

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**Metodologia para Auxílio a Sistemas de Controle de Variáveis Ambientais
em Casas de Vegetação.**

**EVANDRO GOMES LARANJEIRA
ORIENTADOR: PROF DR. LUIZ ANTONIO ROSSI**

**CAMPINAS - SP
JULHO DE 2010**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA**

**Metodologia para Auxílio a Sistemas de Controle de Variáveis Ambientais
em Casas de Vegetação.**

Tese submetida à banca examinadora para
obtenção do título de doutor em Engenharia
Agrícola na área de concentração de
Construções Rurais e Ambiente.

**EVANDRO GOMES LARANJEIRA
ORIENTADOR: PROF DR. LUIZ ANTONIO ROSSI**

**CAMPINAS - SP
JULHO DE 2010**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L32m Laranjeira, Evandro Gomes
Metodologia para auxílio a sistemas de controle de
variáveis ambientais em casas de vegetação / Evandro
Gomes Laranjeira. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Luiz Antonio Rossi.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Casas de vegetação - Clima. 2. Casas de vegetação
- Sombreamento. 3. Conforto térmico. 4. Programas de
computador. 5. Energia elétrica - Consumo. I. Rossi,
Luiz Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Methodology to support environmental variables control
systems on greenhouses

Palavras-chave em Inglês: Greenhouses - Climate, Greenhouses - Shading,
Thermal comfort, Computer programs, Electricity
- Consumption

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiência

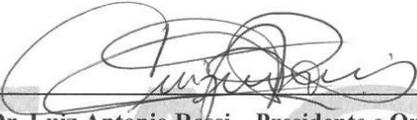
Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Odivaldo José Seraphim, José Eduardo Pitelli Turco,
Carlos Alberto Mariotoni, Bárbara Janet Teruel Mederos

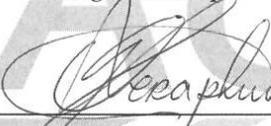
Data da defesa: 20/07/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Evandro Gomes Laranjeira**, aprovada pela Comissão Julgadora em 20 de julho de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



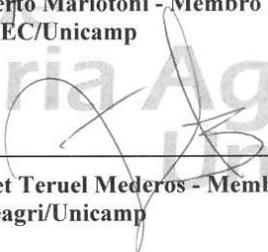
Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim - Membro Titular
FCA/Unesp



Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco - Membro Titular
FCAV/Unesp



Prof. Dr. Carlos Alberto Mariotoni - Membro Titular
FEC/Unicamp



Prof.ª Dr.ª Bárbara Janet Teruel Mederos - Membro Titular
Feagri/Unicamp

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus familiares e seu incessante esforço para dar suporte ao meu aprimoramento e sucesso.

Espero retribuir e repassar este mesmo esforço.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e com todos os méritos, ao Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi, pela valiosa colaboração, orientação e paciência quase monástica.

A minha amada Roberta, por toda compreensão naqueles intermináveis finais de semana de trabalho.

Aos meus grandes amigos Prof. Zigomar Menezes de Souza, Eduardo David e Juliana Sarubbi, que muito me auxiliaram nos momentos de completo desconhecimento.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelo suporte financeiro. Ao Laboratório de Energização Rural, da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Ao mais peculiar chefe e amigo, Cel. Benjamin Acioli Rondon do Nascimento, herdeiro das comunicações, meus agradecimentos por todas aquelas dispensas, SELVA!

RESUMO

O plantio em ambiente protegido é incapaz de demonstrar seu máximo potencial de produção se não for submetido a um controle climático adequado. Existem hoje diversos tipos de equipamentos e metodologias que nos permitem desenvolver controles que monitorem o estado de conforto térmico da planta com uso racional de recursos e insumos. Dessa forma, é proposta uma metodologia de controle climático com integração de lógica fuzzy, controles lógicos programáveis e utilizando o cálculo de déficit de pressão de vapor folha-ar, como forma de se estimar o conforto térmico vegetal.

Esta metodologia também utilizou métodos geoestatísticos (mapas de krigagem) para avaliação dos efeitos da aplicação das ações de controle sobre o clima interno, bem como monitorar o consumo de energia elétrica dos equipamentos.

Foram realizados os testes em dois tratamentos em uma casa de vegetação comercial; e os dados confrontados para avaliação de sua eficiência no que se refere ao consumo de energia e mapas de krigagem das variáveis temperatura e umidade do ar.

Palavras-chave: Casas de Vegetação, Programa Computacional, Conforto Térmico, Conservação e uso Racional de Energia Elétrica, Lógica *Fuzzy*.

ABSTRACT

The protected culture is incapable to demonstrate its production maximum potential while not submitted to an adequate environment control. Nowadays, there are several equipments and methodologies which provides the control development with plant thermal comfort monitoring saving resources and inputs. This way, environment control methodology is proposed with integration of fuzzy logic, programmable logic controls and leaf-to-air deficit vapour pressure, as the way to estimate plant thermal comfort.

This methodology uses geostatistics (kriging maps) to evaluate the control action effects over internal environment, as well as equipment energy consumption monitoring.

The tests on two treatments was performed in commercial greenhouse; and comparing the efficiency evaluation of energy saving and kriging maps over temperature and air humidity results.

Keywords: Greenhouses, Software, Thermal Control, Energy Saving, *Fuzzy Logic*.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SISTEMA DE CONTROLE CLIMÁTICO GENÉRICO.....	8
FIGURA 2- ESQUEMA SIMPLIFICADO DE CONTROLE ATRAVÉS DE CLP.....	11
FIGURA 3 – CONFIGURAÇÃO DE UM CONTROLADOR “FUZZY”.....	20
FIGURA 4 – MODELO DE PROTOTIPAGEM.....	26
FIGURA 5 – MODELO ESPIRAL.....	27
FIGURA 6 – TÉCNICAS DE 4ª GERAÇÃO.....	28
FIGURA 7 – ÁREA EXPERIMENTAL - CASA DE VEGETAÇÃO.....	30
FIGURA 8 - DIMENSÕES DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
FIGURA 9 – DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	31
FIGURA 10 – PAINEL DE CONTROLE DOS EQUIPAMENTOS	32
FIGURA 11 – PAINEL DE PARAMETRIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	33
FIGURA 12 – BOMBA DE IRRIGAÇÃO.....	33
FIGURA 13 – SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO ADIABÁTICO.....	34
FIGURA 14 - ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL.....	35
FIGURA 15 – TEMPORIZADOR COEL RTB-20	36
FIGURA 16 – EXAUSTORES	36
FIGURA 17 – DISPOSIÇÃO DOS SENSORES UTILIZADOS PELO PRODUTOR	38
FIGURA 18 – TERMO-HIGRÔMETRO THDL-400 INSTRUTHERM.....	39
FIGURA 19 – SENSOR NOVUS RHT-WM	40
FIGURA 20 – SENSOR SQUITTER S2024	41
FIGURA 21 – SENSOR SQUITTER S2029	41
FIGURA 22 – TERMÔMETRO INFRAVERMELHO INSTRUTHERM TI-890	42
FIGURA 23 – CLP ZAP 900 E FONTE DE ALIMENTAÇÃO UPS 1094	44
FIGURA 24 – CONECTORES - CLP ZAP 900.....	44
FIGURA 25 - CONDICIONADOR DE SINAIS NOVUS TXISORAIL	45
FIGURA 26– APLICATIVO SPDSW	45
FIGURA 27 - TRANSDUTORES DIGITAIS IMS SMARTTRANS	46
FIGURA 28 – ALTURA DA MEDIÇÃO	49
FIGURA 29 – PONTOS DE MEDIÇÃO – AVALIAÇÃO PRELIMINAR	49
FIGURA 30 – SOFTWARE GS+®.....	51
FIGURA 31 – SOFTWARE SURFER®	52
FIGURA 32 - TELA DE OCORRÊNCIAS – PROTÓTIPO INICIAL	54
FIGURA 33 – CONJUNTO FUZZY PARA TEMPERATURA DO AR.....	58
FIGURA 34 – CONJUNTO FUZZY PARA UMIDADE RELATIVA DO AR	59

FIGURA 35 – CONJUNTO <i>FUZZY</i> PARA DÉFICIT DE PRESSÃO FOLHA-AR	59
FIGURA 36 – CONJUNTO <i>FUZZY</i> PARA TEMPERATURA DO SOLO.....	59
FIGURA 37 – APLICATIVO COMPUTACIONAL – JANELA DE MONITORAMENTO	62
FIGURA 38 – APLICATIVO COMPUTACIONAL – VERSÃO	62
FIGURA 39 – VARIOGRAMA ISOTRÓPICO PARA T1 (MANHÃ)	65
FIGURA 40 – VARIOGRAMA ISOTRÓPICO PARA T2 (MEIO-DIA).....	65
FIGURA 41 – VARIOGRAMA ISOTRÓPICO PARA U1 (MANHÃ).....	66
FIGURA 42 – VARIOGRAMA ISOTRÓPICO PARA U2 (UMIDADE)	66
FIGURA 43 – MAPA DE TEMPERATURA DO AR (°C).....	68
FIGURA 44 – MAPA DE UMIDADE DO AR	68
FIGURA 45 – CONSUMO DE ENERGIA DOS EXAUSTORES (DIÁRIO).....	70
FIGURA 46 – CONSUMO DE ENERGIA DAS LÂMPADAS (DIÁRIO).....	71
FIGURA 47 – FLUXOGRAMA DA BASE DE REGRAS UTILIZADA	72
FIGURA 48 – MAPAS DE TEMPERATURA E UMIDADE - TRATAMENTO 1 (11H00MIN)	73
FIGURA 49 – MAPAS DE TEMPERATURA E UMIDADE - TRATAMENTO 2 (11H00MIN)	74
FIGURA 50 – VARIOGRAMA DE TEMPERATURA – TRATAMENTO 1 (12H00MIN)	76
FIGURA 51 – VARIOGRAMA DE UMIDADE – TRATAMENTO 1 (12H00MIN).....	77
FIGURA 52 – MAPAS DE TEMPERATURA E UMIDADE – TRATAMENTO 1 (12H00MIN)	78
FIGURA 53 – VARIOGRAMA DE TEMPERATURA – TRATAMENTO 2 (12H00MIN)	79
FIGURA 54 – VARIOGRAMA DE UMIDADE – TRATAMENTO 2 (12H00MIN).....	80
FIGURA 55 – MAPAS DE TEMPERATURA E UMIDADE – TRATAMENTO 2 (12H00MIN)	81
FIGURA 56 – CONSUMO DE ENERGIA DOS EXAUSTORES – TRATAMENTOS 1 E 2	81
FIGURA 57 – CONSUMO DE ENERGIA DAS LÂMPADAS – TRATAMENTOS 1 E 2	82

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NOMENCLATURAS PARA OS CONJUNTOS FUZZY).....	60
TABELA 2 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DE TEMPERATURA (MANHÃ E MEIO-DIA).....	64
TABELA 3 – ANÁLISE ESTATÍSTICA DE UMIDADE (MANHÃ E MEIO-DIA).....	64
TABELA 4 – VARIOGRAMAS PARA AS GRANDEZAS TEMP E UMIDADE DO AR.....	67
TABELA 5 – ANÁLISE DOS VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR (W/M^2).....	69
TABELA 6 – DADOS CLIMÁTICOS – TRATAMENTO 1 E 2.....	74
TABELA 7 – TEMPERATURA DO AR – CONTROLE PROPOSTO.....	75
TABELA 8 – UMIDADE DO AR – CONTROLE PROPOSTO.....	75
TABELA 9 –DPV (FOLHA-AR) – CONTROLE PROPOSTO.....	75
TABELA 10 – VARIOGRAMAS TEMP E UMIDADE DO AR – TRATAMENTO1.....	77
TABELA 11 – DADOS CLIMÁTICOS – CONTROLE EXISTENTE.....	79
TABELA 12 – VARIOGRAMAS TEMP E UMIDADE DO AR – TRATAMENTO2.....	80

LISTA DE EQUAÇÕES

SEMIVARIOGRAMA.....	50
CÁLCULO DE TEMPERATURA DE BULBO ÚMIDO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	55
CÁLCULO DE PRESSÃO DE VAPOR DO AR SATURADO	56
CÁLCULO DE PRESSÃO DE VAPOR ATUAL (PARCIAL) DO AR.....	56
CÁLCULO DE PRESSÃO DE VAPOR DO AR NA SUPERFÍCIE DA FOLHA.....	56
DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR DO AR NA SUPERFÍCIE DA FOLHA	57
DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR FOLHA-AR.....	57

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
I – INTRODUÇÃO	1
II - OBJETIVOS	2
III –REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 - CASAS DE VEGETAÇÃO	3
3.1.1 – <i>Radiação Solar</i>	3
3.1.2– <i>Temperatura</i>	4
3.1.3 – <i>Umidade do Ar</i>	5
3.1.4 – <i>Fluxo de Ar (Vento)</i>	6
3.2 – CONTROLES	6
3.2.1 – <i>Arquitetura</i>	8
3.2.2 – <i>Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)</i>	9
3.2.3 - <i>Sistemas de controle (centralizados e distribuídos)</i>	13
3.2.4 - <i>Sistemas comerciais de controle ambiental para casas de vegetação</i>	14
3.2.4.1 - Equipamentos dedicados.....	15
3.2.4.2 - Equipamentos de Propósito Geral.....	15
3.2.5 – <i>IHM (Interface Homem-Máquina)</i>	16
3.2.6 – <i>Programas Supervisórios</i>	17
3.2.7 – <i>Controladores de Lógica Fuzzy</i>	18
3.3 – SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO	22
3.4 – GEOESTATÍSTICA APLICA À AGRICULTURA	23
3.5 – ENGENHARIA DE SOFTWARE	24
3.5.1 – <i>Modelos de processo</i>	25
IV – MATERIAL	29
4.1 – LOCAL	29
4.2 – CULTURA	29
4.3 - INSTALAÇÕES	30
4.3.1 – <i>Equipamentos Existentes</i>	31
4.3.2 – <i>Irrigação</i>	33
4.3.3 – <i>Sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático (“Pad and Fan”)</i> ;	34
4.3.4 – <i>Iluminação Artificial</i>	35
4.3.5 – <i>Exaustores</i>	36
4.3.6 – <i>Sistemas de Medição</i>	37
4.4 – MEDIÇÃO PRELIMINAR.....	38
4.5 – CONJUNTO EXPERIMENTAL.....	39
4.5.1 – <i>Sensores</i>	40
4.5.2 – <i>CLP (Controlador Lógico Programável)</i>	42
4.5.3 – <i>Computador</i>	46
4.5.4 – <i>Consumo de energia elétrica</i>	46
V – MÉTODOS.....	48
5.1 – DESENVOLVIMENTO	48
5.1.1 – <i>Avaliação do ambiente</i>	48

