

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE**

**PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE
DADOS DE UMA TORRE MICROMETEOROLÓGICA
EM SINOP-MT**

CARLOS ALBERTO ANTUNES DIAS

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE LUIZ BRITO DE FARIA

**Cuiabá – MT - Brasil
Julho de 2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE**

**PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO E AQUISIÇÃO DE
DADOS DE UMA TORRE MICROMETEOROLÓGICA
EM SINOP-MT**

CARLOS ALBERTO ANTUNES DIAS

*Dissertação apresentada ao programa
de Pós-graduação em Física e Meio
Ambiente da Universidade Federal de
Mato Grosso, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física e Meio Ambiente.*

ORIENTADOR: PROF. DR. JORGE LUIZ BRITO DE FARIA

**Cuiabá – MT – Brasil
Julho de 2007**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

FOLHA DE APROVAÇÃO

**PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO E LEVANTAMENTO DE DADOS DE
UMA TORRE MICROMETEOROLÓGICA EM SINOP-MT**

AUTOR: CARLOS ALBERTO ANTUNES DIAS

Dissertação defendida e aprovada em _____ de _____ de 2007, pela
comissão julgadora:

Orientador (a) Prof. Dr. JORGE LUIZ BRITO DE FARIA
UFMT

Examinador (a) Prof. Dr.
UFMT

Examinador (a) Externo
UFMT

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e minha família, que sempre me incentivaram para que eu alcançasse com êxito todos os desafios conquistados durante toda a minha vida, e todos os colegas e amigos que contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente a Deus, por me conceder a vida, saúde e força para eu conquistasse todas as vitórias da minha vida.
- Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Luiz Brito de Faria, por suas orientações acadêmicas de dissertação, como também pelas sugestões apresentadas para a efetiva conclusão deste trabalho; pelas correções e acompanhamento na pesquisa do seu início ao fim.
- Ao “co-orientador” Msc. Marcelo Sacardi Biudes, pelo apoio, e na maneira de me orientar para a efetiva contribuição desta dissertação.
- A todos os professores do Programa de Mestrado em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, onde transmitiram seus conhecimentos.
- Aos professores Doutores José de Souza Nogueira e George Louis Vourlitis, pela sua atenção, amizade, disponibilidade e por todo conhecimento que nos passou nas viagens de campo e também, em sala de aula.
- Aos Professores do Departamento de Física Carlos Rinaldi, Sergio Roberto de Paulo, Iramaia Jorge Cabral de Paulo, Carlos Rondon e Denilton Gaio pelo incentivo e amizade.
- Aos Professores Doutores do Departamento de Eng^a. Elétrica, José Antônio Lambert e Arnulfo Barroso Vasconcelos; pela sua amizade, atenção e disponibilidade.
- Aos colegas de curso pelo incentivo e amizade, em especial meus colegas de grupo na qual eu convivi e aprendi muito.
- Ao grupo de pesquisa, e todos os bolsistas que estiveram juntos nas viagens de campo nos municípios de Sinop, Santo Antônio de Leverger e no Pantanal.

- Aos novos amigos Osvaldo, Paulino, Jean, Suli, Igo e Marcelo, que eu adquiri pelo convívio e que me ajudaram durante o decorrer do curso.
- A FAPEMAT, que através da concessão da bolsa de mestrado possibilitou a realização deste trabalho.
- Aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para nosso êxito, a todos abraçamos no fim da jornada com profundo sentimento de gratidão, dedicando-lhes nossos eventuais méritos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1	1
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO 2	3
REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 DEFINIÇÕES DAS GRANDEZAS FÍSICAS E ELÉTRICAS	3
2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR	3
2.1.2 RADIAÇÃO GLOBAL	5
2.1.3 RADIAÇÃO FOTOSSINTÉTICA ATIVA	6
2.1.4 RADIAÇÃO LÍQUIDA	6
2.1.5 TEMPERATURA	7
2.1.6 UMIDADE RELATIVA	7
2.1.7 PRECIPITAÇÃO	7
2.1.8 CONCENTRAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO	7
2.1.9 CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA	8
2.1.10 TENSÃO	8
2.1.11 CORRENTE	8
2.1.12 RESISTÊNCIA ELÉTRICA	8
2.1.13 POTÊNCIA ELÉTRICA	8
2.1.14 CÓDIGO DE NUMERAÇÃO HEXADECIMAL	8
2.1.15 CÓDIGO ALFANUMÉRICO ASCII	9
2.1.16 MULTIPLEXER	9
2.1.17 A-D ENCODER (conversor analógico digital)	9
2.2. INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS INSTALADA NA TORRE	9
2.2.1 NET RADIÔMETRO (NR LITE)	10
2.2.1.1 Finalidade	10
2.2.1.2 Princípio de Funcionamento	11
2.2.1.3 Lista de especificações do net radiômetro	11
2.2.2 PIRANÔMETRO (LI-200SA) E QUANTUM (LI-190SZ)	11
2.2.2.1 Finalidade	12
2.2.2.2 Princípio de Funcionamento	12
2.2.2.3 Lista de Especificações do Piranômetro e Quantum	12

2.2.3 PSICRÔMETRO (HMP45C).....	13
2.2.3.1 Finalidade.....	13
2.2.3.2 Princípio de Funcionamento	13
2.2.3.3 Lista de especificações do psicrômetro.....	14
2.2.4 TERMOPAR.....	15
2.2.4.1 Finalidade.....	15
2.2.4.2 Princípio de funcionamento	15
2.2.5 PLUVIÔMETRO (TR-525M)	16
2.2.5.1 Finalidade.....	16
2.2.5.2 Princípio de funcionamento	17
2.2.5.3 Lista de especificações do pluviômetro	17
2.2.6 ANALISADOR DE GÁS (LI-820).....	18
2.2.6.1 Finalidade.....	18
2.2.6.2 Princípio de funcionamento	18
2.2.6.3 Lista de especificações do LI-820.....	18
2.2.7 ANEMÔMETRO SÔNICO	19
2.2.7.1 Finalidade.....	19
2.2.7.2 Princípio de funcionamento	19
2.2.7.3 Lista de Especificações do Anemômetro Sônico	20
2.2.8 ANALISADOR DE GASES (LI-7500).....	20
2.2.8.1 Finalidade.....	20
2.2.8.2 Princípio de funcionamento	21
2.2.8.3 Lista de Especificações do IRGA	21
2.2.9 DATALOGGER	22
2.2.9.1 Finalidade.....	22
2.2.9.2 Princípio de Funcionamento	23
2.2.10 TDR (CS616 water content reflectometer)	23
2.2.10.1 Finalidade.....	23
2.2.10.2 Princípio de funcionamento	24
2.2.10.3 Especificações:.....	25
 CAPÍTULO 3.....	 26
MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 LOCAL DE ESTUDO.....	26
3.2 METODOLOGIA.....	29
3.2.1 A TORRE MICROMETEOROLÓGICA	29
3.3 INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA.....	30
3.3.1 SENSORES DE RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE	31
3.3.2 SENSOR DE RADIAÇÃO LÍQUIDA	31
3.3.3 SENSORES DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E PAR.....	32
3.3.4 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR	35
3.3.5 SENSOR DE PRECIPITAÇÃO	36
3.3.6 SENSOR DE TEMPERATURA – TERMOPAR.....	36
3.3.7 ANALISADOR DE GASES (IRGA)	37
3.3.8 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	38
3.3.8.1 DATALOGGER (CR10X-CAMPBELL).....	38
3.3.8.2 PAINEL DE LIGAÇÃO DO DATALOGGER.....	40
3.3.8.3 MÓDULO DE MEMÓRIA SÓLIDA (SM192-SM716 -SM4M).....	42
3.3.8.4 TECLADO/DISPLAY (CR10KD-CAMPBELL).....	43
3.3.8.5 DATALOGGER (CR5000-CAMPBELL).....	43
3.3.9 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	45

3.4 TÉCNICA DE CALIBRAÇÃO DE SENSORES EM TORRE	47
3.4.1 SENSOR PAR (QUANTUM).....	47
CAPÍTULO 4.....	50
RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 RADIAÇÕES LÍQUIDA, GLOBAL e PAR.	50
4.2 TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA	52
4.3 MEDIDA DE TEMPERATURA USANDO-SE TERMOPAR	53
4.4 PRECIPITAÇÃO.....	53
4.5 CONCENTRAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO COM LI-820	54
4.6 DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO	55
4.7 TENSÃO DA BATERIA	56
CAPÍTULO 5.....	57
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	57
BIBLIOGRAFIA	59
ANEXOS	63
Anexo A – Programa do datalogger (CR5000).....	63
Anexo B - Programa do datalogger (CR10X).....	72
Anexo C - Programação de coleta dados da Torre Sinop-MT 2007	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 O espectro eletromagnético.	5
Figura 2 Corte vertical de um piranômetro protótipo.	6
Figura 3 Ilustração de um Net Radiômetro	11
Figura 4 Piranômetro e Quantum.....	12
Figura 5 Psicrômetro instalado na estrutura da torre	13
Figura 6 Ligação eletrônica de resistências do tipo “Wheatstone”	14
Figura 6 Representação da corrente devido à diferença de temperatura.....	15
Figura 7 Detalhe do Pluviômetro	17
Figura 8 Detalhes construtivos de um Analisador de Gás LI-820	18
Figura 9 Haste do Anemômetro Sônico	19
Figura 10 IRGA Fixado na Haste do Anemômetro Sônico	21
Figura 11 Gráfico para calibração da concentração de gás carbônico	22
Figura 12 Gráfico para calibração da concentração de vapor d’água.	22
Figura 13 Diagrama dos sensores que estão ligados ao datalogger	23
Figura 14 CS616 Water Content Reflectometer	24
Figura 15 Mapa de localização da área de estudo (Imagem Landsat 7ETM+).	27
Figura 16 Mapa de cobertura florestal e o desmatamento em Mato Grosso.....	28
Figura 17 Torre micrometeorológica do sítio em estudo, fazenda Maracai	30
Figura 18 Sensor de fluxo de seiva tipo TDP50	31
Figura 20 Modelo Sensor (PAR) instalado na Torre	32
Figura 21 Certificado de calibração do sensor PAR	34
Figura 22 Pluviômetro	36
Figura 23 Vista de explosão do (CR10X) e periféricos	39
Figura 24 Painel de conexão do datalogger (CR10X)	40
Figura 25 Módulo de memória.....	43
Figura 26 Painel de conexão do datalogger CR5000	44
Figura 27 Dispositivos de proteção contra curto-circuito	47
Figura 28 Calibração de sensores PAR da Torre	48
Figura 29 Calibração dos sensores PAR da Torre	49
Figura 30 Medidas de radiação líquida.	51
Figura 31 Medida de radiação global.....	51
Figura 32 Medida de radiação PAR incidente.	51
Figura 33 - Umidade relativa do ar ao longo de um dia.....	52

	ii
Figura 34 - Temperatura do ar ao longo de um dia.....	52
Figura 35 Temperatura medida com termopar a 36m de altura.	53
Figura 36 Precipitação (mm) ao longo do ano de 2006.	54
Figura 37 Concentração de gás carbônico no dia 349 (calendário Juliano).....	55
Figura 38 Direção do Vento predominante no local	55
Figura 39 Velocidade do vento predominante	55
Figura 40 Tensão da Bateria Durante o Dia 183 a 220.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Especificações do Termopar tipo T.....	16
Tabela 2 Precipitação mensal para 2003-2006 da área de estudo.....	29

RESUMO

DIAS, A. A. C. **Procedimentos de medição e aquisição de dados de uma torre micrometeorológica em Sinop-MT.** Cuiabá, 2007. 75p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

O aquecimento global é atualmente um tema de preocupação mundial, sendo, portanto necessário compreender os mecanismos de como os ecossistemas se comportam neste quadro. Neste contexto o trabalho teve como objetivo principal, implementar e aperfeiçoar a planta instrumental e o funcionamento contínuo dos equipamentos instalados em uma torre micrometeorológica, e como metas: (a) fazer detalhamento dos sistemas de medição, incluindo as linhas de alimentação, proteção e fluxo de dados (b) propor metodologia de dimensionamento do sistema de alimentação dos equipamentos instalados na torre; (c) caracterizar as variáveis meteorológicas; (d) demonstrar os procedimentos de calibração dos sensores para validação de dados; (e) verificar a resposta dos dados em função das variáveis meteorológicas, através de gráficos que caracterizam as medidas diárias e sazonais. Com as metodologias aplicadas neste trabalho, os equipamentos instalados na torre micrometeorológica funcionarão continuamente, com medidas registradas a cada 30 minutos. Com isso poder-se-á obter o monitoramento da variação diária, mensal e anual de todas as variáveis ambientais da área de estudo. Todos os equipamentos instalados foram descritos e especificados para melhor compreensão de funcionamento, a metodologia do dimensionamento do sistema de alimentação foi aplicada de acordo com algumas instruções normativas de projetos elétricos e todas variáveis micrometeorológicas, foram caracterizadas com suas unidades e grandezas. A calibração dos sensores obteve resultados significativos. As novas informações obtidas do banco de dados (2006), em função das variáveis meteorológicas apresentaram qualidade, precisão e confiabilidade na validação de dados para pesquisa científica.

Palavras chave: Calibração, micrometeorologia e monitoramento ambiental.

ABSTRACT

DIAS, A. A. C. **Procedures of measurements and data acquisition from a micrometeorological tower at Sinop-MT.** Cuiabá, 2007. 75p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso.

The global warming is currently a subject of concern world-wide, being, therefore necessary to understand the mechanisms what ecosystems works in this picture. This way, the work had as aim, to employ and enhance the instrumental plant and the continuous operation of the equipment installed in a micrometeorological tower, and goals: (a) to detail of measurement systems, inclusive electrical supplies, protection and data streaming lines (b) to evaluate methodology of dimensioning of electrical supplies of measurement devices set assembled in the tower; (c) to describe the meteorological variables; (d) to show the calibration procedures of sensors for data evaluation; (e) to verify the data response versus meteorological variables, by plots that describe the daily and seasonal measures. Using methodologies applied in this work, the measurement devices set installed in the micrometeorological tower will work continuously, with measures recorded each 30 minutes. This way, will be possible to do monitoring of the daily, monthly and annual variation of environmental variables in the study area. All instrumental measurement set installed had been described and specified for better understanding of working, Dimensioning methodology of the electrical supply system was applied in accordance with some normative instructions of electrical standarts and all micrometeorological variables had been characterized with its physical units and quantities. The calibration of the sensors did have meaning results. The new information obtained in data base (2006), in function of the meteorological variables had showed quality, precision and fidelity in the evaluation of data for scientific research.

Key words: Calibration, micrometeorology and environmental monitoring.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As alterações no clima são acontecimentos naturais, porém a partir da metade do último século as alterações registradas têm sido mais pronunciadas do que em qualquer outro período em diferentes regiões do planeta. Isto fez aumentar as preocupações com o meio ambiente no mundo inteiro, a partir da década de noventa, evidenciado pelo crescente número de eventos climáticos extremos: temperaturas muito altas, chuvas intensas provocando enchentes, longos períodos de estiagens, tornados, etc.

Em um dos seus mais recentes relatórios, o Painel Intergovernamental, sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (IPCC) concluiu que a temperatura média do planeta subirá de 1,8°C a 4°C até 2100 (ONU, 2007), provocando um aumento do nível dos oceanos de 18 a 59 cm, e ainda haverá inundações e ondas de calor mais frequentes, além de ciclones mais violentos. Estas alterações climáticas terão impacto direto sobre as florestas com consequência sócio-econômica negativas e, portanto na qualidade de vida das pessoas.

Outro aspecto importante na problemática de mudanças climáticas globais é o papel que o gás dióxido de carbono (CO₂) desempenha no balanço de energia do sistema biosfera e atmosfera. As florestas tropicais úmidas são importantes no ciclo global do carbono, por conterem cerca de 40% do carbono estocado na biomassa terrestre.

Um número crescente de evidências sugere que a Floresta da Amazônia seja sumidouro de CO₂ da atmosfera. O uso intensivo da terra causa impacto

negativo significativo no clima global e são, portanto, de relevância direta nas formulações das políticas ambientais e climáticas.

O norte do Mato Grosso apresenta uma importante cobertura vegetal (floresta de transição), onde muito pouco se conhece sobre os efeitos da conversão da vegetação e do solo nas trocas de massa e de energia com a atmosfera. Essa região tem estado sujeita a uma das taxas mais altas de queimadas, desmatamento devido aos recentes avanços da exploração madeireira e agropecuária, ressaltando o cultivo de soja e algodão, liberando uma grande quantidade de carbono para a atmosfera.

Em 1999 o PGFMA (Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente-UFMT) instalou na região uma torre, com objetivo de entender o funcionamento integrado dos ecossistemas amazônicos (e também do cerrado) do ponto de vista físico, químico e biológico e como os ecossistemas interagem com atmosfera, e quais os impactos das mudanças do uso da terra no clima regional e global, além de como as mudanças globais vão afetar os sistemas amazônicos.

A Torre, de 42 m de altura, dispõem para o seu funcionamento de equipamentos capazes de monitorar as variáveis micrometeorológica, coletar e gravar dados continuamente em registradores programáveis “Datalogger”. Para que se obtivessem dados ininterruptos com qualidade que permita explicar os impactos das mudanças do uso da terra, foi executado este trabalho com objetivo principal de implementar e aperfeiçoar a planta instrumental e o funcionamento contínuo dos equipamentos da torre micrometeorológica em Sinop, norte do Mato Grosso e como objetivo específicos os seguintes:

- Descrição dos equipamentos instalados em uma torre micrometeorológica de 42m de altura;
- Metodologia de dimensionamento do sistema de alimentação dos equipamentos instalados na torre;
- Caracterizar as variáveis meteorológicas;
- Calibrar os sensores para validação de dados;
- Verificar a resposta dos dados em função das variáveis meteorológicas, elaborando gráficos ilustrativos que caracterizem as medidas ao longo do tempo.

CAPITULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

Neste item iremos elencar algumas definições e conceitos físicos importantes para o estudo e compreensão da radiação solar, troca de massa e energia e outras variáveis micrometeorológicas envolvida no presente estudo e suas implicações em física e meio ambiente, já que a luz do sol além de ser a fonte primária da energia no planeta Terra, também determina o clima, afetando os padrões de precipitação, temperatura da superfície, ventos e umidade. As formas como esses fatores ambientais estão distribuídos pela superfície terrestre determinando o clima que é a grande preocupação do mundo contemporâneo.

2.1 DEFINIÇÕES DAS GRANDEZAS FÍSICAS E ELÉTRICAS

2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR

Radiação é a forma de transferência de energia radiante (calor) de um objeto para outro através da propagação de ondas eletromagnéticas ou fótons (MOTA, 1989). A radiação solar é a maior fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na Terra, sendo também o principal elemento meteorológico, pois é ela que desencadeia todo o processo meteorológico afetando todos os outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade etc.).

A energia solar é uma fonte primária de energia para todos os processos terrestres, desde a fotossíntese, responsável pela produção vegetal e manutenção da vida na presente forma, até a dinâmica de transporte de massa (correntes de

convecção) da atmosfera e oceanos. Além de sua importância em Meteorologia, a energia radiante do sol é um elemento fundamental em estudos ecológicos e de disponibilidade energética, pois a maior parte da energia disponível na Terra tem origem na radiação solar (PEREIRA, et al., 2002).

A importância de se estudar a energia solar é porque a vida, em essência, é dependente dela. Fundamentalmente, a vida como a conhecemos não existiria sem o sol. A energia que a Terra recebe dessa estrela chega na forma de ondas eletromagnéticas que variam de comprimento, desde menores que 250 nanômetros (nm) até maiores que 250 nm. Essa energia forma o que é conhecido como o espectro eletromagnético da luz solar.

A energia radiante do Sol quando passa através da atmosfera é submetida a transformações complicadas. Da camada exterior à atmosfera até chegar à superfície da Terra, a energia radiante é absorvida e espalhada. Devido ao espalhamento desta energia observamos ao nível da superfície do solo, não somente radiação solar direta, na forma de um feixe de raios solares paralelos, mas também a radiação difusa provinda de cada ponto do céu. A radiação solar direta e a radiação difusa constituem a radiação solar global.

Percentualmente a absorção da radiação solar na atmosfera compreende 23%, enquanto, que a radiação direta, isto é que passa sem interagir com a atmosfera é da ordem de 25%. A radiação difusa, seletiva ou não correspondente a 26%, esta como resultante do processo da difusão seletiva e/ou refletiva, metade da radiação vem em direção a Terra e a outra em direção ao espaço (OMETTO, 1981).

Em Meteorologia, a parcela do espectro da radiação solar global compreendido da faixa de 220 a 4000nm, é denominada de “radiação de ondas curtas”. O espectro solar é classicamente dividido em três faixas ou bandas de comprimento de onda, ou seja:

Ultravioleta	$\lambda \leq 380 \text{ nm}$
Luz visível	$380 \text{ nm} < \lambda \leq 760 \text{ nm}$
Infravermelho	$\lambda > 760 \text{ nm}$

A parte do espectro entre 1 nanômetro e 100 milímetros é considerada como radiação luminosa, embora nem toda ela seja visível. Luz com comprimento de onda entre 1nm e 380nm é luz ultravioleta. A luz visível é o componente constituído de comprimento de onda entre 380nm e 760nm. Luz com um

comprimento de onda maior que 760nm e menor do que 1 milímetro é conhecida como luz infravermelha e, assim como a luz ultravioleta, é invisível ao olho; quando o comprimento de onda da luz infravermelha se estende além de 3.000nm, porém, ela é sentida como calor (GLIESSMAN, 2005).

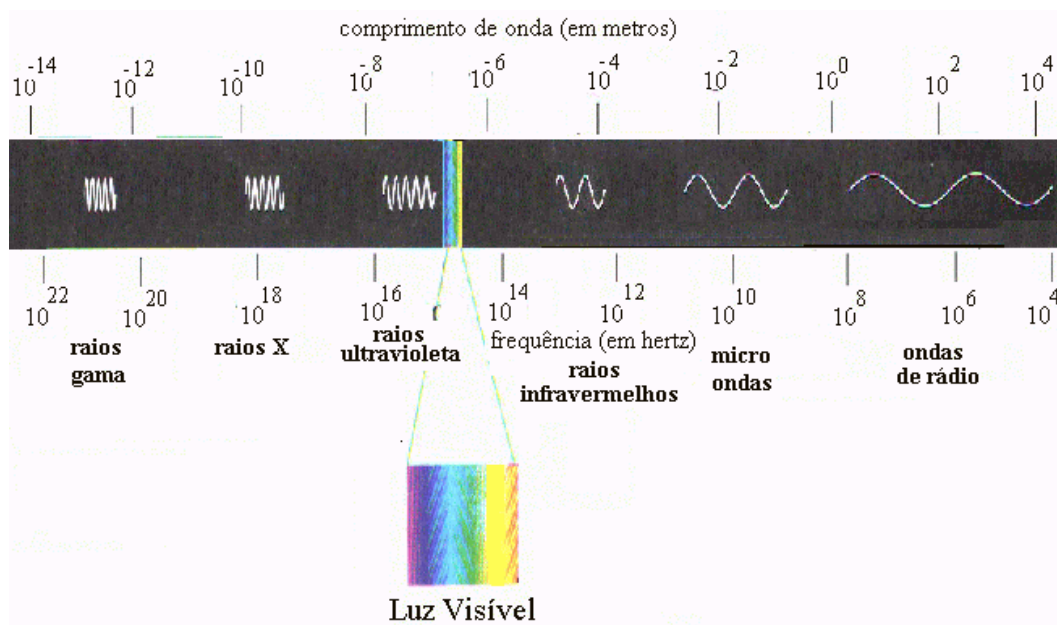


Figura 1 O espectro eletromagnético.

