosfera.

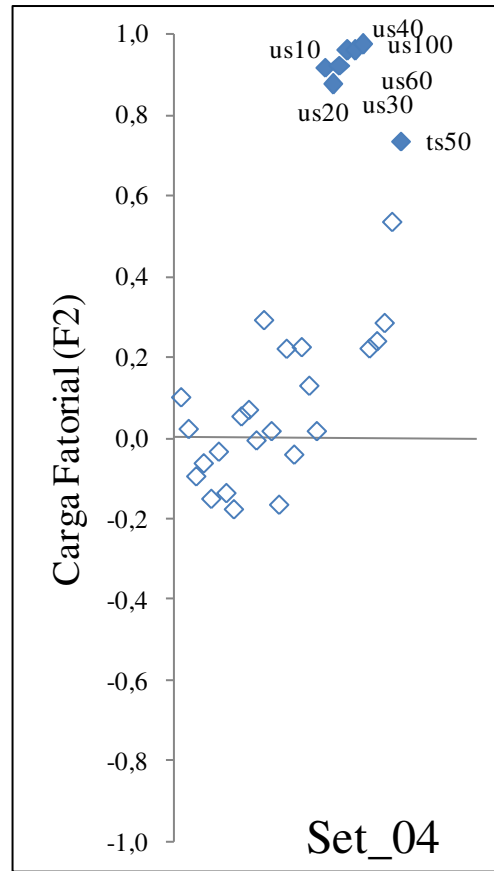
Por outro lado, pequenas diferenças no grupo de variáveis associadas com o primeiro e terceiro fatores, F1 e F3, indicam que possíveis alterações na estrutura termodinâmica da CLC (variabilidade na concentração de vapor ou da nebulosidade) sejam responsáveis por mudanças nos processos de troca de energia e vapor d'água com a atmosfera. A variável ROL\_e, anteriormente presente no F3, aparece no F1. No entanto, é importante destacar que embora a posição da variável em relação ao fator indique correlação negativa, isso ocorre em razão dos valores negativos, embora o sinal seja usado com significado físico para indicar que a energia está sendo “perdida” pela superfície.

É possível observar nas Figuras 19-a e 20-a a presença da variável ROL\_e mostrando carga fatorial negativa com o F1. No entanto, como o sinal dessa variável representa indicativo de fluxo “saindo” da superfície, efetivamente a correlação é positiva. A radiação de ondas longas emitida pela superfície é função direta da temperatura. Em outras palavras, quanto maior for o valor da temperatura da superfície, maior a emissão de ondas longas. Conclui-se, portanto, que grande parte da variabilidade explicada neste fator pode ser atribuída ao efeito da redução no teor de vapor d'água da atmosfera e/ou na quantidade de nuvens baixas. O processo de difusão turbulenta do calor é controlado pelos mesmos mecanismos que controlam a difusão do vapor d'água e é governado pelo gradiente de temperatura entre a superfície e a atmosfera ( $t_s - T_A$ ).

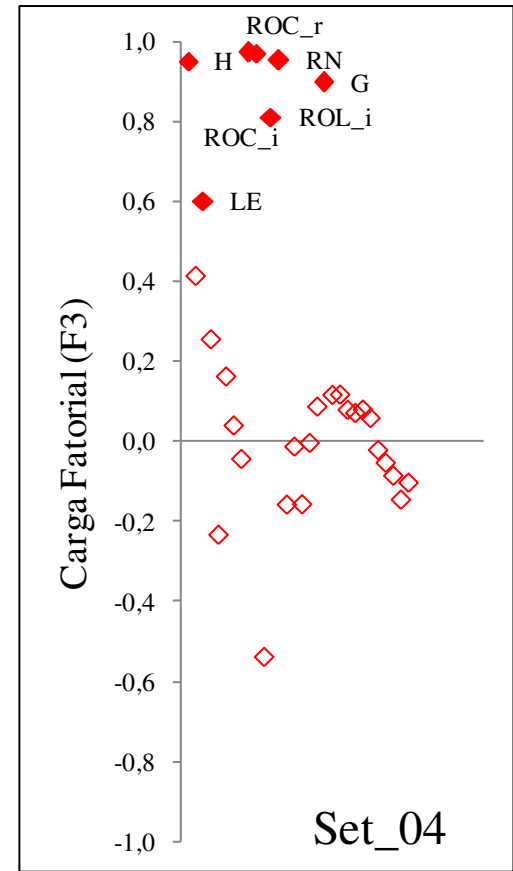
Normalmente em situações de calmaria, a transferência de calor do solo para atmosfera é dominada pela difusão turbulenta. Porém, com ocorrência de vento mesmo fraco, os movimentos convectivos são dominantes.



(a)

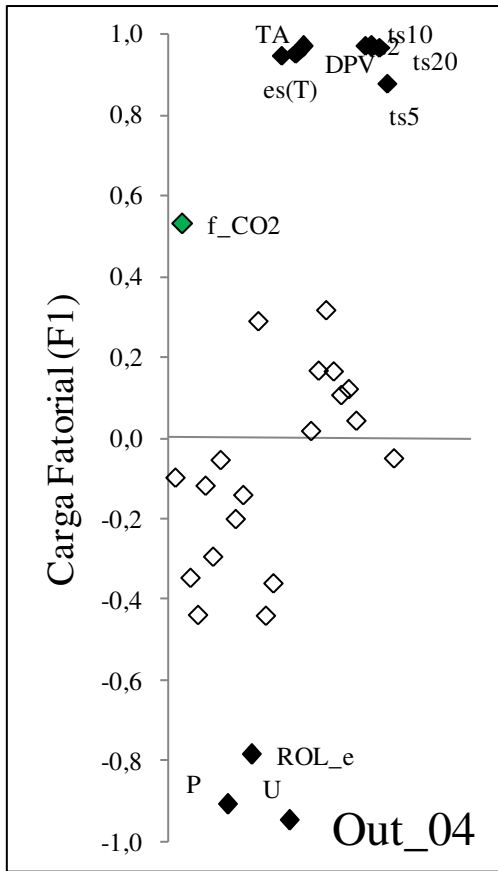


(b)

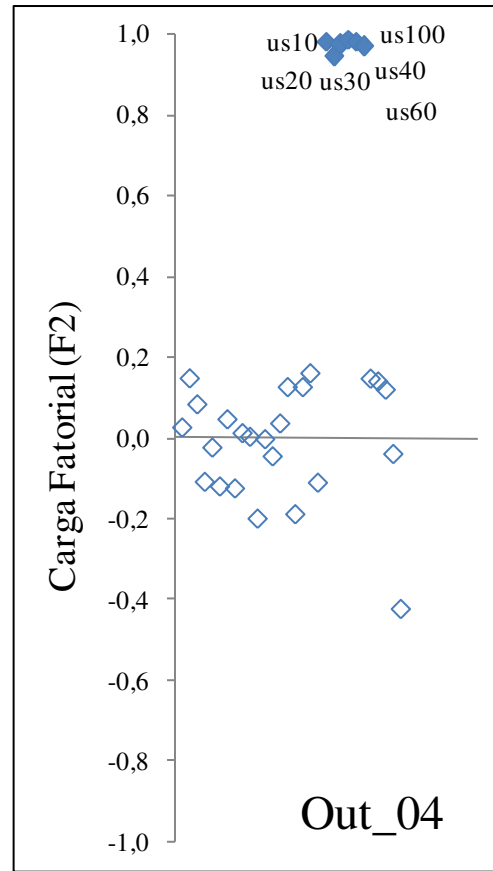


(c)

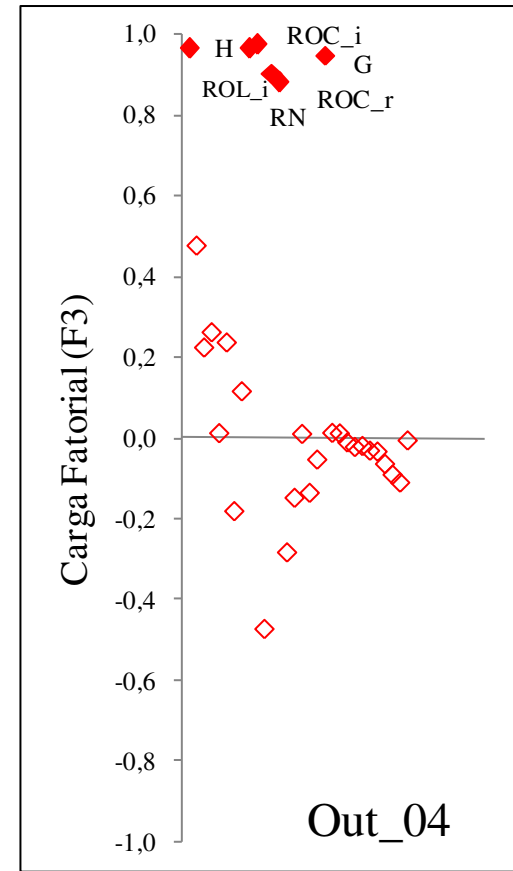
Figura 19: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Setembro de 2004.



(a)



(b)



(c)

Figura 20: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Outubro de 2004.



#### 4.2.4 Novembro de 2004

A representação diagramática para o mês de novembro de 2004 é apresentada na Figura 21. Mudanças substanciais são verificadas nos grupos de variáveis correlacionas com F2 e F3 mostrados nas Figuras 21-b e 21-c.

Comparadas com o mês de outubro observa-se que as variáveis LE e FE reaparecem no grupo de variáveis com cargas fatoriais elevadas no F2. Esse grupo inclui a umidade do solo em 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm.

##### 4.2.4.1 Considerações

Com o início do período chuvoso o teor de umidade do solo aumenta (Figura 22-a) nas camadas mais próximas da superfície e a folhagem das plantas volta a brotar. Com a mudança na estrutura do dossel e no teor de umidade do solo, os processos de transferência de água (evapotranspiração) incluindo o controle (resistência e condutância) pelos estômatos volta a ser dominante entre os mecanismos associados com o F2.

A distribuição vertical da temperatura e umidade do solo é mostrada na Figura 22. Um forte gradiente vertical da umidade do solo é visível na Figura 22-a, principalmente nas camadas mais próximas da superfície. Entretanto, a variabilidade ao longo dos dias é bastante fraca sendo nitidamente modificada em torno do dia 23. Chuvas registradas neste período, como pode ser visto no histograma ilustrado na Figura 22-c, justificam o aumento no teor de umidade do solo.

No caso da  $t_s$  nota-se uma forte variabilidade com a profundidade, porém, essa variabilidade é ainda mais pronunciada ao longo dos dias (Figura 22-b). Esse comportamento representa a resposta da superfície a um conjunto de fatores incluindo os efeitos da radiação (ROC e ROL). No entanto, o efeito da variabilidade no teor de vapor na atmosfera e quantidade de nuvens é mais pronunciado e tem influência direta na difusão turbulenta (efeitos térmicos). O domínio desses mecanismos explica a presença das variáveis  $t_s$  (2, 5, 10 e 20 cm) associadas com a DPV, TA, es, P, U e ROL\_e no F1.

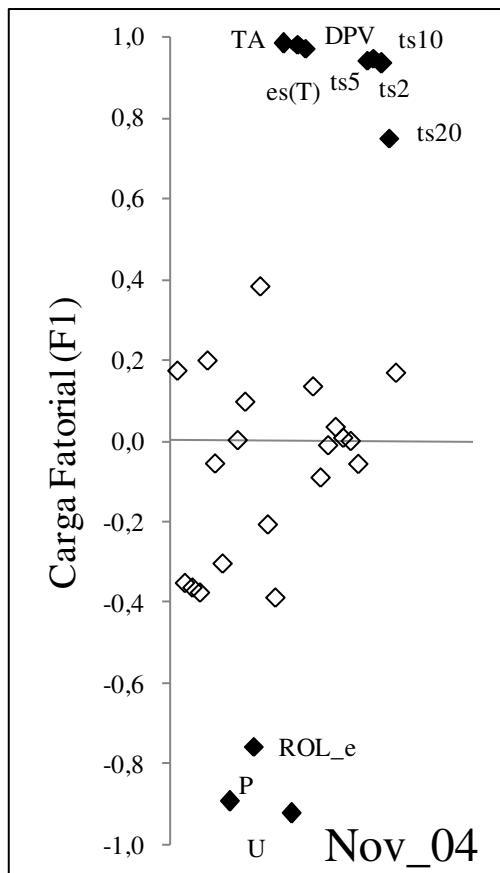
É importante ressaltar que a radiação de ondas longas emitida (ROL<sub>e</sub>) e a temperatura do solo (ts) são diretamente proporcionais. Conforme já mencionado anteriormente o sinal dessa variável tem significado físico e apesar da carga fatorial negativa com o F1 a correlação com as outras variáveis é na verdade positiva. A radiação de onda longa, proveniente do solo que absorve em torno de 90% da radiação nos dias ensolarados, faz com que a variação diurna seja bastante acentuada próximo ao solo.

Também é possível observar uma queda nos valores da temperatura do solo associada com o aumento no teor de umidade resultante da precipitação. Entretanto, o efeito do aumento no teor de umidade do solo, decorrente da chuva, sobre a variabilidade da ts parece insignificante quando comparados aos fatores mencionados anteriormente. A umidade do solo apresenta maior carga fatorial no F2.

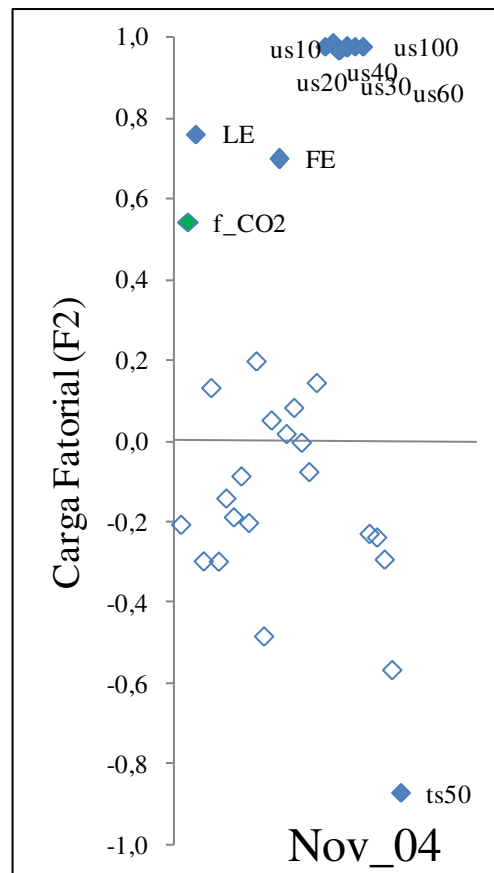
O conjunto de variáveis com cargas fatoriais elevadas no F2 indica que o controle pelos estômatos representa o mecanismo dominante no processo de transferência de vapor d'água para atmosfera. Esse resultado também mostra que a sazonalidade tem influência importante no processo de troca de água entre a superfície e a atmosfera. Conforme já foi dito anteriormente, em áreas de caatinga uma grande fração do solo fica exposta no período de estiagem levando à redução quase que total do processo de evapotranspiração. Com o início das chuvas o processo é inverso, em que se tem a resposta imediata da vegetação às primeiras chuvas com o rápido aumento na cobertura foliar.