5.1.2 – Métodos Geoestatísticos.....	50
5.1.3 – Desenvolvimento Computacional.....	52
5.1.3.1 – Especificação Abstrata.....	53
5.1.3.2 – Sistema Protótipo.....	53
5.1.3.3 – Conforto Térmico.....	55
5.1.3.4 – Lógica Fuzzy.....	57
5.1.3.5 – Adequação do Sistema.....	60
VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
6.1 – COLETA DE DADOS PRELIMINARES.....	64
6.1.1 – Temperatura e Umidade do Ar.....	64
6.1.2 – Radiação Solar.....	69
6.1.3 – Consumo de Energia.....	69
6.2 – TESTES FUNCIONAIS.....	71
6.3 – TESTES DE CAMPO.....	73
VI – CONCLUSÃO.....	84
VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

I – INTRODUÇÃO

Observa-se que a maioria das tecnologias de controles climáticos disponíveis hoje no mercado, e adotadas, consistem numa adequação de soluções industriais para resolver questões individuais, não abrangendo toda a gama de situações envolvidas no processo de cultivo protegido. Daí a necessidade de se buscar soluções próprias para o processo produtivo deste setor. Além disto, há grande dificuldade em proporcionar integração efetiva entre os equipamentos e o controle, a fim de empregá-los de forma eficiente e econômica. Esta dificuldade pode ser contornada, utilizando-se técnicas específicas para um sistema especializado, no caso, a Lógica *Fuzzy* ou Nebulosa, que vem sendo aplicada nos mais diversos campos de estudo, principalmente aqueles que desenvolvem tecnologia integrada elétrica, eletrônica e computacional. Segundo Cruz (2001), estes conceitos têm contribuído, acentuadamente, para o desenvolvimento de áreas como lingüística, teoria de controle, teoria de informação, modelos de reconhecimento e análise de informação, entre outras.

Aspecto importante a ser destacado é o consumo de energia elétrica, pois, dependendo das condições internas, equipamentos, tais como, motores que movimentam telas e cortinas, ventiladores, exaustores e bombas de nebulização passam a funcionar com maior frequência, consumindo maior quantidade de energia elétrica. Esta energia é utilizada nas casas de vegetação principalmente para a manutenção do conforto térmico e tem extrema importância dentro da quantificação de custos, com total atenção aos equipamentos que estão sendo utilizados e a sua relação benefício/custo, no que diz respeito ao consumo.

II - OBJETIVOS

Objetivo Geral: Desenvolver um sistema de controle que, utilizando algoritmo baseado em lógica *fuzzy* em conjunto com teorias de consagradas de ambiência vegetal e o uso de controles lógicos programáveis, possa proporcionar um controle mais preciso e adequado com economia de energia elétrica e manutenção de boas condições para o desenvolvimento vegetal.

Objetivos Específicos:

- Construir um protótipo do controlador que será composto pelo conjunto CLP, computador e sensores.
- Validar a eficiência do controle, coletando dados do ambiente interno e consumo de energia elétrica.
- Sustentar por meio de simulações que a hipótese de que o uso de déficit de pressão de vapor consiste num parâmetro válido para medida do bem-estar das plantas.

III –REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Casas de Vegetação

As casas de vegetação são construções utilizadas com o intuito de aproveitar melhor as condições climáticas em benefício do crescimento e desenvolvimento das plantas em épocas cujas condições de clima não são adequadas para esta atividade, ou seja, estas instalações propiciam a criação de um ambiente artificial que seja adequado ao cultivo de plantas.

O desenvolvimento das plantas no interior de casas de vegetação é mais acelerado, provocando um aumento no consumo de insumos. Assim, é necessário promover o seu fornecimento de maneira mais criteriosa, o que impõe um conhecimento mais profundo das necessidades de cada cultura, bem como do seu estágio de desenvolvimento (enraizamento, crescimento ou corte).

Angelocci (2002), Fontes (2003) e Guiselini (2002) ressaltam que as condições climáticas internas são fatores determinantes no desenvolvimento das plantas. Dentre os fatores climáticos mais importantes, destacam:

- Radiação solar
- Temperatura
- Umidade
- Fluxo de Ar

Casas de vegetação, o monitoramento e controle, para a produção vegetal, são práticas muito difundidas em todo o mundo e possibilitam auxiliar no manejo adequado da produção visando atingir faixas ótimas de cultivo.

3.1.1 – Radiação Solar

A radiação solar é o principal elemento meteorológico, pois desencadeia todos os fenômenos meteorológicos, afetando todos os outros elementos como por exemplo: temperatura, pressão, vento, umidade e chuva.

A radiação de onda curta influencia o crescimento da planta em dois aspectos: primeiro, radiação fotossinteticamente ativa – PAR, (400 a 700nm), que é necessária para a

fotossíntese; processo básico para o desenvolvimento da planta (Guiselini, 2002), e, segundo, o total de energia que é o principal fator que afeta a transpiração (Angelocci, 2002).

A luz natural fraca ou baixo período de iluminação (fotoperíodo) pode ser complementado com luz artificial. Esta é utilizada para estender o crescimento vegetativo por um período mais longo, adiantar ou retardar o tempo de florescimento, no caso do cultivo de flores.

O aumento da intensidade luminosa promove um aumento na atividade fotossintética, o que resulta em maior produção de hidratos de carbono e, desta forma, eleva o teor de matéria seca nos vegetais. Por outro lado, a falta de luminosidade provoca um maior alongamento celular, o que resulta em estiolamento (um aumento em altura e extensão da parte aérea), porém sem elevação no teor de matéria seca (FONTES 2003).

3.1.2– Temperatura

Segundo Guiselini (2002), a temperatura do ar no interior de ambientes protegidos está intimamente ligada ao balanço de energia. Depende, portanto, dos processos de incidência de radiação solar, reflexão e re-irradiação através dos objetos no interior da estufa, convecção e condução através da cobertura, renovação do ar, evapotranspiração e troca de calor com o solo. A renovação de ar por meio de ventilação natural através da abertura de janelas e cortinas possibilita reduções significativas na temperatura no interior da estrutura.

A temperatura influencia a velocidade de formação (fotossíntese) e quebra de açúcares (respiração). A diferença entre as taxas de fotossíntese e respiração indicam a quantidade de açúcares disponíveis para ser utilizado para o desenvolvimento da planta.

A temperatura influencia tanto a fotossíntese quanto a respiração. Quando abaixo de 5°C a fotossíntese é praticamente paralisada, enquanto a respiração é muito pequena. Acima de 5°C a fotossíntese aumenta até atingir a sua faixa ótima entre 18°C e 20°C, ocorrendo em paralelo aumento da respiração até cerca da temperatura de 35°C. Acima de 35°C, tanto a fotossíntese quanto a respiração começam a decrescer e acima de 45°C tanto a fotossíntese quanto a respiração tendem a valores muito pequenos (LEAL, 2002)

Cada espécie botânica possui sua própria faixa de temperatura favorável à germinação, ao crescimento e outras atividades fisiológicas (FONTES, 2003)

Temperatura da folha

A temperatura da folha tende a acompanhar a do ambiente. O aumento da temperatura do ar e da folha tende a aumentar a diferença de concentração de vapor folha-ar, de modo que mantidos constantes os outros fatores que afetam a perda de água, como as condutâncias difusivas na via de fluxo, o aumento da temperatura do ar tende a provocar um acréscimo da transpiração, até o ponto em que a regulação estomática passa a atuar no sentido de não permitir uma perda excessiva de água. (ANGELOCCI, 2002)

Temperatura de Solo

Dependendo da latitude, o solo pode atingir temperaturas bastante baixas ou bastante altas ao longo do ano, afetando a absorção de água. Desde o século XVIII sabe-se que o resfriamento do solo causa diminuição da absorção de água pela planta e conseqüentemente, da transpiração. Considera-se que essa diminuição ocorre tanto por aumento da temperatura do solo que afeta toda a atividade do sistema radicular (ANGELOCCI, 2002).

3.1.3 – Umidade do Ar

De acordo com Leal (2002), Guiselini (2002) e Angelocci (2002), os valores da umidade relativa do ar são inversamente proporcionais à temperatura do ar e muito variáveis no interior do ambiente protegido. Desta forma, com o aumento da temperatura, durante o período diurno, a umidade relativa diminui no interior da estrutura, tornando-se igual ou inferior a umidade observada externamente. Durante a noite, a umidade relativa aumenta bastante, freqüentemente próxima a 100%, devido à queda acentuada na temperatura verificada neste período e a retenção de vapor d'água pela cobertura.

A umidade em ambientes protegidos existe sob duas formas: vapor d'água e evapotranspiração. O vapor d'água é resultante do resfriamento, até atingir o ponto de orvalho. A formação do orvalho na superfície das folhas e na face interna da superfície da cobertura é bastante comum em estufas e propicia condições favoráveis a infecção por patógenos (GUISELINI, 2002).

O controle da umidade do ar exige a utilização de equipamentos especiais, por exemplo, pad-fan. O alto teor de umidade afeta substancialmente o estado fito-sanitário das plantas, especialmente com relação a ataques de fungos e bactérias patogênicas.

3.1.4 – Fluxo de Ar (Vento)

O vento aumenta a renovação de ar em torno da folha, aumentando a condutância aerodinâmica, resultando em valores de transpiração das plantas mais elevados. No interior da estrutura, quando ventilada, ocorre a retirada do ar úmido, entrando mais ar seco e menos quente, vindo do exterior do ambiente, o que também contribui para o aumento da evapotranspiração (ROCHA, 2002).

A variação da umidade do ar no interior da estrutura depende principalmente da temperatura do ar e da ventilação. Por sua vez, a temperatura do ar varia principalmente em função da densidade de fluxo de radiação solar incidente e da própria ventilação, a qual depende da área, tipo, localização e manejo da abertura e da velocidade de troca do ar do interior com o exterior (GUISELINI, 2002).

Há dois tipos de ventilação, a natural e a forçada. A natural depende basicamente do formato das instalações e das características climáticas regionais. A ventilação forçada ocorre através de exaustores ou ventiladores, devidamente dimensionados e posicionados nas estruturas de cultivo. (LEAL, 2002)

Os problemas relacionados com o vento no interior de ambientes protegidos estão quase sempre ligados a sua baixa velocidade. O que se busca até então, são meios de melhorar o seu aproveitamento, visando proporcionar uma renovação de ar mais eficiente nesses ambientes, a fim de diminuir a temperatura e a umidade excessiva.

3.2 – Controles

Challa, citado por Hanan (1997), define que a principal tarefa de um controlador climático reside em evitar extremos climáticos que possam causar dano à planta, tais como: sobre-aquecimento, principalmente causado por intensa radiação solar, e baixa temperatura durante a noite ou períodos de inverno.

De acordo com Albright (1990), projetar sistemas de controle climático para casas de vegetação requer entendimento das complexas interações entre os sistemas biológicos, contidos no espaço cultivado, e o ambiente gerado pelo controle. Isto tem como objetivo criar um balanço favorável, tanto para sistemas biológicos, como para sistemas físicos. Para gerar

este balanço, são requeridos entendimentos de física, termodinâmica, matemática, através de cálculos, mecânica dos fluídos, transferência de calor, transferência de massa, psicrometria, refrigeração, fenômenos climáticos, teoria de controle e biologia ambiental.

Hanan (1997) delineou várias características necessárias para sistemas de controle climático, que dentre elas pode-se ressaltar:

- Estabilidade: O sistema deve estar apto a seguir corretamente um comando de entrada e não proporcionar extremos de temperatura em curto espaço de tempo, prejudicando o desenvolvimento da planta.
- Precisão: O sistema deve dispor de sensores suficientemente sensíveis a ponto de detectar qualquer variação que possa interferir na planta. E, principalmente, deve identificar o tempo entre o dado recebido, o processamento desta informação e a resposta obtida, dentro de padrões pré-estabelecidos no período de modelagem do sistema.
- Confiabilidade: O sistema deve ser otimizado a fim de eliminar ou, em alguns casos, reduzir as chances de falha, tais como perda de dados devido à falta de energia, acessos não autorizados ou panes em alguns dos dispositivos do conjunto de circuitos eletrônicos.

A efetividade do sistema de controle depende do tipo de controlador lógico (liga-desliga, proporcional, proporcional e integral ou proporcional, integral e derivativo), das capacidades dos sensores, atuadores mecânicos e das propriedades físicas do ambiente controlado (MCCORMACK E RUMMEL, 1993).

3.2.1 – Arquitetura

Cansado (2003) afirma que um sistema genérico para controle automático (no caso, o clima no interior de uma casa de vegetação) utiliza uma malha de realimentação, pela qual cada variável a ser controlada é monitorada e seu valor é comparado com um valor de referência (*set point*), gerando um sinal de controle que procurará minimizar a diferença entre os dois valores, conforme ilustra a Figura 1.