2.1.2. RADIAÇÃO GLOBAL

A radiação global representa as radiações solar direta e difusa na faixa de comprimentos de onda de 300 a 2.800nm, para medições de rotina. Geralmente, os aparelhos que medem a radiação solar são denominados de solarímetros, piranômetros, radiômetros, e actinógrafos (PEARCY, 1989). Na figura 2 tem-se um exemplo de um piranômetro de termopar protótipo que foi elaborado com corpo principal em alumínio, o qual possui uma cúpula de vidro, sensor (termopilha de filme fino), chapéu sombreador pintado de branco, colocado sobre o corpo do instrumento para impedir o aquecimento e refletir a radiação incidente a nível de bolha; reservatório de sílica-gel para manter o ambiente livre de umidade; conector elétrico e parafusos niveladores. As termopilhas de filme fino foram construídas através do processo fotolitográfico e por evaporação de metais, conforme metodologia desenvolvida por (ESCOBEDO, 1997). Os tipos de termopilhas utilizadas – estrela e disco concêntrico contêm em seus circuitos metálicos de 36 termopares de bismuto-antimônio depositados em substratos de acrílico.

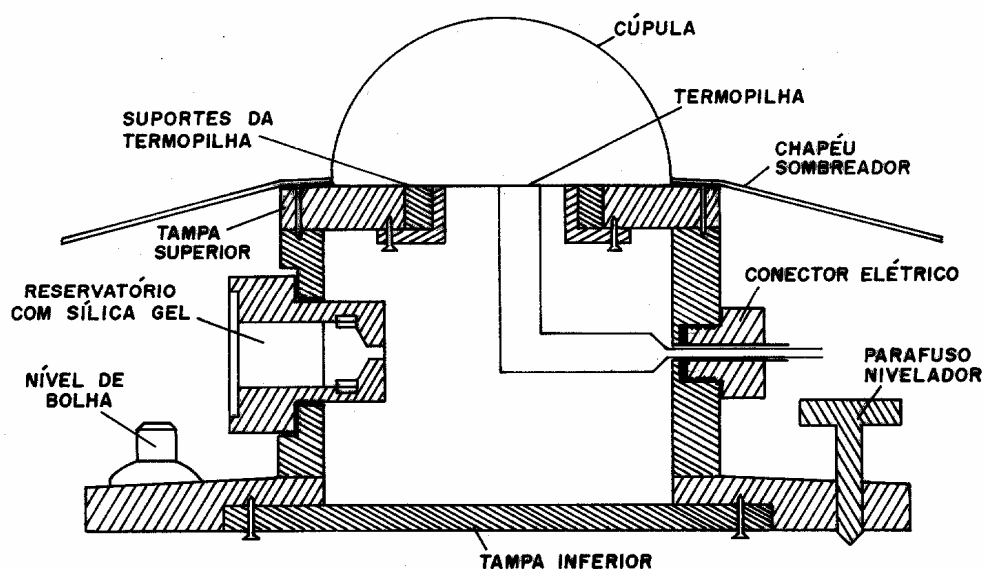


Figura 2 Corte vertical de um piranômetro típico.

2.1.3 RADIAÇÃO FOTOSSINTÉTICA ATIVA

A Radiação Fotossinteticamente Ativa ou *Photosynthetically Active Radiation* (PAR) representa a radiação solar na faixa de comprimentos de onda de 400 a 700nm, a qual é a medida efetiva da fotossíntese das plantas. Portanto a medida da PAR é um fator essencial para ser usado para verificar as interações da radiação com o ecossistema.

2.1.4. RADIAÇÃO LÍQUIDA

A radiação líquida é a radiação infravermelha (ondas longas) que incide na floresta subtraída da parcela da radiação refletida pela floresta. Portanto é a energia da radiação que é absorvida pela superfície da Terra (disponível em: www.kippzonen.com).

A Radiação líquida disponível durante o dia é consequência da radiação solar que alcança o sistema, então a radiação líquida disponível é um valor positivo. E a Radiação líquida disponível durante a noite tem consequências menores, pois o efeito de radiação solar é praticamente nulo, portanto essa radiação líquida disponível a noite é um valor negativo. Sendo esta uma radiação que deixa o sistema, quase sempre é uma radiação relativamente pequena. (OMETTO, 1981)

2.1.5. TEMPERATURA

É uma medida da quantidade de energia cinética relativo ao movimento das moléculas. É um dos fatores ecológicos mais preponderantes. Quando é medida a temperatura do ar, solo ou água, está se medindo de modo indireto o fluxo de calor. No contexto ambiental, deve-se entender a temperatura como um fator que descreve o calor, e é útil que se pense nesse fluxo de calor como parte do orçamento energético da Terra, cuja base é a energia solar. (GLIESSMAN, 2005).

2.1.6. UMIDADE RELATIVA

Para uma dada temperatura e pressão, a relação percentual entre o vapor d'água contido no ar e o vapor que o mesmo ar poderia conter se estivesse saturado, a idênticas temperatura e pressão ou a umidade relativa é a razão entre o conteúdo do vapor d'água do ar e a quantidade do vapor d'água que o ar pode reter naquela temperatura.

A água pode existir na atmosfera em forma gasosa (como vapor) ou em forma líquida (como gotículas). Em pressão constante, a quantidade de vapor d'água que o ar pode reter, antes de se tornar saturado e o vapor começar a se condensar e formar gotículas, depende da temperatura. Devido a essa dependência da temperatura, a umidade do ar é geralmente medida em termos relativos, e não de acordo com a quantidade absoluta. A uma umidade relativa de 50%, por exemplo, o ar está retendo 50% do vapor d'água que ele poderia reter naquela temperatura. Quando a umidade do ar relativa é de 100%, o ar está saturado de vapor de água. Neste nível, o vapor d'água condensa-se para formar névoa úmida, nevoeiro e nuvens (GLIESSMAN, 2005).

2.1.7. PRECIPITAÇÃO

É uma medida da quantidade de chuva que incide em uma região. A precipitação é expressa em milímetros de coluna d'água (mm). Usualmente, cai na forma de chuva ou neve, contribuindo diretamente com a umidade para o solo (disponível em: www.ltid.inpe.br/dsr/viane/cursoHF/Capitulo4c.htm).

2.1.8. CONCENTRAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO

Consiste de uma quantidade de massa de CO₂ em mg no volume de um litro. A medida também é expressa em parte por milhão (ppm) (disponível em: www.li-cor.com).

2.1.9. CONCENTRAÇÃO DE VAPOR D'ÁGUA

A medida de concentração de vapor d'água consiste na concentração de moléculas de água no ar (disponível em: www.li-cor.com).

2.1.10. TENSÃO

Segundo GUSSOW (1985), em virtude da força do seu campo eletrostático, uma carga elétrica é capaz de realizar trabalho ou deslocar uma outra carga por atração ou repulsão. A capacidade de uma carga realizar trabalho é chamada de potencial. Quando uma quantidade de carga for diferente de outra, haverá uma diferença de potencial entre elas. A unidade fundamental de diferença de potencial (ddp) é o volt (V). A diferença de potencial é chamada de tensão.

2.1.11. CORRENTE

Para Gussow (1985), corrente é o movimento ou fluxo de elétrons que atravessa a seção reta de um condutor em um intervalo de tempo. Para se produzir a corrente, os elétrons devem se deslocar pelo efeito de uma diferença de potencial. A corrente é representada pela letra *I*. A unidade fundamental com que se mede a corrente é o ampère (A). Um ampère de corrente é definido como o deslocamento da carga de um Coulomb através de um ponto qualquer de um condutor durante um intervalo de tempo de um segundo.

2.1.12. RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Resistência elétrica é a oposição que oferecem os materiais, à passagem da corrente elétrica, sendo a resistência expressa em ohms (Gussow, 1985).

2.1.13. POTÊNCIA ELÉTRICA

Potência elétrica é igual ao produto da tensão (V) pela corrente (I). Sendo a tensão expressa em volts e a corrente em ampères, a unidade de potência elétrica é o “Watt” (W) ou Kilowatt (KW), segundo Gussow (1985).

2.1.14. CÓDIGO DE NUMERAÇÃO HEXADECIMAL

Utiliza dezesseis algarismos ou dígitos. Por isso se diz que a base deste sistema é dezesseis (hexadecimal). Considerando que na linguagem corrente só existem os algarismos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e que o objetivo é utilizarmos 16

dígitos teremos arranjar um processo de representar os restantes 6. Representam-se então estes por letras: A, B, C, D, E, F.

(HEXADECIMAL): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

(DECIMAL): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15.

2.1.15. CÓDIGO ALFANUMÉRICO ASCII

É a sigla para American Standard Code for Information Interchange. Segue uma numeração codificada de sete bits, permitindo representar $2^7 - 1 = 127$ caracteres alfanuméricos que. Este código é utilizado em comunicações telegráficas ou com computadores.

2.1.16. MULTIPLEXER

Dispositivo com várias entradas e que transmite a informação recebida por uma única saída, em tempo partilhado entre as várias entradas (BRANCO 1998).

2.1.17. A-D ENCODER (conversor analógico digital)

Dispositivo que converte uma informação analógica na sua representação digital equivalente (BRANCO 1998).

2.2. INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS INSTALADA NA TORRE

A instrumentação para aquisição e análise de variáveis micrometeorológicas, assim como os equipamentos de regulação e proteção elétrica e os dispositivos de controle automático, formam a planta instrumental que reveste a estrutura da torre de medição. Deste modo podemos incluir cada elemento desta planta em 3 classes distintas:

1 – Aquisição e análise: Consiste em sensores e dispositivos de armazenamento e processamento de dados. Os sensores são transdutores de diversas finalidades, os quais traduzem um valor de uma grandeza física (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, radiação luminosa, etc.) para sinais elétricos (em Volts), de modo a ser possível registrar sua variação em dispositivos de aquisição de dados. Quanto a estes, podem ser analógicos, como por exemplo, potenciômetros, ou digitais, sendo este último, o tipo mais utilizado

atualmente devido sua capacidade de armazenamento e processamento ser superior, pois ocupa pequeno espaço, é facilmente reconfigurável e apresenta de modo geral maior robustez, além de agilizar o processo de análise de dados.

2 – Sistemas de alimentação e proteção: Os sensores e registradores necessitam de alimentação elétrica intermitente e estável, para garantir medidas precisas. Para tanto, a planta de instrumentação conta com um banco de baterias e painéis solares, para fornecimento ininterrupto de energia. Reguladores de tensão garantem o fluxo de energia dos painéis ou das baterias para os equipamentos de medição, além de manter a variação de tensão dentro da faixa admitida para garantir o correto funcionamento dos sensores. A proteção contra transientes elétricos é feita através de aterramento das peças eletrizáveis, ou seja, carcaças metálicas, que podem ser eletricamente induzidas por eventuais descargas atmosféricas. Além disso, os equipamentos possuem referencial-terra, por onde os transientes devem ser eliminados. A torre também conta com um pára-raios, que aumenta o nível de segurança dos equipamentos. O circuito de conexão destes pontos de aterramento consiste em uma malha de cobre nu de $1,6 \text{ mm}^2$ ligado a hastes de coppeweld devidamente instaladas.

3 – Dispositivos de controle: São sistemas de automatização de processos. Eles avaliam se há necessidade de se ligar ou desligar equipamentos caso uma resposta positiva seja encontrada. No caso específico da planta de medição em Sinop, estes dispositivos se resumem em multiplexadores e relés de estado sólidos, que controlam um conjunto de válvulas-solenóides.

Nas próximas seções serão caracterizados os equipamentos que compõem a planta.

2.2.1. NET RADIÔMETRO (NR LITE)

2.2.1.1. Finalidade

O Net Radiômetro modelo (NR LITE, Kipp & Zonen USA Inc.), figura 3, é um instrumento para medir a radiação infravermelha líquida. A face de cima do sensor mede a energia solar e a energia infra vermelha que recebe da entrada hemisférica (180 graus de campo de visão). A face de baixo do sensor mede a energia proveniente da superfície do solo. A saída é expressa em Watts por metro quadrado (Wm^{-2}).

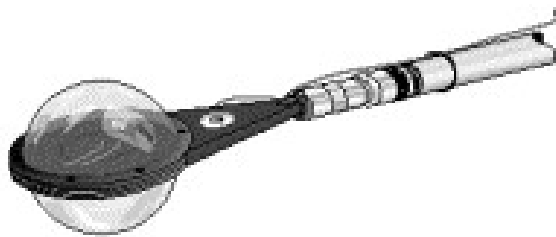


Figura 3 Ilustração de um Net Radiômetro

2.2.1.2. Princípio de Funcionamento

O Net Radiômetro consiste em um detector térmico, duas coberturas de teflon nas superfícies e cabo.

O detector térmico consiste em um número de termopilhas (junções em série de cobre e constantan) interconectadas. O sensor é muito sensível à temperatura e gera uma tensão (V) de saída (O sensor é passivo, portanto não necessita de fonte de tensão). A face superior e inferior é conectada às juntas superiores e inferiores respectivamente, do detector térmico. O sensor mede a diferença de temperatura entre a face superior e a face inferior do sensor. Esta diferença de temperatura pode ser determinada com muita precisão (mudança de menos que 0,001 graus é detectada). A diferença de temperatura é proporcional à radiação líquida.

2.2.1.3. Lista de especificações do net radiômetro

As características apresentada pelo equipamento encontram-se relacionadas abaixo:

- 1- Impedância (nominal): $2,3 \Omega$;
- 2- Tempo de Resposta: $< 20 \text{ s}$;
- 3-Sensibilidade (nominal): $10 \mu\text{V}^{-1}\text{W}^{-1}\text{m}^{-2}$;
- 4- Sinal esperado ao ambiente: $-25 \text{ to } +25 \text{ mV}$;
- 6- Estabilidade: $< \pm 2\%$ por ano;
- 7- Não Linearidade (estimado): $< 1\%$ acima de 2000 W/m^2

2.2.2. PIRANÔMETRO (LI-200SA) E QUANTUM (LI-190SZ)

Os sensores de radiação solar global e da radiação fotossintética ativa ou, do Inglês, PAR (Photosynthetically Active Radiation) são funcionalmente semelhantes: ambos fornecem uma corrente elétrica proporcional a radiação solar

recebida do hemisfério centralizado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor.

2.2.2.1. Finalidade

O sensor de radiação solar global modelo (LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc.) figura 4, é calibrado para medir a radiação solar total recebida. Enquanto que o sensor de radiação PAR (LI-190SZ Quantum Sensor, LI-COR, Inc.), Figura 4, ou sensor de radiação fotossintética ativa é filtrado e calibrado para medir radiação fotossinteticamente ativa.



Figura 4 Piranômetro e Quantum

2.2.2.2. Princípio de Funcionamento

O piranômetro e o quantum são funcionalmente semelhantes: ambos fornecem uma corrente elétrica proporcional à radiação solar recebida do hemisfério, centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor. O sensor é um fotodiodo de silício que responde à absorção de energia, gerando uma corrente elétrica proporcional à irradiância global.

O elemento sensor é uma junção semicondutora p-n, formada por um material com deficiência de elétrons - semicondutor p, e outro material com excesso de elétrons – semicondutor n. Quando a radiação solar incidente à junção semicondutora p-n atinge o nível de energia capaz de excitar um elétron, este se torna livre, e devido ao campo formado pela zona de depleção (região da junção p-n) este é acelerado, produzindo uma corrente elétrica proporcional a esta radiação.

2.2.2.3. Lista de Especificações do Piranômetro e Quantum

As características apresentadas pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

- 1- Sensibilidade (Sensor de Radiação Global): Tipicamente $80 \mu\text{A} / 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- 2- Sensibilidade (Sensor PAR): Tipicamente $8 \mu\text{A} / 1000 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;
- 3- Estabilidade: mudança $< \pm 2\%$ no período de 1 ano;
- 4- Tempo de Resposta: $10 \mu\text{s}$;

- 5- Erro direcional até 80°: $\pm 10\%$;
- 6- Detector: Alta estabilidade do sensor fotoelétrico;
- 7- Tamanho: 2,38 cm de diâmetro x 2,54 cm de altura;
- 8- Peso: 28 g.

2.2.3 PSICRÔMETRO (HMP45C)

2.2.3.1. Finalidade

O Psicrômetro modelo (HMP45C, Campbell Scientific, Inc.) foi projetado para realizar medidas de temperatura e umidade relativa do ar podendo ser posto em um recinto fechado ou em um ambiente aberto. Este instrumento é mostrado na figura 5.

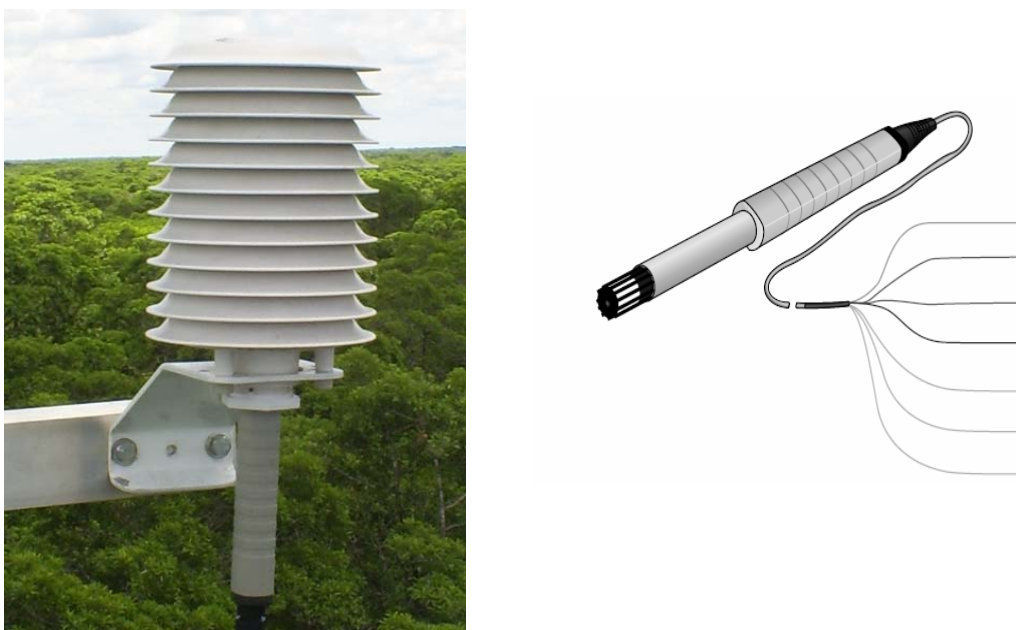


Figura 5 Psicrômetro instalado na estrutura da torre

2.2.3.2 Princípio de Funcionamento

O elemento sensor de temperatura do ar é um resistor de platina, calibrado e estabilizado por uma associação de resistores chamada “ponte de Wheatstone”, figura 6. As variações de resistência são medidas por um circuito eletrônico que apresenta em sua saída uma tensão contínua com 1,0 volt representando $+70^{\circ}\text{C}$ e 0,0 volt representando -30°C . O elemento sensor de umidade relativa do ar é um filme higroscópico posicionado entre dois eletrodos, constituindo um capacitor. A capacitância depende da umidade absorvida pelo filme higroscópico (o dielétrico

do capacitor) e representa a umidade relativa do ar. A capacitância medida é convertida numa tensão contínua com correção automática para a temperatura. A saída de tensão é de 0,0volts para 0% de umidade relativa e 1,0volts para 100% de umidade relativa.

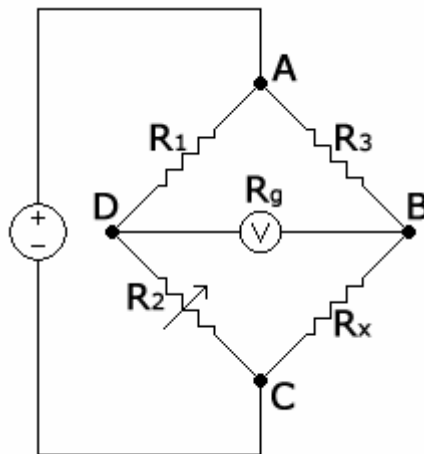


Figura 6 Ligação eletrônica de resistências do tipo “Wheatstone”

2.2.3.3 Lista de especificações do psicrômetro

As características apresentada pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

- 1- Alcance de Medida: 0 a 100% (umidade relativa);
- 2- Alcance do Sinal de Saída: 0,002 a 1 VDC;
- 3- Precisão a 20°C da medida de umidade relativa;
- 4- Referência de Fábrica: $\pm 1\%$ RH;
- 5- Referência de Campo: $\pm 2\%$ RH, 0 a 90% ;
 $\pm 3\%$ R H, 90 a 100%;
- 6- Dependência da Temperatura: $\pm 0,04\%$ RH/°C;
- 7- Estabilidade: Melhor que 1% RH por ano;
- 8- Tempo de Resposta (a 20°C e 90%): 15 s com membrana de filtro;
- 9- Tensão de Alimentação: 12 VDC;
- 10- Consumo de Corrente: ≤ 4 Ma;
- 11- Temperatura de Operação: -20 a +60°C.

2.2.4. TERMOPAR

2.2.4.1. Finalidade

Termopares são pequenos sensores formados por dois condutores metálicos heterogêneos formando uma junção. Se os dois condutores metálicos heterogêneos são conectados entre eles nas suas pontas, a corrente vai fluir neste circuito quando as duas junções estão em temperaturas diferentes (Figura 7). O fenômeno foi inicialmente observado por Seebeck em 1821 e as junções dos dois condutores metálicos heterogêneos são chamadas Termopares. Ambas as direções do fluxo da corrente e a magnitude do gradiente da força eletromotriz (voltagem) depende, sobretudo da diferença de temperatura entre as duas junções do termopar. O efeito de Seebeck, portanto converte a energia térmica em elétrica nas junções do termopar (EHLERINGER, 1989).

Os termopares (figura 7) são os sensores de temperatura mais amplamente utilizados. Encontram aplicação nos mais variados processos, em ampla faixa de temperatura.

2.2.4.2. Princípio de funcionamento

O seu princípio de funcionamento assenta-se no Efeito de *Seebeck*: se dois condutores metálicos A e B (metais puros ou ligas) formam um circuito fechado, formando duas junções AB, aparecerá uma força eletromotriz termoelétrica (f.e.m.) e uma corrente percorrerá o circuito se cada uma das junções estiver a temperaturas T_1 e T_2 distintas. A este conjunto de dois elementos chama-se Termopar, como é mostra a figura 7.