Outra mudança significativa observada nos resultados obtidos para o mês de novembro é a presença de U\*, V e dir (respectivamente: velocidade de fricção, velocidade e direção do vento), entre as variáveis com maior carga fatorial no F3. A inclusão dessas variáveis está relacionada com a turbulência mecânica gerada pela ação do vento sobre a vegetação e rugosidade da superfície. A rugosidade aumenta com o aumento da cobertura foliar. Em geral a velocidade de fricção é mínima nas primeiras horas da manhã e máxima no final da tarde, estando associada aos intervalos de máxima e mínima velocidade do vento em superfície.

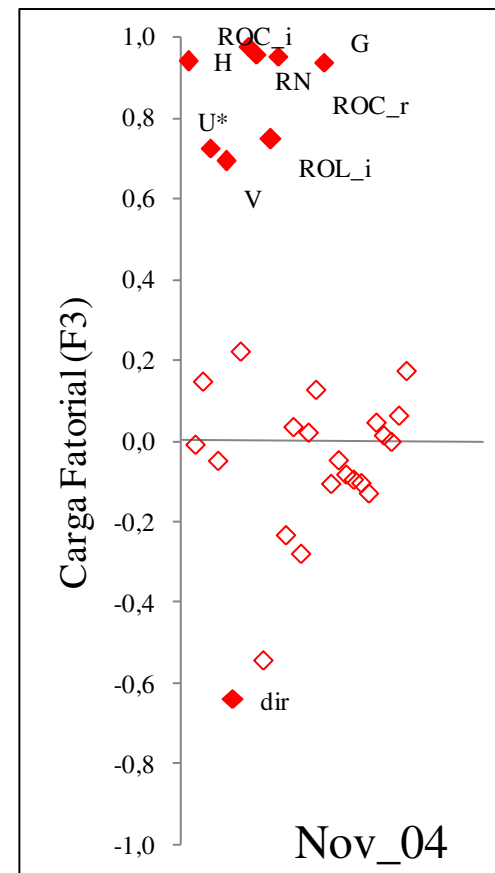
O regime de ventos da região está associado com a presença de sistemas precipitantes tais como Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), etc. No período chuvoso da região o vento é menos intenso e tem direção bastante variável, enquanto que na estação seca o vento é mais intenso e predominantemente de sudeste.



(a)

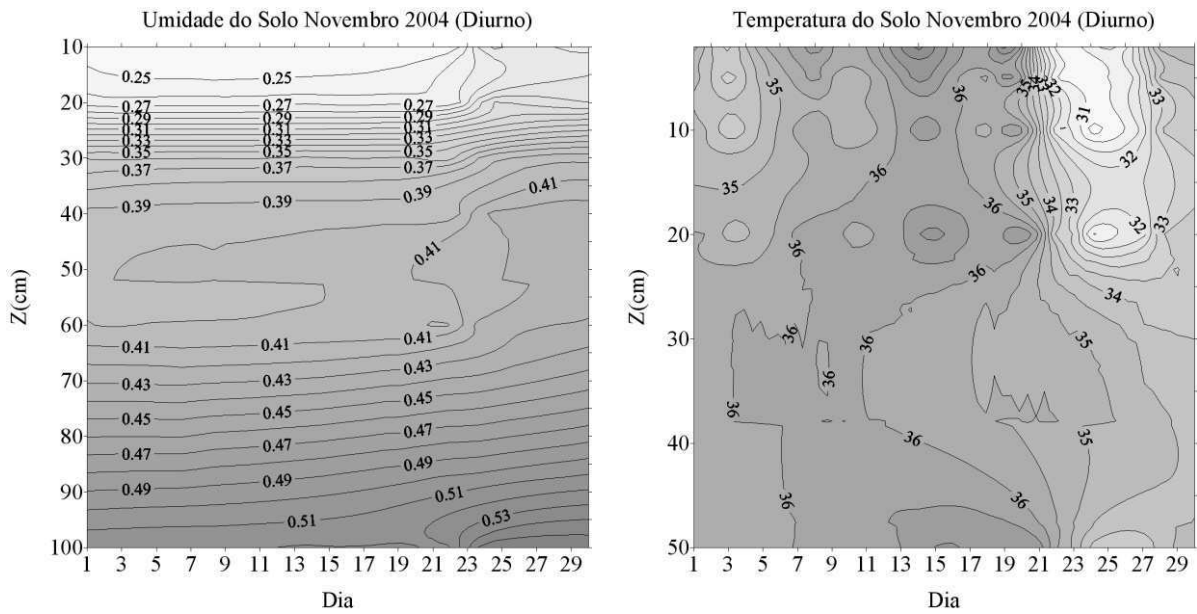


(b)



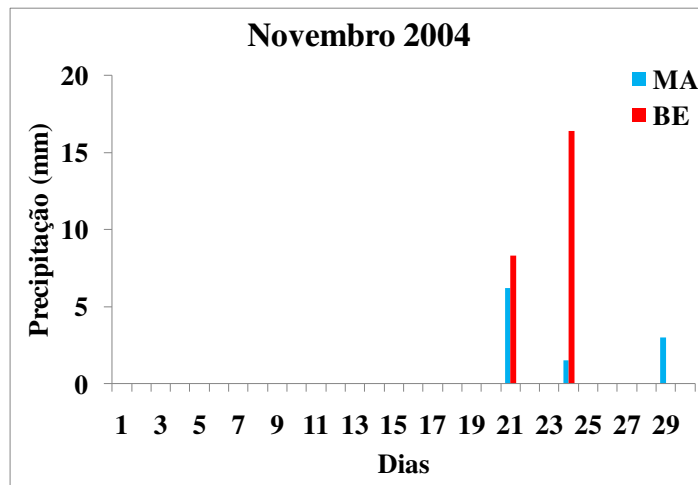
(c)

Figura 21: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Novembro de 2004.



(a)

(b)



(c)

Figura 22: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo. O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $m^3/m^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}C$ ). E histograma de precipitação em (mm) (c) para o mês de Novembro de 2004 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).

#### 4.2.5 Janeiro e Março de 2005

Os grupos de variáveis com cargas fatoriais significantes nos três primeiros fatores são mostrados nas Figuras 23 (Janeiro) e 24 (Março). Uma mudança importante é observada no padrão de distribuição das variáveis em relação ao F2 (Figuras 23-b e 24-b). Os grupos das variáveis com as cargas fatoriais mais significativas observados nos meses de janeiro e março de 2005 mostram uma inversão de sinal na correlação entre as variáveis LE, FE, us10 e us20 no segundo fator. Simultaneamente, observa-se a presença da variável ROL\_i positivamente correlacionada com F2. Independente da mudança de sinal, a associação entre as variáveis presentes nesta componente permite afirmar que os processos fisiológicos da vegetação (condutância e resistência pelos estômatos) ainda representam um mecanismo importante para explicar a variabilidade dos dados observada neste período (18,93% e 21,68% respectivamente).

Por outro lado, a mudança no padrão de organização dos grupos (inversão de sinal das cargas fatoriais e a inclusão da variável ROL\_i) revela uma alteração importante no mecanismo de troca de água entre o bioma e a atmosfera. A presença da variável ROL\_i com carga fatorial positiva neste fator (F2) e inversamente correlacionada com as variáveis LE, FE, us10 e us20 indica uma redução no controle da transferência de vapor d'água para atmosfera pelos estômatos. A quantidade da ROL\_i tem relação direta com o aumento na concentração de vapor na atmosfera.

Alguns autores definem esse mecanismo de maior ou menor controle fisiológico como “grau de desacoplamento” (JARVIS & McNAUGHTON, 1986; SOUZA FILHO *et al.*, 2005). O grau de acoplamento entre o dossel e atmosfera determina se a taxa de transpiração é controlada principalmente pelo déficit de pressão de vapor e condutância pelos estômatos (forte acoplamento) ou se pelo saldo de radiação (fraco acoplamento).

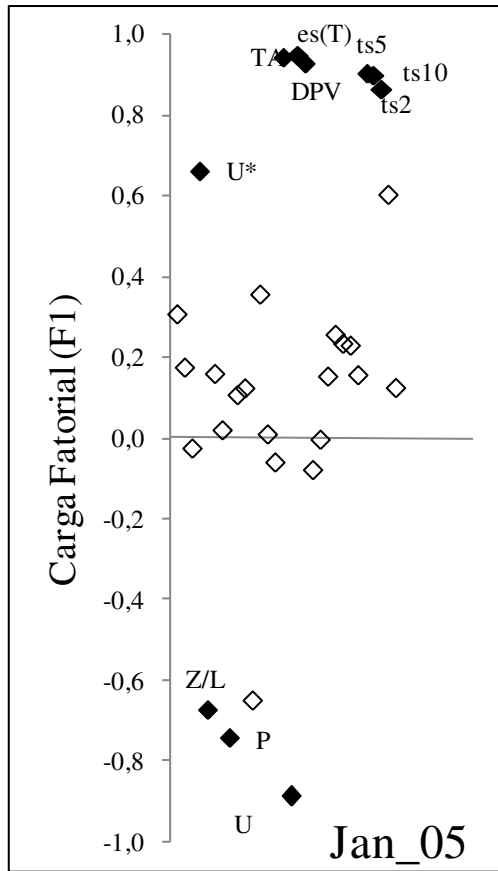
Com a redução no DPV em janeiro e março, o saldo de radiação passa a ter maior influência sobre os processos de transferência de água do bioma para a atmosfera. No período úmido tem-se normalmente um aumento da radiação líquida (RN) decorrente da queda no albedo em função do aumento da cobertura foliar.

SOUZA FILHO (2005) em um estudo sobre os mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração na Amazônia mostra que na estação úmida a influência da energia disponível (controle pelo saldo de radiação) é dominante na transpiração, tornando o controle pelos estômatos relativamente menor.

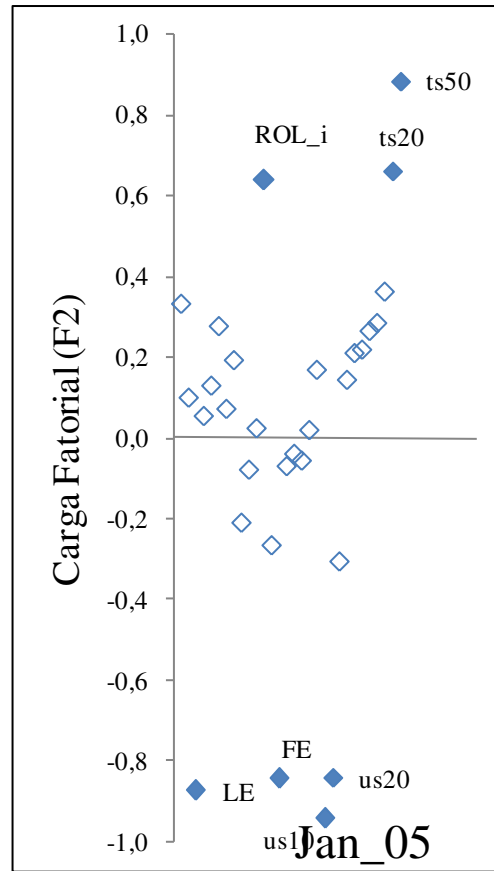
#### **4.2.5.1 Considerações**

Em janeiro e março de 2005, a precipitação na região foi fortemente influenciada pela atuação de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN). A grande variabilidade na posição deste sistema foi responsável por dias com chuva acima da média bem como por períodos com anomalias negativas de precipitação devido à influência da subsidência que ocorre no centro do vórtice (CLIMANÁLISE, 2005). Através das mensagens METAR, observou-se ainda grande variabilidade local no tipo e quantidade de nuvens. A elevação no teor de umidade da atmosfera aumenta a absorção da radiação de ondas longas. Essa mudança nas condições atmosféricas explica a presença da variável ROL<sub>i</sub> com alta carga fatorial no F2. Em dias com alta concentração de vapor na atmosfera o processo de evapotranspiração é mais sensível ao saldo de radiação.

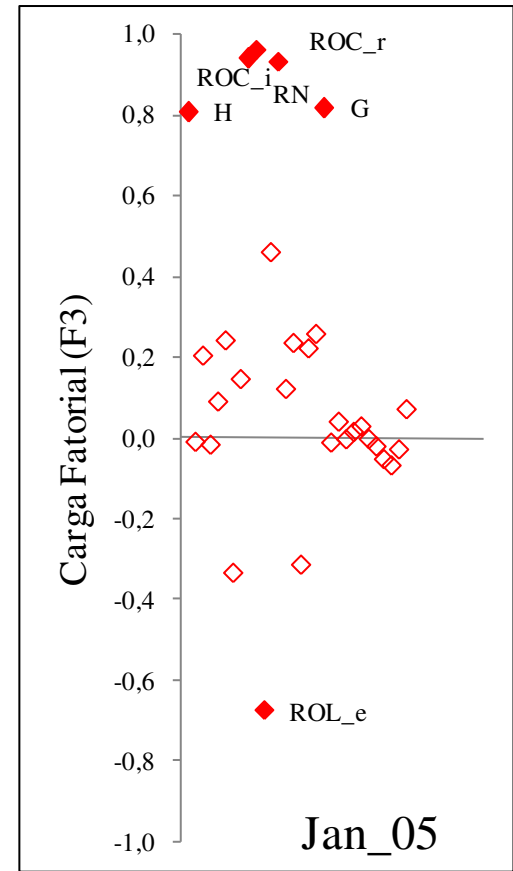
O histograma da precipitação diária e a variabilidade diurna dos perfis verticais da  $t_s$  e  $u_s$  são mostrados na Figura 26. Observa-se que apesar da visível influência da precipitação na variabilidade da temperatura e umidade do solo o efeito foi menos intenso do que aquele observado no mês de novembro.