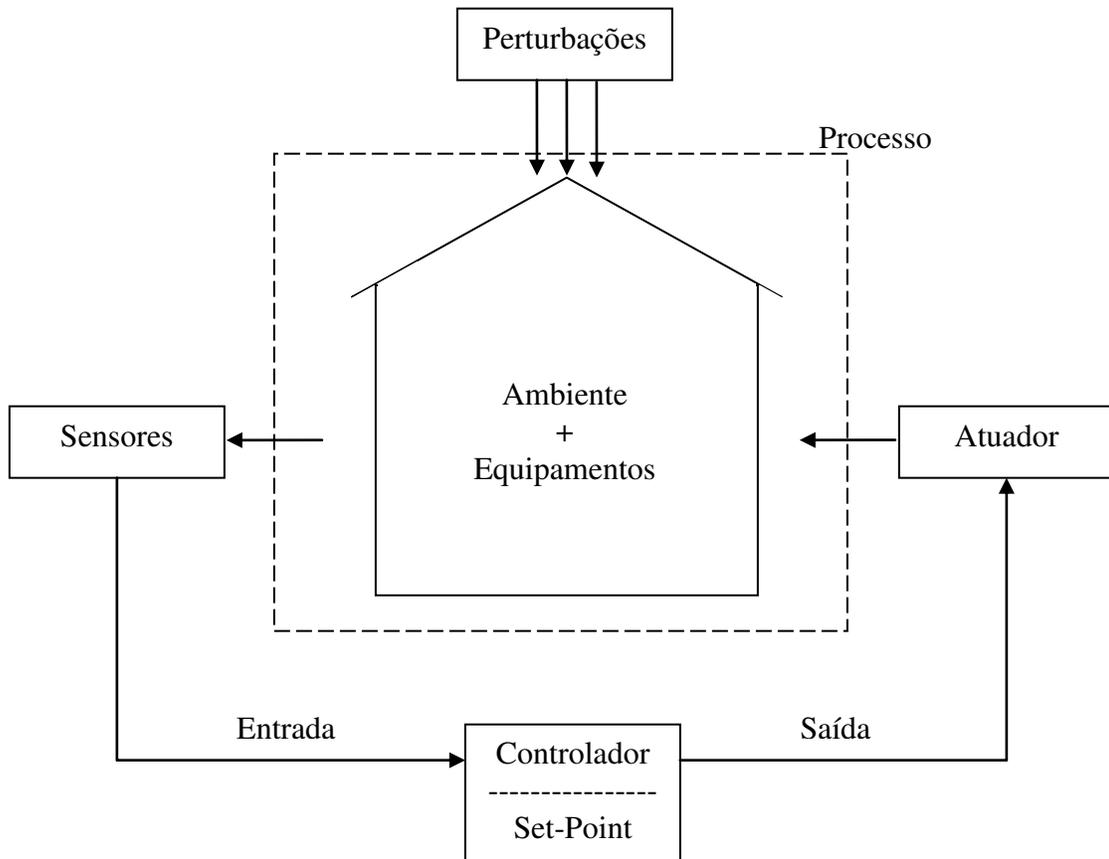


Figura 1 - Sistema de Controle Climático Genérico (CANSADO, 2003)

Esquemáticamente o sistema pode ser dividido em quatro partes:

- Processo – É a casa de vegetação e as variáveis a serem controladas. Por exemplo: temperatura, umidade relativa, concentração de CO₂ e radiação luminosa, entre outros.

- Sensores/Transdutores – Dispositivos que realizam a medição dos valores das variáveis controladas no sistema. Por exemplo: sensor de temperatura, de umidade e de radiação, entre outros.
- Controlador – Elemento que compara o valor atual das variáveis a controlar, fornecido pelos sensores, com o valor de referência, e executa o algoritmo de controle. Emite os sinais de saída para os atuadores visando corrigir o valor da variável para que os erros sejam os mínimos possíveis. Como exemplos, tem-se os computadores de uso geral com placas apropriadas, computadores dedicados e CLP, entre outros.
- Atuadores – Recebem os sinais de controle fornecidos pelo controlador e agem sobre o meio físico, visando manter as variáveis controladas dentro dos limites desejados. Por exemplo: sistemas de resfriamento, telas de sombreamento e umidificadores, entre outros.
- Perturbações – Compreendem a ação das variáveis do clima e suas conseqüentes variações no clima interno da casa de vegetação.

3.2.2 – Controladores Lógicos Programáveis (CLPs).

Os primeiros CLPs substituíram os painéis de relés, conseguindo satisfazer os requisitos de modularidade, expansibilidade, facilidade de programação e uso no ambiente industrial. Esses controles eram instalados com facilidade, necessitando de menores espaços e podiam ser reutilizados. Em pouco tempo, o uso dos controladores programáveis começou a ser adotado em outras atividades.

O CLP é, portanto, um equipamento eletrônico baseado em microprocessadores, usado em aplicações industriais e executa funções como operações lógicas, seqüencialização, temporização, cálculos numéricos, com capacidade de armazenamento das informações em memória e processamento de sinais de entrada/saída, analógicos ou digitais. Os CLPs apresentam-se como uma solução muito mais flexível no processo de controle, pois com algumas alterações nos programas de aplicação na memória do controlador, altera-se o projeto básico.

Na década de 70, os sistemas usando CLPs continuavam centralizados, implementando as funções de coleta e tratamentos dos sinais além da execução dos algoritmos de controle. Com o aumento da sofisticação dos processos de manufatura e a crescente necessidade de sua supervisão e controle, gerou-se a necessidade de um grande número de pontos de coleta de dados e atuação. Num sistema convencional de controle, seria necessário interligar cada um dos pontos até o centro de processamento do controle, e, conseqüentemente, grande quantidade de cabos e horas de instalação. Com o objetivo de reduzir esses inconvenientes, os sensores foram conectados a módulos de entrada/saída, que tinham a função de centralizar um conjunto de sensores e atuadores e efetuar a comunicação com o módulo CLP de forma digital (SHICKHUBER, 1997).

Através desta solução, chamada de barramento de campo (*fieldbus*), pôde-se racionalizar o uso dos equipamentos e reduzir o tempo de instalação, facilitando a manutenção e reduzindo o custo do sistema de controle. No entanto, a comunicação desses módulos de entrada e saída com o CLP central levou a necessidade da definição de um protocolo de comunicação. A padronização do protocolo também pôde permitir um avanço na interoperabilidade desses sistemas.

Devido à forte demanda por soluções deste tipo e à demora na determinação deste padrão, surgiram uma série de protocolos e formas de comunicação concorrentes como por exemplo *Actuator Sensor Interface* (ASI), *Bitbus*, *Controller Area Network* (CAN), *Device Network* (DeviceNet), *European Installation Fieldbus* (EIB), *Fieldbus Foundation* (FF), *Highway Addressable Remote Transducer* (HART), *InterBus-S*, *Interoperable System Project* (ISP SP50), *Local Operating Network* (LonWorksT), *Process Fieldbus* (Profibus), *Process Net* (P-NET), *Smart Distributed Systems* (SDS), *World Factory Instrumentation Protocol* (WorldFIP), entre outros. Segundo Mahalik (2002) existem mais de 30 padrões de barramentos de campo.

A utilização destes barramentos começava a mudar o paradigma tradicional, no qual existia um elemento central que executava todo o tratamento e processamento do sistema e delegava a digitalização dos sinais para os módulos de entrada/saída e dispositivos de campo. No início, os barramentos de campo favoreceram o surgimento de sistemas hierarquizados.

A partir da década de 90, essa solução ganhou força com o aparecimento dos dispositivos inteligentes microprocessados, onde cada vez mais os dispositivos vão agregando

processamento, não apenas digitalizando, mas também efetuando o tratamento dos sinais lidos (por exemplo, a linearização) e emitindo o seu estado de funcionamento (SCHIMANSKI, 1996).

O progresso industrial no desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores e o crescimento da demanda do usuário final pelo controle da performance do sistema impulsionaram o avanço dos sistemas de controle para os chamados barramentos de campo distribuídos e sistemas de rede de controles (SHICKUBER, 1997). Esses sistemas têm como principais características: a distribuição do processamento, através da utilização de microcontroladores na implementação de nós da rede e da distribuição do software de controle nesses nós, a utilização mais completa do modelo de referência de redes OSI (*Open Systems Interconnection*) e o uso de topologias de rede em configuração livre. A figura 2 ilustra o esquema simplificado de um CLP.

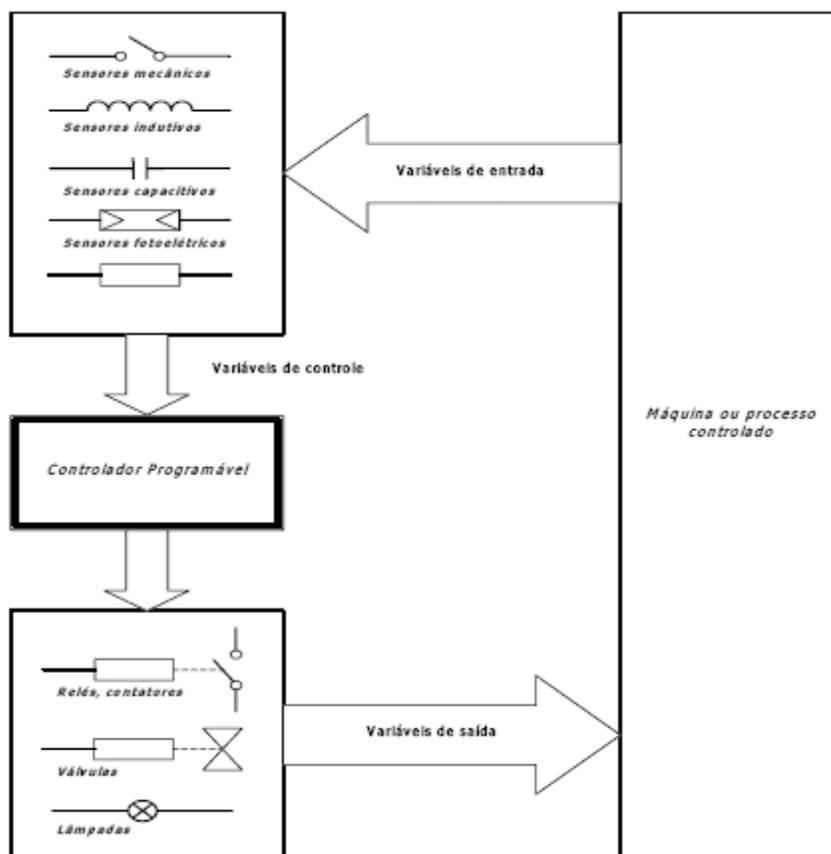


Figura 2- Esquema simplificado de controle através de CLP (NATALE, 1995)

A camada OSI (Open Systems Interconnection) – Interconexão de Sistemas Abertos - é um modelo de arquitetura que divide as redes de computadores em sete camadas hierárquicas, e cada uma delas usa as funções da própria camada ou da camada anterior, para esconder a complexidade e transparecer as operações para o usuário, seja ele um programa ou uma outra camada.

Camada física

A camada física define as características técnicas dos dispositivos elétricos (físicos) do sistema. Ela contém os equipamentos de cabeamento ou outros canais de comunicação que se comunicam diretamente com o controlador da interface de rede.

Camada de Enlace ou Ligação de Dados

A camada de ligação de dados também é conhecida como camada de enlace ou conexão de dados e também estabelece um protocolo de comunicação entre sistemas diretamente conectados.

Camada de rede

A camada de Rede é responsável pelo endereçamento dos pacotes, convertendo endereços lógicos em endereços físicos (ou IP), de forma que os pacotes consigam chegar corretamente ao destino. Essa camada também determina a rota que os pacotes irão seguir para atingir o destino, baseada em fatores como condições de tráfego da rede e prioridades.

Camada de transporte

A camada de transporte é responsável por pegar os dados enviados pela camada de Sessão e dividi-los em pacotes que serão transmitidos para a camada de Rede. No receptor, a camada de Transporte é responsável por pegar os pacotes recebidos da camada de Rede, remontar o dado original e assim enviá-lo à camada de Sessão. O objetivo final da camada de transporte é proporcionar serviço eficiente, confiável e de baixo custo. O hardware e/ou software dentro da camada de transporte e que faz o serviço é denominado entidade de transporte.

Camada de sessão

A camada de Sessão permite que duas aplicações em computadores diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação. Nesta sessão, essas aplicações definem como será feita a transmissão de dados e coloca marcações nos dados que estão sendo transmitidos. Se porventura a rede falhar, os computadores reiniciam a transmissão dos dados a partir da última marcação recebida pelo computador receptor.

Camada de apresentação

A camada de Apresentação, também chamada camada de Tradução, converte o formato do dado recebido pela camada de Aplicação em um formato comum a ser usado na transmissão desse dado, ou seja, um formato entendido pelo protocolo usado. Um exemplo comum é a conversão do padrão de caracteres (código de página) quando, por exemplo, o dispositivo transmissor usa um padrão diferente do ASCII, por exemplo. Pode ter outros usos, como compressão de dados e criptografia.

Camada de aplicação

A camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação através da rede. Por exemplo, ao solicitar a recepção de e-mails através do aplicativo de e-mail, este entrará em contato com a camada de Aplicação do protocolo de rede efetuando tal solicitação. Tudo nesta camada é direcionada aos aplicativos. Telnet e FTP são exemplos de aplicativos de rede que existem inteiramente na camada de aplicação.

Os itens a seguir definem e destacam as vantagens e desvantagens dos sistemas de controle centralizado e distribuído.

3.2.3 - Sistemas de controle (centralizados e distribuídos)

Segundo Hanan (1998), os sistemas de controle, em função do local do processamento dos dados envolvidos no processo, podem ser classificados em duas topologias básicas: centralizada e distribuída.

Nos sistemas de controle com topologia centralizada, todos os elementos envolvidos estão interligados e o processamento das informações é executado em apenas um local, ou seja, no computador central.