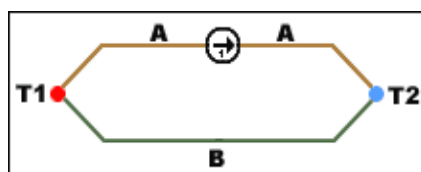


Figura 7 Representação da corrente devido à diferença de temperatura

A f.e.m. termoelétrica é função do tipo de metais ou ligas metálicas A e B e das temperaturas T_1 e T_2 .

A relação entre a diferença de temperatura e a tensão de saída de um termopar é não-linear, e é dada por uma interpolação linear.

$$T = \sum_{n=0}^N a_n v^n$$

Os coeficientes a_n são dados para n de 0 a 5 ou 9.

Para registrar medidas precisas, a equação é geralmente implementada em um controlador digital ou registrada em uma tabela de correção. Antigos dispositivos usam filtros analógicos.

Na torre em Sinop – MT usa-se o termopar tipo T (Cobre/Constantan). Em geral é usado em medidas diferenciais sendo que somente o fio de cobre que toca a amostra. Como ambos os condutores são não-magnéticos, os termopares tipo T são uma escolha popular para aplicações que requerem o mínimo de interferência desta natureza. Os dois terminais do termopar são conectados à entrada de um “datalogger” onde os dados são registrados. O “datalogger” possui uma referência eletrônica, que fornece tensão equivalente a zero grau de temperatura, a qual é tomada como referência T1.

As características apresentada pelo equipamento encontra-se relacionados na tabela 1

Tabela 1 Especificações do Termopar tipo T

Termopar	$^{\circ}\text{C}$	ε (mV)
Cobre/Constantan e Cu/CuNi(tipo T)	- 270 a 400	-6.258 a 20.872

2.2.5. PLUVIÔMETRO (TR-525M)

2.2.5.1. Finalidade

O sensor de precipitação ou pluviômetro modelo (TR-525M, Texas Eletronics, Inc) figura 8, é um instrumento destinado a medir a precipitação (chuva) acumulada num intervalo de tempo.



Figura 8 Detalhe do Pluviômetro

2.2.5.2. Princípio de funcionamento

Consiste de um funil com um coletor de 245 mm de diâmetro de abertura o qual recolhe a chuva e encaminha para um sistema de básculas alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades, formando uma espécie de gangorra. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula ou concha atinge 0,25mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético, descartando o líquido e preparando a outra báscula ou concha para receber nova quantidade de líquido. O fechamento do relé magnético produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos (P) do datalogger que é programado para armazenar a integralização dos pulsos.

2.2.5.3. Lista de especificações do pluviômetro

As características apresentada pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

- 1- Recebedor: Borda feita de alumínio com 245 mm $\pm$ 0,3 de diâmetro;
- 2- Sensibilidade: Uma gota de 0,1mm de chuva;
- 3- Taxa de Medição: 0 a 70 mm/h;
- 4- Exatidão da Calibração: $\pm$ 3% para intensidades de 25 a 500 mm/h. Para um tempo longo de calibração estável;
- 5- Umidade e Temperatura: Trabalha à uma umidade de 0 a 100% e à temperatura de -40 a $+70^{\circ}$ C.
- 6- Capacidade: 12 VA (0,5 A máx.);
- 7- Resistência: Resistência de contato inicial de 0,1 Ohms;
- 8- Altura: 305 mm;
- 9- Peso: 1,2Kg.

2.2.6. ANALISADOR DE GÁS (LI-820)

2.2.6.1 Finalidade

O analisador do gás de circuito fechado modelo (LI-820, LI-COR, Inc.), é um sensor responsável pela medida da concentração de CO₂ no ambiente.

2.2.6.2. Princípio de funcionamento

A medida do CO₂ é uma função da absorção da energia infravermelha que viaja através de um único trajeto ótico, figura 9. O sensor trabalha com dois comprimentos de onda, que são detectados por um subsistema onde compara a energia emitida com a recebida. As medidas das concentrações são baseadas na relação da diferença na absorção da energia infravermelha entre a referência e um sinal da amostra.

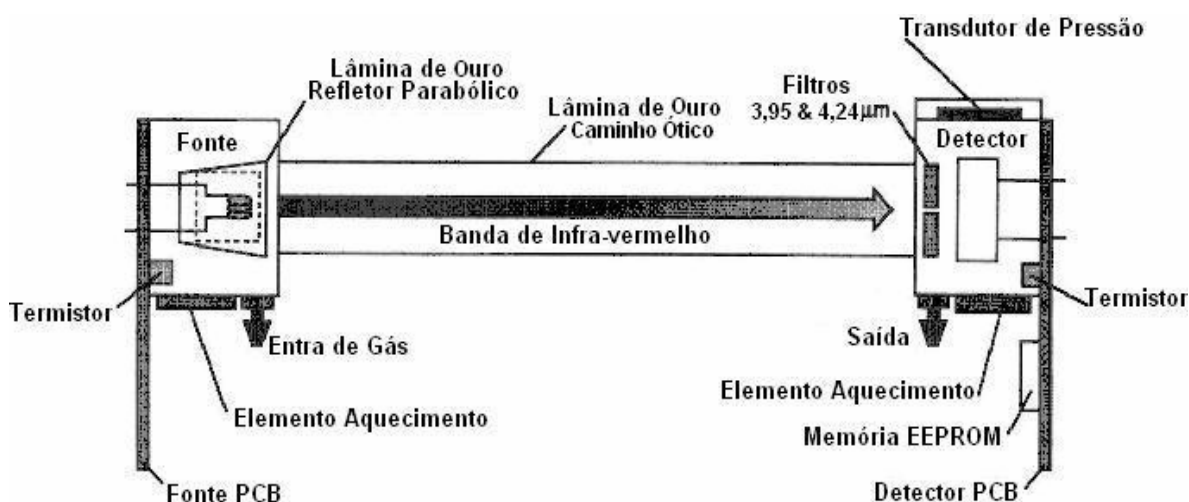


Figura 9 Detalhes construtivos de um Analisador de Gás LI-820

2.2.6.3 Lista de especificações do LI-820

As características apresentada pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

- 1- Taxa de fluxo máximo de gás: 1 litro/minuto (máximo);
- 2- Sinal de Saída: 0 – 5V, 0 – 2,5V, 4 – 20 mA;
- 3- Resolução: 13-bits especificados pelo usuário;
- 4- Potência Requerida: Tensão de entrada 12 – 30 VDC;
- 5- 1,2A e 12 V, (14 W) máxima durante o aquecimento dos leitores quando ligados;
- 6- 0,3 A, 12 V (3,6 W) depois que os leitores foram aquecidos;

- 7- Tempo de Aquecimento: 1,5 horas;
- 8- Temperatura de Operação: -25°C a $+45^{\circ}\text{C}$;
- 9- Umidade Relativa: -25 a 45°C , umidade de 0 a 95%, não condensando;
- 10- Dimensões: 8,75" x 6" x 3" (22,23 x 15,25 x 7,62 cm);
- 11- Peso: 2,2 lbs (4,84 Kg).

2.2.7. ANEMÔMETRO SÔNICO

2.2.7.1 Finalidade

O Anemômetro Sônico (Applied Technologies, Inc., Longmont, CO, USA) é um anemômetro/termômetro tridimensional que quantifica a velocidade do vento e a temperatura nos três eixos ortogonais, conforme é mostrado na figura 10.

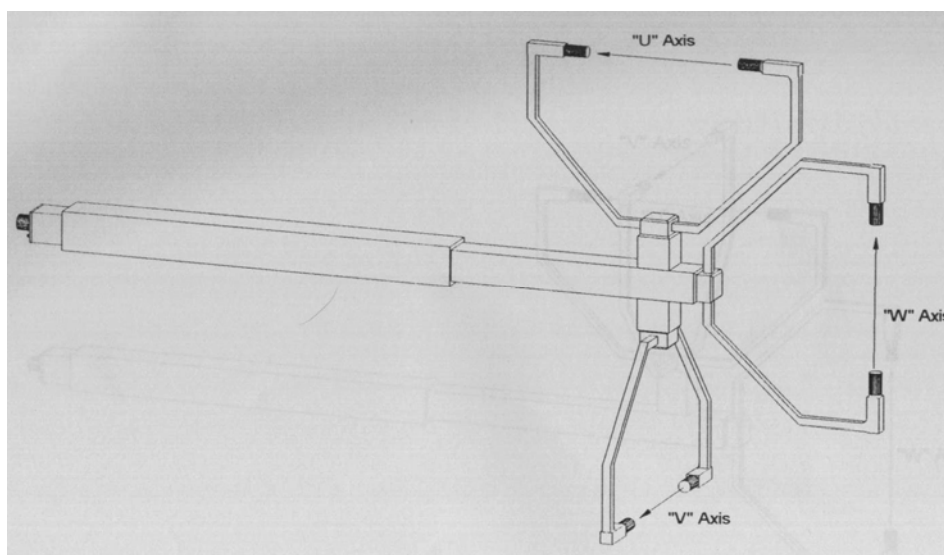


Figura 10 Haste do Anemômetro Sônico

2.2.7.2. Princípio de funcionamento

Consiste em uma sonda eletrônica que fica situada na barra de sustentação. As medidas das velocidades do vento nos três eixos (u) vento zonal, (v) meridional e (w) vertical são quantificadas por meio de ultra-som.

Os pulsos sônicos são gerados pelo transdutor e recebidos por um transdutor oposto. Através de derivadas matemáticas dos pulsos sônicos, realiza-se uma medida de velocidade de vento em cada eixo correspondente e, calcula-se a temperatura sônica virtual, a qual é gerada pela medida da velocidade do som na componente vertical. A medida de temperatura é corrigida pela intercessão das três coordenadas.

2.2.7.3 Lista de Especificações do Anemômetro Sônico

As características apresentadas pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

1- Medida Alcance:

Velocidade do Vento “Sx”	± 20 m/seg;
Temperatura	-20° à $+50^{\circ}$ C;

2- Tamanho do Caminho:

Sonda “Sx”	15 cm;
------------	--------

3- Precisão:

Velocidade do Vento	$\pm 0,05$ m/seg, ou 1%;
Direção do Vento	± 1 grau por 2 m/seg;
Temperatura (Absoluta)	$\pm 2^{\circ}$ C;
Temperatura do Sônico	$0,05^{\circ}$ C;

4- Resolução:

Velocidade do Vento	0,01 m/seg;
Direção do Vento	0,1 grau;
Temperatura	$0,01^{\circ}$ C;

5- Saída:

Obtenção dos dados	200 amostras/segundo (máximo);
Digital	Serial RS-232C compatible;

6- Temperatura de Operação:

-20° à $+50^{\circ}$ C;

7- Potência Requerida:

+9 a +18 VDC para 1,2 Watts.

2.2.8. ANALISADOR DE GASES (LI-7500)

2.2.8.1. Finalidade

O analisador de gás de circuito aberto (IRGA) modelo (LI-7500, LI-COR, Inc.), figura 11, é um instrumento para a medida de concentração de CO_2 e vapor d'água. Assim como o LI-820, faz a medida das concentrações de forma direta.



Figura 11 IRGA Fixado na Haste do Anemômetro Sônico

2.2.8.2. Princípio de funcionamento

As medidas de concentrações de CO_2 e vapor d'água são realizadas transmitindo luz infra-vermelha por um caminho ótico aberto, por onde o fluxo de ar penetra. Para aumentar a distância percorrida pela luz, com a intenção de melhorar a precisão, um espelho no final do caminho é colocado de modo a refletir a luz de volta a base de emissão, onde há um detector que mede a absorção do feixe. A luz passa por um filtro que elimina o espectro de absorção de outros elementos do ar, selecionando apenas a faixa espectral que corta a frequência que é sensível à absorção pelo CO_2 e vapor d'água, e então a absorção da luz é proporcional à concentração de CO_2 e vapor d'água no ambiente.

2.2.8.3. Lista de Especificações do IRGA

As características apresentada pelo equipamento encontra-se relacionada abaixo:

1- Tensão Requerida:

A tensão da fonte deve estar entre 10,5 à 15 Vdc e com capacidade de 3 A.

2- Saída:

A saída é ajustada usualmente em torno de ± 5 V em condições normais de operação.

A concentração de CO_2 na atmosfera é em torno de 350 ppm, e a calibração de CO_2 é linear. Para calibração é feito um gráfico de $V \times \text{mg/m}^3 \text{CO}_2$, conforme a figura 12.

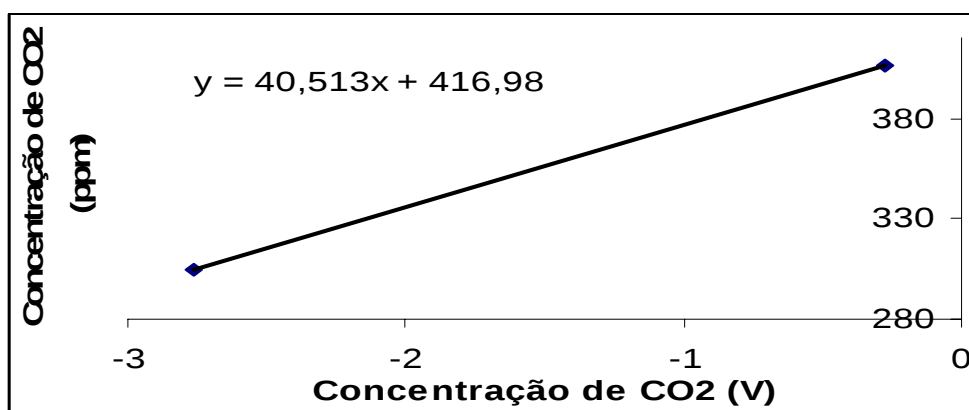


Figura 12 Gráfico para calibração da concentração de gás carbônico

A concentração de vapor d'água pode ter uma variação alta, então uma equação polinomial de 2º ordem é feita para a calibração da H₂O. Para tanto é gerado um gráfico da saída de H₂O em V x g/m³ H₂O (figura 13).

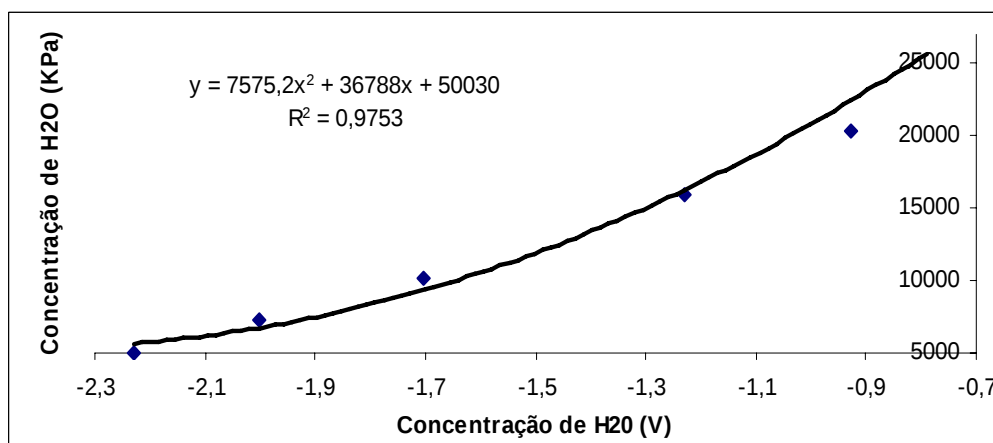


Figura 13 Gráfico para calibração da concentração de vapor d'água.

1- Saída:

O sinal de saída da temperatura é em volts, proporcional a temperatura interna do sensor. A saída de tensão nominal é de 0,2 a 1,55V.

2- Potência Requerida:

Para 12Vdc e 3A: 36W.

2.2.9. DATALOGGER

2.2.9.1. Finalidade

É um dispositivo de aquisição de dados, programável que interpreta sinais elétricos que os sensores produzem na entrada, convertendo em várias unidades de

medidas, que são armazenadas em seu módulo de memória. Vários sensores ligados ao datalogger estão mostrados na figura 14.

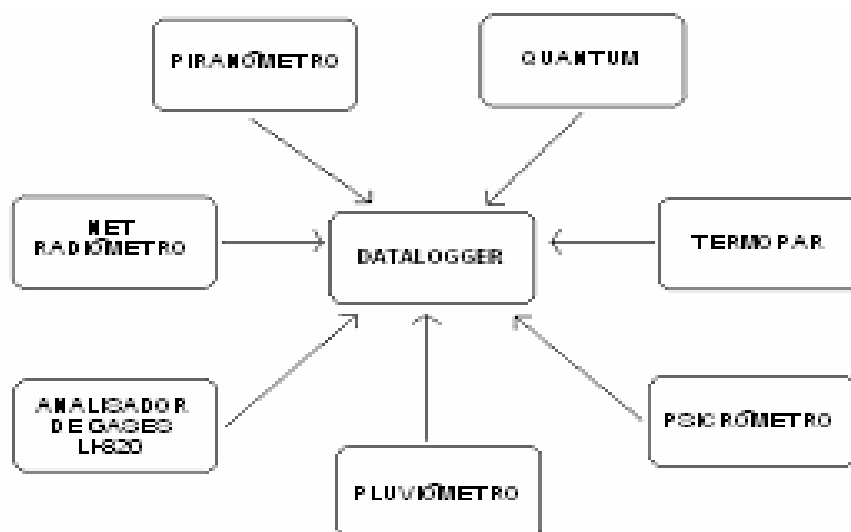


Figura 14 Diagrama dos sensores que estão ligados ao datalogger

2.2.9.2. Princípio de Funcionamento

O datalogger basicamente calcula, processa e armazena as informações em três áreas:

- Área de Entrada: de acordo com a programação, a cada intervalo de varredura dos sensores nesta área, é realizada a leitura dos sinais.

Área Intermediária: é utilizada para processamento (totalização) dos dados no tempo.

Área de Saída: é a área de armazenamento dos dados processados.

Existem diversos modelos e fabricantes de Dataloggers no mercado, por exemplo:

- 1-CR10X, CR21X, CR5000 etc. (Campbell Scientific Logan,UT,USA);
- 2-Policorder 516C –Easylogger (Ominidata Internacional Logan,UT,USA);
- 3- 1000 (LI-COR Instruments Lincoln, NE,USA) ;
- 4-SBL-600 (Skye Instruments Isle of Skye, Scotland, UK); e
- 5- Squirrel meter/logger (Grant Instruments Cambridge, UK) etc.

2.2.10. TDR (CS616 water content reflectometer)

2.2.10.1. Finalidade

O sensor modelo (CS616, Campbell Scientific, Inc.) é designado para medir a quantidade volumétrica de água no solo ou outro material poroso. Mede a

permissividade dielétrica aparente do solo para frequências de microonda (MHz - GHz). A informação da quantidade de água é derivada da sensibilidade da constante dielétrica da sonda (Figura 15). O conhecimento do conteúdo de água no solo é importante na dinâmica de solutos, calor, gases e da própria água no solo. Em escala global, sua importância esta relacionada com o importante sistema solo/água/planta/atmosfera (LACERDA, 2005)

A saída do CS616 é uma onda quadrada e está conectada ao datalogger CR5000 da Campbell Scientific.

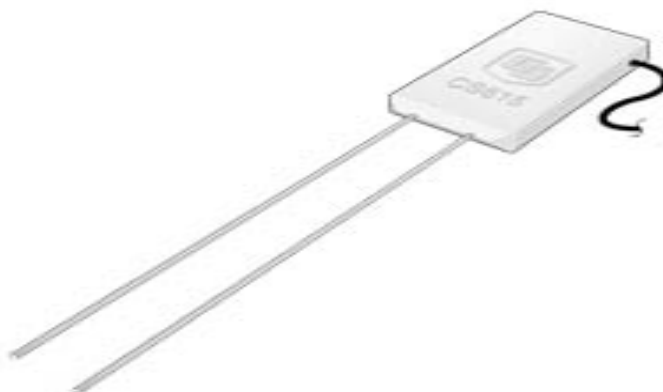


Figura 15 CS616 Water Content Reflectometer

2.2.10.2. Princípio de funcionamento

O CS616 consiste de duas varas de aço conectadas à uma placa de circuito impresso. Um cabo contendo quatro sub-condutores protegidos é conectado à placa do circuito para alimentar o circuito, habilitar a sonda e monitorar a saída dos pulsos. A placa do circuito é encapsulada por uma resina de epóxi.

Os componentes eletrônicos de alta velocidade na placa de circuito são configurados como um multivibrador biestável. A saída do multivibrador é conectada às hastes de sonda que agem como onda guia. O tempo de transferência do sinal das varas de sonda depende da permissividade do material dielétrico que cobre as varas e a permissividade dielétrica depende da quantidade d'água. Entretanto, a frequência de oscilação do multivibrador depende da quantidade d'água que está sendo medida. A escala da saída do circuito digital multivibrador é apropriada para a frequência de registro com o datalogger. A saída do CS616 é essencialmente uma onda quadrada com amplitude de $\pm 0,7$ volts. O período de produção da sonda de saída é de 14 microsegundos com as varas expostas ao ar e em torno de 42 microsegundos com as varas completamente imersas na água.

2.2.10.3. Especificações:

Dimensões:

Varas: 300 mm de comprimento, 3,2 mm de diâmetro

Cabeça da Sonda: 110 mm x 63 mm x 20 mm

Peso:

Sonda (sem cabo): 280 g

Cabo: 35 g/m

Elétrica:

Tempo de Medida com P138 (programação do datalogger):
0,50 milisegundos

Tempo de Medida com P27 (programação do datalogger): 50 milisegundos

Saída: $\pm 0,7$ V de onda quadrada com frequência dependente da quantidade
d'água

Potência: 65 mA para 12VDC

Tensão de Alimentação Requerida: 5VDC mínimo, 18VDC máximo

Comprimento Máximo do Cabo: 305m

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido no interior da Amazônia Matogrossense, (integrante da Amazônia legal que compreende o centro norte do Estado de Mato Grosso e estende-se na direção de 15° até 8°, Latitude Sul) em uma área cerca de 20Km², pertencente á Fazenda Macaraí, localizada na Região Centro-Oeste, a aproximadamente 560 km de Cuiabá – MT. A área de estudo possui ambientes naturais de vegetação bem conservadas, onde está situada a torre micro meteorológica que monitora o clima local, nas coordenadas geográficas (latitude 11° 24' 43,4" S, longitude 55°19'25,7" O e altitude 316m), no município de Sinop, Mato Grosso, Brasil, coordenado pelo Grupo de pesquisa de Física e Meio Ambiente, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT (figura 16).