(a)

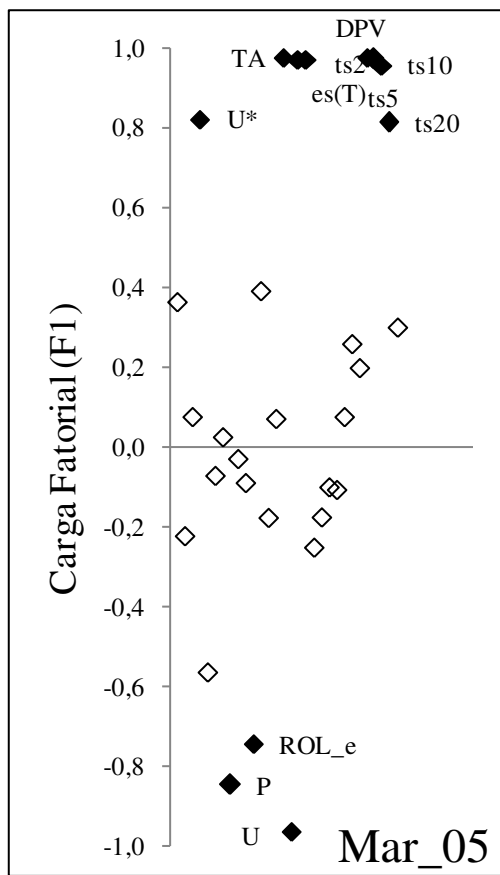


(b)

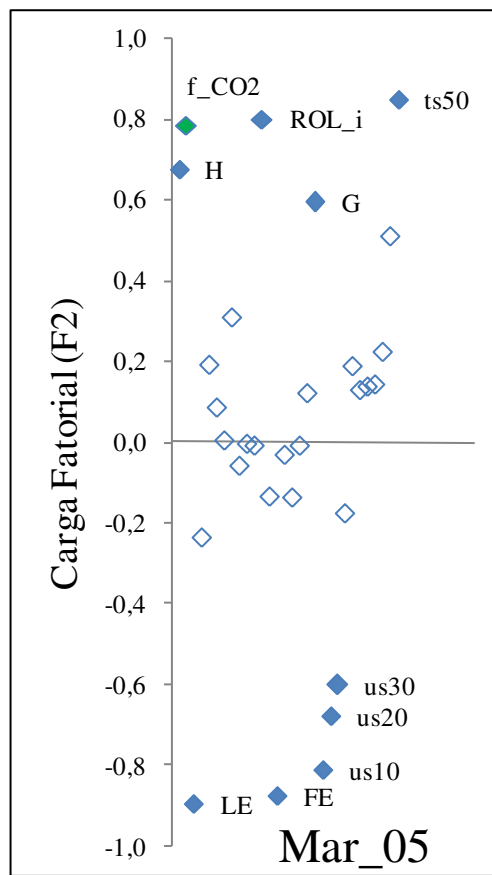


(c)

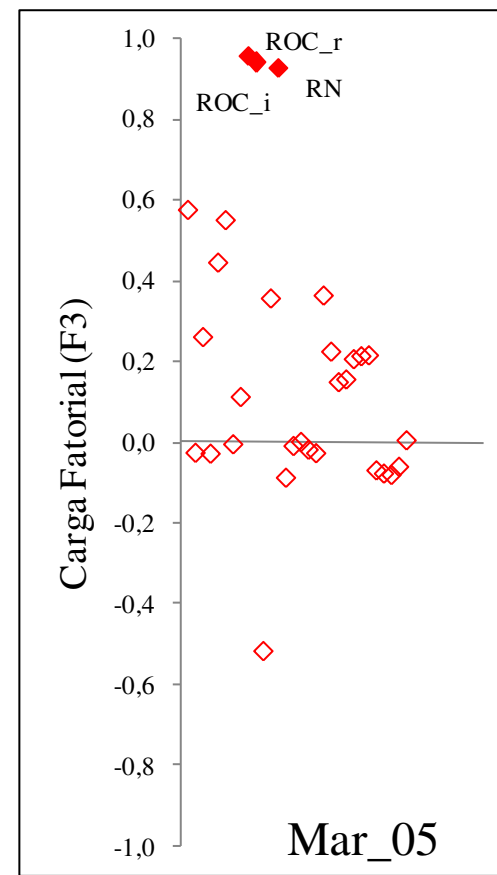
Figura 23: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Janeiro de 2005.



(a)



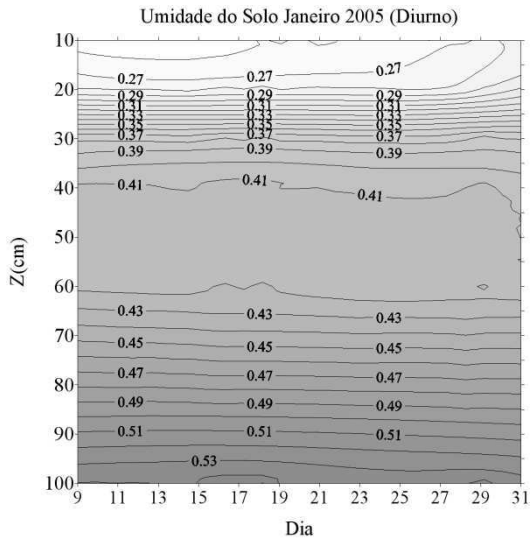
(b)



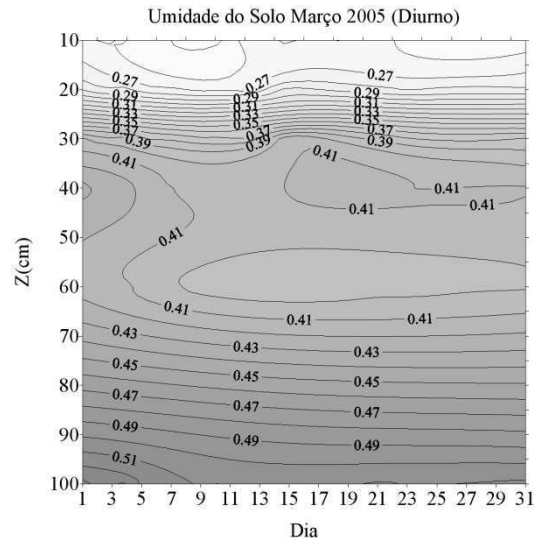
(c)

Figura 24: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Março de 2005.

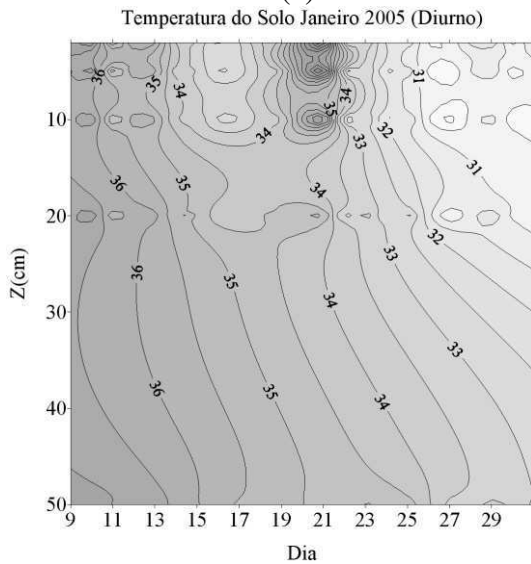




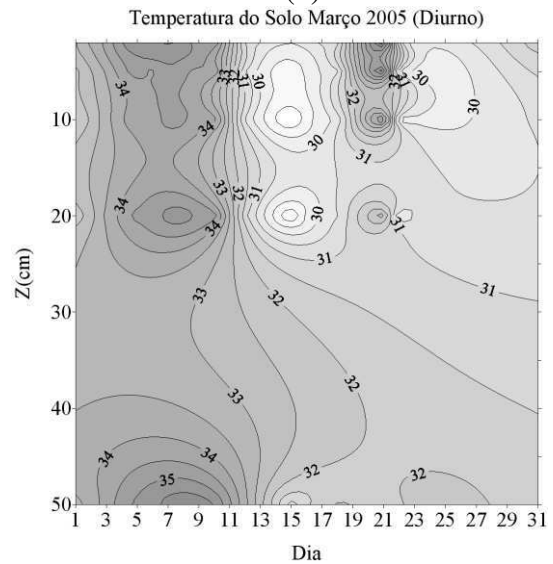
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 25: Perfis de umidade do solo para Janeiro (a) e Março (b) , temperatura do solo para Janeiro (c) e Março (d). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $m^3/m^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}C$ ).

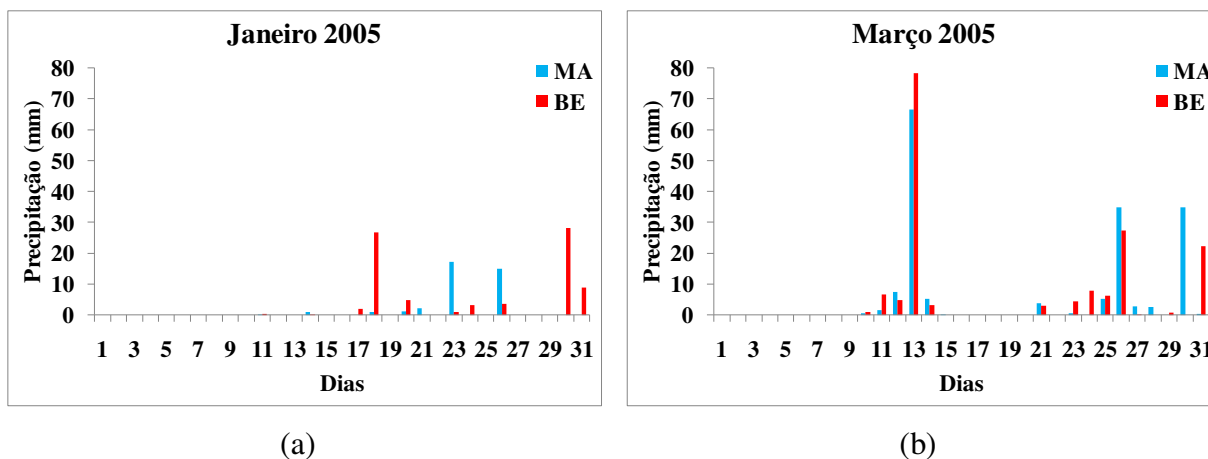


Figura 26: Histogramas de precipitação para Janeiro (a) e Março (b) de 2005 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).

#### 4.2.6 Fevereiro de 2005

A Figura 27 mostra os grupos das variáveis com cargas fatoriais significativas nos três primeiros fatores para o mês de fevereiro. De maneira geral o padrão de comportamento das variáveis é semelhante ao observado no mês de novembro, com exceção da presença da variável  $U^*$  (velocidade de fricção) no primeiro fator, que está intimamente relacionada ao aumento da rugosidade, já que nesse período as plantas da caatinga estão recobertas de folhas. E a variável  $ROL_i$  no segundo fator. Conforme discussão feita para os meses de janeiro e março a inclusão dessa variável indica a influência da variabilidade no teor de vapor da atmosfera nos processos de troca de água e energia entre a superfície e a atmosfera. A relação positiva entre as variáveis  $LE$ ,  $FE$ ,  $us_{10}$ ,  $us_{20}$ ,  $us_{30}$  e  $us_{40}$  e  $F2$  confirmam que os mecanismos fisiológicos da vegetação (resistência e condutância pelos estômatos) são dominantes nos processos de transferência de água para atmosfera.

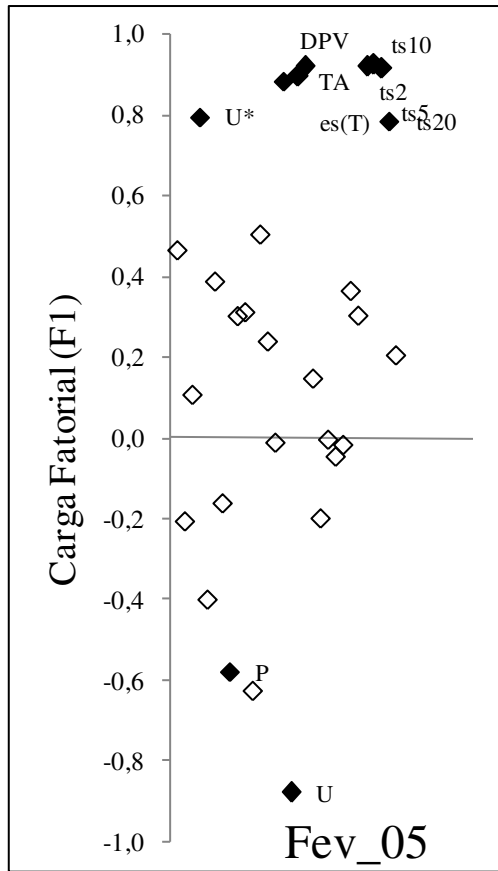
##### 4.2.6.1 Considerações

Fevereiro foi o mês com maior índice de precipitação no ano de 2005. A atuação de cavados em altos níveis representou a principal causa do total pluviométrico acima da média

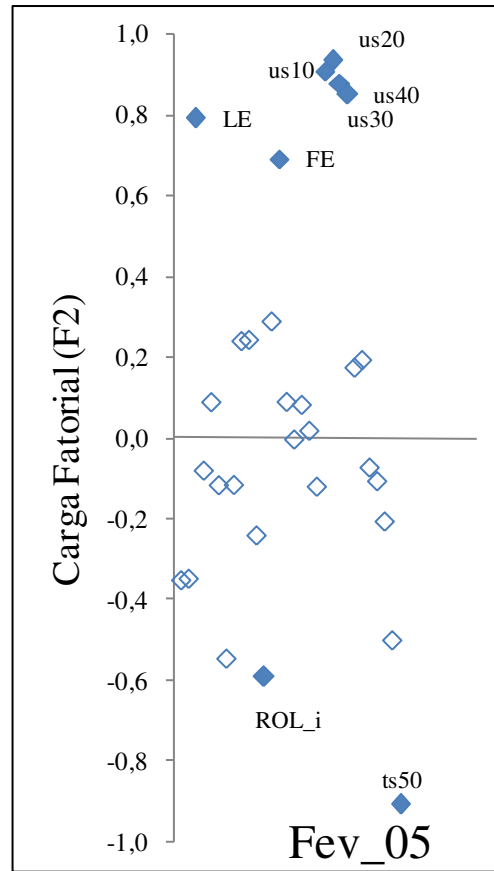
histórica da região. Apenas dois episódios de VCAN, influenciaram o tempo na região: o primeiro no período de 01 a 03 e o segundo nos dias 27 e 28.

A variabilidade diária dos perfis verticais da  $t_s$  e  $u_s$  é mostrada na Figura 28. A relação inversa entre as duas variáveis é visível nesta ilustração. Níveis com teor de umidade do solo mais alto correspondem a valores mais baixos da temperatura do solo. É também evidente nestas figuras que enquanto o teor de umidade do solo parece ser determinado pela precipitação e pela transferência de água no processo de evapotranspiração, outros fatores afetam de forma mais eficiente a variabilidade da temperatura no solo.

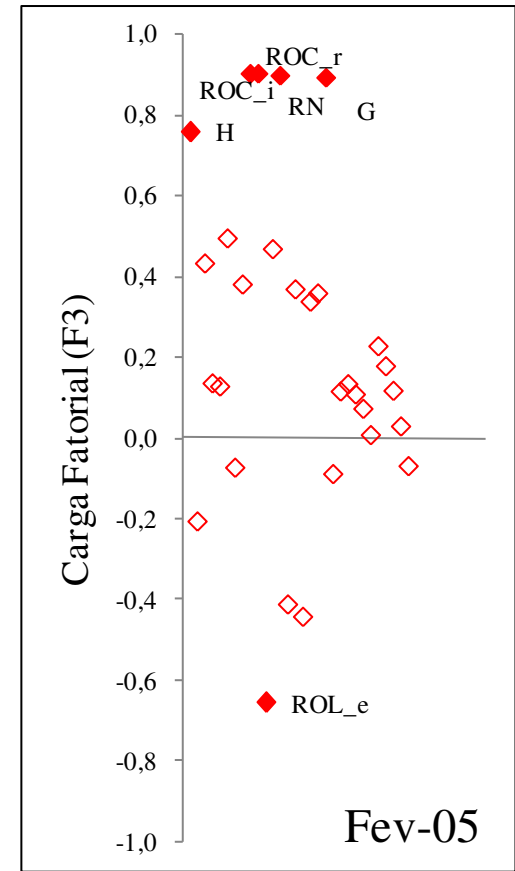
Com o aumento da fração de cobertura foliar e disponibilidade de água no solo tem-se também um maior saldo de radiação líquida (RN) e grande parte dessa energia é transformada em LE. Maior fluxo de calor latente indica condições favoráveis para formação e desenvolvimento de nuvens.