A vantagem dessa topologia, em função de todos os elementos estarem juntos, é que o computador e o dispositivo de aquisição e controle podem ser instalados em um ambiente separado do processo. As casas de vegetação não são os locais mais apropriados para a colocação de equipamentos eletrônicos devido aos extremos climáticos lá encontrados. Portanto, o sistema pode ser colocado em um local apropriado e protegido contra essas adversidades, caso seja necessário. Esse tipo de topologia permite o controle de uma ou várias casas de vegetação, dependendo apenas da capacidade de processamento do computador central e das distâncias dos sensores e atuadores. Um importante fator a ser levado em consideração nesta topologia consiste em implementações com muitos sensores e atuadores, nas quais a topologia centralizada produz um estrangulamento no processador.

Nos sistemas de controle com topologia distribuída, o processamento das informações é realizado em mais de um local do sistema. Os valores de referência (*set points*) são fornecidos para o processador local, o qual é responsável pela maioria dos controles imediatos e pela leitura dos sensores mais relevantes ao processo. O computador central verifica cada processador local sequencialmente, obtém as últimas informações sobre o clima e se necessário recalcula o novo valor de referência. O operador pode fornecer comandos localmente através da configuração do processador para “modo local”. No caso da ocorrência de falha no computador central, o processador local pode operar o sistema com uma abrangência limitada. Nessa topologia, os problemas de indução de ruídos nos cabos e custos dos mesmos são menores.

3.2.4 - Sistemas comerciais de controle ambiental para casas de vegetação

O desenvolvimento da atividade de produção vegetal utilizando casas de vegetação e a necessidade do controle das variáveis ambientais, para o aumento da qualidade e rentabilidade da produção, têm despertado o interesse de empresas no fornecimento de equipamentos para esse mercado promissor. Dos produtos disponíveis, alguns são baseados em equipamentos dedicados e outros em equipamento de propósito geral.

3.2.4.1 - Equipamentos dedicados

Segundo Cansado (2003), os produtos baseados em equipamentos dedicados são projetados com a finalidade de atender às necessidades específicas de controle das variáveis climáticas mais relevantes de casas de vegetação, levando em conta todas as características inerentes a esses ambientes e as dificuldades de operação do equipamento por parte do agricultor, tornando a sua utilização bastante simples. Existe uma vasta gama de produtos para esse fim, desde equipamentos mais completos e sofisticados que controlam diversas variáveis de uma forma integrada, até equipamentos menos completos e mais simples responsáveis pelo controle de apenas uma variável ambiental. Duas observações importantes devem ser feitas:

- Embora existam empresas com soluções altamente integradas e complexas, existe um número considerável de empresas com soluções simples, controlando apenas uma das funções existentes na casa de vegetação como, por exemplo, sistema para controle de ventilação, sistema para controle de iluminação e sistema para controle de injeção de CO₂, entre outros.
- Pela análise dos diversos fornecedores de tecnologia dedicada a casas de vegetação, constata-se que os sistemas são fechados, ou seja, proprietários, tornando praticamente impossível a interligação de sistemas de fabricantes diferentes.

3.2.4.2 - Equipamentos de Propósito Geral

O controle de ambientes pode ser realizado com base em outras soluções de mercado, através da utilização de equipamentos e softwares de propósito geral normalmente utilizados em automação industrial. Entre esses equipamentos, destacam-se os CLPs e as placas de aquisição de dados.

Desde a época de sua especificação, até os dias atuais, os CLPs vêm ganhando aprimoramentos sucessivos e cada vez mais aproximando-se das especificações originais. Pelos critérios listados acima, verifica-se que os CLPs foram originalmente projetados para serem usados em automação industrial, possuindo, portanto, diversas vantagens para seu emprego em casas de vegetação em contraste com painéis de controle por lógica de relés tradicionais. Entre essas vantagens estão: versatilidade de mudança nos programas de controle,

facilidade de instalação e programação, velocidade de operação dos temporizadores internos, capacidade de comunicação com computadores locais e remotos, por serem modulares, permitem a expansão do sistema de uma forma natural e, por fim, são elementos de controle extremamente confiáveis para trabalho em ambientes agressivos.

Os CLPs podem ter entradas digitais e analógicas, permitindo a interligação tanto com sensores que fornecem sinais discretos no tempo como sensores que fornecem sinais analógicos. De forma similar, eles possuem saídas digitais e analógicas, permitindo o controle de equipamentos com controle discreto, do tipo liga-desliga, bem como de equipamentos com controle proporcional. Também possuem capacidade de memória modular, que permite a expansão da complexidade dos algoritmos de controle, caso seja necessário, e também possuem velocidades de operações diferentes, permitindo a opção de escolha do modelo mais apropriado para a execução de determinada tarefa.

Um fator que com certeza limita a utilização desse dispositivo para automação agrícola é seu custo, considerado elevado para nossa realidade. (CANSADO, 2003).

3.2.5 – IHM (Interface Homem-Máquina)

Com a grande difusão do CLP nesta última década, surgiram também novas necessidades dos usuários, como por exemplo, a possibilidade de verificar e/ou modificar certos parâmetros dentro de um programa, sem a necessidade de conectar-se a um computador para a realização desta tarefa. Nas IHMs gráficas o usuário pode, por meio de um programa específico, desenhar comandos em forma de botões, bem como lâmpadas para aviso ou alarmes, escolhendo cores, formatos, tamanhos e definindo, também, endereços do CLP para cada elemento. Depois de carregado o programa na IHM, o usuário deve fazer o programa no CLP que interpreta a função de cada endereço da IHM. Tudo isso é realizado de forma simples e rápida, podendo o usuário modificar esta interface a qualquer momento, acrescentando ou retirando funções, de acordo com suas necessidades. Além das funções básicas citadas, as IHMs gráficas podem mostrar valores de variáveis, tanto na forma numérica simples, como na forma de gráfico de barras.

As IHMs são de dois tipos: as de interface alfa-numérica e as de interfaces gráficas. Numa interface alfa-numérica, a IHM é ligada ao CLP através de sua porta de comunicação. Além dos parâmetros normais, quando se está programando uma IHM, indica-se qual será a

marca e o modelo do CLP com que vai se comunicar. O princípio de funcionamento consiste em pré-programar mensagens, e cada mensagem possui um número. Quando se deseja acessar qualquer mensagem, basta fazer com que o CLP coloque o número desta mensagem no registrador designado para indicar qual mensagem será mostrada no momento. As teclas de função podem funcionar como botões de comando para acionar qualquer elemento no CLP. A cada tecla é atribuído um endereço de memória do CLP. Ao acionar a tecla na IHM, este bit é selecionado, permitindo assim que o programa do CLP possa utilizá-lo para acionar, por exemplo, uma saída que liga um motor de uma bomba de recalque. Essa possibilidade é muito vantajosa, pois, além de não se precisar ter um painel convencional de grandes dimensões, com botões e lâmpadas de controle, é possível enviar mensagens pelo display, ou acionar leds frontais, economizando-se assim entradas e saídas que seriam destinadas a estes elementos, pois a IHM se comunica com o CLP através da porta serial de comunicação (SOUSA, 2004).

3.2.6 – Programas Supervisórios

Segundo Sousa (2004), assim como nas IHMs, os programas supervisórios podem ser utilizados para a monitoração e modificação de parâmetros dentro de um CLP. Seu sistema funciona a partir de um computador comum de forma que, através do mouse ou teclado, o usuário pode acessar qualquer parâmetro dentro de um sistema automatizado.

Princípio de programação

Neste sistema, devido à utilização de um computador comum e de possuir as mesmas possibilidades de uma IHM, pode-se gerar banco de dados de registros, permitindo, por exemplo, armazenar o consumo diário de água de vários apartamentos durante um ano, em arquivos com padrão texto ou banco de dados, que podem ser utilizados em programas administrativos para análise dos dados coletados, como por exemplo, o sistema de tarifação de consumo de energia elétrica em um condomínio.

Através do programa supervisório também é possível coletar valores de arquivos compartilhados, proveniente de programas administrativos, permitindo que, através destes programas, possa-se modificar valores de variáveis que influenciarão no funcionamento do processo. Por exemplo, o usuário de determinada área de um edifício, ao preencher uma ficha de comunicação de hora extra de um departamento, poderá influenciar automaticamente no

horário de funcionamento do sistema de iluminação e ar condicionado para sua área, além da permissão de liberação do pessoal envolvido, pelo controle de acesso da empresa. Entretanto, não se deve julgar que ao se utilizar um sistema supervisorio, o usuário não necessite de uma IHM, pois suas aplicações possuem algumas características, especificas. As características de ambos sistemas são:

- IHM:
 - Possuem robustez para serem empregados em ambientes hostis, sujeitos à umidade, poeira, ruídos de rede, etc.;
 - Por não possuir elementos mecânicos (por exemplo, Disco Rígido), estas não estão sujeitas a erros de leitura e interpretação do programa nelas instalados;
 - Não permitem armazenar dados para bancos de dados;
 - Têm tamanho físico reduzido, o que facilita sua instalação em painéis, mesas de comando, entre outros.

Programa supervisorio:

- Possuem estrutura delicada e devem ser instalados em computadores (de preferência industriais), em sala especialmente preparada (temperatura controlada) e sistemas de no-break;
- Exigem grande espaço físico na instalação;
- Permitem armazenar grandes bancos de dados;
- Permitem animações;
- Apresentam possibilidade de utilização para a finalidade de computador;
- Possuem grande capacidade gráfica.

3.2.7 – Controladores de Lógica *Fuzzy*

Segundo Souza (2004) a Lógica *Fuzzy* ou Nebulosa é ideal para ser usada em sistemas não lineares ou sistemas com múltiplas entradas. Como as entradas e saídas do controlador não são bem definidas, ou não determinísticas, na Lógica *Fuzzy*, o controlador pode aceitar muitas variáveis de processo e *set-points*. Essas variáveis passam por um processo de “fuzzyficação”, o qual converte os valores do mundo real em termos lingüísticos.

Isto é feito comparando a variável a um conjunto de valores *fuzzy* que foi dimensionado. O processo de “Fuzzyficação” envolve as seguintes funções:

- a) capturar os valores numéricos (não *Fuzzy*) das variáveis de entrada,
- b) faz um mapeamento para condicionar os valores de entrada a universos normalizados e
- c) “Fuzzyficar” os valores, convertendo-os em conjuntos *Fuzzy*, de modo que possam se tornar instâncias de variáveis lingüísticas.

Na fase de inferência *fuzzy*, os termos lingüísticos são passados por uma série de regras de decisões para determinar uma saída lingüística única. Estas regras de decisão representam a operação básica do controlador *fuzzy*, ou seja, máquina de inferência é considerada como núcleo do controlador *Fuzzy* e compreende as seguintes funções:

- a) Infere ações de controle empregando implicações *Fuzzy* e as regras de inferência da lógica *Fuzzy* e
- b) Simula tomada de decisões baseadas nos conceitos *Fuzzy*.

A Base de Conhecimento compreende a base de regras e a base de dados:

- a) a base de regras é formada por um conjunto de regras lingüísticas que definem a estratégia de controle do sistema.
- b) a base de dados é formada pelas definições dos conjuntos *Fuzzy* que descrevem os predicados de cada variável de entrada e saída com suas respectivas funções de pertinência, as quais podem ser discretas ou contínuas.

O estágio final é a “defuzzyficação”, o qual converte a saída lingüística única para um valor do mundo real. Ele compara a sua saída lingüística única com um conjunto de valores *fuzzy* que determina a saída através de um método de médias pré-determinadas. A Figura 3 ilustra de forma esquemática um controlador *fuzzy*.

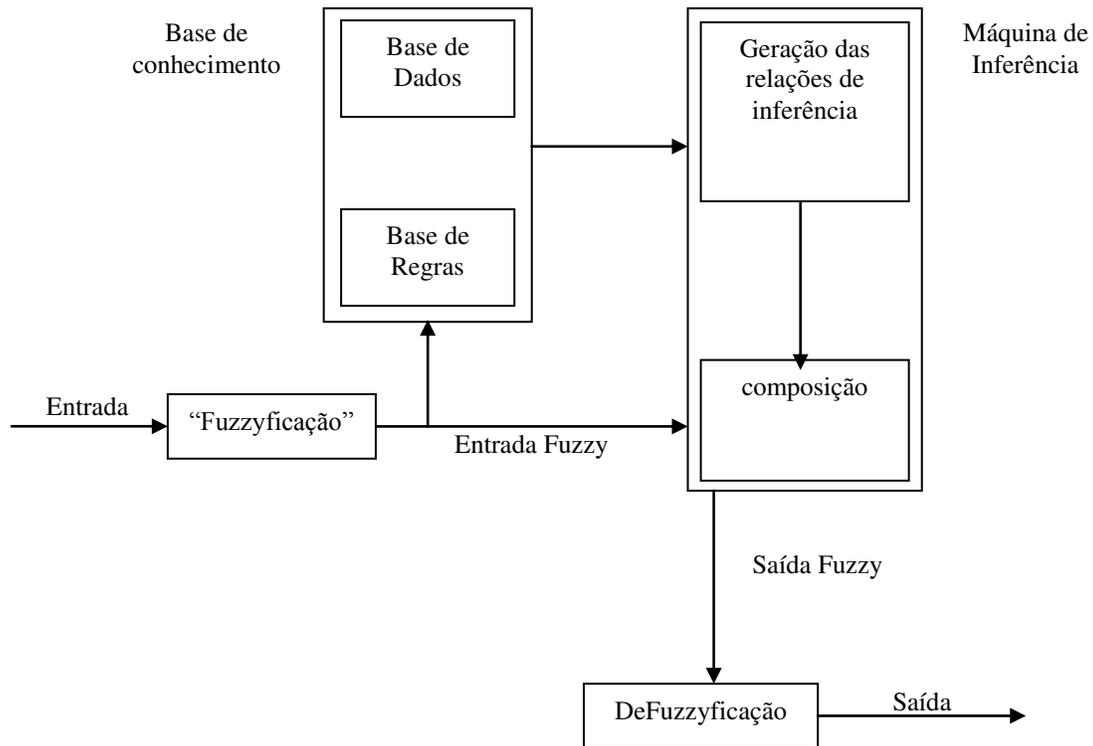


Figura 3 – Configuração de um controlador “Fuzzy” (AZEVEDO,1999)

O processo de “defuzzyficação” desempenha as seguintes funções:

- a) Efetua um levantamento, no qual compatibiliza os valores normalizados das variáveis de saída com os valores dos universos de discurso reais das variáveis,
- b) Transforma as ações de controle *Fuzzy* inferidas em ações de controle não-*Fuzzy*.