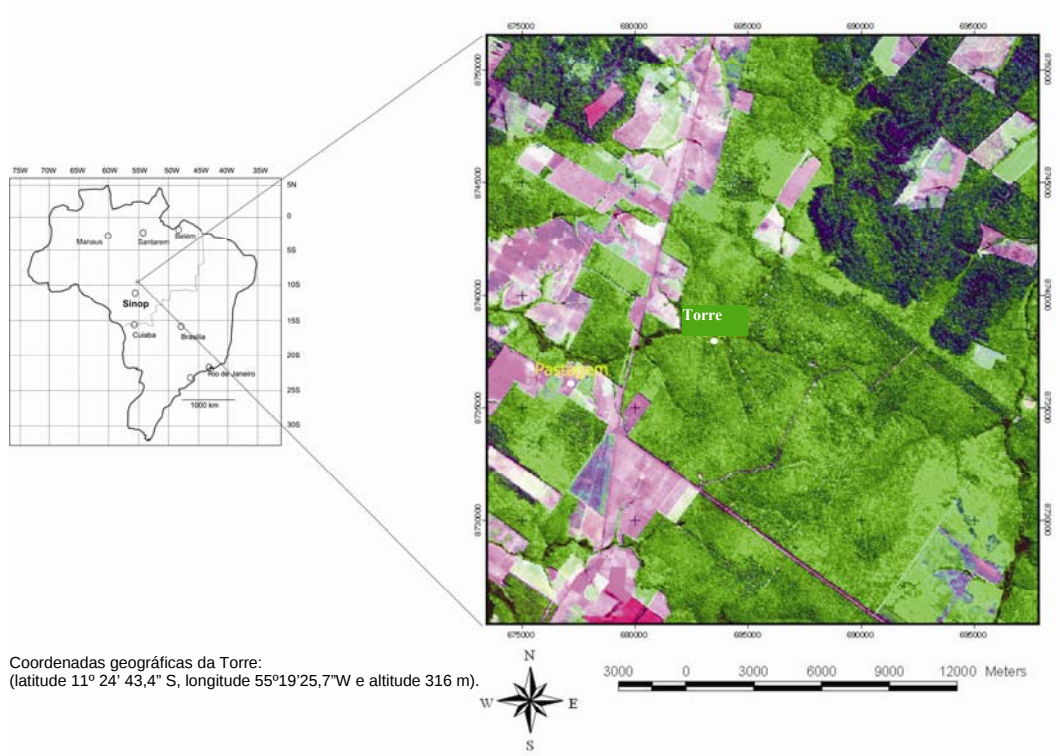


Figura 16 Mapa de localização área de estudo (Imagem Landsat 7ETM+)

Fonte: PINTO-JR, (2007).

A vegetação apresenta uma fisionomia que caracteriza a transição por estar localizada em área de contato entre a floresta amazônica e cerrado, denominada de Mata de Transição. Na porção norte a floresta apresenta um dossel médio cerca de 28m de altura. As espécies de árvores que ocupa a floresta identificadas são *Tovomita sp*, *Brosium sp*, *Casearia sp*, *Qualea sp*, *Dinizia excelsa*, *Quina pteridophilla*, *Mizelaurus ituaba* VOURLITIS et al (2002). Essa vegetação tem estado sujeita a uma das taxas mais altas de desmatamento (figura 17).

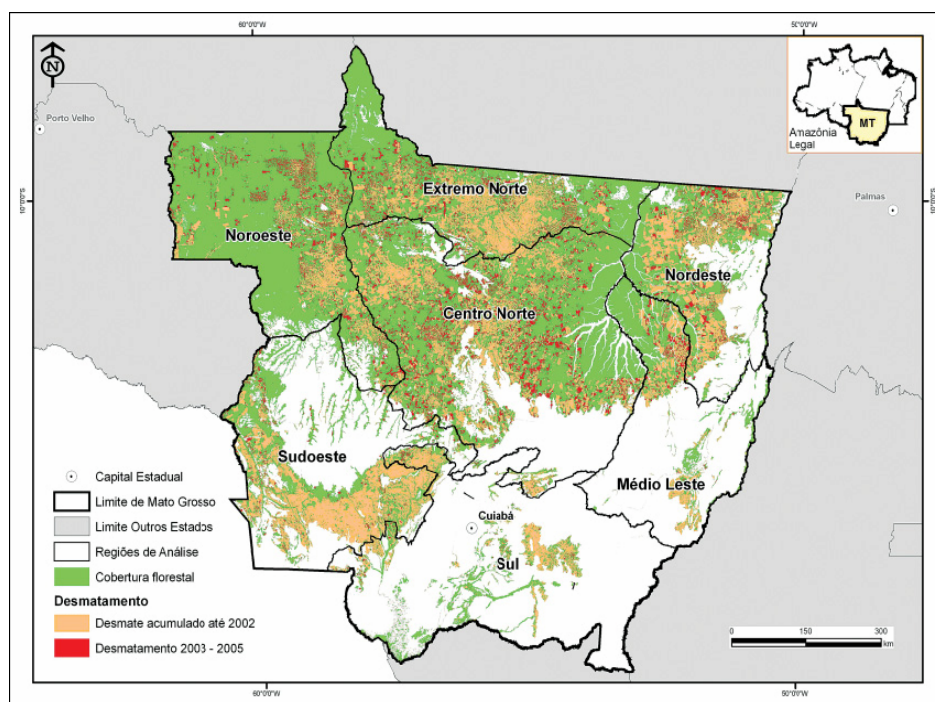


Figura 17 Mapa de cobertura florestal e o desmatamento em Mato Grosso
 Fonte: SEMA - MT, (2006).

O solo é caracterizado como neossolo quartzarênico órtico típico a moderado álico, com profundidade de 50 cm e textura arenosa com 83,6 % de areia, 4,4 % de silte e 2,2 % de argila (PRIANTE FILHO et al., 2004). Estes solos, além de bastante arenosos, são pobres em nutrientes, têm alta porosidade e drenam rapidamente a saturação provocada por fortes chuvas.

O clima da região é do tipo tropical quente e úmido (Aw, segundo classificação de Köppen). Este tipo climático predominante do centro-norte do Estado é caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: uma chuvosa, no período de outubro a abril e outra seca de maio a setembro, e pela pequena amplitude térmica anual, e por temperaturas e umidades elevadas: com médias anuais oscilando entre 24 °C e 27 °C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes com temperaturas máximas ao redor de 36 °C. A pluviosidade anual do clima local indicou uma média acima de 2000 mm anuais para os períodos de: 2003 a 2006 (Tabela 2).

Tabela 2 Precipitação mensal para 2003-2006 da área de estudo

MÊS(m)	2003 (mm)	2004 (mm)	2005 (mm)	2006 (mm)
Janeiro	600	462	330	264
Fevereiro	271	453	244	284
Março	382	135	575	256
Abril	276	138	134	181
Maio	70	0	13	0
Junho	0	0	0	0
Julho	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Setembro	25	16,7	75	104
Outubro	273	127	172	381
Novembro	382	408	175	176
Dezembro	365	415	535	394
Precipitação anual	2645	2154,7	2253	2040

3.2 METODOLOGIA

Para realização o presente trabalho, foram desenvolvidas as metodologias sobre: teorias e princípio básico de funcionamento de sensores, métodos de calibração, programação, coletas de dados e metodologia de dimensionamento do sistema de alimentação da torre.

3.2.1 A TORRE MICROMETEOROLÓGICA

O estudo do microclima de um determinado local fornece subsídios para o conhecimento das trocas de massa (CO_2 e Vapor D'água) e energia, e investigar o que ocorre entre a superfície e a atmosfera. Para esta investigação, é necessário um sistema de medição das variáveis microclimáticas, com registro sistemático e periódico das mesmas. Para tanto, construiu-se uma planta de dispositivos de coleta, processamento e armazenamento de dados, a qual foi denominada de Estação Automática (EA). A plataforma instrumental na qual estão distribuídos os sensores microclimáticos constitui-se de uma torre de ferro galvanizado com 42m de altura, com seção horizontal de 2,0m x 2,0m para medidas de fluxo de carbono, parâmetros micrometeorológicos, fluxo de calor no solo e fluxo de seiva, para desenvolvimento de projetos de pesquisas ambientais (Figura 18).

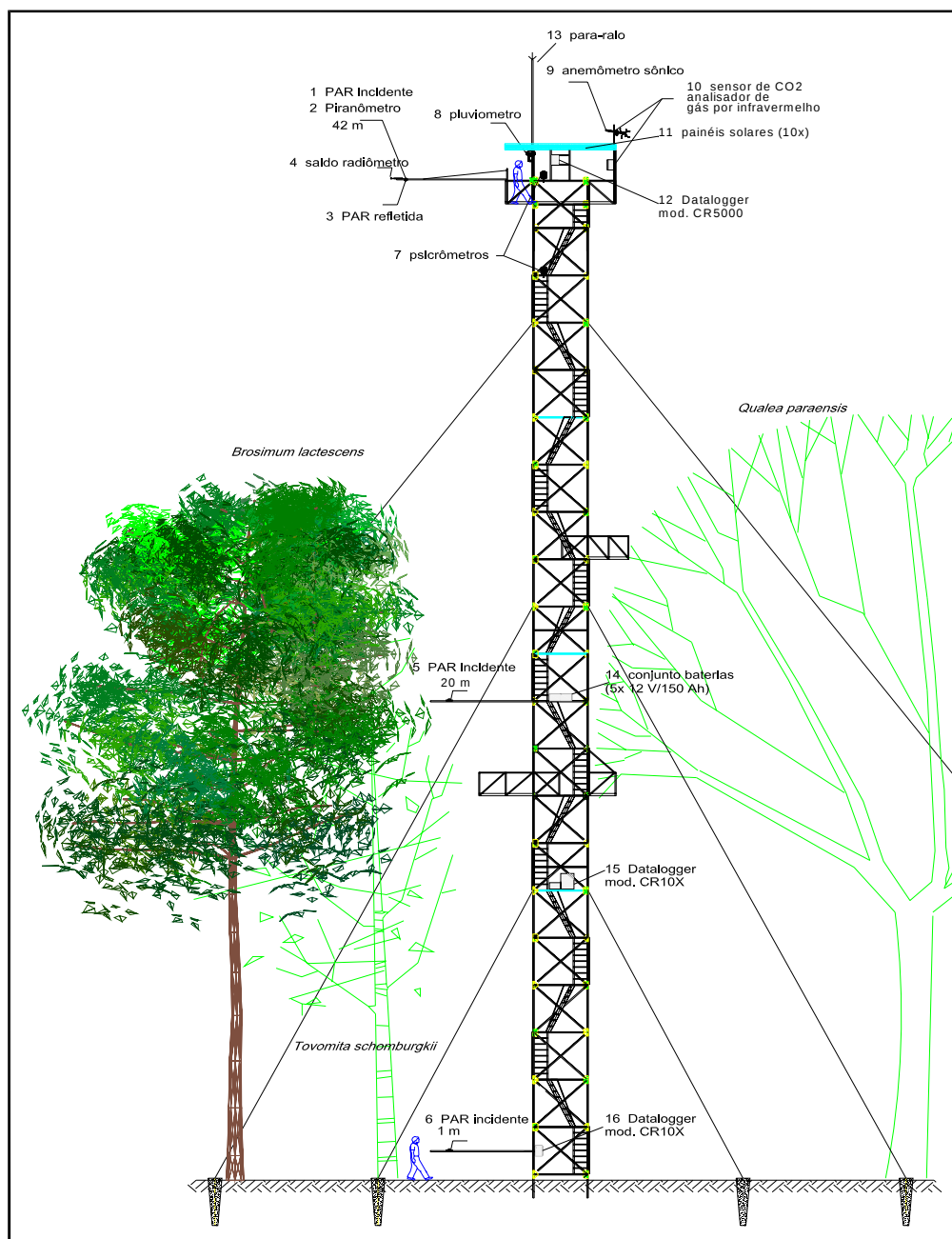


Figura 18 Torre micrometeorológica do sítio em estudo, fazenda Maracai

Fonte: SULI, (2004) atualizada.

3.3 INSTRUMENTAÇÃO METEOROLÓGICA

A torre é composta de sensores micrometeorológicos, que estão acoplados a três dataloggers que registram diversas variáveis como: precipitação, temperatura do ar e do solo, umidade relativa, radiação solar global e PAR (incidente e refletida), saldo de radiação; velocidade e direção do vento e outras.

Para coleta e armazenamento de dados do sistema de medidas de fluxos, micrométricos e de solo, utiliza-se de um datalogger (CR5000, Campbell Scientific, Inc.) situado no topo da torre.

Outro datalogger (CR10X, Campbell Scientific, Inc.) é utilizado a 10m do solo, e nele está instalado um analisador de gases (Li-820), para quantificar perfis de concentração de gás carbônico dentro do dossel, nas alturas de 1, 4, 12, 15, 28 e 41 m, dois sensores de leitura de fluxo de calor no solo colocado a 0,02 m da superfície do solo e quatro termopares colocados à 0,03, 0,07, 0,12 e 0,22 m abaixo da superfície do solo para monitorar a temperatura nessas profundidades.

Para armazenagem e coleta de dados de medidas de fluxo de seiva nas plantas, utiliza-se de um datalogger (CR10X, Campbell Scientific, Inc.), situado a 1,0m de altura do solo, que monitora (12) doze sensores (figura 19), com terminais de ponta de prova de dissipação de calor tipo (TDP50 Dynamax, Inc.) de comprimento de 50mm, diâmetro 1,65mm, resistência de 78 ohms, voltagem de 5Vcc e potência de 0.5W.



Figura 19 Sensor de fluxo de seiva tipo TDP50

3.3.1 SENSORES DE RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE.

Os sensores de radiação solar e terrestre foram montados e distribuídos no topo da torre a 42m de altura do solo, para medidas de saldo de radiação, radiação solar global incidente e PAR (incidente e refletida).

3.3.2 SENSOR DE RADIAÇÃO LÍQUIDA

O Net Radiômetro ou saldo radiômetro é usado para fazer a medidas da radiação líquida da floresta, através de duas termopilhas ligadas em série, uma na face superior mede a radiação solar incidente e outra na face inferior mede a

energia da superfície do solo. A diferença entre as duas radiações resulta no saldo de radiação ou radiação líquida. A unidade de medida é W/m^2 .

Cada sensor possui o seu certificado com fator de calibração de fábrica com as suas unidades e grandezas. O NET fornece saída de tensão proporcional a grandeza medida em $\mu V/(Wm^2)$, havendo a necessidade de conversão para $(Wm^2)/mV$ para multiplicar o parâmetro no programa do datalogger e obter o coeficiente multiplicador em $(Wm^2)/mV$. Segundo o manual do NET, para converter as unidades de $\mu V/(Wm^2)$, para $(Wm^2)/mV$, basta dividir o fator de calibração por 1000. Por exemplo: Se o sensor NET vier de fábrica com uma sensibilidade de $13,9 \mu V/(Wm^2)$, o multiplicador é:

$$M = \frac{1000}{13,9 \mu V / Wm^2} = 71,94 (Wm^2) / mV. \quad (1)$$

Esse multiplicador na equação de calibração (equação 1) é o coeficiente angular e o offset é o coeficiente linear.

3.3.3 SENSORES DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E PAR

Os sensores PAR (Quantun) encontram-se distribuídos em quatro níveis da torre, instalados a 1, 20 e 42 m do solo, Um para medir a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que a floresta recebe, dois para registrar a radiação que chega ao solo e o quarto para registrar a radiação que é refletida pela floresta (Figura 20).



Figura 20 Modelo Sensor (PAR) instalado na Torre

A partir de 20/02/2006, os sensores Quantum novos (N/S: Q34503, 34514, 345515 e 34518) certificado pelo Laboratório da LI-COR, Inc. em 18/01/2005, foram instalados na torre em Sinop porque os sensores PAR anteriores vinham apresentando falhas de medição devido a natural deterioração por fatores ambientais, desde o período de 2004, ocasionando falhas (buracos) de dados no

sistema. Desta substituição, resultou na otimização para medidas de leituras da radiação fotossinteticamente ativa do local de estudo.

Os sensores de radiação solar global e da radiação fotossinteticamente ativa ou, PAR (Photosynthetically Active Radiation) são funcionalmente semelhantes: ambos fornecem uma corrente elétrica proporcional a radiação solar recebida do hemisfério centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor.

O sensor de radiação PAR ou sensor de radiação fotossinteticamente ativa é filtrado e calibrado para medir radiação solar na faixa de comprimentos de onda de 400 a 700 nanômetros (nm), os quais são efetivos na fotossíntese das plantas. A unidade de medida do sensor de radiação PAR é o $\mu\text{mol}/\text{s}.\text{m}^2$ (micromoles por segundo por metro quadrado).

Os Sensores PAR modelo (LI-190SZ) da LI-COR, fornecem saída de tensão proporcional a grandeza medida em μA por 1000 $\mu\text{mol}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (Figura 21) havendo a necessidade de conversão para mV por 1000 $\mu\text{mol}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ para multiplicar o parâmetro no programa do datalogger e obter o multiplicador em $\mu\text{mol}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2} / \text{mV}$. Cada sensor tem um valor de multiplicador diferente, isto porque os materiais constitutivos de cada um são diferentes, então os laboratórios fabricam sensor com valores distintos. Então para transformar valores de μA por 1000 $\mu\text{mol}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, em (mV) medido nos sensores conectados no logger em $\mu\text{mol}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, basta efetuar alguns cálculos e fórmulas básicas da eletricidade e da eletrônica, de acordo com os procedimentos que se seguem:

1 - Utilizando-se da primeira lei da eletrônica que é a Lei Ohm, onde o enunciado diz que: “A diferença de potencial entre os terminais de um circuito é igual ao produto da resistência desse circuito pela intensidade da corrente elétrica que passa por tal circuito”. O enunciado é válido para a primeira fórmula (Equação 2):

$$U = I * R \quad (2)$$

Dessas derivam as equações 3 e 4

$$I = \frac{U}{R} \quad (3)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

onde:

U = a diferença de potencial medida em volt (V);

I = intensidade de corrente elétrica medida em ampère (A);

R = resistência à passagem da corrente medida em ohm (Ω)



Figura 21 Certificado de calibração do sensor PAR

2 – Resolução

Dados do sensor

A saída output do sensor PAR é 5,56 μA por 1000 $\mu\text{mol s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, assumindo que o resistor usado com o sensor é:

$$R = 604\Omega \text{ (é um valor que limita a corrente no circuito).}$$

3 – Substituindo os valores acima na equação 2 na fórmula fica:

$$U = 604\Omega * 5,56 \cdot 10^{-6} / 1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \text{ logo;}$$

$$U = 3,3582 \text{mV} / 1000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

4 – Efetuando a regra de três simples, fica:

$$\begin{array}{l} 3,3582 \text{mV} \text{-----} 1000 \mu\text{mol} \\ 1 \text{mV} \text{-----} X \end{array}$$

$$3,3582 X = 1 * 1000 \quad \text{logo};$$

$$X = 1 * \frac{1000}{3,3582};$$

$$X = 297,775 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mV}^{-1}$$

Portanto X é o resultado do coeficiente multiplicador do sensor PAR no programa do Datalogger.

O sensor de radiação solar global (Piranômetro) é calibrado para medir a radiação solar total recebida, ou seja, as radiações direta e difusa na faixa espectral de comprimentos de onda de 400 a 1.100 nanômetros (nm) e possui correção de co-seno para fazer com que o sensor fique insensível à direção da radiação dentro do hemisfério de medição. Sua unidade de medida é Wm^{-2} . Para converter o valor obtido no piranômetro (Wm^{-2}) em ($\mu\text{mol s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) basta multiplicar o valor obtido por $4,64 \mu\text{mol s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$). Logo, $1 \text{W/m}^2 = 4,64 \mu\text{mol s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Em muitas áreas de pesquisa, da engenharia à meteorologia, a determinação da radiação em uma bem definida faixa espectral é necessária. Isto pode ser obtido através de instrumentos sofisticados como o Espectrofotômetro ou através da combinação de Piranômetros com filtros coloridos de vidro, este último, relativamente mais barato que o primeiro. Estes filtros são capazes de bloquear ou deixar passar determinados comprimentos de onda.

Em meteorologia, os três tipos mais comuns de filtros utilizados e padronizados internacionalmente são:

OG530 opaco até 530 nm; transparente de 530 a 2.800 nm;

RG630 opaco até 630 nm; transparente de 630 a 2.800 nm;

RG695 opaco até 695 nm; transparente de 695 a 2.800 nm.

3.3.4 SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

Dois Psicrômetros modelo Hmp45c (Temperature and Relative Humidity Probe) estão instalados na torre à 36 e 41 m do solo. São usados para fazer medidas de umidade relativa e temperatura do ar nessas alturas (Figura 5).

A partir de 20/02/2006, estes dois sensores calibrados pelo Laboratório da Campbell do Brasil em 07/02/2006, foram instalados na torre de Sinop porque os psicrômetros anteriores vinham apresentando falhas de medição desde o período de 2004, ocasionando falhas (buracos) de dados no sistema. Desta substituição, resultou na otimização para medidas de leituras da temperatura do ar e umidade relativa do local de estudo, a partir desta data.

3.3.5 SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

Um pluviômetro modelo (TR-525M, Texas Eletronics, Inc) instalado no topo da torre quantifica a precipitação na floresta, está danificado devido à ação de abelhas no seu interior. Todos os sensores e os equipamentos instalados na torre e em suas proximidades ficam expostos a ação do tempo e estão sujeitos também ao ataque de insetos e animais (abelhas, animais roedores, etc., vide Figura 22), por essa razão é comum a ocorrência de falhas nos equipamentos que precisam ser rapidamente identificados e corrigidos imediatamente



Figura 22 Pluviômetro após sofrer ação ambiental

3.3.6 SENSOR DE TEMPERATURA – TERMOPAR

Existem sete termopares instalados a 1, 4, 12, 20, 30, e 41m do solo e são utilizados para medir a temperatura do ar nessas alturas e quatro outros colocados à 0,03, 0,07, 0,12 e 0,22m abaixo da superfície solo para fazer a leitura da temperatura nessas profundidades.

Em 2006, foi desenvolvido um estudo no laboratório UFMT sobre princípio de funcionamento de termopares visando otimizar dados de temperatura em torre. Este estudo resultou na construção de um “kit de reparo” (transformador ou máquina de solda com saída de 5 a 10Ampères), para efetuar a fusão dos condutores distintos do termopar tipo T, pois essa é a melhor forma de garantir a fixação da junção do termopar, levando em consideração as condições ambientais de operação.

3.3.7 ANALISADOR DE GASES (IRGA)

Técnicas micrometeorológicas fornecem meios alternativos para medida de trocas gasosa entre a biosfera e a atmosfera. As medidas de fluxo de energia são realizadas através de um sistema (método) de correlação de vórtices turbulentos em torres (“Eddy covariation”, BALDOCCHI *et al*, 1988; VERMA, 1990; VOURLITIS e OECHEL, 1997 e 1999), que calcula a covariância entre as flutuações na componente vertical da velocidade do vento e a concentração de CO₂ e Vapor D’água na amostra de ar coletado. Este método possui muitas vantagens. Primeira, ela é feita “*in-situ*” e não evasiva, ou seja, está no local de pesquisa e não altera o ambiente em volta do dossel. Segunda, estas técnicas seguem medidas contínuas. Terceira, medidas micrometeorológicas de média temporal em um ponto fornecem em uma área integrada, média das taxas de trocas entre a superfície e a atmosfera. Portanto, esta técnica quantifica, em áreas da ordem de hectare, as trocas de massa e de energia superfície-atmosfera, medindo diretamente o transporte turbulento de CO₂, vapor de H₂O e energia que são funções da fisiologia da superfície e do particionamento de energia (BALDOCCHI *et al*., 1988 e AUBLE e MEYERS, 1992). Os sensores do sistema eddy estão instalados a 3,5 m acima do topo da torre orientados para o leste (Figura 11). O sistema de medição de CO₂ constitui-se de um anemômetro sônico tridimensional (Applied Technologies, Inc, Longmont, CO, USA) que quantifica a velocidade do vento e temperatura nas três componentes (u,v,w) ortogonais; com sensores separados de 15cm a 120°. Um analisador de gases de circuito aberto (IRGA) modelo (LI-7500, LI-COR, Inc.), fixado na haste do anemômetro sônico que mede a concentração de CO₂ e Vapor D’água com uma sensibilidade de 0,1s de intervalo. Sinais analógicos do IRGA (H₂O e CO₂) são passados a CPU do anemômetro e transformado em um conversor analógico-digital numa frequência de 10Hz. As medidas em 10Hz são processadas em programas computacionais que calculam as médias móveis com tempo de amostragem de 200s e possui uma

técnica de filtragem recursiva seguindo a rotação de eixos para os vetores de velocidade do vento. Os valores médios, com intervalo de 30 minutos dos fluxos de massa e CO₂, e de outros dados micrometeorológicos salvos em planilhas eletrônicas para serem criticados e analisados. Todos esses sensores descritos anteriormente e o sistema de correlações de vórtices turbulentos estão conectados no datalogger (CR5000, Campbell Scientific, Inc.).