(a)

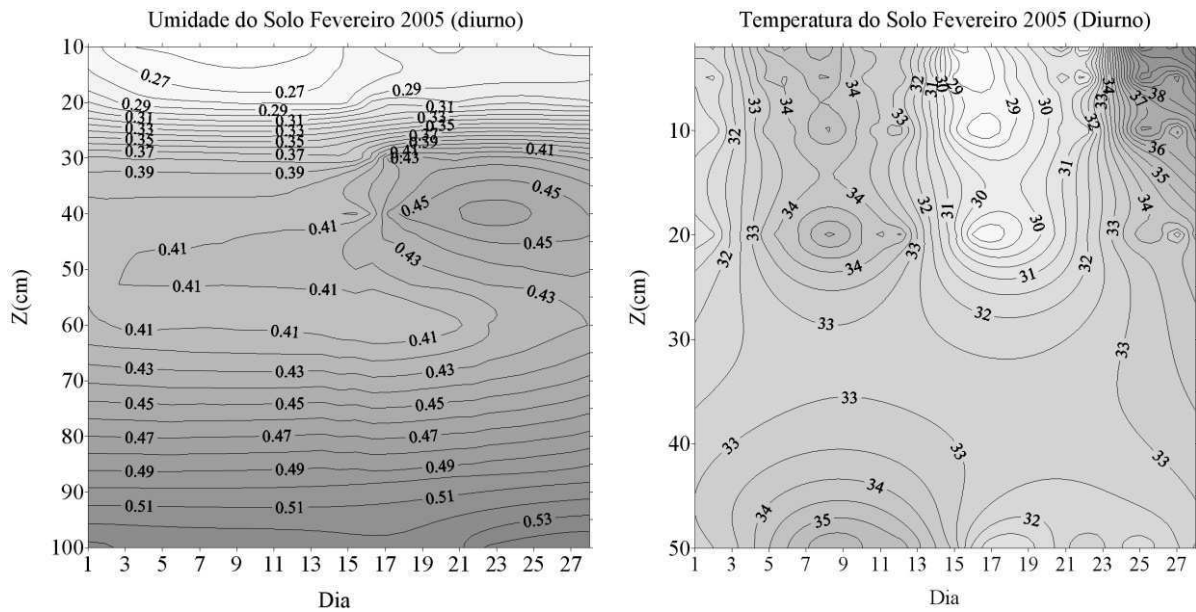


(b)



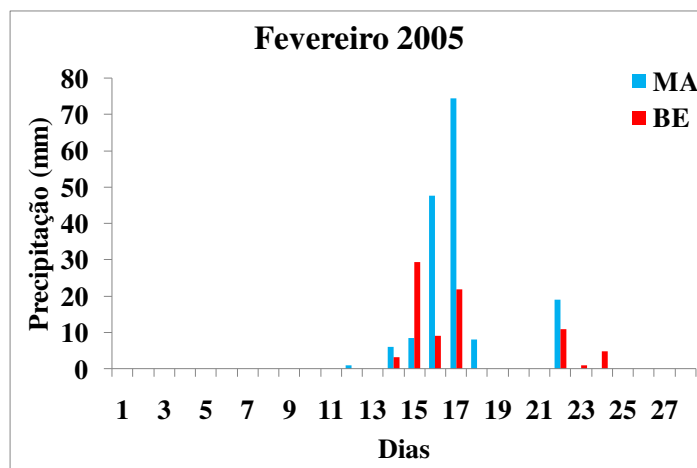
(c)

Figura 27: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Fevereiro de 2005.



(a)

(b)



(c)

Figura 28: Perfis de umidade (a) e temperatura (b) do solo, o intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}\text{C}$ ), e histograma de precipitação em mm para Fevereiro de 2005 das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).

#### 4.2.7 Abril e Maio de 2005

A distribuição dos grupos de variáveis com cargas fatoriais significativas nos três primeiros fatores é mostrada nas Figuras 29 e 30.

O posicionamento dos grupos de variáveis associadas com mecanismos de evapotranspiração e do aporte radiativo mostra nitidamente uma inversão no grau de influência desses fatores quando comparados com o padrão observado nas análises anteriores.

O grupo formado pelas variáveis ROC<sub>i</sub>, ROC<sub>r</sub>, ROL<sub>i</sub> e que caracteriza a influência do aporte radiativo sobre as trocas de energia e água entre a superfície e a atmosfera, antes associado com o F3, surge no F2 e explica 19,84% em abril e 21,27% em maio, da variabilidade nos dados.

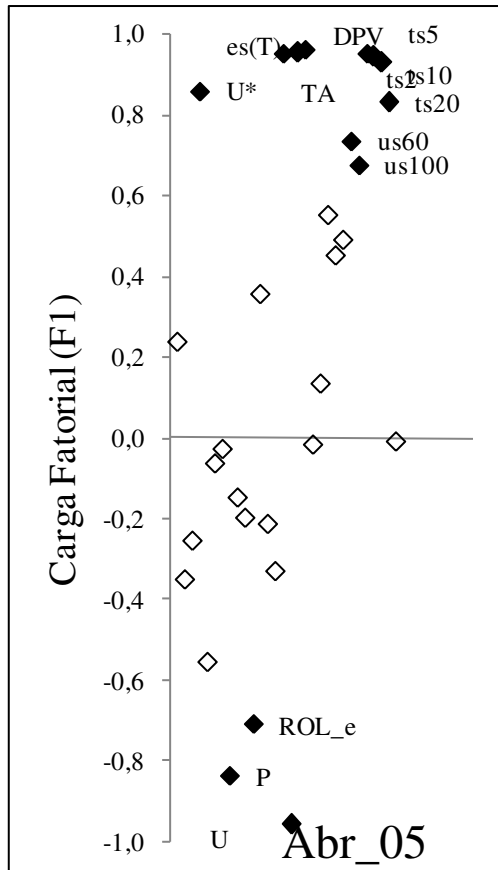
Os mecanismos de evapotranspiração/processos fisiológicos da vegetação (definidos em função da associação entre as variáveis LE, FE e us10) agora no F3 explicam respectivamente, 12,92% e 9,19% da variabilidade dos dados nos meses de abril e maio.

#### **4.2.7.1 Considerações**

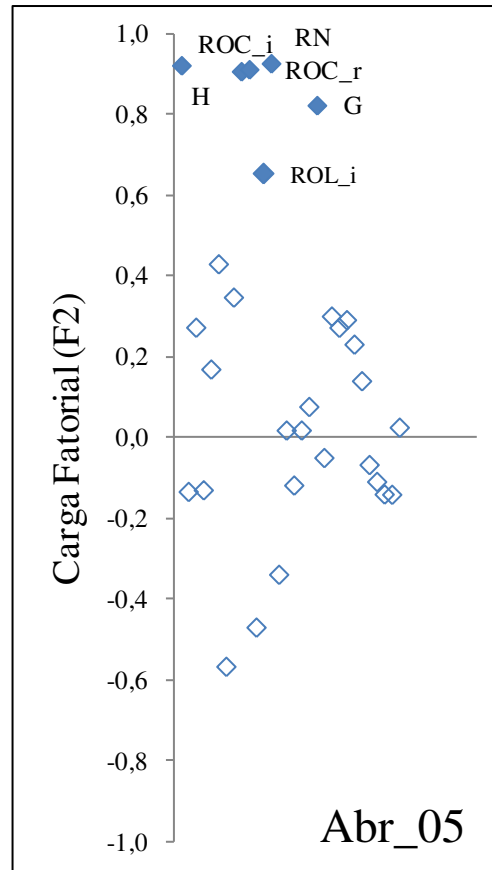
Perfis verticais da temperatura e umidade do solo e histogramas de precipitação para os meses de abril e maio são mostrados na Figura 31 e 32.

A variabilidade diária da umidade do solo é insignificante quando comparada as oscilações vistas nos perfis da temperatura do solo. Uma relação mais direta entre as duas variáveis é observada apenas em torno dos dias 13 de abril e 10 de maio. Verifica-se um aumento nos valores da umidade do solo e uma queda na temperatura associada com a precipitação registrada no período.

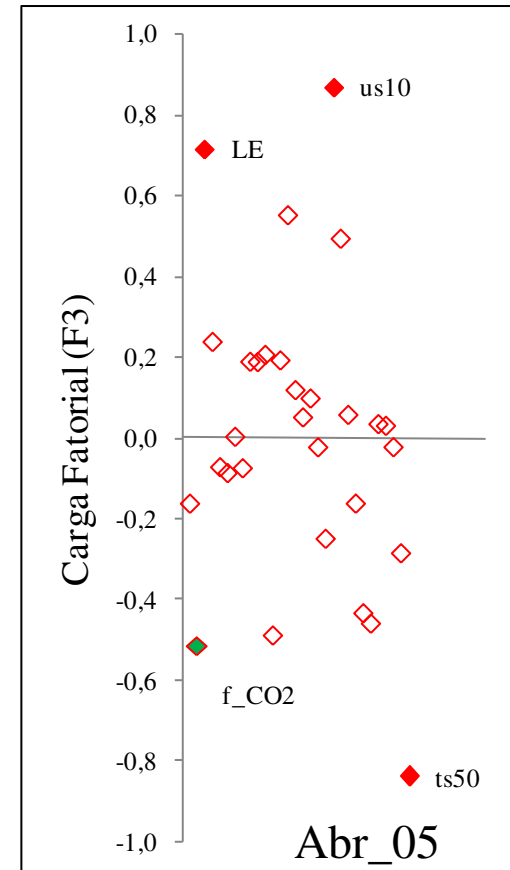
A relação entre o efeito da precipitação e o aumento no teor de umidade do solo seria mais evidente devido a diferença no intervalo de tempo das medições. Os valores mostrados nos histogramas correspondem ao total diário de precipitação. Esses valores podem corresponder ao total de precipitação do período noturno, diurno ou de ambos, enquanto que os valores da umidade e temperatura do solo representam medições apenas dos períodos da manhã e tarde.



(a)

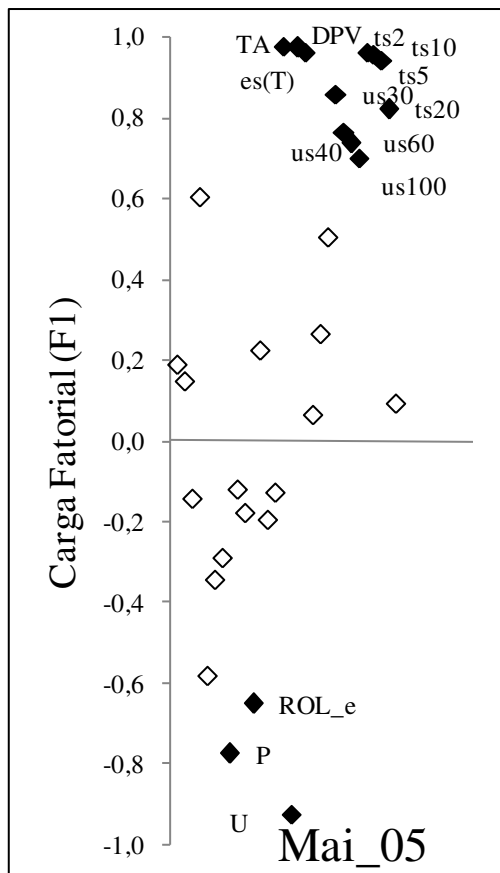


(b)

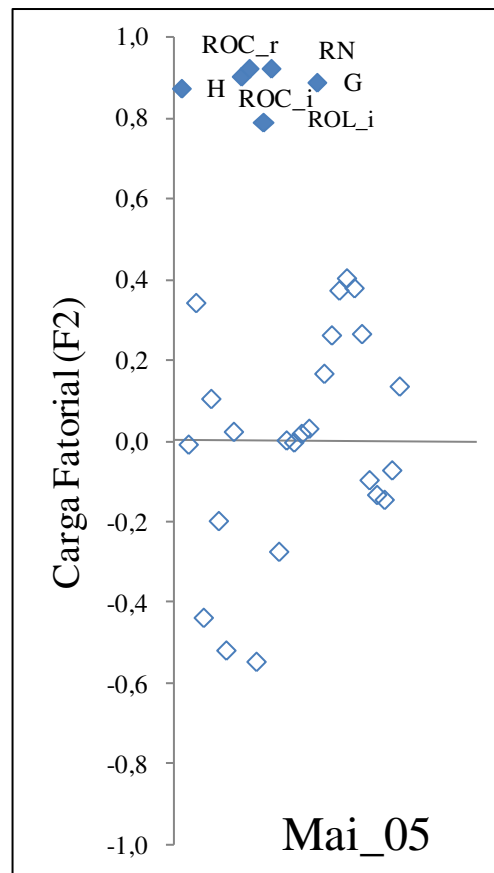


(c)

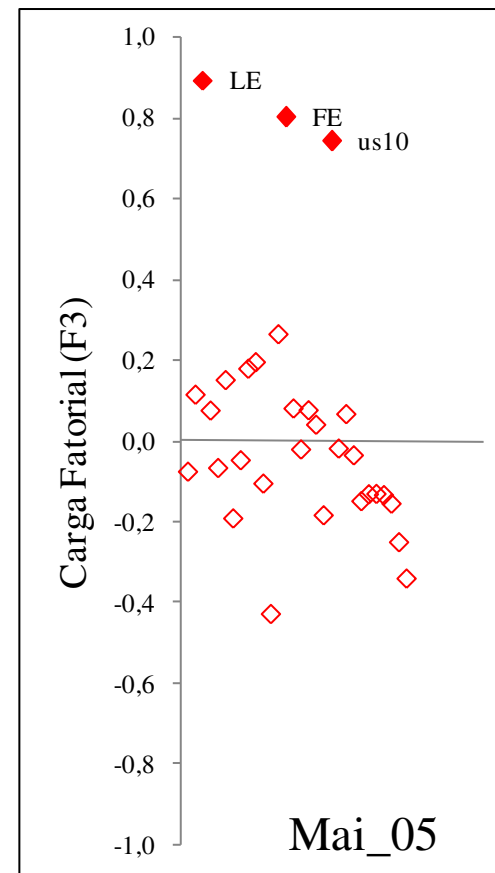
Figura 29: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Abril de 2005.