Sistemas que utilizam controladores baseados em regras *Fuzzy* podem possuir o mesmo esquema dos sistemas básicos de controle, sendo que o controle baseado em regras *Fuzzy* está em posição e função semelhantes ao de um controlador convencional.

Segundo Bose (1996), citado por Cruz (2001), a aplicabilidade da lógica *Fuzzy* é comprovada em controle de processos, modelagem, estimação, identificação e diagnóstico. Controles *Fuzzy*, já desenvolvidos e utilizados em processos complexos, mostraram um desempenho superior a dos outros controles, como por exemplo: o Proporcional Integral

Derivativo (PID). Este sucesso tem atraído muito campo de aplicações.

Como exemplo de aplicações *Fuzzy*, citam-se o experimento realizado por Odhiambo et al.(2001), que consiste de dois modelos *Fuzzy* para estimar taxas de evapotranspiração, em ambientes áridos e úmidos, a partir de valores obtidos de temperatura, irradiação solar, umidade relativa e velocidade do ar.

Cruz (2001) desenvolveu um modelo *fuzzy* para obtenção do tempo necessário para climatização de silos, com enfoque no consumo de energia elétrica. O modelo atuava com base em dados obtidos de umidade e temperatura interna e externa ao silo; a partir disso, sugeria taxas de rotação adequadas para os motores dos ventiladores de aeração.

Um controlador inteligente foi desenvolvido por Dogra e Chandra (2002), consistindo de um simples microcomputador Intel386 integrado aos sistemas de ventilação, nebulização, iluminação artificial e resfriamento evaporativo, em uma estrutura de 500m². Utilizando Lógica *Fuzzy*, sua metodologia de controle se baseava em estabelecer os parâmetros desejados de clima levando em consideração todos os dados obtidos no dia anterior.

Ciokolsz et al. (2002) desenvolveram um modelo de sistema especialista para seleção de sistemas de iluminação, baseado nas performances de crescimento e eficiência elétrica apresentadas por cada tipo de sistema.

Gao e He (2002) realizaram um experimento com o objetivo de desenvolver um protótipo de controlador climático, de baixo custo, totalmente automatizado, consistindo de um microcomputador interligado aos ventiladores, nebulizadores e cortinas. Este controlador foi desenvolvido em linguagem *Assembly* e programado para monitorar somente temperaturas entre 15°C a 55°C, umidade relativa entre 49% a 99% e tempo de mensuração de 10 minutos.

Fontes (2003) desenvolveu um sistema de supervisão e controle de irrigação utilizando técnicas de controladores *neurofuzzy*, bem como um aplicativo de controle tipo SCADA para supervisão e controle da casa de vegetação. Entre os sensores e o controlador, o cabeamento foi eliminado e a comunicação foi feita através de rádio frequência, utilizando o protocolo MODBUS/RTU. A grande inovação deste projeto consiste no fato de que parte do processamento é realizada pelos sensores através de microprocessadores acoplados aos mesmos e os dados são posteriormente transmitidos ao computador.

Cansado (2003) pesquisou o uso de um controle baseado em CLPs com comunicação

remota com o computador (desktop), utilizando software supervisorio do tipo SCADA, demonstrando que as recentes tecnologias possibilitam desenvolver controles extremamente interativos com os operadores.

Pereira (2006) pesquisou tecnologias utilizando redes distribuídas ao invés de rede centralizadas, possibilitando monitorar o clima interno de uma estrutura remotamente e com parte do processamento de dados realizado nos sensores.

Teruel et Al. (2008) desenvolveu uma IHM com a finalidade de controlar processos de resfriamento utilizando ar forçado, comprovando a tese de que um sistema de ventilação pode operar em rotações reduzidas sem perdas extremas de vazão, assim, economizando energia elétrica.

3.3 – Sistemas de Informação para Agricultura de Precisão

Segundo Murakami (2006), os desafios e oportunidades da agricultura de precisão são, atualmente, bem mais amplos e se inserem nas questões globais relacionadas a sustentabilidade da produção e conservação ambiental: o correto uso da água para evitar a ameaça de escassez e a poluição dos mananciais; a manutenção da fertilidade do solo; o controle das pragas e doenças que afetam as plantas; a necessidade de alimentar um crescente contingente de pessoas; a maior rigidez dos padrões para a qualidade e segurança dos alimentos e produtos. O tratamento dessas questões demanda muita informação e conhecimento. A informação é a chave para o sucesso de qualquer atividade e uma atividade pode ser aperfeiçoada cada vez mais se a informação sobre ela obedecer ao ciclo: obtenção de novas informações seguida da interpretação e utilização dessas informações para melhorar a atividade e gerar conhecimento.

Há várias iniciativas heterogêneas documentadas sobre manipulação e tratamento de dados coletados na agricultura de precisão. A maioria concentra-se em aspectos particulares do problema de tratamento dos dados. Grande parte dessas iniciativas constitui-se de sistemas experimentais, desenvolvidos como apoio à pesquisa.

Tem-se observado também um crescente empenho das empresas na tentativa de fornecerem sistemas de informação para gerenciamento e tratamento das informações geradas. No entanto, a visão imediatista do mercado tem gerado produtos que não atendem plenamente

a demanda dos agricultores em termos de funcionalidades, custo e principalmente em termos de capacidade de extensão e integração.

3.4 – Geoestatística aplicada à Agricultura

O conhecimento da geoestatística tem sido adotado por diferentes setores da cadeia agrícola, incluindo pesquisadores, fabricantes de equipamentos, fornecedores de insumos agrícolas, companhias de sementes e produtores como forma de melhorar o retorno econômico da atividade agrícola. (OKUMURA, 2007)

Inicialmente pesquisadores da área de mineração observaram o efeito de “variáveis regionalizadas”; tais variáveis possuem valores que a posicionam em uma localidade.

Krige (citado por OKUMURA, 2007), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não poderia encontrar sentido nas variações se não levasse em consideração a distância entre elas. Nos depósitos de minerais a ocorrência de valores altos e valores baixos para um teor de minério é regionalizada, isto é, as propriedades de uma certa variável, que pode variar de um local para o outro com alguma organização, relatando algo que se chama de dependência espacial.

A “Teoria das variáveis regionalizadas” foi desenvolvida por Matheron (citado por OKUMURA, 2007), na qual descreve os fundamentos da geoestatística. A teoria da geoestatística é baseada na observação de variáveis regionalizadas que possuem uma estrutura espacial. Esta estrutura espacial pode ser representada pelo Variograma ou Semi-variograma.

O semivariograma ou simplesmente variograma é o método geoestatístico para diagnosticar a presença da correlação entre as unidades amostradas e são preferidos para caracterizar a estrutura de continuidade espacial da característica avaliada, por exigirem hipóteses de estacionaridade menos restritivas (Hipótese Intrínseca). O semivariograma representa uma função de semivariâncias em relação às respectivas distâncias. A semivariância é definida como a metade da variância de diferenças entre observações de uma variável aleatória Z , separadas por uma distância h . Assim, valores baixos indicam menor variabilidade (maior similaridade). (MELLO, 2004)

Segundo Matheron (1963), havendo dependência espacial, pode-se estimar valores da propriedade em estudo para os locais não amostrados dentro do campo, sem tendenciosidade e com variância mínima, por meio do método denominado Krigagem A geoestatística teve as suas principais aplicações na mineração, depois em hidrologia e é também muito aplicada a estudos em Ciências do Solo.

As informações sobre a dinâmica espacial de variáveis são importantes em estudos epidemiológicos, podendo ser utilizadas para descrever e entender o desenvolvimento das doenças e pragas (OKUMURA, 2007)

3.5 – Engenharia de Software

O termo foi criado na década de 1960 e utilizado oficialmente em 1968 na Conferência sobre Engenharia de Software da OTAN. Sua criação surgiu numa tentativa de contornar a crise do software e dar um tratamento de engenharia (mais sistemático e controlado) ao desenvolvimento de sistemas de software complexos. Um sistema de software complexo se caracteriza por um conjunto de componentes abstratos de software (estruturas de dados e algoritmos) encapsulados na forma de procedimentos, funções, módulos, objetos ou agentes e interconectados entre si, compondo a arquitetura do software, que deverão ser executados em sistemas computacionais. (SWEBOK, 2004)

Segundo ASEE (citado por TAVARES et al. ,2008), a engenharia é aplicação de princípios matemáticos e científicos, experiência, julgamento e bom senso para trazer coisas que beneficiam as pessoas. A Engenharia de Software segue este mesmo raciocínio, tendo como objetivo definir e exercitar processos, métodos, ferramentas e ambientes para construção de software que satisfaça necessidades de cliente e usuário dentro de prazos e custos previsíveis.

A Engenharia de Software propõe estratégias de desenvolvimento, chamadas modelos de ciclo de vida de desenvolvimento de software ou modelos de processo. Entretanto, a Engenharia de software diferencia-se da Engenharia de Sistemas, pois, esta última, trata-se de uma área mais ampla por tratar de todos os aspectos de sistemas baseados em computadores, incluindo hardware e engenharia de processos além do software. (SWEBOK, 2004).

3.5.1 – Modelos de processo

A Engenharia de Software compreende um conjunto de etapas que envolvem métodos, ferramentas e procedimentos. Essas etapas muitas vezes são citadas como Paradigmas da Engenharia de Software. Um paradigma de Engenharia de Software é escolhido tendo-se como base a natureza do projeto e da aplicação, os métodos e ferramentas a serem usados, os controles e os produtos que precisam ser entregues. Quatro paradigmas têm sido amplamente discutidos e debatidos: Ciclo de Vida Clássico ou Cascata, Prototipação, Modelo Espiral e Técnicas de Quarta Geração. (TAVARES et al, 2008)

Ciclo de Vida Clássico

É o modelo mais antigo utilizado, consiste em um método sistemático e seqüencial, em que o resultado de uma fase se constitui na entrada da outra fase. Foi concebido de acordo com o ciclo da engenharia convencional e, segundo Pressman (2004), abrange as seguintes fases:

- Análise de Engenharia de Sistema: conhecer o sistema e através dele estabelecer os requisitos que devam fazer parte do software;
- Análise de Requisitos de Software: revisão de informações e requisitos e especificações das funcionalidades, desempenho e interface;
- Projeto: constituído de pontos distintos: estrutura de dados, arquitetura do software, detalhes procedimentais e caracterização de interface. Traduz os requisitos levantados para avaliação e qualidade do software antes da codificação;
- Codificação: transformação do projeto para que possa ser interpretado pela máquina. Se o projeto for bem detalhado a codificação torna-se praticamente mecânica;
- Testes: etapa onde são verificados os erros e se o código produz o resultado desejado;

- Manutenção: correção de erros e adaptação do software ao ambiente onde será instalado.

Segundo Pressman (2004), "O ciclo de vida clássico continua sendo o modelo procedimental mais amplamente usado pela Engenharia de Software. Embora tenha fragilidade, ele é significativamente melhor do que uma abordagem casual ao desenvolvimento de software".

Prototipação

Prototipação é a montagem de protótipos e pode ser classificada de acordo com uma variedade de dimensões. Pressman (2004) destaca as principais vantagens da prototipação. Primeira todo o requisitos de sistema não tem que ser completamente determinado antecipadamente e pode mesmo ser trocada durante o curso do projeto. Segunda, a entrega de prototipação clara, definições de sistema entendível e especificações para o usuário final. Como conseqüência, o envolvimento e satisfação do usuário final são fortemente aumentados. Finalmente, prototipação faz isso possível para rapidamente testar o ambiente de desenvolvimento voltado para a funcionalidade, performance, interface com banco de dados, etc. A seqüência de ações é mostrada na figura 4

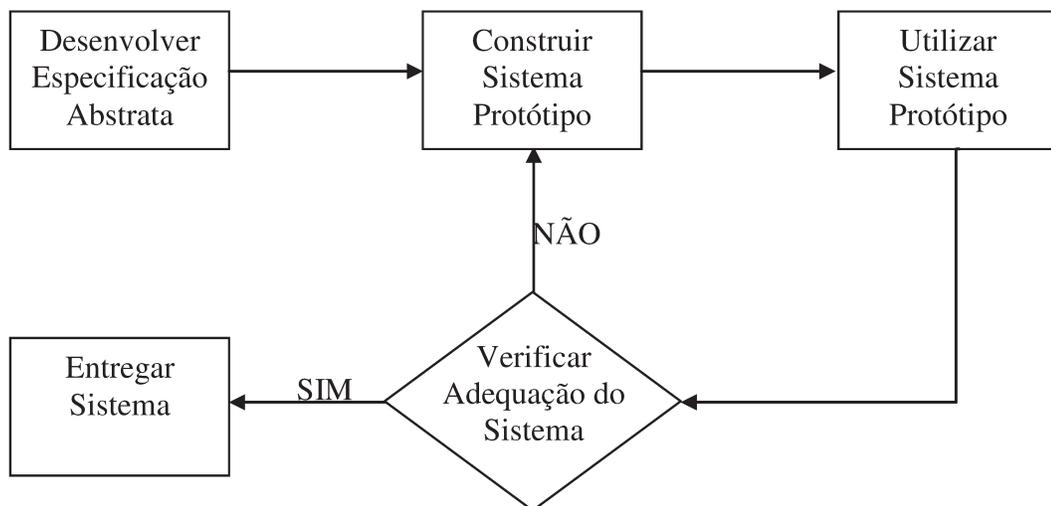


Figura 4 – Modelo de Prototipagem (PRESSMAN, 2004)

Modelo Espiral

O modelo espiral foi desenvolvido para abranger as melhores características tanto do ciclo de vida clássico como da prototipação, acrescentando, ao mesmo tempo, um novo elemento, a análise de riscos que falta a esses paradigmas. O modelo define quatro importantes atividades representadas (figura 5) por quatro quadrantes:

- Planejamento: determinação dos objetivos, alternativas e restrições.
- Análise de riscos: análise de alternativas e identificação/resolução de riscos.
- Engenharia: desenvolvimento do produto no “nível seguinte”.
- Atualização feita pelo cliente: avaliação dos resultados da engenharia.