3.3.8 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um sistema de aquisição de dados é composto por três etapas distintas:

- Medição, processamento e armazenamento de informações de dados;
- Recuperação dos dados armazenados;
- Geração de relatórios em planilhas eletrônicas.

Os equipamentos utilizados para coletar a base de dados na torre são descritos a seguir:

3.3.8.1 DATALOGGER (CR10X-CAMPBELL)

O CR10X é um coletor de dados (datalogger) totalmente programável e construído em um módulo metálico de alta rigidez mecânica e elétrica. O acesso à programação e controle do CR10X é feito através de periféricos como: módulo de memória, teclado/display (CR10KD) ou via comunicação serial (interface ou modem) com um microcomputador, no modo de telecomunicações (Figura 23).

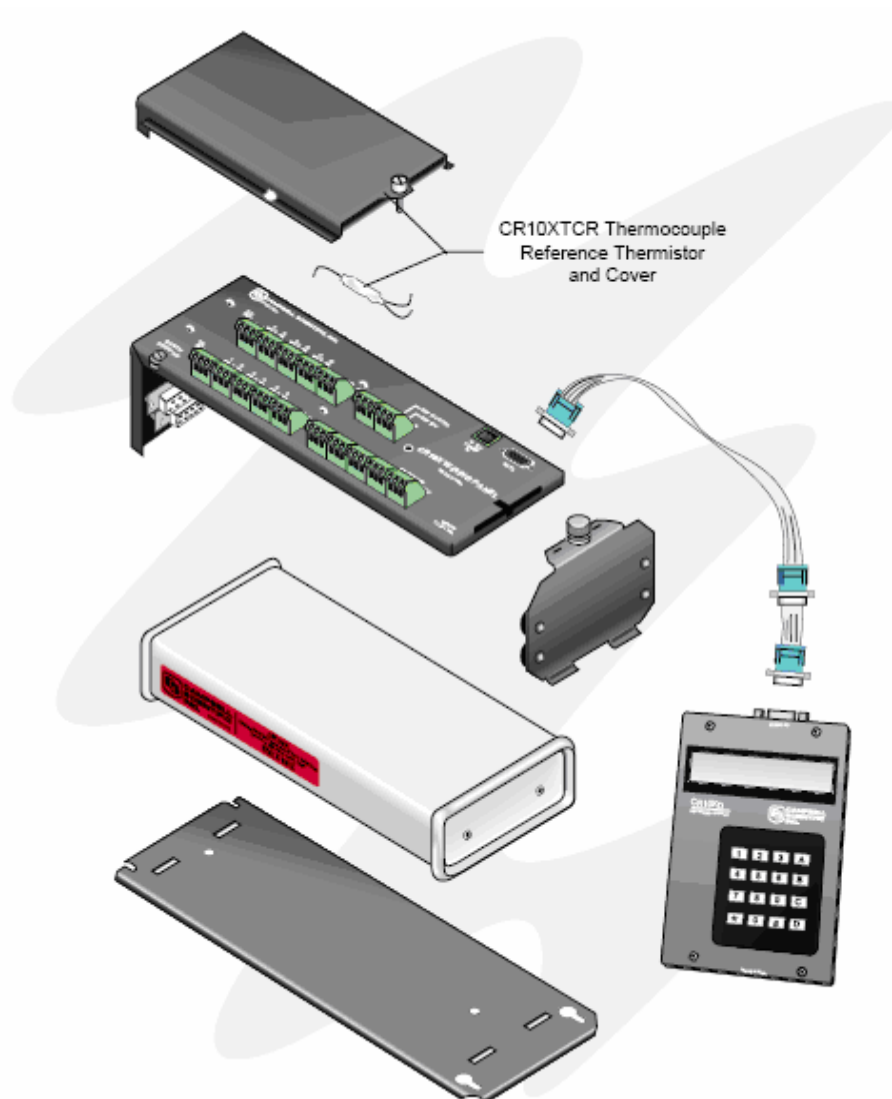


Figura 23 Vista de explosão do (CR10X) e periféricos

Fonte: Manual do (CR10X)

♦ Aplicações:

- Armazenar informações de sensores microclimáticos conectados a entrada;
- Calcular e processar os dados; e
- Controlar dispositivos eletroeletrônicos (desligar, ligar, controlar temperatura, etc.).

♦ Características

- 12 Entradas analógicas simples (SE1 a SE12) programáveis ou 6 entradas analógicas diferenciais (DIFF1 a DIFF6);
- 3 Saídas de excitação (E1 a E3) programáveis;
- 2 Entradas de pulsos (P1 a P2);
- 8 Portas (entrada ou saída) digitais de controle (C1 a C8);
- Tensão de alimentação 12Vcc (9,6V a 16V CC);

- Terra analógico;
- Saídas de 5Volts;
- Capacidade de memória (128KB a 2Mb);
- Comunicação com porta serial (necessita de interface) do PC.

3.3.8.2 PAINEL DE LIGAÇÃO DO DATALOGGER

O CR10X possui um painel de ligação (*wiring panel*) com os terminais para a conexão dos sensores, alimentação e comunicação externa. Este painel também proporciona proteção contra transientes de sobre tensão e polaridade reversa. A figura 24 mostra o painel e as instruções usadas para acessar cada um dos seus terminais.

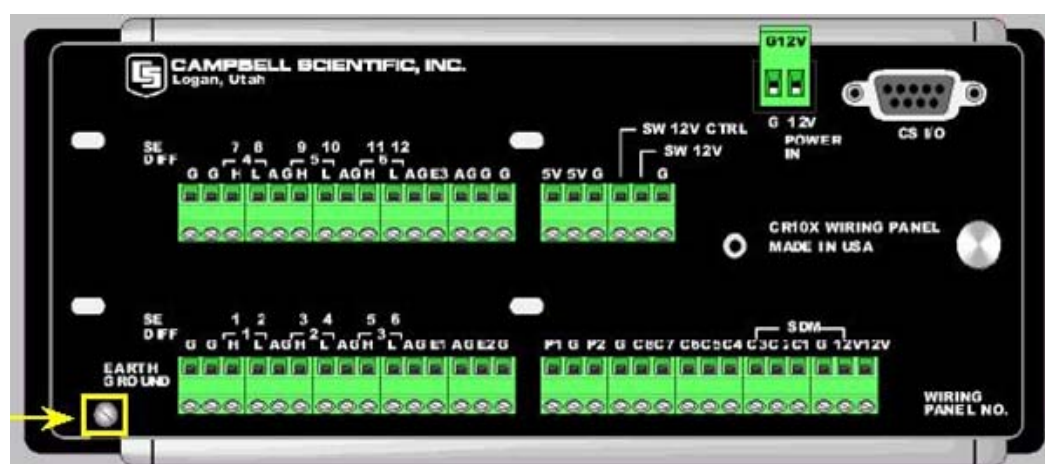


Figura 24 Painel de conexão do datalogger (CR10X)

Entradas Analógicas (SE OU DIFF)

Os terminais denominados 1H até 6H e 1L até 6L são utilizadas para medir a tensão de saída de sensores tais como: termopares, psicrômetros, piranômetros, sensores PAR etc. As letras H e L se referem às entradas alta (*high*) e baixa (*low*) para os canais diferenciais (DIFF) de 1 a 6. Nas leituras diferenciais, a tensão analógica é medida de uma entrada H em relação a sua respectiva entrada L, formando um “canal diferencial”. Para medidas do tipo absoluto ou “*single ended*” (SE), cada uma das entradas H ou L é considerada um canal independente, que mede tensões com relação ao sistema terra analógico (AG). Os canais SE são numerados sequencialmente, sendo os canais 1 e 2 respectivamente os terminais H1 e L1, os canais 3 e 4 respectivamente H2 e L2 e assim sucessivamente até os canais 11 e 12 em H6 e L6.

Saídas de excitação chaveadas (E1 a E3)

Fornecem tensões precisas (constantes) para multiplexadores, para alimentação de divisores de tensão ou pontes resistivas em AC ou DC.

Entradas de pulsos (P1 a P2)

São usados como contadores de pulsos. Estas entradas ou canais contam o número de ciclos por período de sinais do tipo pulsado, como anemômetros, pluviômetros medidores de fluxo e fechamento de chave ou sinais alternados (senoidais).

Portas (entrada ou saída) digitais de controle (C1 a C8)

São utilizadas para medir o status de um dispositivo externo como testes de níveis lógicos digitais de tensão (*High / Low*). Elas também podem ser configuradas como saídas para controlar multiplexadores, sinal de referência de psicrômetros e também outros periféricos. As Portas (C6 e C8) também funcionam como portas de pulsos.

Terra analógico

Os terminais “terra” analógicos (AG) são como referência nas leituras de tensão do terminal (SE) e na geração das saídas de excitação chaveadas para medidas resistivas.

Tensão de alimentação (12V) e terra(G)

O datalogger é alimentado por uma fonte de 12V, operando entre 9,6V a 16V CC. Esta alimentação deve ser aplicada entre os terminais 12V e a referência G.

Os terminais adicionais de 12V e G podem ser usados como fonte de alimentação para outros periféricos. Os terminais “terra” (G) também são usados na blindagem de cabos, podem ser utilizados como retorno para as fontes de 5V e 12V e como referência de terra para as entradas de pulso (P) e as portas de controle digitais (C) entrada/saída. O terminal de 12V chaveado (SW 12V CTRL) pode ser “ligada” ou “desligada” de acordo com o programa de controle do datalogger.

Saídas de 5Volts

Os dois terminais de 5V produzem saída de tensão de 5 Volts $\pm 0.2\%$ para

alimentação de periféricos externos, interfaces ou alguns tipos de sensores que trabalham nesta faixa de tensão (em geral, circuitos eletrônicos digitais). Possui um limite de corrente no total de 200 mA.

Conexão ao Aterramento

É utilizada para proteção do datalogger e dos sensores contra transitórios de correntes elétricas. O aterramento pode ser feito individualmente ou ligado na estação meteorológica.

Comunicação Serial

A comunicação com o datalogger é feita através de seu conector tipo (DB9) de 9 pinos com qualquer equipamento de comunicação serial como (módulo de memória, teclado/display) diretamente, ou através interfaces específicas com um computador PC, classe RS232, (A, B e C) da Campbell”.

Software

O fabricante desenvolve e confecciona os próprios programas de recepção e tratamento de dados e programação dos seus loggers. O CR10X trabalha com os software de suporte PC208W e LOGGERNET, executável em ambiente windows, sendo compatíveis com programas de planilha eletrônica.

3.3.8.3 MODULO DE MEMÓRIA SÓLIDA (SM192-SM716 -SM4M)

♦Características

As características dos módulos, figura 25, são descritas a seguir:

- A partir 128KB até 2Mb de dados;
- 8 colunas de armazenagem de programas;
- Possui bateria interna de lítio;
- Necessita-se de “limpeza de memória” periódica devido a restrição de armazenagem de dados.



Figura 25 Módulo de memória sólida (Campbell).

3.3.8.4 TECLADO/DISPLAY (CR10KD-CAMPBELL)

♦Características

As características do teclado são descritas como:

- (*0) Compila e inicia a execução do programa
- (*1) Serve para programar o logger CR10X em Código Hexadecimal e gravação na área (1)
- (*2) Edita programa na área (2)
- (*3) destinado ao armazenamento de subrotinas de programaras na área (3)
- (*5) Mostra / Ajusta data / hora (Calendário em dias Juliano /Clock) do CR10X
- (*6) Mostra valores de dados instantâneos do logger CR10X
- (A) Avançar ↑
- (B) Retroceder ↓
- (C) Inserir sinal (-)
- (*D 71) Inserir Instruções de transferência de programas do módulo para logger e vice-versa

3.3.8.5 DATALOGGER (CR5000-CAMPBELL)

O CR5000 é um dos mais versáteis sistema de aquisição de dados do mercado, com capacidade de coletar até 5000 amostras por segundo com de 16 bits. Inclui CPU, teclado, visor fonte de alimentação interna e portas analógicas e digitais de entrada e saída. Possui uma linguagem de programação *build-in* semelhante à BASIC. Além disso, possui também processador de dados e

analisador de rotinas. O software PC9000 fornece geração e edição de programa, recuperação de dados e monitoramento em tempo real (Figura 26).



Figura 26 Pannel de conexão do datalogger CR5000

♦Aplicações:

As mesmas as do CR10X, sendo distintos somente nas características:

- Maior número de portas de entrada;
- Teclado, Display e Programas de Gerenciamento “*build-in*” (montado internamente);
- Utilização de mídia de memória tipo CF, e cartões PCMCIA (os mesmos usados em laptops modernos).

♦Características

As características do CR5000 são descritas abaixo:

- 40 Entradas analógicas simples (SE1 a SE12) programáveis ou 20 entradas analógicas diferencias (DIFF1 a DIFF6) ;
- 4 Canais de voltagem de excitação (VX1 a VX4) programáveis e 2 canais de corrente de excitação (IX1 a IX2);
- 2 Entradas de pulsos (P1 a P2);
- 8 Portas (entrada ou saída) digitais de controle (C1 a C8);

- Tensão de alimentação 12Vcc (9,6V a 16V CC);
- Terra analógico;
- Saídas de 5Volts;
- Capacidade de memória (2MB de SRAM e 1 MB de flash EEPROM);
- Comunicação com porta serial (necessita de interface) do PC;
- Comunicação e armazenamento de dados através do cartão de memória tipo PC/PCMCIA até 1GigaByte;
- Possui uma porta RS-232 e outra CS I/O (tabela de dados e saída);
- Taxa de resolução com sensibilidade de $0,67\mu\text{V}$

◆Software

O CR5000 trabalha com os software de suporte LOGGERNET, executável em ambiente Windows, assim como o PC9000, sendo compatíveis com programas de planilha eletrônica disponíveis no mercado.

3.3.9 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de alimentação da torre é constituído de:

- 1- Um banco de baterias usado para alimentar os equipamentos instalados na torre, atualmente é composto de cinco baterias de chumbo-ácida selada com válvula de alívio de 12VCC/150Ah cada;
- 2- Controlador de carga solar para a bateria, que evita descarga excessiva, sobrecarga e ainda realiza a carga ótima da bateria, visando o prolongamento de sua vida útil;
- 3- Painel de energia solar fotovoltaica da torre, composto por 10 placas solares de 75W (modelo SP75 Siemens Ltda). Cada painel é capaz de fornecer até 23,2Ah/dia de carga à estação, levando em consideração, a média de insolação do local. A energia do sol é medida em horas úteis por dia. Segundo a Siemens, no Brasil a média de insolação é de 5 horas por dia de Sol.

As placas estão conectadas a dois controladores de carga modelo SR30 (Siemens) que estão conectados ao banco de baterias para fornecer energia ao banco. Este possui uma tensão de operação que oscila entre 13,4 volts a 11,4 volts, com a finalidade de não danificar o banco de baterias. O sistema de painel solar também foi redimensionado e distribuído, ficando locado somente no topo da torre. Antes era locado em dois níveis na torre. O cálculo de dimensionamento

do painel solar utilizou-se de procedimentos de dimensionamento de sistema de energia solar fotovoltaica do fabricante, em função da quantidade de equipamentos, sensores e outros periféricos conectados à estação, de forma que, a carga da bateria seja garantida mesmo em dia nublado, proporcionando autonomia para fornecer carga durante todas as noites ao sistema. A alimentação garante fornecimento de energia mesmo se as baterias ficarem 2 a 3 dias sem recarga, o que pode ocorrer em casos de períodos prolongados de céu nublado.

4- Cabos e fiação do sistema. Em 2005, cabos e fios foram substituídos e redimensionados para diminuir as perdas do sistema, devido a efeitos de oxidação e corrosão, que aumentam a resistência e, conseqüentemente, a queda de tensão devido ao efeito Joule (aquecimento).

5- O sistema de aterramento da torre e de proteção dos equipamentos analógicos e digitais tem por objetivo:

- oferecer um caminho para descarga elétrica;
- oferecer uma passagem para uma corrente elétrica de fuga;
- proteger o usuário de choques elétricos;
- melhorar a atuação do sistema.

Para o datalogger, a conexão de aterramento é utilizada, porque é por meio dele que as cargas eletrostáticas acumuladas nos equipamentos eletrônicos são descarregados na terra, protegendo os circuitos digitais (sensíveis a cargas eletrostáticas) e os operadores ao fazerem manutenção e coleta de memória. Um sistema de aterramento bem dimensionado evita a queima do aparelho em casos proveniente de descargas atmosféricas. Na torre de Sinop utilizou-se sistema de aterramento individual para garantir a proteção e confiabilidade de uso dos equipamentos na torre.

Para o datalogger, foi desenvolvido um sistema individual de proteção contra curto-circuito, utilizando-se de fusível de 10A, tipo automotivo, para evitar provável avaria do equipamento (Figura 27).

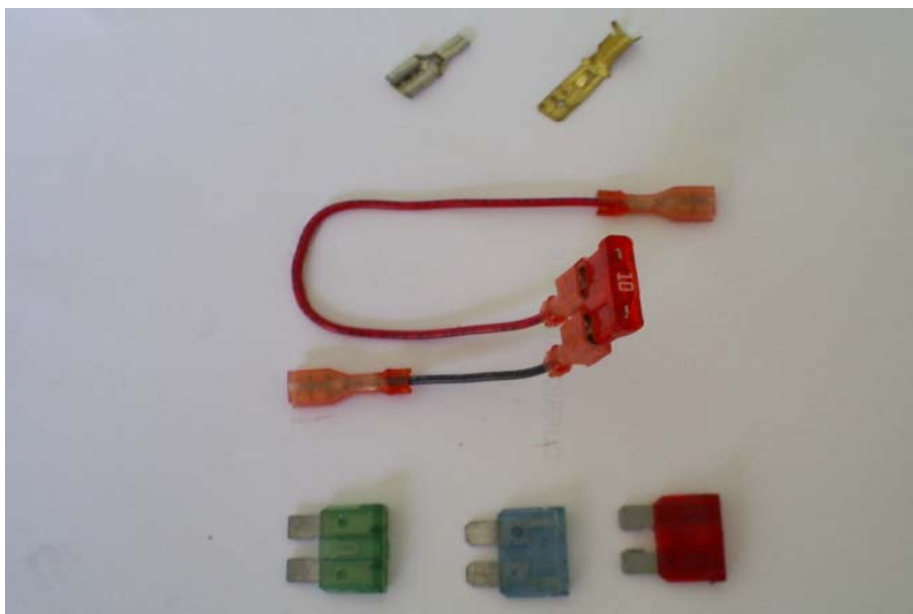


Figura 27 Dispositivos de proteção contra curto-circuito

3.4 TÉCNICA DE CALIBRAÇÃO DE SENSORES EM TORRE

3.4.1 SENSOR PAR (QUANTUM)

Medidas diárias de radiação PAR e outras variáveis microclimáticas para estudos vêm sendo monitoradas em torres micrometeorológicas instaladas em ecossistemas de florestas de transição e pastagem no norte do Estado de Mato Grosso. Logo para que estas medidas de radiação PAR e outras sejam confiáveis, é necessário conhecer não somente os princípios básicos de funcionamento como também os métodos de calibração para que os experimentos em estudo sejam válidos. O sensor piranômetro é normalmente calibrado pela comparação com o piranômetro (PEARCY, 1989).

O sensor de radiação PAR incidente (LI-190SZ Quantum Sensor) ou sensor de radiação fotossinteticamente ativa é filtrado e calibrado para medir radiação solar na faixa de comprimentos de onda de 400 a 700 nanômetros (nm), os quais são efetivos na fotossíntese das plantas. A resposta espectral do sensor PAR pode ser utilizada para se avaliar a adequada iluminação para o crescimento das plantas em áreas abertas, sombreadas ou internas sob luz artificial.

A unidade de medida do sensor de radiação PAR é o $\mu\text{mol/s.m}^2$ (micromoles por segundo por metro quadrado). Frequentemente, estas unidades são expressas em fótons, moles ou Einstein (E). Tem-se que: (um) $1 \mu\text{mol/s.m}^2 =$

$6,02 \times 10^{17}$ fótons = $1 \mu\text{E/s.m}^2$. O Ceptometer (barra quântica) modelo AccuPAR LP-80 é um instrumento de medida de Intercepção de luz em copas de planta, e para Calcular Índice de Área de Folha (LAI – *Leaf Area Index*). Consiste em um Microprocessador dedicado (datalogger) e contém 80 sensores independentes, espaçados 1cm. Seus fotossensores medem radiação fotossinteticamente ativa na faixa de 400 a 700 nm, em unidades de micromols por metro quadrado por segundo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Cada sensor possui o seu certificado de calibração de fábrica, portanto o mesmo precisa ser calibrado periodicamente (+/- 2 anos).

Para calibrá-lo precisamos ter um sensor padrão de referência ou uma barra quântica (Ceptometer). O objetivo principal deste procedimento é simular um ensaio utilizando do sistema de calibração, que consiste inicialmente em comparar dados de registros entre o ceptometer e os sensores PAR da torre, e posteriormente a através de equações de regressão, verificar se este modelo linear apresenta correlação adequada (R^2 próximo de 1) para depois traçar a nova constante de calibração dos sensores PAR em teste (Figura 28).