(a)



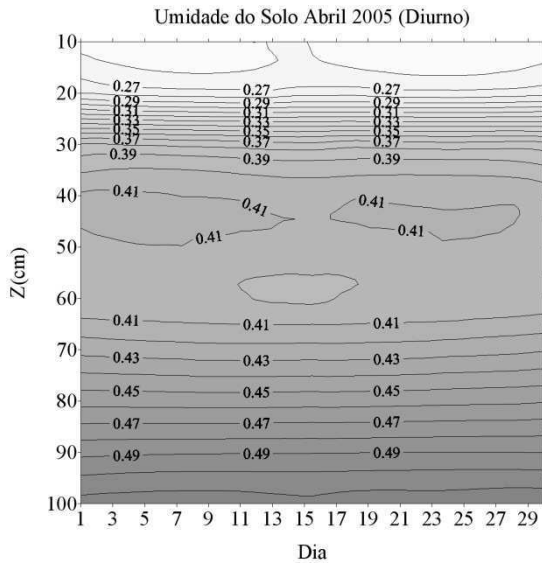
(b)



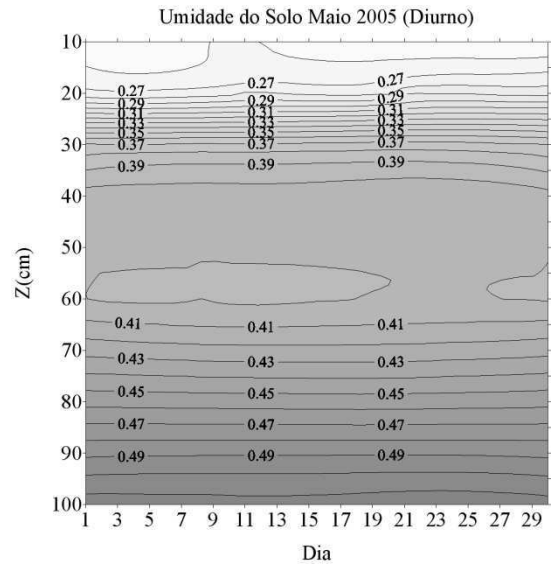
(c)

Figura 30: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Maio de 2005.

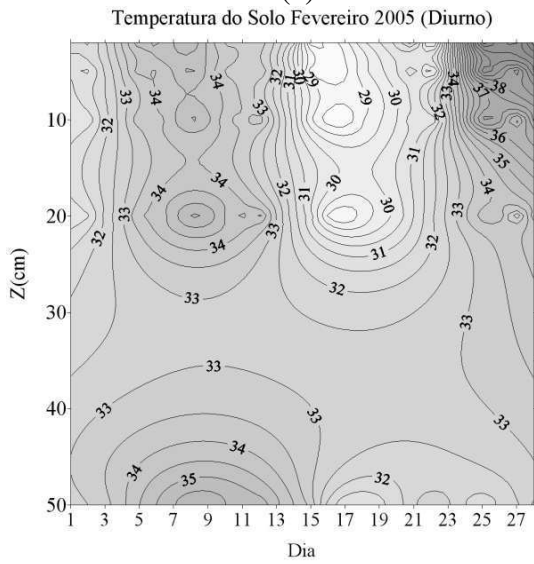




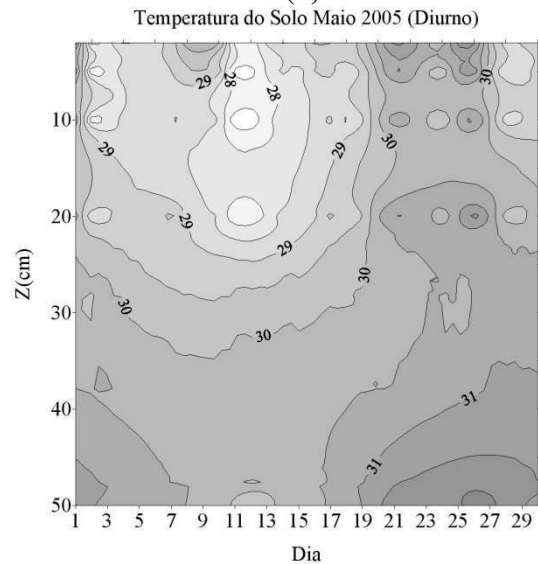
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 31: Perfis de umidade do solo para Abril (a) e Maio (b) , temperatura do solo para Abril (c) e Maio (d) e histogramas de precipitação para Abril (e) e Maio (f). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $m^3/m^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}C$ ).

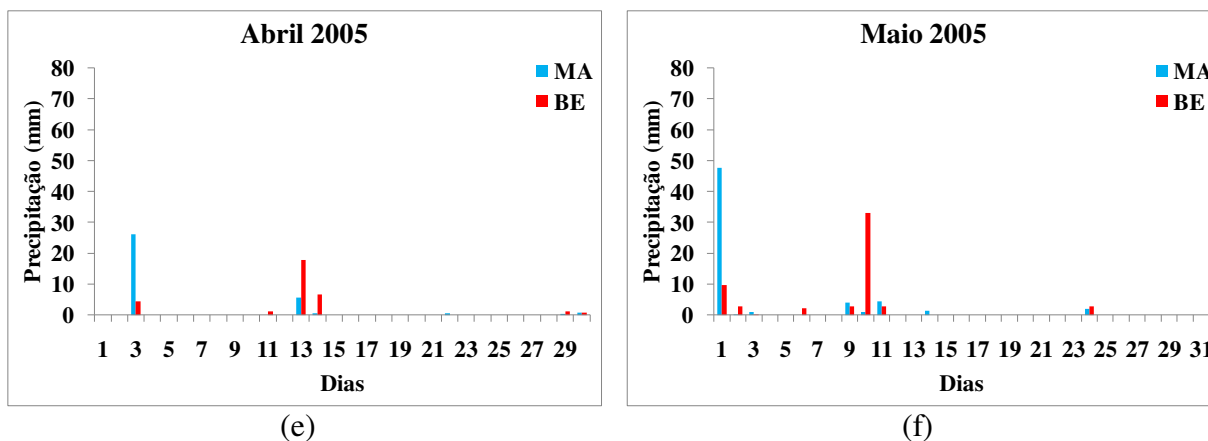


Figura 32: Histogramas de precipitação para Abril (e) e Maio (f) das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE).

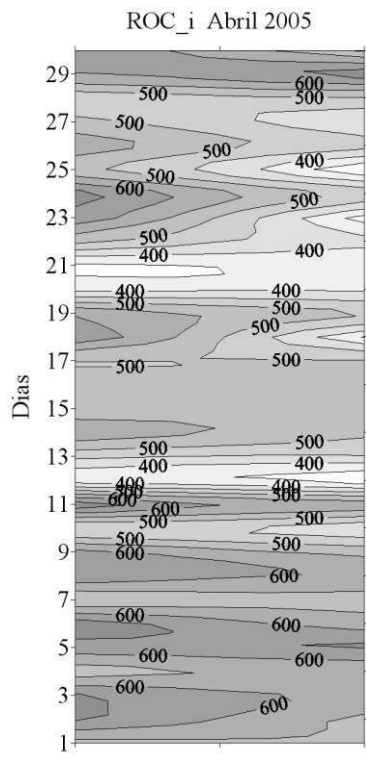
A grande variabilidade observada nos valores da temperatura do solo tem forte influência das características dinâmica e termodinâmica da CLC. Em outras palavras, fatores como nebulosidade, teor de vapor na atmosfera e grau de instabilidade (processos convectivos) tem efeito marcante sobre o balanço de energia em superfície e difusão de calor no solo.

A variação na quantidade e tipo de nuvens afeta a radiação incidente em superfície e tem efeito sobre o RN, fluxo de calor do solo e temperatura do solo como pode ser visto na evolução diária da ROC<sub>i</sub> e ROL<sub>i</sub> mostrada na Figura 33.

No mês de abril essa relação é mais evidente entre os dias 14 e 17. No perfil vertical da temperatura do solo verifica-se uma redução nos valores da temperatura na camada entre a superfície e a profundidade de aproximadamente 30 cm (Figura 31-c-d). Na evolução diária das variáveis ROC<sub>i</sub> e ROL<sub>i</sub> mostradas na Figura 33-a-c, observa-se uma queda nos valores da ROL<sub>i</sub> e um aumento nos valores da ROC<sub>i</sub>. A causa desse comportamento está associada com a variabilidade da nebulosidade no período.

Como as nuvens refletem a radiação de ondas curtas incidentes, absorvem radiação de ondas longas da atmosfera e reenvia para superfície na forma de ROL<sub>i</sub>, afetam diretamente os valores da temperatura do solo. A queda nos valores da ROL<sub>i</sub> pode ser explicado em função da redução da nebulosidade e no teor de vapor d'água. A ocorrência de precipitação é uma forma de reduzir a quantidade de nuvens.

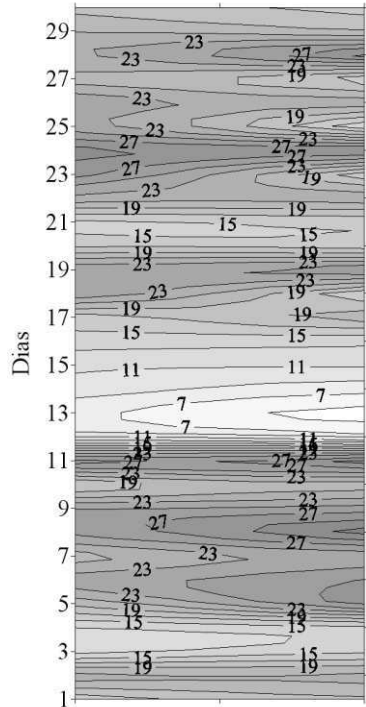
Uma maior parcela da radiação líquida (RN) é convertida em calor sensível sendo fortemente influenciada pela radiação de ondas curtas (ROC<sub>i</sub> e ROC<sub>r</sub>). Esse resultado explica as altas cargas fatoriais das variáveis no F2.



Manhã/Tarde

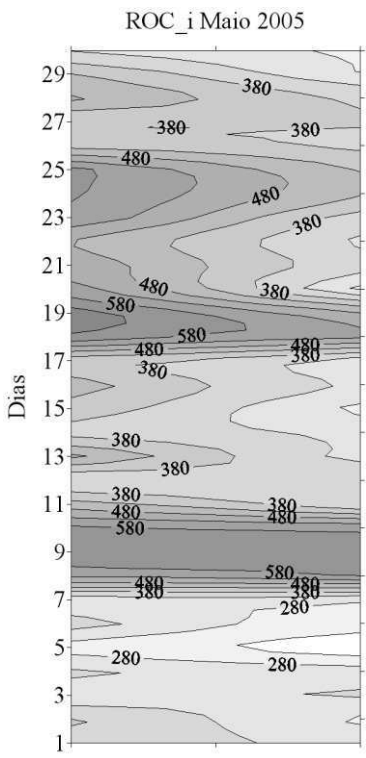
(a)

ROL\_i Abril 2005



Manhã/Tarde

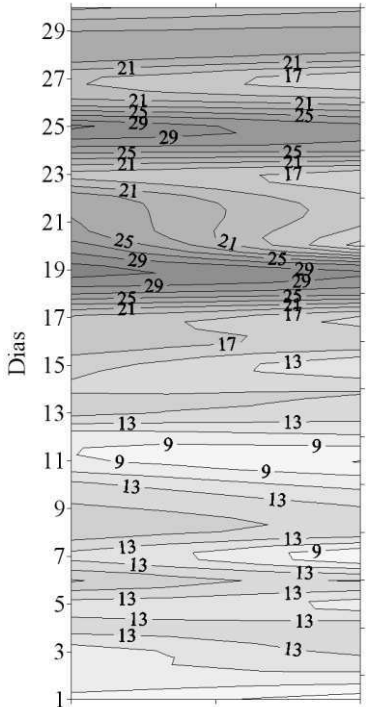
(c)



Manhã/Tarde

(b)

ROL\_i Maio 2005



Manhã/Tarde

(d)

Figura 33: Variação média diurna da Radiação de onda curta e de onda longa incidente em  $W/m^2$  para os meses de Abril (a) e (c) e Maio (b) e (d) respectivamente.

#### 4.2.8 Junho e Julho de 2005

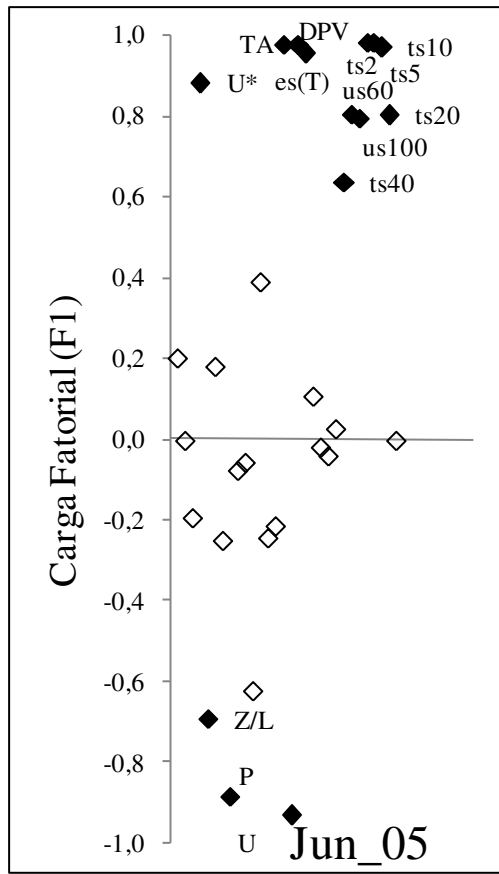
A distribuição dos grupos das variáveis com cargas fatoriais significativas nos três primeiros fatores para os meses de junho e julho de 2005 é mostrada nas Figura 34 e 35. De maneira geral o padrão de comportamento das variáveis do mês de junho é semelhante ao observado na maioria dos meses em que as variáveis que identificam os processos associados com a evapotranspiração/controlado estomático são fortemente correlacionadas com o F2. Por outro lado, observa-se a presença das variáveis V e dir (velocidade e direção do vento) negativamente correlacionadas com este fator. O vento tem relação direta com o processo de advecção de massas de ar e pode influenciar na abertura ou fechamento dos estômatos dependendo do teor de umidade do ar advectado.

A precipitação registrada no mês de junho foi bem acima da normal climatológica (10 mm) e da média histórica (Bebedouro = 11 e Mandacaru = 7 mm) como pode ser visto no histograma apresentado na Figura 37-a. Observa-se que as chuvas foram concentradas em torno do dia 15 cujo total diário registrado em Bebedouro atingiu o valor de 33 mm. A chuva produziu forte variabilidade na umidade do solo principalmente na camada entre a superfície e 40 cm de profundidade. A mudança no teor de umidade do solo em associação com alterações na distribuição de vapor na atmosfera intensifica o controle pelos estômatos sobre a transpiração. Esse resultado explica as cargas fatoriais significativas das variáveis us10, us20, us30, LE e FE no F2 (Figura 34-b).