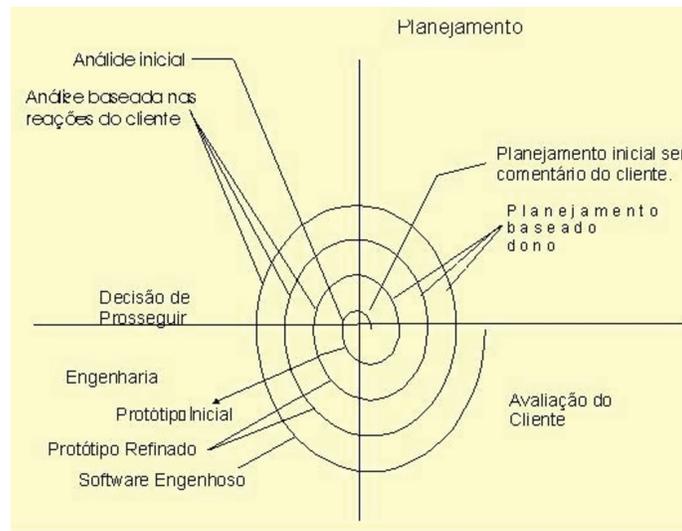


Figura 5 – Modelo Espiral

Ele usa uma abordagem “evolucionária” à engenharia de software, capacitando o desenvolvedor e o cliente a entender e reagir aos riscos em cada fase evolutiva. O modelo espiral usa a prototipação como um mecanismo de redução de riscos, mas, o que é mais importante, possibilita que o desenvolvedor aplique a abordagem de prototipação em qualquer etapa da evolução do produto. Ele mantém a abordagem de passos sistemáticos sugerida pelo ciclo de vida clássico, mas incorpora-a numa estrutura iterativa que reflete mais realisticamente o mundo real. O modelo espiral exige uma consideração direta dos riscos técnicos em todas as etapas do projeto e, se adequadamente aplicado, deve reduzir os riscos antes que eles se tornem problemáticos (PRESSMAN, 2004).

Técnicas de Quarta Geração

As Técnicas de Quarta Geração (4GT) da Engenharia de Software concentram-se na capacidade de se especificar software a uma máquina em um nível que esteja próximo à linguagem natural ou de se usar uma notação que comunique uma função significativa.

O 4GT inicia-se com uma etapa de coleta de requisitos. Preferencialmente, o cliente descreveria os requisitos, e estes seriam diretamente traduzidos num protótipo operacional. Entretanto, o cliente pode não ter certeza daquilo que é exigido, pode ser ambíguo ao especificar fatos que são conhecidos e pode ser inviável especificar as informações de maneira que uma ferramenta 4GT possa receber. A figura 6 ilustra estas etapas.

Para pequenas aplicações, talvez seja possível passar diretamente da etapa de coleta as exigências para a implementação, utilizando uma linguagem de quarta geração (4GL).

Para transformar a implementação de uma 4GT num produto, o desenvolvedor deve realizar testes cuidadosos, desenvolver uma documentação significativa e executar todas as demais atividades de "transição" que também são exigidas em outros paradigmas da Engenharia de Software.

As técnicas de quarta geração já se tornaram uma parte importante do desenvolvimento de software na área de aplicação de sistemas de informação e a demanda de software continuará em ascensão, porém o software produzido com métodos e paradigmas convencionais contribuirá cada vez menos para todo o software desenvolvido. As técnicas de quarta geração preencherão a lacuna (PRESSMAN, 1995).

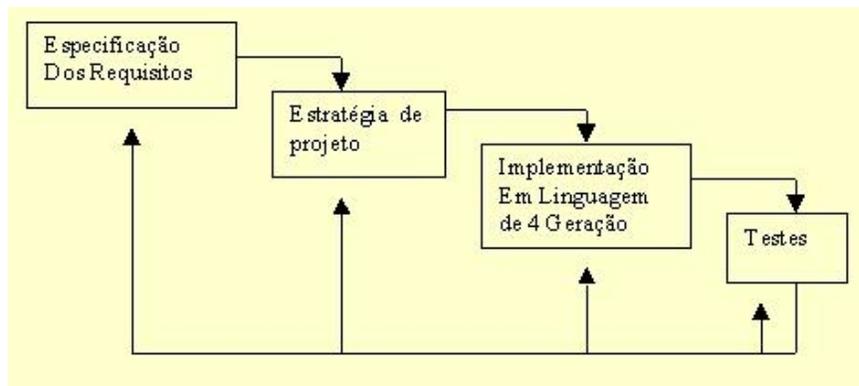


Figura 6 – Técnicas de 4ª Geração

IV – MATERIAL

O experimento foi dividido em dois tratamentos (1 e 2) correspondendo ao ambiente controlado utilizando a metodologia proposta (tratamento 1) e a área adjacente composta pelo ambiente controlado pelo sistema (controle liga-desliga) utilizado pelo produtor (tratamento 2).

4.1 – Local

O trabalho de pesquisa foi realizado em uma casa de vegetação com 5.000 m² de área para produção de mudas de crisântemos e begônias, localizada no município de Arthur Nogueira /SP. Suas coordenadas geográficas são 22° 34' 00.77" de Latitude Sul e 47° 09' 27.49" de Longitude Oeste, com altitude de 659 metros acima do nível do mar.

4.2 – Cultura

A cultura utilizada neste estudo foi de Begônias e foram utilizados 4 períodos de 30 dias para efeito de coleta de dados. Foram utilizadas mudas de Begônias de 3 (três) variedades produzidas por sobre mesas de cultivo:

- Batik
- Blitz
- Carneval

Os requisitos de clima utilizados foram obtidos com base em dados de literatura específica (GRUSZYNSKI, 2002; CORNELL, 2005):

Temperatura: 21°C a 23°C

Umidade: 60%-80%

Iluminação: 14 ½ horas de iluminação diária, para crescimento vegetativo.

4.3 - Instalações

A área utilizada no experimento consiste no ambiente para produção de mudas (matrizes de Begônias). Esta área é composta por 01 (um) vão com 5 canteiros de cultivo. As figuras 7 e 8 ilustram respectivamente a área experimental e suas dimensões.



Figura 7 – Área experimental - Casa de Vegetação

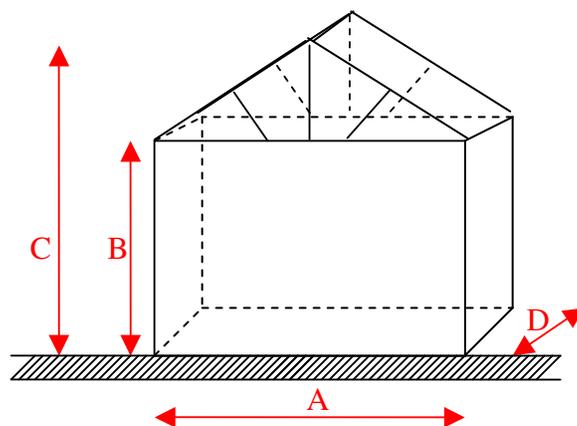


Figura 8 - Dimensões da área experimental

- A – Largura: 8 m
- B - Altura sob a calha: 3 m
- C - Altura total: 4 m
- D – Comprimento: 22,8 m

4.3.1 – Equipamentos Existentes

Nas instalações de produção o controle existente, utilizado pelo produtor, é composto por equipamentos, cujo funcionamento está condicionado aos dados provenientes dos sensores distribuídos ao longo da estrutura. No caso dos equipamentos a casa de vegetação experimental é composta por Iluminação Artificial, Irrigação por gotejamento, Sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático, Exaustores e Cortina de Sombreamento. A Figura 9 ilustra a disposição destes equipamentos na estrutura.

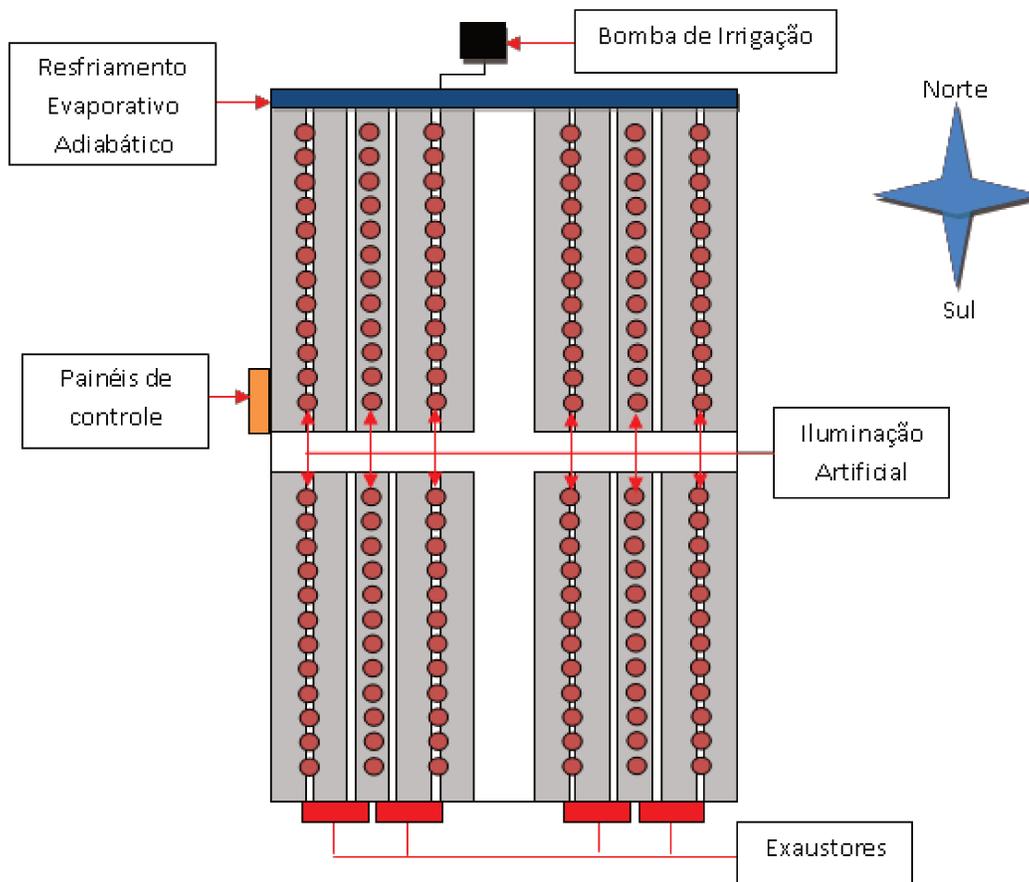


Figura 9 – Disposição dos Equipamentos

Nas instalações de produção, os equipamentos podem ser controlados de duas formas: a primeira, através de um controle manual, que é constituída de uma chave geral que desliga cada equipamento e a segunda, através de controle automático, ambos instalados em um painel centralizado (figura 10). O controle automático, do tipo liga-desliga, é regulado de acordo com

os parâmetros definidos pelo operador (figura 11). O modo manual só é utilizado em caso de falha do sistema automático ou quando são realizadas manutenções nos equipamentos.

Equipamentos são acionados ou desativados, dependendo das condições climáticas presentes na casa de vegetação e dos valores de referência ajustados para a temperatura, umidade e radiação solar global. A monitoração visual do estado dos equipamentos é realizada por meio de um display eletrônico, no qual é possível visualizar o estado presente da estrutura (figura 11).



Figura 10 – Painel de controle dos equipamentos



Figura 11 – Painel de parametrização das variáveis climáticas

4.3.2 – Irrigação

O sistema de irrigação é baseado em sistema de gotejamento, percorrendo toda a extensão de cada canteiro de cultivo e a bomba utilizada para irrigação é o modelo KSB Meganorm Bloc (figura12) com as seguintes especificações:



Figura 12 – Bomba de Irrigação

Potência: 2,0cv
Voltagem: 220V/380V
Fases / Frequência: 3/60Hz
Corrente: 4,7/2,7A
Pólos: 2
Rotação: 3500 RPM

4.3.3 – Sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático (“Pad and Fan”);

O sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático (figura 13) está posicionado na extremidade norte da estrutura. Seu regime de funcionamento consiste em ativar o sistema assim que a umidade relativa do ar estiver igual ou menor a 70% e, desligada em 85%.



Figura 13 – Sistema de Resfriamento Evaporativo Adiabático

4.3.4 – Iluminação Artificial

A iluminação artificial é composta por um conjunto de 48 lâmpadas incandescentes de 100W (figura 14) dispostas a uma altura de 3 m do solo. As lâmpadas estão distribuídas em 3 linhas com 12 lâmpadas cada, como ilustra a. O regime de funcionamento utilizado pelo produtor consiste em manter a iluminação artificial das 23h00min às 06h30min em modo contínuo, controlados por um temporizador Coel RTB-20 (figura 15) cujas especificações técnicas são:

- Alimentação: 100 a 240 Vca
- Frequência da rede: 48 a 63 Hz
- Consumo aproximado: 4,4 VA
- Quantidade de programas memórias: 20 (10 p/ ligar e 10 p/ desligar)
- Saída: 100 a 240 Vca Tensão (de acordo com a Saída tensão de entrada)
- Capacidade 5 A @ 250 Vca
- Temporização da saída: 1,5 a 15 segundos



Figura 14 - Iluminação Artificial



Figura 15 – Temporizador Coel RTB-20

4.3.5 – Exaustores

No total, a casa de vegetação possui 10 exaustores (2 a cada área de produção), como ilustra a figura 16 . Há duas formas de funcionamento: o funcionamento isolado (somente exaustores) e a outra é em conjunto com o sistema de resfriamento evaporativo adiabático. Sua faixa de funcionamento utilizada pelo produtor é de 23°C para ativação e 21,5°C para desativação.