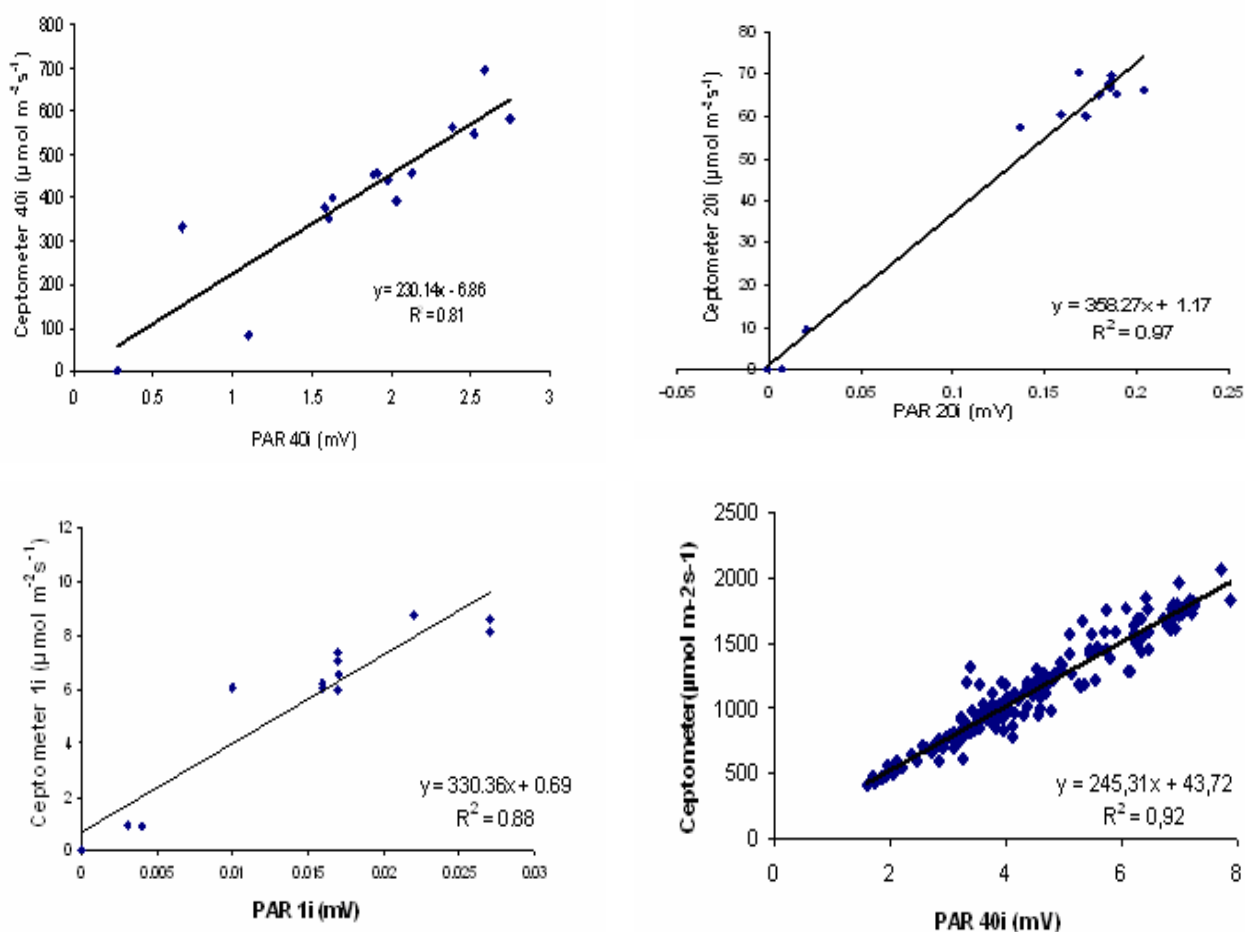


Figura 28 Gráfico de calibração de sensores PAR da Torre

Outro método utilizado foi o de comparação com um sensor padrão ou de referência, com sensores em teste conectados num datalogger, podendo ser medidos e comparado nas unidades de $\mu\text{mol/s.m}^2$ ou em mV, sendo o resultado verificado através de modelagem estatística (equações de regressão Linear) para saber se o resultado do ensaio é significativo (Figura 29).

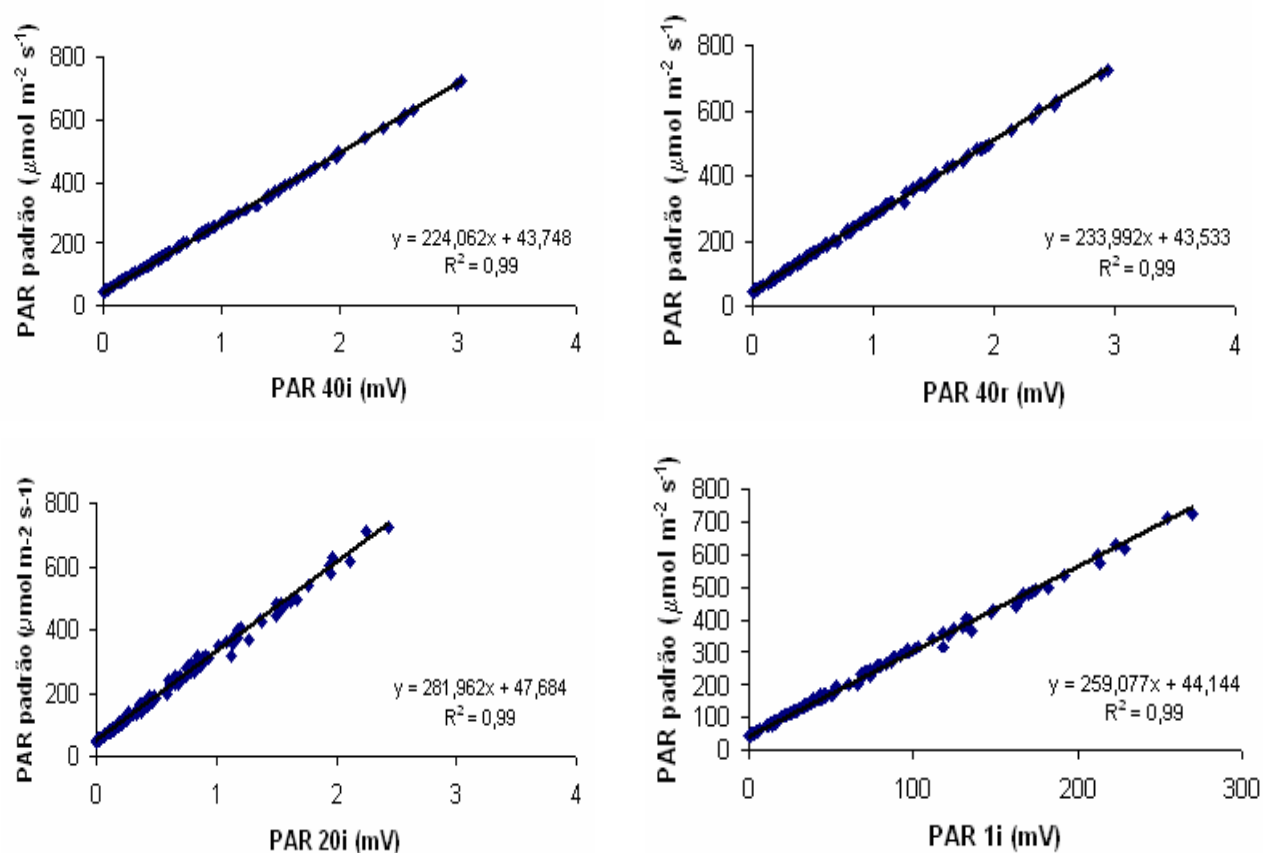


Figura 29 Gráfico de calibração dos sensores PAR da Torre

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos gerados são referentes ao banco de dados micrometeorológicos da área de estudo, para as seguintes variáveis: Radiação líquida, global, PAR, umidade relativa, temperaturas do ar, as concentrações de CO₂ e vapor d'água, direção e velocidade do vento.

4.1 RADIAÇÕES LÍQUIDA, GLOBAL e PAR.

As figuras 30 , 31 e 32 mostram que as radiações líquida, global e PAR possuem a mesma tendência. A radiação permanece perto de zero no período noturno. Ao amanhecer, a radiação começa a aumentar, atingindo o seu ponto máximo perto das 12 horas. No período vespertino, a radiação começa a diminuir até ao anoitecer, o que ocorre por volta das 18 horas nesta região.

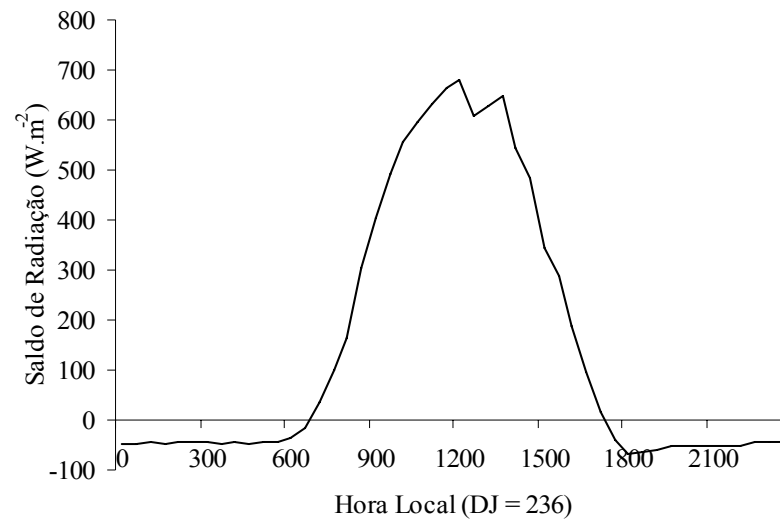


Figura 30 Medidas de radiação líquida.

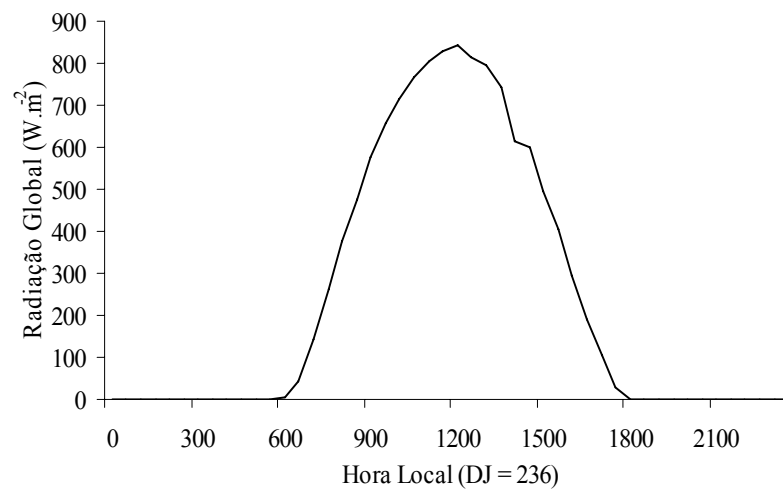


Figura 31 Medida de radiação global.

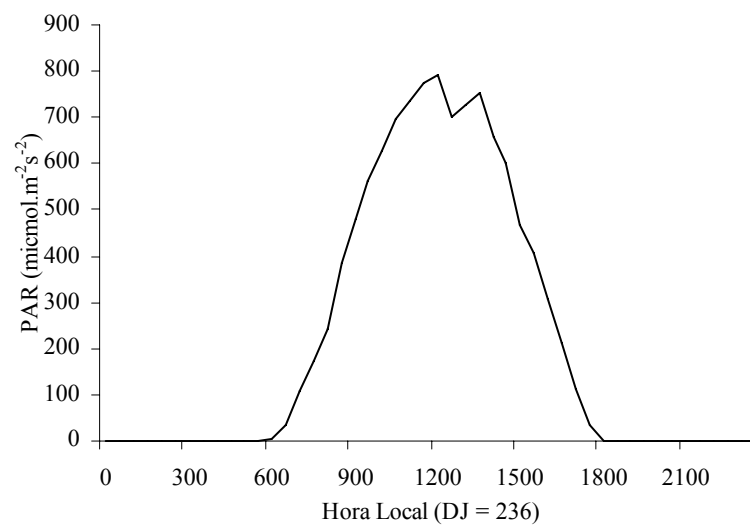


Figura 32 Medida de radiação PAR incidente.

4.2. TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

As figuras 33 e 34 mostram a variação da umidade relativa e temperatura do ar medidas pelo psicrômetro situado a 36m do solo, mostrado na figura 5.

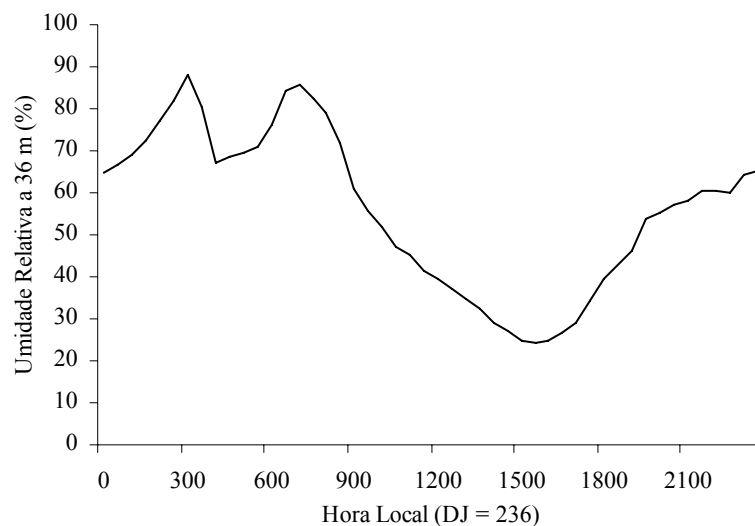


Figura 33 - Umidade relativa do ar ao longo de um dia.

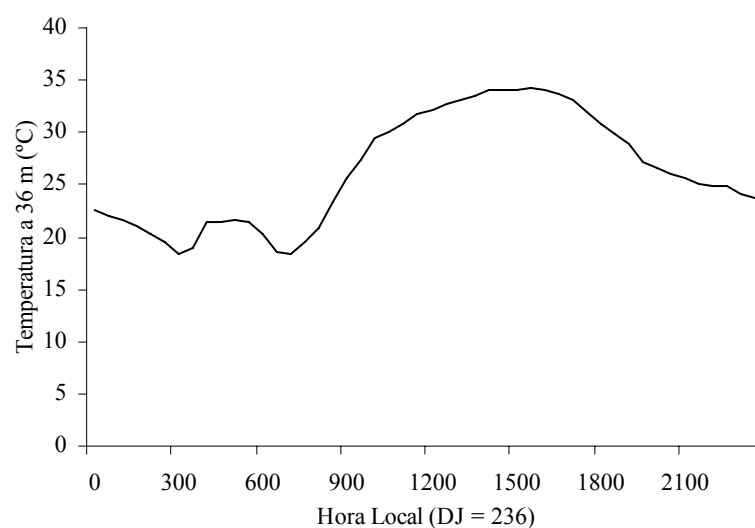


Figura 34 - Temperatura do ar ao longo de um dia.

Comparando a temperatura e a umidade relativa do ar, observa-se que as duas medidas são inversamente proporcionais. Sendo que a temperatura atinge o seu valor máximo perto das 15 horas, e seu valor mínimo às 6 horas, já a umidade relativa atinge o seu valor mínimo exatamente quando a temperatura é máxima. Embora seja um comportamento trivial, esta comparação é importante para verificar o funcionamento de dois sensores, cujos parâmetros medidos são

complementares.

4.3. MEDIDA DE TEMPERATURA USANDO-SE TERMOPAR

A figura 35 mostra a variação da temperatura do ar medida com um termopar tipo T localizado a 36 m de altura na torre.

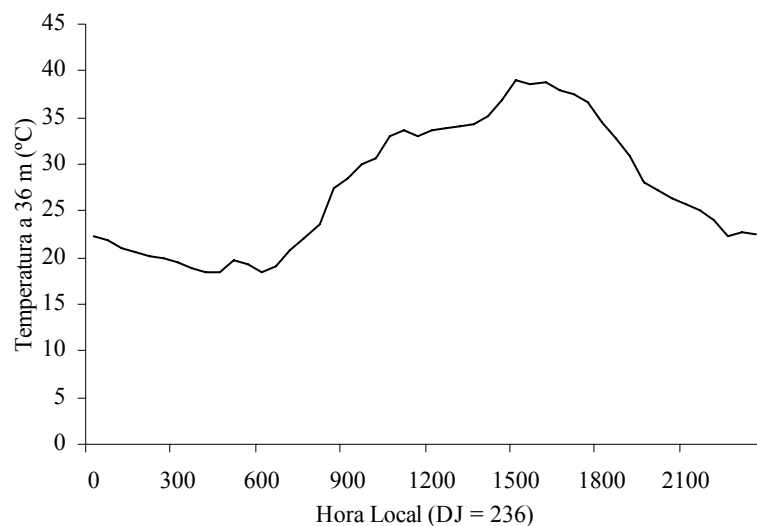


Figura 35 Temperatura medida com termopar a 36m de altura.

Assim como se esperava, a temperatura medida com o psicrômetro e um termopar apresentam a mesma tendência no mesmo período do dia, desconsiderando uma variação devido à classe de exatidão dos sensores serem diferentes.

4.4. PRECIPITAÇÃO

A figura 36 mostra o total de precipitação do local de estudo, referente ao período de 2006.

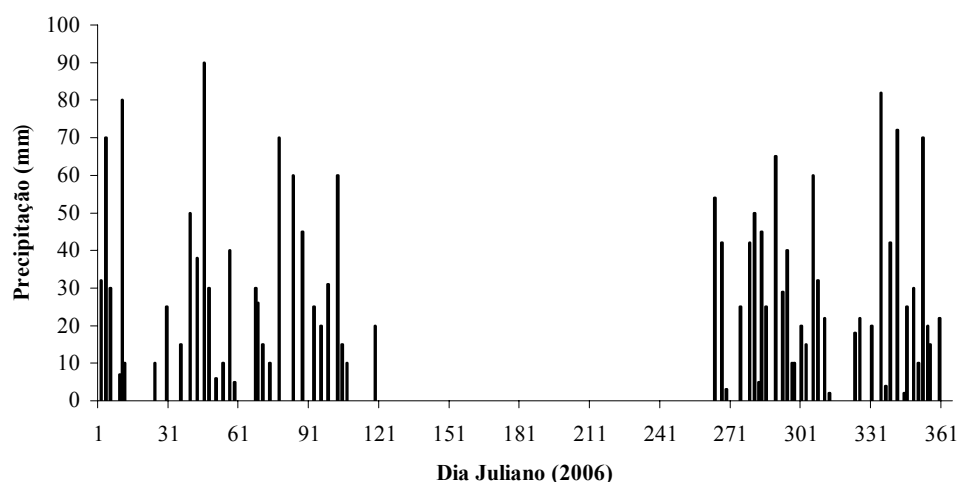


Figura 36 Precipitação (mm) ao longo do ano de 2006.

Este dado informa que o clima local é caracterizado pela presença de duas estações bem definidas: uma chuvosa, que compreende o período de outubro a abril e outra seca de maio a setembro. Este tipo climático é predominante da região centro-norte do Estado, portanto, as medidas coletadas estão de acordo com a tendência climatológica local.

4.5. CONCENTRAÇÃO DE GÁS CARBÔNICO COM LI-820

A concentração de CO_2 medida com o Li-820 (figura 37), é muito importante para estimar o estoque de gás carbônico na floresta em diferentes alturas dentro da floresta. À medida que a oferta de radiação PAR aumenta, a concentração de CO_2 diminui, devido a um comportamento fisiológico natural dos vegetais. Quando a luz incidente diminui, a taxa de fotossíntese também cai, e as folhas liberam CO_2 para a atmosfera. Este comportamento foi perfeitamente registrado pelos sensores de concentração deste gás.

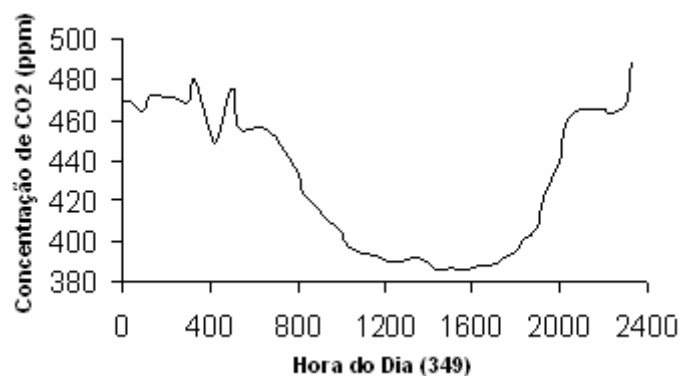


Figura 37 Concentração de gás carbônico no dia 349 (calendário Juliano).

4.6. DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO

As figuras 38 e 39 mostram a direção do vento em 360° e a velocidade do vento em m/s respectivamente.

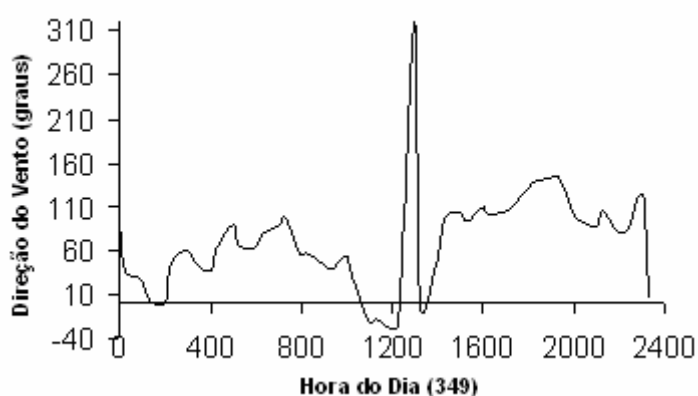


Figura 38 Direção do Vento predominante no local.

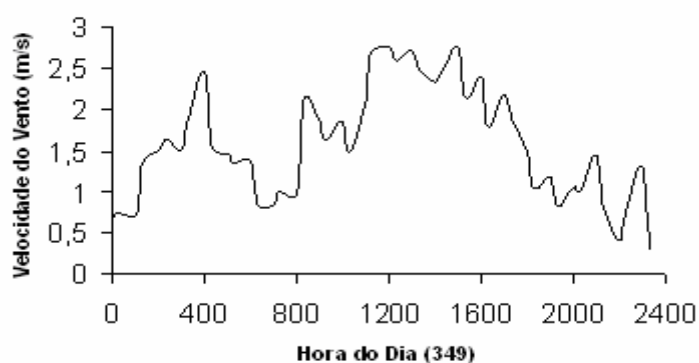


Figura 39 Velocidade do vento predominante no local.

A direção do vento (figura 38), às 13 horas muda de direção bruscamente de -30° para 310° permanecendo quase constante em torno de 110° no resto do dia. A velocidade do vento na figura 39 atinge 2,5 m/s às 4 horas, depois diminuiu

para 1 m/s. Às 8 horas vento aumenta a velocidade até atingir 3 m/s às 12 horas, logo após esse horário a velocidade diminuiu devagar até anoitecer. Estes dados foram coletados pelo sistema de medição de vórtices turbulentos (Eddy Covariance), através de um anemômetro sônico, e apresenta um resultado esperado, pois na região prevalecem ventos na direção sul-sudoeste, ou seja, por volta de 110° .

4.7 TENSÃO DA BATERIA

O gráfico da figura 40 mostra a tensão do banco de bateria entre os dias 183 a 220 (calendário Juliano).