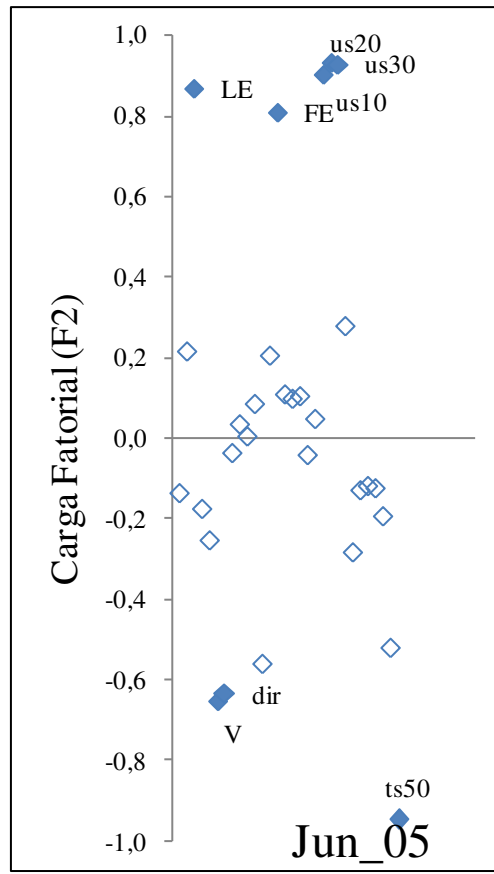
Mensagens METAR elaboradas no aeroporto de Petrolina (SBPL) mostram registro de chuva no dia 15 de junho e alta variabilidade na quantidade e tipo de nuvens entre os dias 14 e 17. Os dados codificados nas mensagens METAR também mostram grande variabilidade nos valores horários da velocidade (entre 3 e 10 kt) e direção do vento (entre 130 e 160 graus) neste período. Esse resultado é um forte indicativo de mudanças nas condições atmosféricas resultante da penetração de massa de ar com características típicas de sistemas frontais.

A distribuição de variáveis em relação aos primeiros fatores para junho e julho de 2005 mostra um padrão típico do período de estiagem. O grupo de variáveis com cargas fatoriais elevadas no F1 mostram o domínio dos mecanismos associados com difusão turbulenta e transportes convectivos na CLC. A presença da variável  $Z/L$ , com carga fatorial negativa e do  $U^*$  com carga fatorial positiva no F1 mostra que os efeitos da turbulência

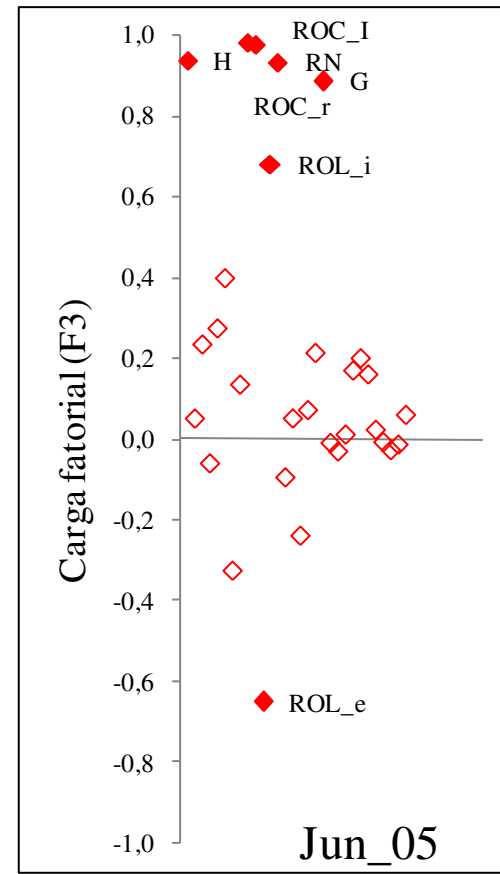
mecânica são relevantes neste período. O comprimento de Monin-Obukhov exprime a relação entre o fluxo turbulento de origem mecânica e convectiva, e é comumente usado para avaliar o grau de instabilidade atmosférica. Os dados mostram uma variabilidade substancial entre valores ligeiramente negativos (domínio da turbulência mecânica) e valores ligeiramente positivos (a turbulência é amortecida pela estratificação térmica).



(a)

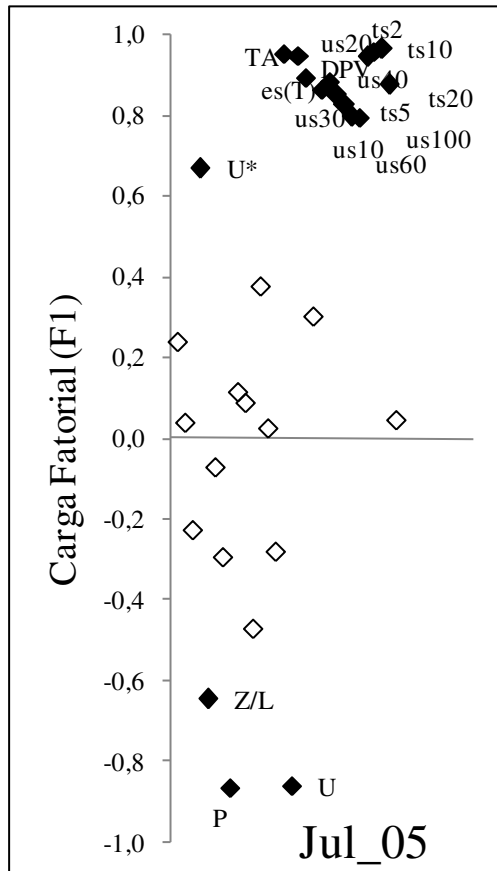


(b)

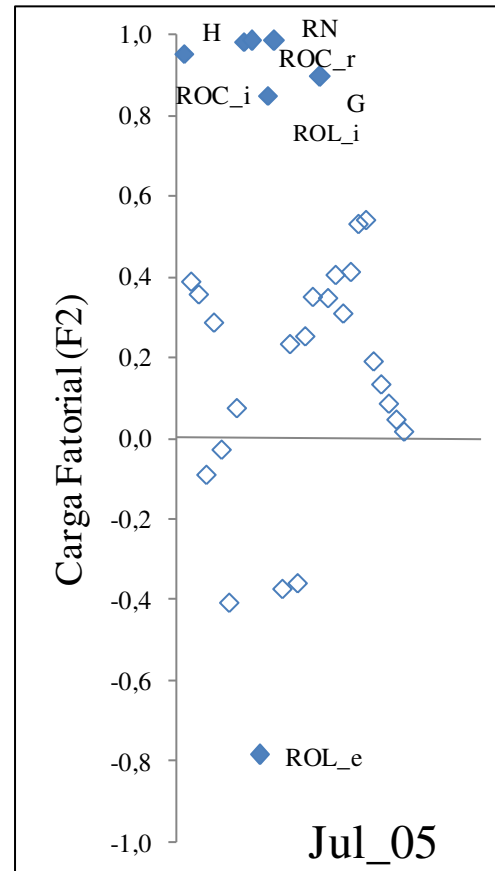


(c)

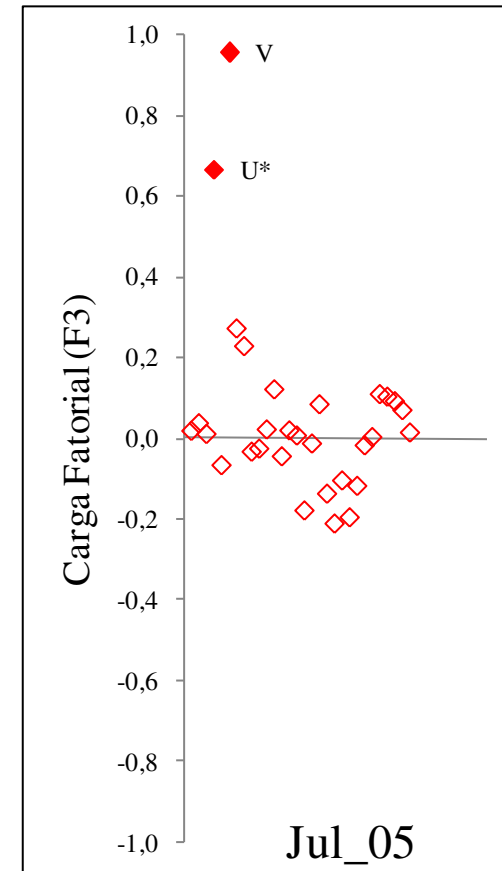
Figura 34: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Junho de 2005.



(a)



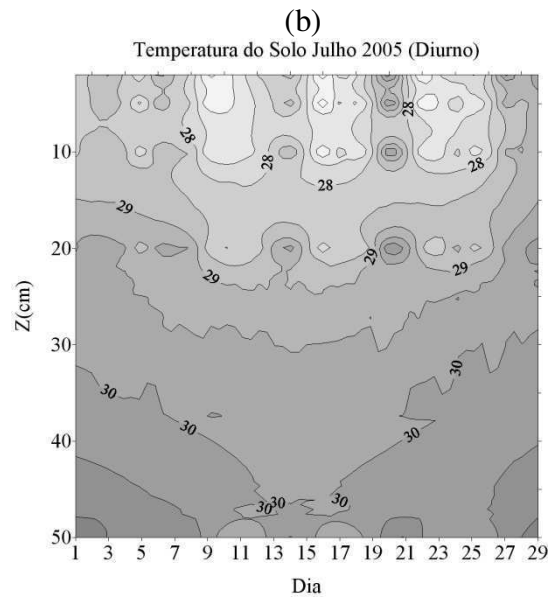
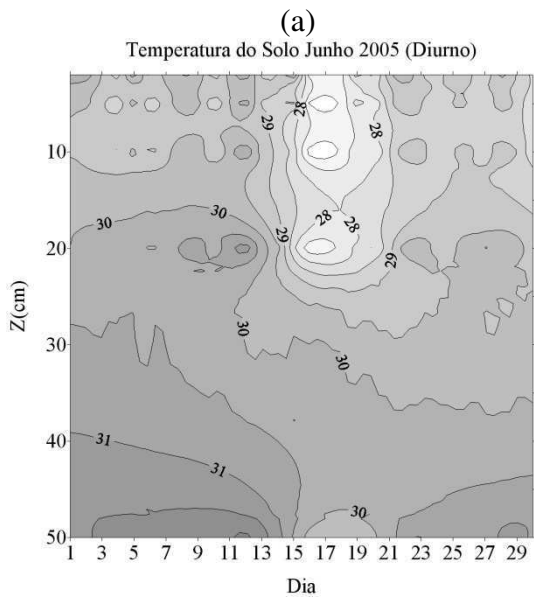
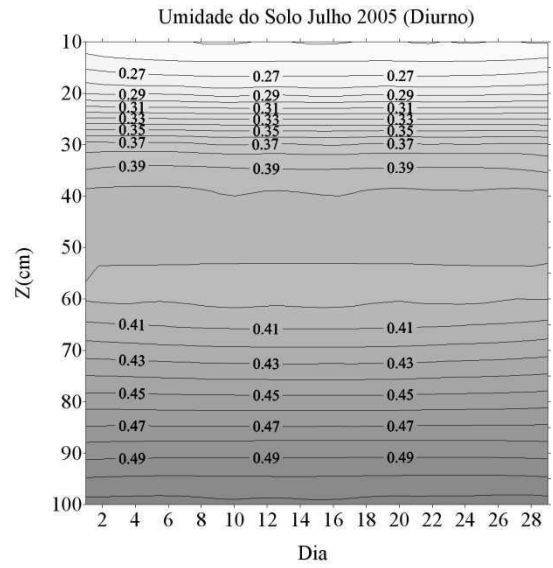
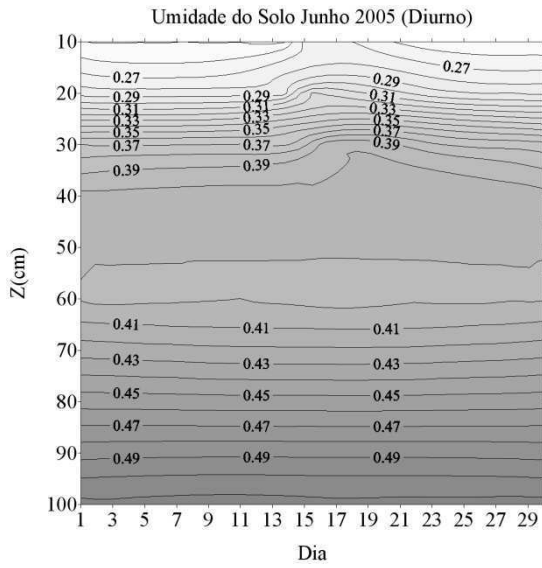
(b)



(c)

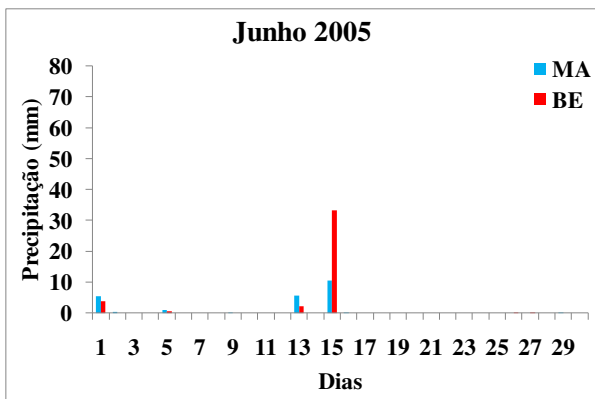
Figura 35: Representação diagramática das cargas fatoriais referentes ao primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) fatores para o mês de Julho de 2005.



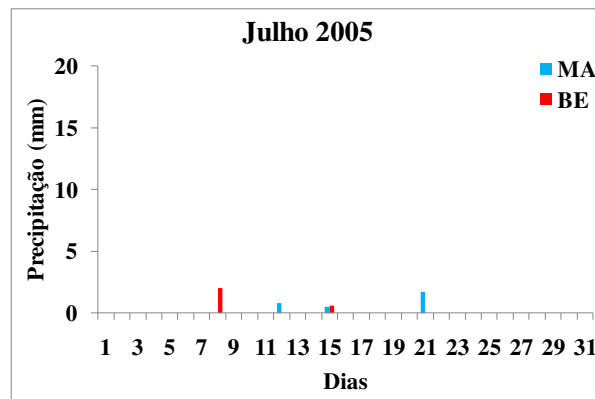


(a) (b) (c) (d)

Figura 36: Perfis de umidade do solo para Junho (a) e Julho (b) , temperatura do solo para Junho (c) e Julho (d). O intervalo de análise da umidade do solo é de 0,01 ( $m^3/m^3$ ) e da temperatura do solo é de 0,5 ( $^{\circ}C$ ).



(e)



(f)

Figura 37: Histogramas de precipitação para Junho (a) e Julho (b) das estações de Mandacaru (MA) e Bebedouro (BE)..

## 5 SUMÁRIO E CONCLUSÕES

A precipitação mostrou um ciclo sazonal bem definido com o período chuvoso de outubro a abril e o período seco de maio a setembro.

A maior parte da energia absorvida pela superfície foi liberada na forma de calor sensível, refletindo a resposta da vegetação a insuficiência hídrica da região.