Figura 16 – Exaustores

4.3.6 – Sistemas de Medição

O sistema de controle existente (utilizado pelo produtor) obtém dados através de sensores distribuídos ao longo da casa de vegetação. Os sinais registrados pelos sensores são enviados para o controlador liga-desliga (item 4.3.1) para que as ações de controle sejam empregadas. Os sensores instalados são: um Termo-Higrometro e um Piranômetro (Fotodiodo) e, suas características são as seguintes:

Termo-Higrometro – instalado a 1,60m a partir do nível do solo

- Escala temperatura Interna: -10...+60 °C
- Escala temperatura Externa: -50...+70 °C
- Escala umidade: 20- 95 % UR
- Resolução temperatura: 0.1 °C
- Resolução umidade: 1 %
- Precisão temperatura Interna / Externa ± 1 °C (entre 0 e 35 °C)
restante ± 2 °C
- Precisão umidade ± 5 % UR ** (entre 40 e 80 %) restante $\pm 8\%$
UR
- Unidades: % (umidade), °C ou °F (temperatura)

Piranômetro - ML-020VM – instalado a 3m a partir do nível do solo

- Resposta Espectral (300 a 1100nm)
- Precisão: $\pm 1,4$
- Unidade kW/m²
- Saída: 10mV

Os Sensores estão dispostos na estrutura conforme ilustra a figura 17.

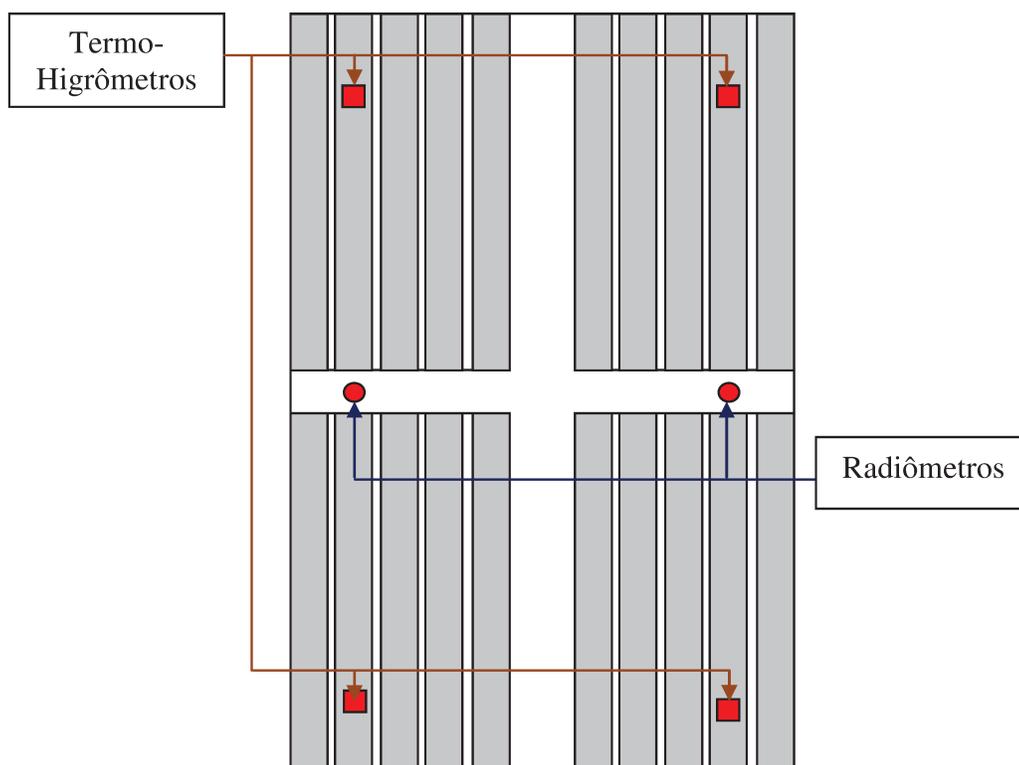


Figura 17 – Disposição dos sensores utilizados pelo produtor

4.4 – Medição Preliminar

Para mensuração de umidade relativa e temperatura do ar na etapa de avaliação preliminar e avaliação posterior do ambiente (cuja metodologia de aplicação é descrita no item x.x), foi utilizado o Termo-Higrômetro portátil THDL-400 Instrutherm (figura 18), e suas características técnicas são:

Termômetro:

- Escala de: - 20°C a 750°C (duas faixas) ou - 4°F ~ 1400°F (duas faixas)
- Resolução: 0,1°C / 0,1°F; 1°C / 1°F
- Precisão: $\pm 3\%$ da leitura + 2°C ou $\pm 3\%$ da leitura + 2°F
- Tipo de sensor: Termopar tipo K

Higrômetro:

- Escala de: 25% a 95% RH
- Resolução: 0,1% RH
- Precisão: $\pm 5\%$ RH.



Figura 18 – Termo-higrômetro THDL-400 Instrutherm

4.5 – Conjunto Experimental

O controle integrado instalado no tratamento 2 é composto pelo conjunto Sensores, Controlador Lógico Programável e o Computador (com aplicativo computacional).

- CLP: Coleta/conversão dos sinais (analógicos ou digitais) enviados pelos sensores em dados, que através de rotinas programadas, são enviados para o computador para emprego do aplicativo computacional. Após o processamento o CLP envia sinais para os atuadores ativarem ou desativar os equipamentos de controle de clima;
- Computador: acumulador de dados, aplicação do algoritmo desenvolvido utilizando lógica fuzzy e os cálculos de clima (psicrometria e déficit de pressão de vapor). Este processamento resultará em ações de controle que são enviadas ao CLP e conseqüentemente para os atuadores dos equipamentos, no caso deste experimento, exaustor e iluminação artificial.

4.5.1 – Sensores

Têm por função coletar os dados de clima no ambiente interno, foram utilizados sensores para coleta de umidade relativa e temperatura do ar, radiação solar global, temperatura de solo.

Para temperatura e umidade relativa, utilizou-se transmissores Novus modelo RHT-WM. O RHT-WM foi instalado em 3 pontos ao longo (17,5 metros distantes entre si) do tratamento 2, a uma altura de 2 metros (nível da cultura), posicionados de forma a não prejudicar o manejo da cultura.

A figura 19 demonstra o equipamento e a seguir suas especificações:



Figura 19 – Sensor Novus RHT-WM

- Saídas em corrente de 4-20 mA ou 20-4 mA, tipo 2 fios – alimentação pelo loop.
- Precisão: ± 3 para Umidade e $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para Temperatura
- Saída em tensão 0-10 Vcc (opcional).
- Alimentação: 12 Vcc a 30 Vcc (modelo 4-20 mA) ou 18 a 30 Vcc (modelo 0-10 V).
- Faixa de Operação: 10 a $+65^{\circ}\text{C}$ Temperatura e - 0 a 95 % Umidade Relativa
- Tempo de Resposta: 4s para Umidade e 30s para Temperatura

O sensor de radiação global é constituído de um piranômetro posicionado próximo a cobertura no centro (17,5 metros) do tratamento 2, a uma altura de 3 metros a partir do nível do solo. A ilustração do modelo utilizado é dada na figura 20 e suas características são listadas a seguir:

- Faixa: 0 a 2000 W/m²
- Sensibilidade: 100μV/Wm⁻²
- Tempo de resposta: 1 segundo
- Saída: Sinal DC 0 a 20mV
- Erro: 10% a 80°



Figura 20 – Sensor Squitter S2024

Para temperatura do solo, foi utilizado um sensor de temperatura (termoresistência PT-100) Squitter S2029 (figura 21), posicionado em pontos escolhidos aleatoriamente. Suas especificações seguem:

- Temperatura do Solo Squitter S2029
 - Faixas de Operação: -15 a +70°C
 - Precisão: +- 0.2°C
 - Saída: Sinal de Tensão CC 18mV/°C



Figura 21 – Sensor Squitter S2029

No caso da medição de temperatura de folha, previa-se utilizar um sensor ultrafino inserido na base abaxial da folha. Entretanto, o produtor não permitiu quaisquer métodos invasivos, pois seguindo ele, a produção seria comercializada. Diante dessa condicionante a

coleta do parâmetro foi realizada através de coleta manual em pontos aleatórios e os dados foram inseridos diretamente no computador. Para isso utilizou-se um Termômetro Infravermelho marca Instrutherm TI-890 (figura 22).



Figura 22 – Termômetro Infravermelho Instrutherm TI-890

4.5.2 – CLP (Controlador Lógico Programável)

O controlador lógico programável utilizado neste projeto foi o modelo ZAP900 (figura 23) produzido pela empresa HI Tecnologia. Segundo dados do fabricante, foi desenvolvido para atender aplicações de pequeno porte (aproximadamente 40 pontos de entrada/saída). O ZAP900 é fornecido em sua configuração básica com 2 canais de comunicação serial e 16 canais de entrada/saída digitais. Possui um *Slot* para conexão do módulo de expansão adicional HXM 500 (figura 24) podendo assim disponibilizar entradas/saídas analógicas (compatíveis com os sensores Novus) e digitais.

Para alimentação foi acoplado um módulo modelo UPS1094, que consiste em uma fonte chaveada desenvolvida para fixação em trilho TS35 em armários de comando. Suporta alimentação de entrada de 85 a 265 VAC automática e consegue fornecer até 20W de potência na sua saída. Seguem suas características gerais:

Características incluindo módulo de expansão (HXM500):

- Bornes: 38

Comunicação serial:

- 2 Canais seriais RS232C ou
- 1 canal serial RS232C e um canal configurável RS232C/RS485

Memória:

- 256K/512 Kbytes de Flash + 128 Kbytes RAM não volátil (com bateria interna)

Entradas Digitais:

- 12 canais opto-acoplados p/ sinais de 12 a 30Vdc

Saídas Digitais:

- 8 canais do tipo PNP opto-acoplados a transistor para sinais de 5 a 24 Vdc (via alimentação externa) / 350 mA máximo
- 4 canais do tipo PNP opto-acoplados a transistor para sinais de 5 a 24 Vdc (via alimentação externa) / 500 mA máximo

Gerador de Frequência

- 1 canal gerador de frequência (60~4000Hz com duty cycle variável de 0..100%) + 7 canais simples
- 1 canal gerador de frequência (16~2000Hz com duty cycle fixo de 50%)

Entradas Analógicas:

- 8 canais com resolução de 10 bits com possibilidades de conexão de sinais de 0...20mA, 4...20mA, 0...10Vdc e PT-100 3 fios

Saídas Analógicas:

- 1 canal com resolução de 10 bits para sinais de 4...20mA



Figura 23 – CLP ZAP 900 e Fonte de Alimentação UPS 1094

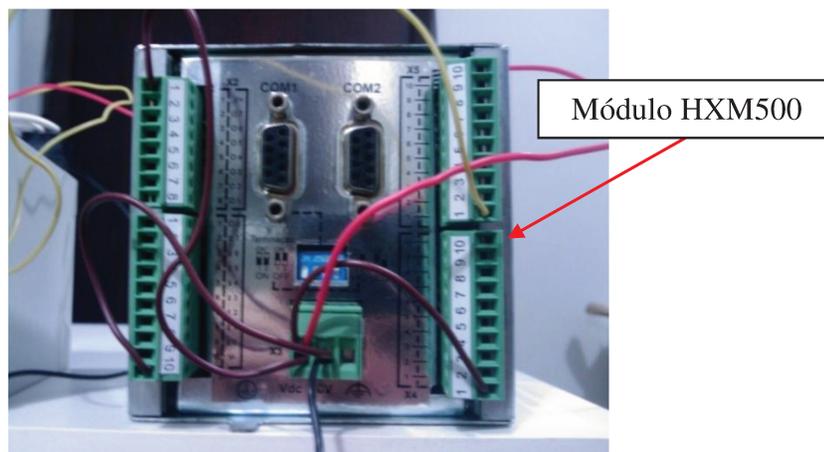


Figura 24 – Conectores - CLP ZAP 900

A integração dos sensores com o CLP se deu da seguinte forma:

- Sensores de Temperatura e Umidade do Ar – Foram ligados diretamente ao CLP utilizando o módulo HXM-500 com entradas analógicas de 4 a 20 mA.
- Sensor de Temperatura de Solo e Sensor de Radiação Solar Global – A comunicação com o CLP se deu por meio de dois transmissores de sinais analógicos Novus TxIsoRail (figura 25) para conversão dos sinais de entrada para faixa de 4 a 20mA.

Os sinais de entrada são listados:

- 0 a 1,6V para o Piranômetro Squitter S2024 e;
- 0 a 20mV para Sensor de Solo Squitter S2029.



Figura 25 - Condicionador de sinais Novus TxIsoRail

Para configuração dos parâmetros do CLP o fabricante disponibiliza o aplicativo SPDSW (figura 26). No que se refere a programação das rotinas no CLP, foi utilizada o recurso SPDSW – Editor Ladder que utiliza a linguagem LADDER ou diagrama de escada. Este consiste no auxílio gráfico para programação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) no qual as funções lógicas são representadas através de contatos e bobinas, de modo análogo a um esquema elétrico com os contatos dos transdutores e atuadores.