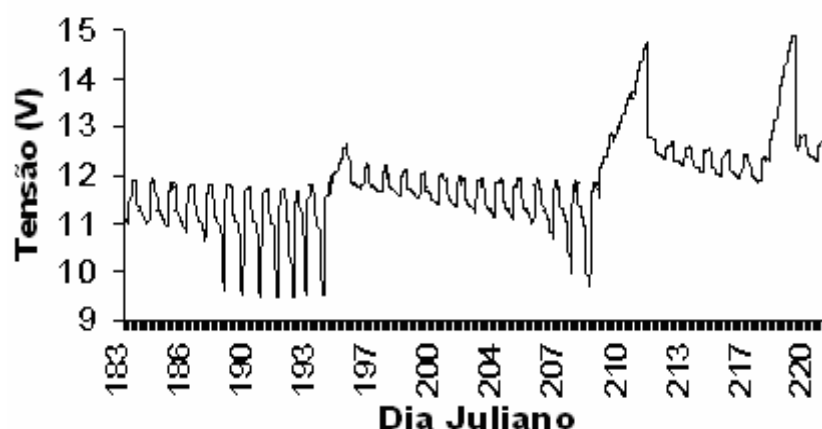


Figura 40 Tensão da bateria durante os dias 183 a 220.

Quando a tensão está abaixo de 10 volts, a bateria não fornece mais energia para os equipamentos, ocasionando o desligamento do sistema. Estes eventos se devem ao um período de baixa radiação solar, quando há nebulosidade ou atividade intensa de nuvens. Os painéis solares não conseguem fornecer energia para a recarga das baterias e em algum momento o sistema cai (desligamento). Os registradores e sensores voltam a funcionar autonomamente quando a energia é restabelecida, porém no período de “escuridão” (blackout), não há dados coletados, o que implica em falha de continuidade. Métodos estatísticos-analíticos para compensação desses “buracos” podem ser feito, para períodos curtos sem informação. Para evitar estas ocorrências, implementou-se o banco de baterias com maior capacidade de armazenamento, eficiência e autonomia.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A partir das análises dos resultados apresentados, fez-se as seguintes considerações:

- Com as metodologias aplicadas na Torre no decorrer deste trabalho, os equipamentos instalados na Torre micrometeorológica estão funcionando continuamente durante o dia todo e as medidas são registradas a cada 30 minutos em forma de média, com isso podemos obter o monitoramento da variação diária, mensal e anual de todas as medidas micrometeorológica, da área de estudo.
- Através dos estudos dos manuais e especificações dos equipamentos, exploraram-se o máximo possível os recursos de cada dispositivo, inclusive com a assistência “*on-line*” dos fabricantes e usuários desses sistemas de medição. Todos os equipamentos instalados foram descritos e especificados para melhor compreensão de funcionamento.
- A metodologia do dimensionamento do sistema de alimentação fora aplicada dentro de normas técnicas padronizadas e implementada de modo a permitir um funcionamento contínuo do sistema.
- Todas variáveis micrometeorológicas foram caracterizadas com suas unidades e grandezas. As medidas foram comparadas com valores esperados para cada parâmetro físico, de acordo com estudos realizados no

local e teorias relacionadas com fenômenos ambientais, biológicos e micrometeorológicos.

- Da aplicação do sistema de calibração de sensores de radiação PAR, incidente e global, em torre micrometeorológica, demonstraram-se estratégicos e eficientes, devido aos desvios de valores (medido x calculado – padronizado) encontrados após longo período sem calibração. Conclui-se que esta metodologia deve ser aplicada em intervalos de no mínimo quatro meses.
- As novas informações obtidas do banco de dados (2006), em função das variáveis meteorológicas apresentaram qualidade, precisão e confiabilidade na validação de dados para pesquisa científica. A partir dessas considerações finais sugere-se:
 - Rotinas de conservação dos equipamentos e da Torre micrometeorológica, devendo esta ser pintada com tinta anti-corrosiva e reapertar os cabos de estaiamento.
 - Estabelecer manutenção preventiva para sistema de alimentação da Torre.
 - As visitas de campo devem ser fundamentalmente quinzenais, para coletar dados, observar o funcionamento dos diferentes sensores e identificar a necessidade de substituição.
 - Que a calibração dos sensores na Torre e testes preliminares sejam feitos de acordo com as recomendações de fábrica. Isto é importante porque permite o funcionamento da estação dentro dos parâmetros normais de medição e de acordo com as especificações técnicas do fabricante.
 - Criar rotinas de tratamento preliminar de todos os dados coletados e assinalar os que possam estar com possíveis falhas de registro no banco de dados.
 - Que a análise dos dados seja feita por uma pessoa responsável pelo banco de dados cuja função é efetuar uma análise crítica sobre a qualidade da informação a disponibilizar no banco de dados do programa de pós-graduação de Física e Meio Ambiente – UFMT.
 - Criar rotinas de controle, entradas e saídas da instrumentação e ferramental do laboratório do programa de pós-graduação de Física e Meio Ambiente – UFMT.

BIBLIOGRAFIA

AUBLE, D. L.; MEYERS, T. P. An open path, fast response infrared absorption gas analyzer for H₂O and CO₂. **Boundary-layer meteorology, Netherlands**, 59, p. 246-256, 1992.

AYOAD, J.O. **Introdução á climatologia para os trópicos**. 10^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 23-45, 332p.

BALDOCCHI, D. D., HICKS, B. B.; MEYERS, T. P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology** v. 69: p.1331-1340. 1988.

BLOOM, A. J. Principles of instrumentation for physiological ecology. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

BRANCO, E. V.; REIS S. F. **Electrónica Digital**. Dinalivro, Trav. do Covento de Jesus. 15-r c, 1200, Lisboa. 1998.

EHLERRINGER, J. R. Temperature and energy budges. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

ESCOBEDO, J. F: ASSIS, S.V. Influência do ângulo de elevação solar no albedo da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) medido em estufas de polietileno, tipo túnel e externamente. In: **Congresso brasileiro de agrometeorologia**, 10, 1997. Piracicaba. Anais. Piracicaba: SBA, 1997. p. 476-78.

GLIESSMAN, S. R. **Agricultura: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 3 ed. Porto Alegre, UFRGS. 2005. 653p.

GRACE, J. Measurement of Wind speed near vegetation. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**, 1ª ed. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1985.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2 ed. Great Britain. Cambridge. 1992. 413p.

LACREDA, R. D. de ; GUERRA, H. O. C.; JUNIOR, G. B.; VAVACANTI, M. L. F. Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. **Revista de Biologia E Ciências da Terra**, v.5, p. 1-12 2005.

MOREIRA, L.S. **Sensores de Temperatura – Princípios e Aplicações**. Apostila do curso, 2000.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. 7ª ed. São Paulo, SP. Livraria Nobel S. A., 1989. 376p.

NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, C. R. de; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forest and pastures. **Nature**, v. 372, p. 666-669, 1994.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, E.A.S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**, v. 20, p.48-255, 1991.

NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, E.A.S. Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**. v. 20, p.48-255, 1991.

NOBRE, C. A. Amazônia e o carbono atmosférico. **Scientific American Brasil**. Ano 1, n.6, p.37-39, 2002.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. Ed. Agronômica ceres Ltda, São Paulo.1981.p.319-40, 413p.

PEARCY, R. W. Field data acquisition. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

PEARCY, R. W. Radiation and light measurements. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

PEARCY, R. W. Radiation and light measurements. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

PEARCY, R. W.; SHULZE, E. D. ZIMMERMANN, R. Measurement of transpiration and leaf conductance. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A. UNDEL, P. W. (1989). **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, Inc., New York, NY, USA. Pp. 457.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R; e SENTLHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Agropecuária. 2002. p 77-104, 478p.

PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S. de; CAMPELO JR, J. H., NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**. v.10, p.863-876, 2004.

PRIETO, T. D.; VÁZQUEZ, G. M. M.; RODRÍGUEZ, A. C. Comunidades de la mesofauna edáfica en una selva inundable de la Reserva de la Biosfera de Sian

Kaan, Quintana Roo, México. **Rev. Biol. Trop.** n.47, p.489-492. 1999. In XULUCTOLOS, F. J.; RAMÍREZ-MARCIAL, N.; CASTELLANOS-ALBORES, J.; LAWRENCE, D. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary Forest in campeche, México. **Forest Ecology and Management.** v.174, p.401-412. 2003.

REDDY, K. R; HODGES **Climate Change and Global Crop Productivity.** Mississipy State University,USA. 2000, 455p.

SELVA E. C. **Produção e Exportação de Carbono via Liteira em Microbacias na região sul da Amazônia** Cuiabá, 2005. 74p Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - UFMT, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

SILVA, E. L. da; GREVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v. 3, p. 417-420, 1999.

VERMA, S. B. Micrometeorological methods for measuring surface fluxes of mass and energy. **Remote Sensing Reviews.** v.5, 99-115, 1990.

VOURLITIS G. L. e OECHEL W. C. Eddy covariance measurements of net CO₂ flux and energy balance of an Alaskan moist-tussock tundra ecosystem. **Ecology** v. 80, 686-701. 1999.

VOURLITIS G. L.; OECHEL, W. C. Landscape-scale CO₂, H₂O vapor, and energy flux of moist-wet coastal tundra ecosystems over two growing-seasons. **Journal of Ecology**, v. 85, 575-590. 1997.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. DE S.; CASEIRO, F. T.; CAMPELO JUNIOR, J. H). Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v. 38, p. 1-11, 2002.

ANEXOS

Anexo A – Programa do datalogger (CR5000)

```
'CR5000

'c:\cr5000\programs\park5k1_1.cr5
'9 October 01
'E Swiatek/KOFLUX
'Based on flx5k1_1.cr5.

'Modified by O.M.R.Cabral in 2003/30/May
' Outputs:
'   DataTable FLUX_1
'   DataTable RAWDATA1

' This CR5000 program measures turbulence sensors at 10 or 20 Hz from one
' eddy covariance system. The time series can be saved to a PC Card. The
' CR5000 will also compute on-line turbulent fluxes from the measured data.
' The flux table saves all the cross products that are required to rotate
' the on-line fluxes into natural wind coordinates in post processing
' following:
'
' Kaimal, J. C. and Finnigan, J. J.: 1994, Atmospheric Boundary Layer Flows,
' Their Structure and Measurement, Oxford University Press, New York, 289 pages.
'
' Tanner, C. B. and Thurtell, G. W.: 1969, Anemoclinometer measurements of reynolds
' stress and heat transport in the atmospheric surface layer, Final Report, United
' States Army Electronics Command, Atmospheric Sciences Laboratory, Fort Huachuca,
' Arizona.

'The following sensors are measured:
'
' 1 CSAT3           three dimensional sonic anemometers
' 1 CS7500 (LI-7500) open path infrared gas analyzers (co2 and h2o)

'The sign convention for the fluxes is positive away from the surface and negative
'toward the surface.
'
' The CR5000 will introduce delays into the CSAT3 and Reference Temperature
' data. These delays match the fixed 302.369 mSec delay that Campbell Sci.
' programs into the CS7500 (LI-7500) of the CS7500 (LI-7500) irga (see
' page 3-23 of the LI-7500 manual published by Li-Cor). The delays are a
' function of the Scan Interval and are computed automatically by the program.
'
'The site attendant must load in several constants and calibration values.
'Search for the text string "unique" to find the locations where unique
'constants and calibration values are entered.

**** Unit Definitions ****

'Units  Units
'C      Celsius
'degrees degrees (angle)
'g      grams
'J      Joules
'kg     kilograms
'kPa    kilopascals
'm      meters
'mg     milligrams
'W      Watts

**** Operation ****
'
'Set the constant SCAN_INTERVAL to 100 mSec (10 Hz) or 50 mSec (20 Hz). The
'appropriate value of the constants CSAT_OPT, ANALOG_DELAY, and CSAT_DELAY
'will be computed by the CR5000. Connect all the sensors to the CR5000 as
'described in the Wiring section.
'
'Download the program to the CR5000. To start collecting time series data,
'set flag(8) high or set Custom Menu option "Save Time Series" to Yes.
```

```
'When servicing the station, set flag(7) low or set Custom Menu option
'Save Fluxes?' to No, note that if flag(7) ('Save Fluxes?') is not set
' back to high (Yes), no flux data will be saved.
```

```
''' User Control in "Custom" Menu '''
```

'The Custom Menu allows the station operator to conveniently change the status
' of the Program Control Flags using the CR5000 keyboard display.

```
' Save Fluxes?      Change to "No" when cleaning webs from CSAT3 or performing
'[flag(7)]         other site maintenance.  This "bad" data will not be included
'                  in the on-line fluxes.
'                  Change to "Yes" (default) to start processing flux data.
```

```
'Save Time Series? Change to "No" (default) to stop collecting time series
'[flag(8)]          on the PC Card.
'                   Change to "Yes" to begin collecting time series on PC Card.
```

```
'Stop program?  Change to "Yes" (default) to stop Program
'[flag(9)]      on CR5000.
'               Change to "No" for normal operation.
```

```

*** Program Control Flags ***

```

```
'flag(7) Set low when cleaning webs from CSAT3 or performing other site
maintenance.This "bad" data will not be included in the on-line
fluxes.
Set high (default) to start processing flux data.
'flag(8) Set low (default) to stop collecting time series on the PC Card.
Set high to begin collecting time series on PC Card.
'flag(9) Set high (default) to stop Program.
Set low to normal operation.
```

```

*** Wiring ***

```

```
' SET
' CSAT3 #1          SDM address to 3 (DEFAULT=FACTORY SETTING)
' CS7500 (LI-7500) #1 SDM address to 7
```

```
*****SDM INPUT*****
```

```
SDM-C1
| CSAT3 #1 SDM Data (green)
| CS7500 (LI-7500) #1 SDM Data (gray)
SDM-C2
| CSAT3 #1 SDM Clock (white)
| CS7500 (LI-7500) #1 SDM Clock (blue)
SDM-C3
| CSAT3 #1 SDM Enable (brown)
| CS7500 (LI-7500) #1 SDM Enable (brown)
```

```
' G
'   CSAT3 #1 SDM reference/shield          (black/clear)
'   CS7500 (LI-7500) #1 SDM reference/shield (black/white)
```

```
' POWER IN
' 12V      CR5000 (red)
' G        CR5000 (black)
```

```
'EXTERNAL POWER SUPPLY
' 12V
'   CSAT3 #1 power (red)
'   CS7500 (LI-7500) #1 power (red with white)
'   CR5000 (red)
' G
'   CSAT3 #1 power reference (black)
'   CSAT3 #1 power shield (clear)
'   CS7500 (LI-7500) #1 power reference (red with black)
'   CS7500 (LI-7500) #1 ground (green)
'   CR5000 (black)
```

```

*** Constants ***

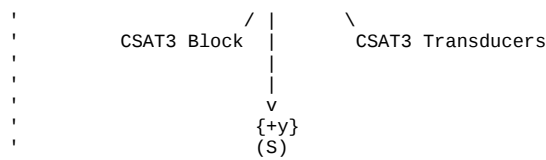
```

```
Const ANGLE_FROM_NORTH = 210 'Unique value.  
      'Compass azimuth of the -x axis.  For the figure below,  
      'ANGLE_FROM_NORTH = 90.
```

```
' () -> Compass coordinate system
' {} -> Right handed coordinate system aligned to magnetic North
```

Diagram illustrating a 2D coordinate system with axes labeled (N), (S), (E), and (W). The vertical axis is labeled (N) at the top and (S) at the bottom. The horizontal axis is labeled (W) on the left and (E) on the right. A central point is labeled []. A dashed line extends from the center to the left, labeled {+x}. A dashed line extends from the center to the right, labeled {-x}. A dashed line extends from the center upwards, labeled {-y}.

$$(W) \quad \{+\lambda\} \text{ ----- } [\quad] \text{ ----- } \lambda \text{ ----- } \{-\lambda\} \quad (E)$$



The program computes the Compass wind direction, using the constant 'ANGLE_FROM_NORTH', and a CSAT3 wind direction. Good CSAT3 wind directions are between -90 to 0 and 0 to 90 degrees ($-\pi/2$ to 0 and 0 to $\pi/2$ radians), i.e. the wind is blowing into the CSAT3 sensor head.

'Measurement Rate	10 Hz	20 Hz
Const SCAN_INTERVAL = 100	'100 (mSec)	50 (mSec)

'Output period
Const OUTPUT INTERVAL = 30 'On-line flux data output interval in minutes.

```
Const CSAT_OPT = INT (1/SCAN_INTERVAL * 1000)      '10 (Hz)          20 (Hz)
Const ANALOG_DELAY = INT (300/SCAN_INTERVAL + 1)   '4 (3 scan delay) 7 (6 scan delay)
Const CSAT_DELAY = INT (ANALOG_DELAY - 2)          '2 (1 scan delay) 5 (4 scan delay)
```

```
const rho_a = 1.2      'Estimate for air density at sea level [kg/m^3].
Const CP = 1004.67     'Estimate of heat capacity of air [J/(kg K)].
Const LVM = 2440       'Estimate of the latent heat of vaporization [J/g].
Const SDM PER = 30     'Default SDM clock speed. 30 uSec bit period.
```

```
Const YES = -1      'Yes is defined as True or -1.
Const NO = 0        'No is defined as False or 0.
```

```

*** Variables ***

```

```
'===== Variaveis meteorologicas ====='
```

```
Public Temp_C(6)
Public AirTC_1
Public RH_1
Public AirTC_2
Public RH_2
Public NetVolt
Public Rnet
Public Rsolar
Public PAR40i
Public PAR20i
Public PAR40r
Public PAR1
Public Rain_mm
Public VW(3)
Public PA_uS(3)
Public G(2)
```

```

!CSAT3 variables with additional one or four scan delay.
Public wind(1,5)                                'wind
Alias wind(1,1) = Ux_1
Alias wind(1,2) = Uy_1
Alias wind(1,3) = Uz_1
Alias wind(1,4) = Ts_1                          ' temperature
Alias wind(1,5) = diag_csatsat_1               ' diagnostic data from CSAT3 #1.
Units wind = m/s
Units Ts_1 = C
Units diag_csatsat_1 = unitless

```

```
'CS7500 has a fixed delay of 302.369 mSec (three scans at 10 Hz or
                                     six scans at 20 Hz).
```

```
Public irga(1,4)
Alias irga(1,1) = co2_1      ' Co2
Alias irga(1,2) = h2o_1     ' h2o
Alias irga(1,3) = press_1   ' pressure
Alias irga(1,4) = diag_irga_1 ' diagnostic from CS7500 (LI-7500) #1.
Units co2_1 = mg/(m^3)
Units h2o_1 = g/(m^3)
Units press_1 = kPa
Units diag_irga_1 = unitless
```

```
Public diag_bits(1,9)      'Warning flags.
Alias diag_bits(1,1) = del_t_f_1    'Delta temperature warning flag.
Alias diag_bits(1,2) = track_f_1    'Tracking (signal lock) warning flag.
Alias diag_bits(1,3) = amp_h_f_1    'Amplitude warning high flag.
Alias diag_bits(1,4) = amp_l_f_1    'Amplitude low warning flag.
Alias diag_bits(1,5) = chopper_f_1  'Chopper warning flag.
Alias diag_bits(1,6) = detector_f_1 'Detector warning flag.
Alias diag_bits(1,7) = pll_f_1      'PLL warning flag.
Alias diag_bits(1,8) = sync_f_1     'Synchronization warning flag.
Alias diag_bits(1,9) = aac 1        'Automatic gain control.
```

Units diag bits = unitless

```

'Analog variable with 3 or 6 scan delay
Public tc_ref      'Thermocouple reference temperature
Units tc_ref=C

'Flux variables.
Public Fc_irga(1,1)      'CO2 flux.
Public LE_irga(1,1)      'Latent heat flux from CS7500 (LI-7500).
Public Hs(1,1)           'Sensible heat flux using sonic temperature.
Public tau(1,1)          'Momentum flux.
Public u_star(1,1)       'Friction velocity.
Public cov_out(1,44)     'Covariances of wind and scalars, wind vector.
Units Fc_irga = umol/(m^2 s)
Units LE_irga = W/m^2
Units Hs = W/m^2
Units tau = kg m/s^2
Units u_star = m/s

'Aliases for covariances.
Alias cov_out(1,1) = cv_Uz_Uz_1
Alias cov_out(1,2) = cv_Uz_Ux_1
Alias cov_out(1,3) = cv_Uz_Uy_1
Alias cov_out(1,4) = cv_Uz_co2_1
Alias cov_out(1,5) = cv_Uz_h2o_1
Alias cov_out(1,7) = cv_Uz_Ts_1
Alias cov_out(1,9) = cv_Ux_Ux_1
Alias cov_out(1,10) = cv_Ux_Uy_1
Alias cov_out(1,11) = cv_Ux_co2_1
Alias cov_out(1,12) = cv_Ux_h2o_1
Alias cov_out(1,14) = cv_Ux_Ts_1
Alias cov_out(1,16) = cv_Uy_Uy_1
Alias cov_out(1,17) = cv_Uy_co2_1
Alias cov_out(1,18) = cv_Uy_h2o_1
Alias cov_out(1,20) = cv_Uy_Ts_1
Alias cov_out(1,22) = cv_co2_co2_1
Alias cov_out(1,27) = cv_h2o_h2o_1
Alias cov_out(1,34) = cv_Ts_Ts_1

Units cv_Uz_Uz_1 = (m/s)^2
Units cv_Uz_Ux_1 = (m/s)^2
Units cv_Uz_Uy_1 = (m/s)^2
Units cv_Uz_co2_1 = mg/(m^2 s)
Units cv_Uz_h2o_1 = g/(m^2 s)
Units cv_Uz_Ts_1 = m C/s
Units cv_Ux_Ux_1 = (m/s)^2
Units cv_Ux_Uy_1 = (m/s)^2
Units cv_Ux_co2_1 = mg/(m^2 s)
Units cv_Ux_h2o_1 = g/(m^2 s)
Units cv_Ux_Ts_1 = m C/s
Units cv_Uy_Uy_1 = (m/s)^2
Units cv_Uy_co2_1 = mg/(m^2 s)
Units cv_Uy_h2o_1 = g/(m^2 s)
Units cv_Uy_Ts_1 = m C/s
Units cv_co2_co2_1 = (mg/m^3)^2
Units cv_h2o_h2o_1 = (g/m^3)^2
Units cv_Ts_Ts_1 = C^2

'Wind directions and speed.
Alias cov_out(1,39) = wnd_dir_comp_1
Alias cov_out(1,41) = wnd_spd_1
Alias cov_out(1,42) = rslt_wnd_spd_1
Alias cov_out(1,43) = wnd_dir_csat3_1
Alias cov_out(1,44) = std_wnd_dir_1
Units wnd_dir_comp_1 = degrees_1
Units wnd_spd_1 = m/s
Units rslt_wnd_spd_1 = m/s
Units wnd_dir_csat3_1 = degrees
Units std_wnd_dir_1 = degrees

'Diagnostic variables.
Public disable_flag_on(1,2) 'Intermediate processing disable.
'disable_flag_on(1,1) 'Set high when CSAT3 #1 has no data.
'disable_flag_on(1,2) 'Set high when CS7500 (LI-7500) #1 failed to send data.

Public n(1,1) 'Number of samples in the on-line covariances.
Public warnings(1,2)
Alias warnings(1,1) = csat_warnings_1 'Number of scans that at least one CSAT3 #1 warning flag
was on.
Alias warnings(1,2) = irga_warnings_1 'Number of scans that the CS7500 (LI-7500) #1 reported
NaN.
Units n = unitless
Units warnings = unitless

Public batt_volt
Units batt_volt = V

'Program Control flags.
Public flag(9)

'Measurement variables without delays.