No período de estiagem, embora com taxas mínimas, o bioma atua como emissor de CO<sub>2</sub>. No período chuvoso o bioma atua como sumidouro de carbono da atmosfera (seqüestro de CO<sub>2</sub>). Esse resultado reflete a importância da conservação do bioma como controle do aquecimento global.

Três fatores se mostraram preponderantes nos processos de troca de massa (CO<sub>2</sub> + vapor d'água) e energia entre a caatinga e a atmosfera no período diurno:

- Primeiro Fator (F1): Transportes turbulentos na CLC gerados principalmente pelo efeito térmico, células convectivas e concentração de vapor na atmosfera.
- Segundo Fator (F2): Processos fisiológicos (condutância/resistência estomática) a concentração de vapor na atmosfera tem efeito decisivo sobre esse controle.
- Terceiro Fator (F3): Contribuição do aporte radiativo (balanço de radiação) nos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera em áreas de caatinga

Os fluxos turbulentos na CLC são substancialmente influenciados por sistemas atmosféricos de grande e mesoescala.

**Agosto de 2004:** em períodos de estresse hídrico severo, outros fatores físicos, possivelmente associados com a estrutura do solo atuam em conjunto com a vegetação para retenção da umidade no solo.

**Janeiro e Março de 2005:** Em períodos com grande quantidade de vapor d'água na atmosfera, houve uma redução no controle da transferência de água entre a vegetação e a atmosfera.

**Fevereiro de 2005:** A ocorrência das chuvas reduziu a concentração de vapor na atmosfera (por condensação) e com isso voltou a existir o alto controle estomático.

**Abril e Maio de 2005:** A grande variabilidade na quantidade e tipos de nuvens no período, intensificou os processos de reflexão, absorção e emissão de radiação na atmosfera e o balanço de energia em superfície.

Sugestões:

- Aplicar a técnica da AF aos dados coletados no período noturno com a mesma resolução temporal usada neste estudo e utilizando o período completo de medições com uma maior resolução temporal;
- Repetir as análises estatísticas substituindo a rotação de eixos VARIMAX utilizada no estudo pela rotação OBLÍQUA. É comum encontrar na literatura trabalhos com afirmativas de que a rotação oblíqua permite que os fatores mostrem mais corretamente grupos de variáveis inter-correlacionadas, embora tornando as operações matemáticas mais complexas.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUBINET, M.; GRELE, A.; IBROM, A.; RANNIK, Ü.; MONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A. S.; MARTIN, P. H.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, Ch.; CLEMENT, R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRÜNWALD, T.; MORGENSTERN, K.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SNIJDERS, W.; VALENTINI, R.; VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water Exchange of forest: the EUROFLUX methodology. **Advances in Ecological Research**, v. 30, p. 113-175, 2000.

AZEVEDO, P.V.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SOUSA, I. F.; MACIEL, G. F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 403-410, 1990.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Ed. UFSC., v.1. 425p. 1994.

BLAD, L.B. & BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, Madison, v.6, p.277-81, 1972.

CORRAR, L. J. PAULO,; E. FILHO,; J. M. D. **Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. Ed. Atlas. São Paulo, 2007.

CORREIA, M. F. **Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do Rio São Francisco: um estudo numérico e observacional**. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, 2001.

CORREIA, M. F.; SILVA DIAS, M. A. F. Variação do Nível do Reservatório de Sobradinho e seu Impacto Sobre o Clima da Região. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.157 - 168, 2003.

CORREIA, M. F.; SILVA DIAS, M. A. F; SILVA ARAGÃO, M. R. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho Lake area. Part two: a regional modeling study. **Meteorology and Atmospheric Physics**, vol 94, p. 115 – 128, 2006.

ECODESENVOLVIMENTO. **Desmatamento: Caatinga perdeu 2% de território em seis anos.** Disponível em: <[www.ecodesenvolvimento.org.br](http://www.ecodesenvolvimento.org.br)>. Acesso em: 3 de nov. 2010.

GARAYALDE, E. J. G.; SILVA, M. G. A. da; TAVARES, SÁ. A. de. Classificação meso-climática da região sul do Brasil pela análise de componentes principais. **In: Congresso Interamericano de Meteorologia, 1., Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília, 1996.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Multivariate Data Analysis: With Readings.** Prentice Hall, New Jersey, 1995.

JARVIS, P. G.; McNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. **Advances Ecology Research**, New York, v. 15, p.1-49, 1986.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, **Psychometrika**, 23, 187-200, 1958.

MANLY, B. J. F. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução.** 3.ed. Porto Alegre: Bookman, p.105-115, 2008.

MOURA, M. S. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SOARES, J. M. Balanço de radiação sobre um pomar de goiabeiras. **In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Anais, Foz do Iguaçu, 2002.

OLIVEIRA, M. B. L.; SANTOS, A. J. B.; MANZI, A. O.; ALVALÁ, R. C. S.; CORREIA, M. F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 166-174, 2006.

OLIVEIRA-GALVÃO, A. L. C. **Reconhecimento da susceptibilidade ao desenvolvimento de processos de desertificação no nordeste brasileiro, a partir da integração de indicadores ambientais.** 2001. 280 p. Tese (Doutorado em processamento de dados em geologia e análise ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília. 2001.

PANOSSO, A. R.; SCALA JÚNIOR, N. LA; PEREIRA, G. T.; ZANINI, J. R. Uso de krigagem ordinária e co-krigagem para estimar a emissão de CO<sub>2</sub> do solo após molhamento. In: **XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Anais, Gramado, SBCS, 2007. CD-ROM.

RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Âmbito Cultural Edições Ltda., 1997

SIQUEIRA, A. A. **Avaliação do Microclima em Área de Caatinga e Área Reflorestada com Algaroba no Semi-árido**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande-PB, 1997.

SOUZA, S. S. **Impactos Climáticos Regionais da Mudança de Vegetação no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos: INPE, 2006.

SOUZA, S. S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M. G.; AMORIM, M. C.; MENEZES, P. C. P.; PINTO, C. A. M. Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real na área de atuação da SUDENE – PROCLIMA. **Boletim da Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.1, p.15-24, 2001.

SOUZA FILHO, J. D. M.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C .P. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Acta Amazonica**, v.35: 223-229, 2005.

STANHILL, G.; COX, J. T. H.; MORESHET, S. The effect of crop and climate factors on the radiation balance of on irrigated maize crop. **Journal of Applied Ecology**, London, v.5, p. 707-20, 1968.

## APÊNDICE A

Tabela 4: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Junho e Agosto de 2004, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

Matriz dos Fatores Rotacionados (Diurno)												
Fatores	Julho (2004)						Agosto (2004)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
H	,260	,066	<b>,942</b>	-,091	-,031	-,030	,224	-,083	<b>,948</b>	,006	,001	-,008
f_CO2	<b>,557</b>	-,125	,090	,449	-,334	,219	<b>,866</b>	,047	,313	-,064	-,049	-,101
LE	-,284	<b>,721</b>	,223	-,070	-,452	,180	-,419	,098	,347	-,109	<b>,742</b>	-,144
U*	-,010	-,365	,012	<b>,856</b>	,136	-,167	-,200	,069	,009	<b>,961</b>	,026	,061
Z/L	-,208	-,110	-,099	<b>,838</b>	-,001	,047	-,035	,025	-,072	,002	,023	<b>,976</b>
V	-,007	-,365	-,012	<b>,848</b>	,177	-,139	-,161	,138	-,055	<b>,953</b>	-,067	-,060
dir	-,158	-,125	,059	,204	<b>,866</b>	,165	-,439	,407	-,111	,209	-,346	-,244
P	<b>-,714</b>	-,472	-,161	,257	,198	-,130	<b>-,890</b>	-,067	-,139	,298	-,023	-,029
ROC_i	,044	,204	<b>,973</b>	-,012	-,023	,069	,034	-,011	<b>,991</b>	-,020	,039	-,029
ROC_r	-,001	,180	<b>,975</b>	,018	-,001	,077	,036	-,072	<b>,986</b>	-,025	,024	-,019
ROL_i	,347	-,275	<b>,825</b>	,107	,155	-,042	,503	-,163	<b>,797</b>	,140	-,066	-,031
ROL_e	-,467	-,284	<b>-,767</b>	-,075	,035	-,068	-,567	-,323	<b>-,647</b>	,090	,126	,002
RN	-,131	,199	<b>,955</b>	-,115	-,072	,049	-,123	-,156	<b>,971</b>	-,039	,041	-,006
FE	-,381	<b>,562</b>	-,456	,037	-,269	,269	-,158	-,025	-,187	,042	<b>,888</b>	,089
TA	<b>,876</b>	,348	,170	-,145	-,161	-,098	<b>,926</b>	,267	,113	-,103	-,025	-,008
U	<b>-,862</b>	-,169	-,302	-,188	-,007	,163	<b>-,873</b>	-,367	-,112	-,007	,153	,009
es(T)	<b>,871</b>	,342	,195	-,149	-,176	-,086	<b>,925</b>	,254	,114	-,136	-,021	-,023
DPV	<b>,884</b>	,242	,300	,052	-,080	-,117	<b>,917</b>	,307	,114	-,096	-,081	-,039
G	,499	,069	<b>,796</b>	-,121	,051	-,137	,313	,133	<b>,886</b>	-,103	-,053	-,024
us10	,345	<b>,850</b>	,184	-,263	-,066	-,137	,183	<b>,969</b>	-,002	,088	,030	-,001
us20	,501	<b>,806</b>	,188	-,194	-,029	-,134	,392	<b>,916</b>	,030	,044	-,010	-,013
us30	,302	<b>,907</b>	,124	-,220	-,041	-,079	,179	<b>,972</b>	-,081	,075	,004	-,010
us40	,315	<b>,909</b>	,119	-,187	,008	-,088	,235	<b>,946</b>	-,012	,002	-,023	,017
us60	,321	<b>,905</b>	,130	-,182	,011	-,099	,279	<b>,937</b>	,019	-,022	-,040	,023
us100	,163	<b>,954</b>	,063	-,139	-,008	-,154	,084	<b>,966</b>	-,047	,000	-,019	,028
ts2	<b>,972</b>	,163	,102	-,023	,027	-,066	<b>,954</b>	,241	,053	,018	-,097	,011
ts5	<b>,976</b>	,159	,075	-,037	,033	-,045	<b>,964</b>	,204	,038	,005	-,100	,015
ts10	<b>,980</b>	,137	,050	-,070	,047	,010	<b>,976</b>	,115	,042	-,026	-,107	,023
ts20	<b>,899</b>	-,019	,018	-,197	,122	,300	<b>,870</b>	-,265	,132	-,156	-,131	,052
ts50	-,013	-,352	,096	-,179	,150	<b>,849</b>	,420	<b>-,644</b>	,269	-,328	-,142	,063



Tabela 5: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Setembro e Outubro de 2004, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

<b>Matriz dos Fatores Rotacionados (2004)</b>											
Fatores	Setembro (2004)					Outubro (2004)					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
H	,160	,100	<b>,950</b>	,039	-,050	-,100	,026	<b>,965</b>	,103	-,029	-,112
f_CO2	,425	,021	,415	,426	,079	<b>,529</b>	,147	,477	-,209	,309	,357
LE	-,301	-,096	<b>,602</b>	,151	-,140	-,348	,083	,224	,036	<b>,776</b>	-,064
U*	-,303	-,064	,256	<b>,873</b>	-,032	-,440	-,109	,262	<b>,803</b>	,065	-,048
Z/L	-,148	-,152	-,235	<b>,767</b>	-,062	-,120	-,024	,011	<b>,919</b>	,047	,102
V	-,262	-,035	,162	<b>,892</b>	,077	-,296	-,120	,236	<b>,851</b>	,020	,020
dir	-,066	-,138	,039	,025	<b>,930</b>	-,057	,046	-,183	,164	-,229	<b>,866</b>
P	<b>-,834</b>	-,178	-,045	,168	,089	<b>-,908</b>	-,125	,115	,217	,095	-,005
ROC_i	-,027	,052	<b>,974</b>	-,037	,066	-,202	,012	<b>,965</b>	,108	,076	-,038
ROC_r	-,012	,069	<b>,971</b>	-,015	,082	-,143	,002	<b>,975</b>	,105	,058	-,029
ROL_i	,445	,292	<b>,811</b>	-,018	,063	,287	-,003	<b>,902</b>	,213	-,098	-,070
ROL_e	<b>-,775</b>	-,007	-,541	,075	-,059	<b>-,785</b>	-,200	-,476	-,097	,135	,085
RN	-,258	,016	<b>,954</b>	,073	,023	-,442	-,046	<b>,881</b>	,061	,109	-,062
FE	-,298	-,167	-,159	,230	,091	-,362	,036	-,285	,096	<b>,757</b>	-,139
TA	<b>,952</b>	,220	-,014	-,121	-,096	<b>,946</b>	,126	-,150	-,167	-,089	-,020
U	<b>-,972</b>	-,042	-,158	,001	,083	<b>-,949</b>	-,189	,009	-,026	,173	,023
es(T)	<b>,951</b>	,224	-,004	-,132	-,075	<b>,951</b>	,126	-,137	-,158	-,086	-,016
DPV	<b>,976</b>	,129	,087	-,076	-,054	<b>,969</b>	,160	-,055	-,045	-,123	-,023
G	,370	,016	<b>,898</b>	,024	-,070	,015	-,111	<b>,947</b>	-,038	-,081	,058
us10	,326	<b>,917</b>	,116	-,065	-,116	,165	<b>,981</b>	,012	-,031	,011	,004
us20	,436	<b>,875</b>	,117	-,069	-,080	,314	<b>,945</b>	,010	-,038	-,033	-,064
us30	,324	<b>,923</b>	,079	-,035	-,072	,163	<b>,975</b>	-,012	-,006	-,025	-,105
us40	,234	<b>,959</b>	,071	-,045	-,059	,104	<b>,988</b>	-,023	-,051	,034	-,010
us60	,233	<b>,959</b>	,079	-,052	-,066	,119	<b>,983</b>	-,021	-,061	,042	,037
us100	,146	<b>,975</b>	,058	-,063	-,079	,041	<b>,969</b>	-,033	-,052	,073	,112
ts2	<b>,952</b>	,221	-,022	-,167	,018	<b>,970</b>	,147	-,035	-,092	-,130	-,026
ts5	<b>,946</b>	,239	-,054	-,166	,029	<b>,970</b>	,140	-,066	-,106	-,120	-,020
ts10	<b>,927</b>	,285	-,087	-,163	,058	<b>,968</b>	,119	-,092	-,135	-,101	-,007
ts20	<b>,711</b>	,535	-,147	-,141	,217	<b>,878</b>	-,040	-,112	-,306	,021	,100
ts50	-,278	<b>,735</b>	-,104	-,096	,273	-,052	-,424	-,007	-,396	,295	,465

Tabela 6: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Novembro de 2004 e Janeiro de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

<b>Matriz dos Fatores Rotacionados (Diurno)</b>										
Fatores	Novembro (2004)				Janeiro (2005)					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
H	,175	-,210	<b>,939</b>	-,001	,306	,332	<b>,807</b>	,153	,183	,181
f_CO2	-,351	<b>,541</b>	-,009	,005	,174	,099	-,010	,154	,234	<b>,763</b>
LE	-,363	<b>,760</b>	,147	-,233	-,027	<b>-,874</b>	,204	-,240	-,036	-,116
U*	-,375	-,300	<b>,724</b>	,266	<b>,662</b>	,054	-,017	,340	,541	-,015
Z/L	,200	,130	-,049	<b>,866</b>	<b>-,674</b>	,129	,090	,099	,309	,390
V	-,055	-,301	<b>,692</b>	,404	,158	,277	,241	,232	<b>,810</b>	,030
dir	-,303	-,144	<b>-,641</b>	-,132	,019	,071	-,334	,034	,351	<b>-,761</b>
P	<b>-,893</b>	-,191	,221	-,045	<b>-,744</b>	,192	,146	-,341	-,157	-,002
ROC_i	,003	-,089	<b>,977</b>	-,100	,106	-,211	<b>,941</b>	-,077	,066	-,009
ROC_r	,098	-,205	<b>,956</b>	-,091	,123	-,079	<b>,962</b>	-,023	,109	,047
ROL_i	,384	-,487	<b>,746</b>	,113	,355	<b>,639</b>	,460	,289	,259	,229
ROL_e	<b>-,756</b>	,196	-,543	-,012	-,651	,023	<b>-,675</b>	-,133	-,094	-,008
RN	-,206	,049	<b>,951</b>	-,144	,008	-,267	<b>,933</b>	-,115	,026	-,053
FE	-,387	<b>,699</b>	-,233	-,283	-,061	<b>-,844</b>	,121	-,211	-,092	-,119
TA	<b>,985</b>	,016	,034	-,024	<b>,943</b>	-,070	,235	,106	-,075	,024
U	<b>-,923</b>	,080	-,280	-,055	<b>-,889</b>	-,040	-,314	-,219	-,004	-,091
es(T)	<b>,981</b>	-,006	,020	-,021	<b>,949</b>	-,057	,222	,095	-,065	,050
DPV	<b>,972</b>	-,079	,126	,023	<b>,928</b>	,019	,257	,154	-,015	,114
G	,136	,142	<b>,937</b>	-,124	-,080	,168	<b>,817</b>	,074	-,162	,185
us10	-,090	<b>,979</b>	-,106	,026	-,005	<b>-,944</b>	-,012	,010	-,026	,081
us20	-,010	<b>,988</b>	-,048	,029	,152	<b>-,841</b>	,040	,298	,179	,163
us30	,036	<b>,966</b>	-,083	,048	,255	-,307	-,003	<b>,890</b>	,137	,103
us40	,009	<b>,975</b>	-,096	,030	,233	,143	,015	<b>,950</b>	,092	,041
us60	,001	<b>,978</b>	-,105	,022	,228	,210	,029	<b>,940</b>	,073	,035
us100	-,056	<b>,976</b>	-,130	,018	,155	,218	-,003	<b>,949</b>	,069	,036
ts2	<b>,943</b>	-,232	,045	,106	<b>,903</b>	,265	-,021	,164	,228	,084
ts5	<b>,946</b>	-,241	,013	,111	<b>,899</b>	,284	-,053	,158	,240	,071
ts10	<b>,935</b>	-,296	-,002	,113	<b>,864</b>	,362	-,068	,154	,262	,057
ts20	<b>,748</b>	-,570	,062	,070	<b>,602</b>	,660	-,028	,142	,304	,039
ts50	,170	<b>-,871</b>	,173	-,139	,123	<b>,884</b>	,071	,041	,228	,047

Tabela 7: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Fevereiro e Março de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

Matriz dos Fatores Rotacionados (Diurno)										
Fatores	Fevereiro (2005)					Março (2005)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
H	,466	-,352	<b>,758</b>	,050	,156	,362	<b>,674</b>	,574	,195	-,080
f_CO2	-,206	-,349	-,208	<b>-,573</b>	,400	-,226	<b>,784</b>	-,028	,088	,303
LE	,108	<b>,791</b>	,432	,007	-,021	,073	<b>-,895</b>	,259	-,039	,014
U*	<b>,796</b>	-,080	,135	-,032	,291	<b>,822</b>	-,239	-,030	-,128	,353
Z/L	-,400	,089	,127	-,218	<b>,734</b>	<b>-,568</b>	,189	,443	-,046	,174
V	,388	-,117	,494	,046	<b>,616</b>	-,075	,083	,548	-,042	<b>,633</b>
dir	-,161	<b>-,547</b>	-,074	,386	-,024	,023	,002	-,007	-,083	<b>,905</b>
P	<b>-,579</b>	-,116	,380	,075	,506	<b>-,848</b>	,306	,111	,086	,071
ROC_i	,303	,241	<b>,904</b>	,086	,053	-,032	-,061	<b>,956</b>	,186	,087
ROC_r	,312	,244	<b>,902</b>	,108	,066	-,092	-,007	<b>,940</b>	,270	,039
ROL_i	,505	<b>-,593</b>	,467	,044	,298	,389	<b>,800</b>	,355	,102	,106
ROL_e	-,626	-,241	<b>-,657</b>	-,067	-,058	<b>-,745</b>	-,011	-,519	-,131	-,013
RN	,240	<b>,290</b>	<b>,897</b>	,106	,050	-,180	-,137	<b>,926</b>	,207	,035
FE	-,011	<b>,692</b>	<b>-,413</b>	,245	,188	,068	<b>-,876</b>	-,089	-,072	-,047
TA	<b>,882</b>	,090	,368	,139	-,187	<b>,977</b>	-,034	-,011	,128	-,067
U	<b>-,878</b>	-,003	-,444	-,032	-,009	<b>-,965</b>	-,140	-,001	-,053	,026
es(T)	<b>,896</b>	,083	,337	,135	-,173	<b>,972</b>	-,011	-,020	,143	-,057
DPV	<b>,920</b>	,018	,358	,045	-,038	<b>,971</b>	,119	-,029	,099	-,023
G	,148	-,120	<b>,891</b>	-,090	,108	-,255	<b>,594</b>	,362	,403	,118
us10	-,199	<b>,909</b>	-,090	,062	-,093	-,179	<b>-,811</b>	,223	,290	,196
us20	-,004	<b>,936</b>	,114	,122	-,032	-,103	<b>-,677</b>	,147	,399	,558
us30	-,046	<b>,877</b>	,133	,254	,063	-,110	<b>-,602</b>	,154	,443	,561
us40	-,017	<b>,851</b>	,107	,337	,062	,073	-,179	,204	<b>,934</b>	,155
us60	,365	,175	,072	<b>,846</b>	-,014	,256	,186	,211	<b>,893</b>	-,114
us100	,304	,194	,006	<b>,848</b>	-,025	,196	,127	,214	<b>,918</b>	-,109
ts2	<b>,919</b>	-,073	,227	,244	-,127	<b>,976</b>	,135	-,071	,052	,000
ts5	<b>,925</b>	-,107	,177	,257	-,113	<b>,975</b>	,140	-,079	,058	-,025
ts10	<b>,916</b>	-,207	,116	,269	-,073	<b>,957</b>	,221	-,082	,065	-,067
ts20	<b>,784</b>	-,501	,028	,265	,065	<b>,814</b>	,507	-,062	,095	-,169
ts50	,205	<b>-,908</b>	-,070	,086	,189	,298	<b>,847</b>	,003	,047	-,330

Tabela 8: Matriz dos fatores rotacionados para os meses Abril e Maio de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

<b>Matriz dos Fatores Rotacionados (Diurno)</b>											
Fatores	<b>Abril (2005)</b>					<b>Maio (2005)</b>					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
H	,237	<b>,920</b>	-,163	,097	,103	,188	<b>,874</b>	-,078	,227	-,076	,297
f_CO2	-,351	-,134	<b>-,514</b>	-,305	,078	,147	-,009	,112	,025	,148	<b>,920</b>
LE	-,255	,272	<b>,715</b>	,461	,192	-,143	,342	<b>,893</b>	-,063	,063	-,006
U*	<b>,860</b>	-,130	,237	,060	,291	<b>,603</b>	-,438	,073	-,227	,479	-,099
Z/L	-,556	,168	-,073	-,026	<b>,593</b>	<b>-,582</b>	,105	-,069	,008	,569	,126
V	-,064	,428	-,088	,053	<b>,668</b>	-,344	-,198	,149	-,097	<b>,829</b>	,168
dir	-,028	<b>-,567</b>	,002	-,255	,030	-,290	<b>-,519</b>	-,194	-,387	-,025	,197
P	<b>-,837</b>	,346	-,076	,148	,063	<b>-,775</b>	,023	-,050	,350	,272	,040
ROC_i	-,148	<b>,906</b>	,188	,142	,141	-,121	<b>,903</b>	,177	,008	-,059	-,271
ROC_r	-,198	<b>,911</b>	,187	,116	,179	-,178	<b>,922</b>	,193	,018	-,049	-,145
ROL_i	,356	<b>,652</b>	-,490	-,089	,311	,224	<b>,789</b>	-,431	,261	,064	,099
ROL_e	<b>-,710</b>	-,470	,205	,017	,064	<b>-,652</b>	-,547	-,108	-,084	,086	-,285
RN	-,214	<b>,926</b>	,191	,121	,075	-,195	<b>,924</b>	,262	,046	-,056	-,064
FE	-,331	-,339	<b>,551</b>	,349	,275	-,128	-,274	<b>,802</b>	-,041	-,085	,296
TA	<b>,952</b>	,017	,118	,062	-,217	<b>,977</b>	,002	,078	,116	-,041	,005
U	<b>-,958</b>	-,119	,050	,040	,118	<b>-,927</b>	-,003	-,023	-,007	-,169	-,254
es(T)	<b>,954</b>	,017	,097	,063	-,222	<b>,974</b>	,018	,074	,129	-,053	,013
DPV	<b>,963</b>	,076	-,024	-,003	-,155	<b>,962</b>	,031	,038	,060	,082	,168
G	-,017	<b>,822</b>	-,250	-,169	-,057	,064	<b>,889</b>	-,187	-,005	-,058	,155
us10	,134	-,051	<b>,868</b>	-,100	-,051	,264	,167	<b>,743</b>	-,330	,194	-,105
us20	<b>,552</b>	,299	,493	,347	-,196	,503	,262	-,021	<b>,648</b>	,135	-,021
us30	,452	,271	,057	<b>,776</b>	,022	<b>,858</b>	,373	,064	,048	-,239	,096
us40	,490	,290	-,163	<b>,759</b>	,000	<b>,764</b>	,403	-,038	,318	-,322	,097
us60	<b>,735</b>	,230	-,435	,303	-,162	<b>,737</b>	,379	-,152	,439	-,264	,094
us100	<b>,676</b>	,139	-,460	,080	-,189	<b>,699</b>	,265	-,134	,485	-,248	,089
ts2	<b>,953</b>	-,068	,034	,227	,002	<b>,962</b>	-,097	-,134	,080	-,080	-,064
ts5	<b>,945</b>	-,110	,029	,250	,023	<b>,957</b>	-,133	-,137	,100	-,085	-,060
ts10	<b>,930</b>	-,141	-,023	,282	,046	<b>,942</b>	-,145	-,158	,165	-,100	-,043
ts20	<b>,831</b>	-,141	-,286	,380	,104	<b>,822</b>	-,072	-,253	,428	-,155	,010
ts50	-,010	,024	<b>-,839</b>	,339	,179	,092	,135	-,344	<b>,874</b>	-,166	,049

Tabela 9: Matriz dos fatores rotacionados para os meses de Junho e Julho de 2005, em negrito estão destacados as cargas fatoriais maiores que 0,5.

<b>Matriz dos Fatores Rotacionados (Diurno)</b>									
Fatores	<b>Junho (2005)</b>				<b>Julho (2005)</b>				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5
H	,200	-,137	<b>,937</b>	-,072	,240	<b>,951</b>	,018	-,014	,112
f_CO2	-,005	,214	,049	<b>-,817</b>	,039	,388	,037	,026	<b>,545</b>
LE	-,196	<b>,866</b>	,233	,132	-,227	,357	,011	,125	<b>-,832</b>
U*	<b>,881</b>	-,177	-,062	-,096	<b>,668</b>	-,091	,664	-,161	,020
Z/L	<b>-,694</b>	-,255	,272	-,054	<b>-,647</b>	,287	-,067	,254	,004
V	,179	<b>-,653</b>	,397	-,006	-,071	-,028	<b>,954</b>	,053	,000
dir	-,252	<b>-,634</b>	-,327	-,146	-,294	<b>-,408</b>	,272	,248	,022
P	<b>-,885</b>	-,038	,133	,099	<b>-,868</b>	,075	,228	,258	,005
ROC_i	-,079	,033	<b>,980</b>	-,021	,115	<b>,983</b>	-,033	,051	-,032
ROC_r	-,059	,003	<b>,977</b>	,088	,088	<b>,984</b>	-,026	,086	-,045
ROL_i	,388	-,561	<b>,680</b>	-,004	,377	<b>,850</b>	,121	,018	,204
ROL_e	-,625	,084	<b>-,652</b>	,035	-,472	<b>-,785</b>	,022	,077	-,094
RN	-,246	,204	<b>,933</b>	-,009	,025	<b>,984</b>	-,045	,071	-,039
FE	-,216	<b>,807</b>	-,096	,161	-,280	-,374	,019	,170	<b>-,610</b>
TA	<b>,976</b>	,108	,050	-,015	<b>,953</b>	,233	,007	-,068	,106
U	<b>-,933</b>	,097	-,241	,008	<b>-,860</b>	-,360	-,179	,180	-,125
es(T)	<b>,977</b>	,103	,070	-,016	<b>,948</b>	,253	-,013	-,070	,117
DPV	<b>,955</b>	-,043	,212	-,018	<b>,894</b>	,350	,084	-,143	,126
G	,105	,047	<b>,886</b>	,053	,303	<b>,895</b>	-,137	-,044	,190
us10	-,021	<b>,901</b>	-,011	-,312	<b>,863</b>	,347	-,212	-,075	,044
us20	-,043	<b>,932</b>	-,032	-,254	<b>,884</b>	,405	-,105	,136	,080
us30	,024	<b>,927</b>	,010	-,066	<b>,851</b>	,309	-,196	,296	-,017
us40	<b>,634</b>	,277	,168	,524	<b>,826</b>	,412	-,118	,351	,028
us60	<b>,804</b>	-,284	,199	,370	<b>,796</b>	,531	-,018	,221	,093
us100	<b>,795</b>	-,130	,159	,232	<b>,795</b>	,541	,003	,149	,094
ts2	<b>,981</b>	-,120	,021	-,019	<b>,944</b>	,190	,109	-,033	,185
ts5	<b>,983</b>	-,125	-,009	,008	<b>,958</b>	,134	,103	-,010	,178
ts10	<b>,970</b>	-,195	-,029	,050	<b>,965</b>	,086	,092	,055	,172
ts20	<b>,802</b>	-,521	-,015	,164	<b>,876</b>	,046	,070	,384	,132
ts50	-,004	<b>-,948</b>	,058	,103	,046	,016	,014	<b>,945</b>	-,177