```

```

Dim wind_in(1,5)      'CSAT3 data, before adding delay.
Dim tc_ref_in(1)      'TC reference temperature, before adding delay.

'Arrays to store delayed data.
Dim analog_data(3)    'Three or six scan old data from the Data Table SCAN_3_6.
Dim csat_data(1,5)    'One or four scan old data from the Data Table SCAN_1_4.

'Working variables.
Dim cov_in(1,8)       'Array used in the covariance instruction.
Dim j                 'Counter variable.
Dim scan_count        'Counts the number scans that have been executed.
Dim hex_number        'Used to break down the diagnostic bits from the CSAT3.
Dim wind_east(1,1)    'Uy wind in compass coordinate system.
Dim wind_north(1,1)   'Ux wind in compass coordinate system.
Dim delays_loaded      'A flag that gets set after three or six scans have been
                        'executed. This flag is used to ensure that the Data
                        'Table SCAN_1_4 and SCAN_3_6 are loaded with data.

Dim i

'***** Data Tables *****

'===== variaveis meteorologicas =====

DataTable(TDR,True,60)
  OpenInterval
  DataInterval(0,30,Min,30)
  Cardout(0,4032)
  Average(1,Batt_Volt,FP2,0)
  Average(3,Vw(),FP2,0)
  Average(3,PA_uS(),FP2,0)
  Average(2,G(),FP2,0)
EndTable
DataTable(Micromet,True,60)
  OpenInterval
  DataInterval(0,30,Min,30)
  Cardout(0,4032)
  Average(1,Batt_Volt,FP2,0)
  Average(1,tc_ref,FP2,0)
  Average(1,Temp_C(1),FP2,0)
  Average(1,Temp_C(2),FP2,0)
  Average(1,Temp_C(3),FP2,0)
  Average(1,Temp_C(4),FP2,0)
  Average(1,Temp_C(5),FP2,0)
  Average(1,Temp_C(6),FP2,0)
  Average(1,AirTC_1,FP2,0)
  Average(1,RH_1,FP2,0)
  Average(1,AirTC_2,FP2,0)
  Average(1,RH_2,FP2,0)
  Average(1,NetVolt,FP2,0)
  Average(1,Rnet,FP2,0)
  Average(1,Rsolar,FP2,0)
  Average(1,PAR40i,FP2,0)
  Average(1,PAR20i,FP2,0)
  Average(1,PAR40r,FP2,0)
  Average(1,PAR1,FP2,0)
  Totalize(1,Rain_mm,FP2,0)
EndTable

'=====

'Delay the analog measurements by three or six scans.
DataTable (SCAN_3_6,TRUE,ANALOG_DELAY)

  Sample (1,tc_ref_in,IEEE4)

EndTable

'Delay the CSAT3 measurements by one or four scans.
DataTable (SCAN_1_4,TRUE,CSAT_DELAY)

  Sample (5,wind_in(1,1),IEEE4)

EndTable

'Set flag(8) high or set "Save Time Series?" custom menu option
'to Yes to save time series data.
DataTable (Rawdata1,flag(8),1000)
  DataInterval (0,SCAN_INTERVAL,mSec,100)
  CardOut (0,-1)

  Sample (3,Ux_1,FP2)
  Sample (1,Ts_1,FP2)
  Sample (2,co2_1,FP2)

```

```

' Sample (1,press_1,IEEE4)
' Sample (1,diag_csat_1,IEEE4)

EndTable

'Compute the covariances of vertical wind, co2, h2o, and sonic temperature,
'as well as the other cross products, required to rotate the data into natural
'wind coordinates. This data is output every OUTPUT_INTERVAL minutes.
DataTable (comp_cov,TRUE,1)
  DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,min,1)

  Covariance (8,cov_in(1,1),IEEE4,(disable_flag_on(1,1) OR disable_flag_on(1,2) OR NOT
(flag(7))),36)
  WindVector (1,wind_east(1,1),wind_north(1,1),IEEE4,(disable_flag_on(1,1) OR NOT
(flag(7))),0,1,2)
  WindVector (1,Uy_1,Ux_1,IEEE4,(disable_flag_on(1,1) OR NOT (flag(7))),0,1,2)

EndTable

'This table will hold twenty-eight days of flux data. This data is
' output every OUTPUT_INTERVAL minutes.
DataTable (flux_1,TRUE,2016)
  DataInterval (0,OUTPUT_INTERVAL,Min,10)
  CardOut (0,4032)

  Sample (1,Fc_irga(1,1),IEEE4)
  Sample (1,LE_irga(1,1),IEEE4)
  Sample (1,Hs(1,1),IEEE4)
  Sample (1,tau(1,1),IEEE4)
  Sample (1,u_star(1,1),IEEE4)
  Sample (5,cov_out(1,1),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,7),IEEE4)
  Sample (4,cov_out(1,9),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,14),IEEE4)
  Sample (3,cov_out(1,16),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,20),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,22),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,27),IEEE4)
  Sample (1,cov_out(1,34),IEEE4)

  Average (3,Ux_1,IEEE4,(disable_flag_on(1,1) OR NOT (flag(7))))
  Average (2,co2_1,IEEE4,(disable_flag_on(1,2) OR NOT (flag(7))))
  Average (1,Ts_1,IEEE4,(disable_flag_on(1,1) OR NOT (flag(7))))

' Estes rem sao Originais!!!
' Average (1,rho_a(1),IEEE4,disable_flag_on(1,2))
' Average (2,h2o_hmp_1,IEEE4,FALSE)

  Average (1,press_1,IEEE4,disable_flag_on(1,2))
  Average (1,tc_ref,IEEE4,FALSE)

  Sample (1,wnd_dir_comp_1,IEEE4)
  Sample (1,wnd_dir_csat3_1,IEEE4)
  Sample (1,wnd_spd_1,IEEE4)
  Sample (1,rslt_wnd_spd_1,IEEE4)
  Average (1,batt_volt,IEEE4,FALSE)

' Estes rem sao Originais!!!
' StdDev (1,rho_a(1),IEEE4,disable_flag_on(1,2))
' StdDev (2,h2o_hmp_1,IEEE4,FALSE)

  Sample (1,std_wnd_dir_1,IEEE4)

  Totalize (1,n(1,1),IEEE4,FALSE)
  Totalize (2,warnings(1,1),IEEE4,FALSE)
  Totalize (4,diag_bits(1,1),IEEE4,FALSE)
  Totalize (4,diag_bits(1,5),IEEE4,FALSE)
  Average (1,agc_1,IEEE4,disable_flag_on(1,2))
EndTable

'*** Define Custom Menus ***

DisplayMenu ("Program Control",100)
  MenuItem ("Save Fluxes?",flag(7))
  MenuPick (Yes,No)
  MenuItem ("Save Rawdata?",flag(8))
  MenuPick (Yes,No)
  MenuItem ("Stop program?",flag(9))
  MenuPick (Yes,No)
EndMenu

'*** Program ***

```

```

BeginProg

'Save fluxes on compile.
flag(7) = TRUE
'Save RawData on compile.
flag(8) = TRUE
'Save RawData on compile.
flag(9) = FALSE

'Set all CSAT3 variables to NaN.
For j = 1 To 5
    wind_in(1,j) = NaN
Next j

'Set all CS7500 (LI-7500) variables to NaN.
For j = 1 To 4
    irga(1,j) = NaN
Next j

'Set the SDM clock speed.
SDMSpeed (SDM_PER)

'***** Scanner Procedures

while (not(flag(9)))
'===== Eddy covariance =====

    Scan (SCAN_INTERVAL,mSec,1,100)

    'Thermocouple reference temperature.
    PanelTemp (tc_ref_in,250)

    'Trigger CSAT3 to make measurements.
    '    SDMTrigger

    'Get CS7500 (LI-7500) data.
    'Get CSAT3 wind and sonic temperature data after a group trigger.
    CS7500 (co2_1,1,7,6)
    CSAT3 (wind_in(1,1),1,3,91,CSAT_OPT)

'Convert CS7500 (LI-7500) data from molar density [mmol/m^3] to mass density.
    ' 44 [g/mol] - molecular weight of carbon dioxide
    ' 0.018 [g/mmol] - molecular weight of water vapor
    If ( NOT (co2_1 = -99999) ) Then ( co2_1 = co2_1 * 44 )
    h2o_1 = h2o_1 * 0.018

    'Get the battery voltage from the Status Table.
    batt_volt = Status.Battery(1,1)

    'Delay the analog measurements by three or six scans.
    CallTable SCAN_3_6

    'Delay the CSAT3 measurements by one or four scans.
    CallTable SCAN_1_4

    If ( NOT delays_loaded ) Then ( scan_count = scan_count + 1 )
    If ( scan_count = ANALOG_DELAY ) Then ( delays_loaded = TRUE )

    'Load in analog measurements that have been delayed by three or six scans.
    GetRecord (analog_data(1),SCAN_3_6,ANALOG_DELAY)
    tc_ref = analog_data(1)

    'Load in CSAT3 measurements that have been delayed by one or four scans.
    GetRecord (csat_data(1,1),SCAN_1_4,CSAT_DELAY)
    Ux_1 = csat_data(1,1)
    Uy_1 = csat_data(1,2)
    Uz_1 = csat_data(1,3)
    Ts_1 = csat_data(1,4)
    diag_csat_1 = csat_data(1,5)
    wind_east(1,1) = -1 * Uy_1
    wind_north(1,1) = Ux_1

    'Turn on the intermediate processing disable flag when the CSAT3 #1 is
    'reporting NaN, a Lost Trigger (&hf000), No Data (&hf03f), an SDM error
    '(&hf001), or wrong CSAT3 embedded code (&hf002).
    If ( (diag_csat_1 = NaN) OR (diag_csat_1 = &hf000) OR (diag_csat_1 = &hf03f) OR
    (diag_csat_1 = &hf001) OR (diag_csat_1 = &hf002) ) Then
        disable_flag_on(1,1) = TRUE
    Else
        'Check for any warning flags in CSAT3 #1 data. Filter all measurements
        'associated with the CSAT3 #1, when the warning flags are set.
        If (diag_csat_1 AND &hf000) Then
            csat_warnings_1 = 1
            disable_flag_on(1,1) = TRUE
        Else

```

```

        csat_warnings_1 = 0
        disable_flag_on(1,1) = FALSE
    EndIf
EndIf

'Keep the four most significant bits of the diagnostic word.
diag_csat_1 = INT ((diag_csat_1 AND &hf000)/&h1000 + 0.5)

'Break down the four most significant bits of the diagnostic word
' into a delta temperature flag, poor signal lock (tracking flag),
' amplitude high flag, and amplitude low flag.
hex_number = &h0008
For j = 1 to 4
    If ( ((diag_csat_1 AND hex_number) = hex_number) AND NOT (diag_csat_1 = &h000f) ) Then
        diag_bits(1,j) = 1
    Else
        diag_bits(1,j) = 0
    EndIf

    If ( diag_csat_1 = NaN ) Then ( diag_bits(1,j) = NaN )

    hex_number = INT ((hex_number/&h0002) + 0.5)
Next j

'Preserve the four special CSAT3 #1 diagnostic codes.
If ( (disable_flag_on(1,1) = TRUE) AND (csat_warnings_1 = 0) ) Then diag_csat_1 =
csat_data(1,5)

'Compute the AGC for CS7500 (LI-7500) #1.
agc_1 = INT ((diag_irga_1 AND &h000f) * 6.25 + 0.5)

'Keep the four most significant bits of the CS7500 (LI-7500) diagnostic word and swap bits.
diag_irga_1 = (NOT (INT ((diag_irga_1 AND &h00f0)/&h0010 + 0.5)) AND &h000f)

'Turn on the intermediate processing disable flag when the CS7500 (LI-7500) #1 has
' failed to send data to the CR5000 via SDM.
If ( (ABS (co2_1) >= 99990) OR (co2_1 = NaN) ) Then
    disable_flag_on(1,2) = TRUE
Else
    'Check for any warning flags in CS7500 (LI-7500) #1 data. Filter all measurements
    ' associated with the CS7500 (LI-7500) #1, when the warning flags are set.
    If (diag_irga_1 AND &h000f) Then
        irga_warnings_1 = 1
        disable_flag_on(1,2) = TRUE
    Else
        irga_warnings_1 = 0
        disable_flag_on(1,2) = FALSE
    EndIf
EndIf

'Decompose the warning flags. Li-Cor uses reverse logic, e.g. bit set is okay.
'The program changes the logic, e.g. bit not set is okay.
hex_number = &h0008
For j = 1 to 4
    If ( (diag_irga_1 AND hex_number) = hex_number) Then
        diag_bits(1,j+4) = 1
    Else
        diag_bits(1,j+4) = 0
    EndIf
EndIf

If ( (ABS (co2_1) >= 99990) OR (co2_1 = NaN) ) Then ( diag_bits(1,j+4) = NaN )

    hex_number = INT ((hex_number/&h2) + 0.5)
Next j

'Perform time series and flux processing only after the Table SCAN_3_6 is loaded
' with data.
If ( delays_loaded ) Then
    'Write a file mark to the time series table every 30min. The file mark is written
    ' only to the PC Card if time series data are being stored, e.g. flag(8) ("Save Time
    ' Series?") is high (Yes). This flag must be set high by the station operator
    ' using PC9000 or the CR5000 keyboard.
    If ( flag(8) AND IfTime (0,30,Min) ) Then ( FileMark (Rawdata1) )
    CallTable Rawdata1

    'Load cov_in() array for the covariance computation.
    cov_in(1,1) = Uz_1
    cov_in(1,2) = Ux_1
    cov_in(1,3) = Uy_1
    cov_in(1,4) = co2_1
    cov_in(1,5) = h2o_1
    cov_in(1,7) = Ts_1

    CallTable comp_cov

    'Keep track of the number of samples in covariance number one.
    If ( NOT disable_flag_on(1,1) AND NOT disable_flag_on(1,2) AND flag(7) ) Then
        n(1,1) = 1
    Else
        n(1,1) = 0
    EndIf

```

```

EndIf

If ( comp_cov.Output(1,1) ) Then

    GetRecord (cov_out(1,1),comp_cov,1)

    'The compass wind direction #1 will be between 0 and 360 degrees.
    wnd_dir_comp_1 = (wnd_dir_comp_1 + ANGLE_FROM_NORTH)
    If ( wnd_dir_comp_1 ) < 0 Then ( wnd_dir_comp_1 = wnd_dir_comp_1 + 360)
    wnd_dir_comp_1 = wnd_dir_comp_1 MOD 360

    'CSAT3 #1 wind direction will be between 0 to 180 degrees and 0 to -180 degrees
    ' (0 to pi radians and 0 to -pi radians).
    If ( wnd_dir_csat3_1 ) > 180 Then ( wnd_dir_csat3_1 = wnd_dir_csat3_1 - 360 )

    'Compute on-line fluxes.
    Fc_irga(1,1) = cv_Uz_co2_1*1000.0/44
    LE_irga(1,1) = LV * cv_Uz_h2o_1
    Hs(1,1) = rho_a * CP * cv_Uz_Ts_1

    tau(1,1) = SQR ((cv_Uz_Ux_1*cv_Uz_Ux_1) + (cv_Uz_Uy_1*cv_Uz_Uy_1))
    u_star(1,1) = SQR (tau(1,1))
    tau = rho_a * tau(1,1)

EndIf

CallTable flux_1
CallTable(TDR)
CallTable(Micromet)

EndIf

NextScan

'===== Sensores meteorologicos

Scan(1,Sec,1,1)
'Code for Type T TC measurement, Temp_C(1):
TCDiff(Temp_C(1),6,mV20C,1,TypeT,tc_ref,True,0,_60Hz,1,0)
'Code for HMP45C measurements, AirTC_1 and RH_1:
PortSet(1,1)
Delay(0,150,mSec)
VoltSE(AirTC_1,1,mV1000,14,0,0,_60Hz,0.1,-40.0)
VoltSE(RH_1,1,mV1000,13,0,0,_60Hz,0.1,0)
PortSet(1,0)
If RH_1>100 And RH_1<108 Then RH_1=100
'Code for HMP45C measurements, AirTC_2 and RH_2:
PortSet(2,1)
Delay(0,150,mSec)
VoltSE(AirTC_2,1,mV1000,16,0,0,_60Hz,0.1,-40.0)
VoltSE(RH_2,1,mV1000,15,0,0,_60Hz,0.1,0)
PortSet(2,0)
If RH_2>100 And RH_2<108 Then RH_2=100
'Code for Single-Ended Voltage measurement, NetVolt:
VoltSE(NetVolt,1,mV200,17,False,0,_60Hz,1.0,0.0)
' if NetVolt >= 0 then

Rnet=NetVolt*71.89
'
' Else
Rnet=NetVolt*71.89
' Endif
'Code for Single-Ended Voltage measurement, Rsolar:
VoltSE(Rsolar,1,mV20,18,False,0,_60Hz,200.0,0.0)
'Code for Single-Ended Voltage measurement, PAR40i:
VoltSE(PAR40i,1,mV20,19,False,0,_60Hz,247.75,0.0)
'Code for Single-Ended Voltage measurement, PAR20i:
VoltSE(PAR20i,1,mV20,20,False,0,_60Hz,269.26,0.0)
'Code for Single-Ended Voltage measurement, PAR40r:
VoltSE(PAR40r,1,mV20,21,False,0,_60Hz,246.24,0.0)
'Code for Single-Ended Voltage measurement, PAR1:
VoltSE(PAR1,1,mV20,22,False,0,_60Hz,264.41,0.0)
'Code for Rain measurement, Rain_mm:
PulseCount(Rain_mm,1,1,2,0,0.1242,0)
PortSet(3,1)
PeriodAvg(PA_uS(1),1,mV5000,38,0,0,10,50,0.001,0)
PortSet(3,0)
PortSet(4,1)
PeriodAvg(PA_uS(2),1,mV5000,39,0,0,10,50,0.001,0)
PortSet(4,0)
PortSet(5,1)
PeriodAvg(PA_uS(3),1,mV5000,40,0,0,10,50,0.001,0)
PortSet(5,0)
for i =1 to 3
    VW(i)=-0.187+(0.037*PA_uS(i))+(0.335*PA_uS(i)^2)
next i
VoltSE(G(1),2,mV20,23,False,0,_60Hz,34,0.0)
NextScan
wend
'=====

EndProg

```

Anexo B - Programa do datalogger (CR10X)

Segue abaixo um exemplo de programa do datalogger (CR10X)

```
; {CR10X}
*Table 1 Program
01: 10.0000 Execution Interval (seconds)          Intervalo entre as leituras
(varredura);

1: Batt Voltage (P10)                             Tensão da bateria;
1: 1      Loc [ Bat_Volt ]                         Coluna 1 após o relógio;

2: Internal Temperature (P17)                     Temp. interna do logger;
1: 2      Loc [ Temp_int ]                         Coluna 2 após o relógio;

3: Do (P86)
1: 41      Set Port 1 High

4: Excitation with Delay (P22)
1: 1      Ex Channel
2: 0      Delay W/Ex (0.01 sec units)
3: 15     Delay After Ex (0.01 sec units)
4: 0      mV Excitation

5: Volt (SE) (P1)
1: 1      Reps
2: 5      2500 mV Slow Range
3: 1      SE Channel
4: 3      Loc [ Temp_1 ]
5: .1     Mult
6: -40    Offset

6: Volt (SE) (P1)
1: 1      Reps
2: 5      2500 mV Slow Range
3: 2      SE Channel
4: 4      Loc [ Ur_1 ]
5: .1     Mult
6: 0      Offset

7: Do (P86)
1: 51      Set Port 1 Low

8: Do (P86)
1: 42      Set Port 2 High

9: Excitation with Delay (P22)
1: 1      Ex Channel
2: 0      Delay W/Ex (0.01 sec units)
3: 15     Delay After Ex (0.01 sec units)
```

4: 0 mV Excitation

10: Volt (SE) (P1)

1: 1 Repts
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 3 SE Channel
 4: 5 Loc [Temp_2]
 5: .1 Mult
 6: -40 Offset

11: Volt (SE) (P1)

1: 1 Repts
 2: 5 2500 mV Slow Range
 3: 4 SE Channel
 4: 6 Loc [Ur_2]
 5: .1 Mult
 6: 0 Offset

12: Do (P86)

1: 51 Set Port 1 Low

13: Thermocouple Temp (SE) (P13)

1: 3 Repts
 seqüência;
 2: 21 2.5 mV 60 Hz Rejection Range
 3: 5 SE Channel
 4: 1 Type T (Copper-Constantan)
 5: 2 Ref Temp (Deg. C) Loc [Temp_int]
 6: 7 Loc [Tempsol_1]
 7: 1 Mult
 8: 0 Offset

Sensores de termopar;
 Número de sensores iguais em

14: Volt (SE) (P1)

1: 1 Repts
 2: 3 25 mV Slow Range
 3: 8 SE Channel
 4: 10 Loc [NetRad]
 5: 71.94 Mult
 6: 0 Offset

15: Volt (SE) (P1)

1: 1 Repts
 2: 3 25 mV Slow Range
 3: 9 SE Channel
 4: 11 Loc [Par_i]
 5: -244.55 Mult
 6: 0 Offset

16: Volt (SE) (P1)

1: 1 Repts
 2: 3 25 mV Slow Range
 3: 10 SE Channel
 4: 12 Loc [Par_R]
 5: -243.84 Mult

6: 0 Offset

17: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps

2: 3 25 mV Slow Range

3: 11 SE Channel

4: 13 Loc [Global]

5: 1 Mult

6: 0 Offset

18: Volt (SE) (P1)

1: 1 Reps

2: 3 25 mV Slow Range

3: 12 SE Channel

4: 14 Loc [G_1]

5: 32.9 Mult

6: 0 Offset

19: Pulse (P3)

1: 1 Reps

2: 1 Pulse Channel 1

3: 2 Switch Closure, All Counts

4: 15 Loc [Rain]

5: 0.254 Mult

6: 0 Offset

20: If time is (P92)

1: 0 Minutes (Seconds --) into a

2: 15 Interval (same units as above)

3: 10 Set Output Flag High (Flag 0)

21: Real Time (P77)^7744

1: 110 Day,Hour/Minute (midnight = 0000)

22: Average (P71)^20334

1: 14 Reps

2: 1 Loc [Bat_Volt]

23: Totalize (P72)^6788

1: 1 Reps

2: 15 Loc [Rain]

24: Serial Out (P96)

1: 71 Storage Module

End Program

Anexo C - Programação de coleta dados da Torre Sinop-MT 2007

Mês	Dia da Coleta	Dia da Coleta
Janeiro	16/01/07	-
Fevereiro	01/02/07	15/02/07
Março	01/03/07	21/03/07
Abril	04/04/07	19/04/07
Maio	10/05/07	31/05/07
Junho	14/06/07	--
Julho	05/07/07	19/07/07
Agosto	02/08/07	23/08/07
Setembro	05/09/07	20/09/07
Outubro	04/10/07	25/10/07
Novembro	09/11/07	23/11/07
Dezembro	13/12/07	03/01/08