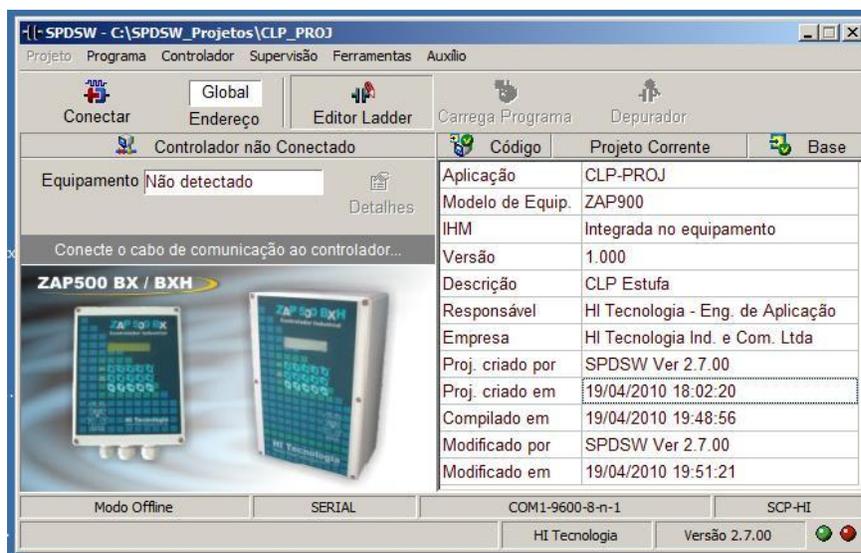


Figura 26 – Aplicativo SPDSW

4.5.3 – Computador

O hardware utilizado para o *computador* remoto foi um microcomputador pessoal PC (Personal Computer) com processador *Pentium 4 fabricado pela Intel*, com frequência de clock de 2.4 GHz, memória RAM (Random Access Memory) principal de 1 Gbyte, disco rígido com capacidade de 80 Gbytes, unidade de floppy disk de 3 ½”, unidade de DVD-ROM (Digital Versatile Disc– Read Only Memory), placa de rede 100 Mbps e placa de fax/modem. Nessa plataforma foi instalado o sistema operacional Windows XP Professional Service Pack 3.

4.5.4 – Consumo de energia elétrica

Os dados de consumo de energia elétrica foram coletados por meio de transdutores da marca IMS® instalados nos circuitos dos exaustores e iluminação artificial. O Transdutor SmartTrans é um instrumento digital microprocessado, para instalação em fundo de painel, que permite a medição de parâmetros elétricos em sistema de corrente alternada (CA). Seu método de funcionamento consiste em coletar os sinais de tensão e corrente do sistema a ser medido (monofásico, bifásico ou trifásico), para posteriormente calcular os parâmetros elétricos, utilizando um conversor A/D interno. O medidor de energia apresenta em um visor digital os valores das grandezas elétricas que estão sendo avaliadas. A figura 27 ilustra o equipamento instalado.



Figura 27 - Transdutores digitais IMS SmartTrans

O aplicativo TRANSCOMPLUS tem como função a operação, comunicação e configuração dos transdutores. Possui interface, gráfica para execução das funções bem como

acompanhamento do estado presente no que se refere uso de energia elétrica, além de comunicação de dados para compartilhamento dos dados adquiridos para um Computador Pessoal facilitando sua análise.

V – MÉTODOS

5.1 – Desenvolvimento

O desenvolvimento desta pesquisa consistiu na aplicação de uma metodologia de controle com emprego de lógica fuzzy, parâmetros de conforto (psicrometria) e métodos geoestatísticos.

Os procedimentos para execução ocorreram em dois tratamentos, que correspondem as áreas de produção para os testes com o CLP (tratamento 1) e outra utilizando o controle existente (tratamento 2). Foram realizadas a 4 repetições. Os procedimentos são descritos a seguir:

- Determinação do nível tecnológico da estrutura (descrito no item 4.3 - Instalações)
- Avaliação preliminar do ambiente - métodos geoestatísticos aplicados aos dois tratamentos
- Desenvolvimento computacional - Adequação do software aos requisitos estabelecidos
- Controle Integrado (Sensores, CLP e software)
- Testes de Funcionais
- Metodologia de avaliação do conjunto:
 - Consumo de Energia Elétrica;
 - Resposta do Algoritmo de Controle;
 - Análise Climática;
 - Avaliação posterior do ambiente - métodos geoestatísticos aplicados aos dois tratamentos e confrontação dos resultados.

5.1.1 – Avaliação do ambiente

Verificou-se a necessidade de realizar um estudo preliminar e posterior do ambiente com os objetivos de determinar os pontos críticos da estrutura e avaliar os efeitos das ações de controle no clima interno da estrutura. Os parâmetros coletados foram temperatura e umidade relativa do ar, utilizando o termo-higrômetro THDL-400 Instrutherm (descrito no item 4.4).

Em seguida foram aplicados métodos geostatísticos (descritos no item x.x.x) e gerados os mapas de krigagem. Esta etapa compreendeu a coleta dos dados em 100 pontos (figura 28), ao longo dos tratamentos 1 e 2 no período de Dez/09 a Fev/10. A distância entre os pontos foi de 1,3m e quanto a altura de 0,83cm do solo (nível do plantio), conforme ilustra a figura 29.

Também foram coletados dados de temperatura de folha (coletados na base abaxial da folha) e radiação solar (no centro de cada área experimental a 3m do solo), entretanto sem a aplicação dos métodos geostatísticos, objetivando somente obter índices relacionados aos efeitos do uso de cortina horizontal (radiação solar) e conforto térmico da planta em diferentes períodos do dia.

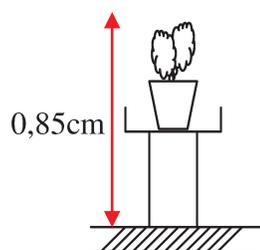


Figura 28 – Altura da medição

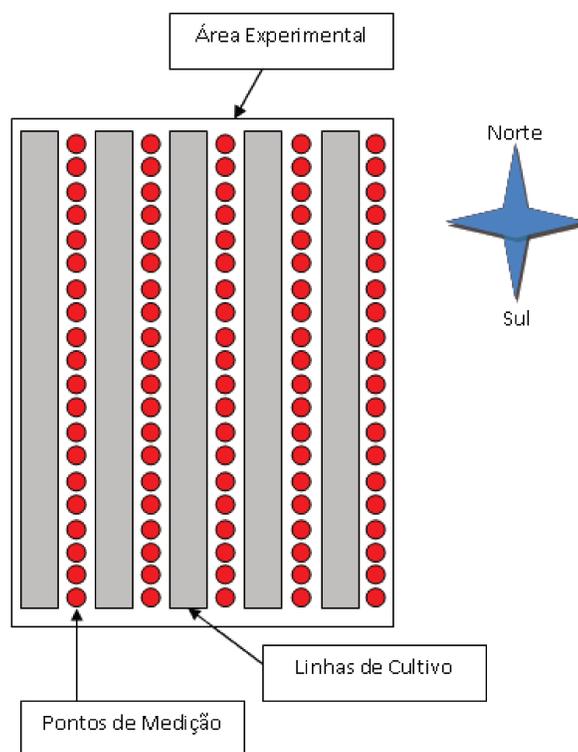


Figura 29 – Pontos de medição – avaliação preliminar

5.1.2 – Métodos Geoestatísticos

A partir dos dados coletados foram aplicados os métodos geoestatísticos e gerados mapas, com utilização dos seguintes softwares:

Métodos geoestatísticos – GS+ Geostatistics for the Environment Sciences®, versão 5.0.3 Beta. Para o sistema operacional Windows® (2000/XP/VISTA), registrado por Gamma Design Software.

Geração de Mapas - SURFER®, versão 9.8.699. Para o sistema operacional Windows® (2000/XP/VISTA), registrado por Golden Software.

A geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos estudados, segundo Vieira et al. (1983). Para se fazer a análise geoestatística, foi necessário saber se havia dependência espacial ou não dos atributos estudados, o que pode ser verificado por meio do gráfico do semivariograma.

O semivariograma é uma representação gráfica entre a semivariância $\gamma(h)$, representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância (h), representada na coordenada X. O semivariograma pode ser estimado pela seguinte equação:

(1)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos, $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por uma determinada distância (h). Os valores de Z podem ser qualquer um dos parâmetros estudados, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ são definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo.

Após o cálculo do semivariograma, os valores de semivariância $\gamma(h)$ e da distância (h) foram dispostos em gráficos de dispersão, tendo como valores de Y as semivariâncias, e de X, as distâncias. Neste gráfico, deve-se ajustar uma função matemática, à medida que a distância aumenta, também aumenta o valor da semivariância, até um valor máximo, no qual ela se estabiliza, denominado alcance (a) e é a distância-limite de dependência espacial, que

representa o raio de um círculo, em que os valores são tão semelhantes que se tornam correlacionados.

Foram testados semivariogramas dos tipos esférico, exponencial, linear sem patamar, linear com patamar e gaussiano em todos os dados.

Quando houve dependência espacial, ou seja, quando a função $y(h)$ foi dependente da distância (h), os valores vizinhos foram semelhantes, possibilitando estimar valores para locais onde os atributos não foram medidos. E finalmente, foram construídos mapas de *krigagem* de todos os atributos que permitiram uma melhor percepção das áreas críticas da estrutura.

As figuras 30 e 31 ilustram as interfaces dos softwares GS+® e SURFER® respectivamente.

The screenshot shows the GS+ Geostatistics software interface. The main window displays a data worksheet with the following structure:

- Base Input File:** A text input field.
- Data Title / Description:** A text input field.
- Data Records:** A grid with columns numbered 1 to 21. Column 1 is labeled 'X-Coor', column 2 is 'Y-Coor', and column 3 is 'Z'. The grid contains numerical data for 35 rows, with some cells highlighted in red.
- Footer:** A status bar with the text "Enter or change data values or click top row to change column assignments".

Figura 30 – Software GS+®

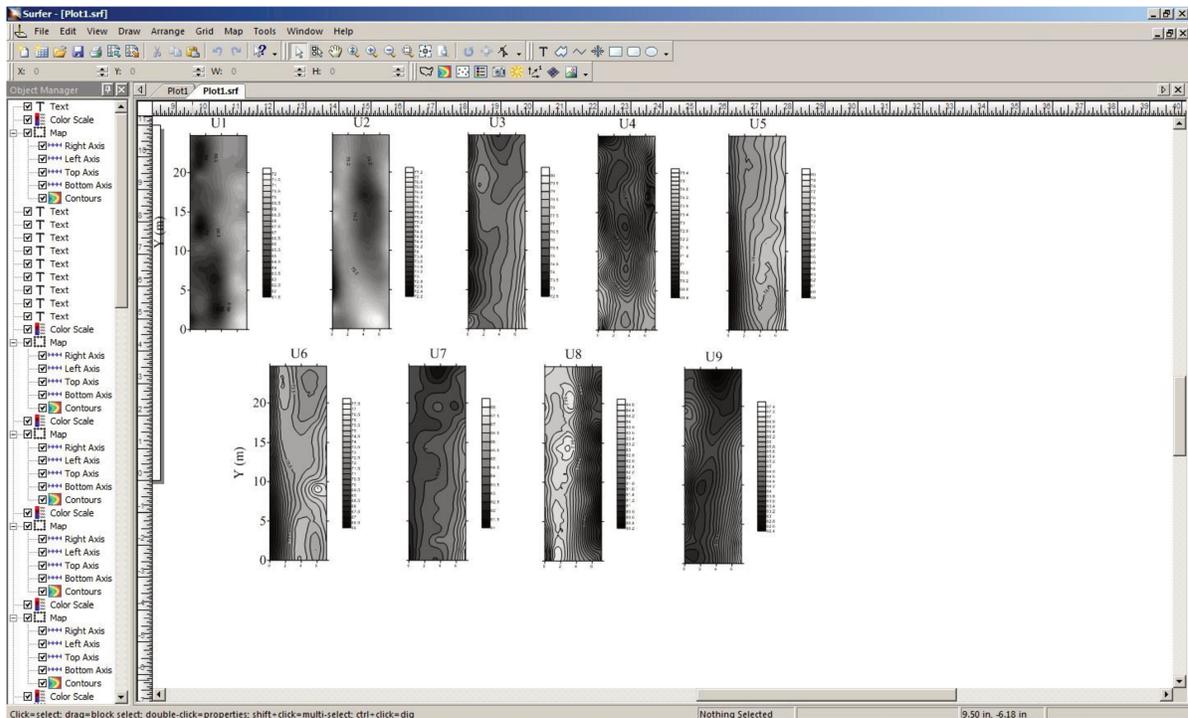


Figura 31 – Software SURFER®

5.1.3 – Desenvolvimento Computacional

A definição do método de desenvolvimento do aplicativo computacional teve como base os testes realizados por Laranjeira e Rossi (2005) demonstrando a natureza incerta do ambiente, e devido ao número de variáveis envolvidas a necessidade de se aplicar métodos de sistemas especialistas.

A metodologia empregada no desenvolvimento deste sistema baseia-se nos princípios da Engenharia de Software e Técnicas de Prototipagem de Evolucionária (PRESSSMAN, 2004) e compreende as etapas:

- Especificação Abstrata
- Sistema Protótipo
- Adequação do Sistema
- Disponibilizar Sistema

5.1.3.1 – Especificação Abstrata

Esta etapa consistiu na especificação com base em entrevistas efetuadas nos estudos de Laranjeira e Rossi (2005), um especialista na área de ambiência vegetal, um na área de produção de malhas termo-refletoras; adicionalmente na segunda etapa, o produtor, cujo objetivo foi de abranger as ocorrências mais comuns no interior de ambientes protegidos.

5.1.3.2 – Sistema Protótipo

Inicialmente um sistema protótipo foi concebido para ambiente Windows® 9X/ME/2000/XP e utilizou principalmente a linguagem de programação Delphi®, versão 2003.

O banco de dados escolhido foi o PARADOX®, versão 7.0, compatível com a linguagem Delphi®.

O objetivo do aplicativo é a comunicação direta com o CLP (coleta de dados e envio de dados), permitindo ao operador visualizar valores instantâneos das variáveis climáticas obtidas, gráficos, relatórios e compõe a interação do modelo computacional de controles.

O processo de supervisão e controle era realizado através de telas gráficas também chamadas de janelas. A Figura 32 ilustra a janela de supervisão do protótipo inicialmente desenvolvido em Delphi®.

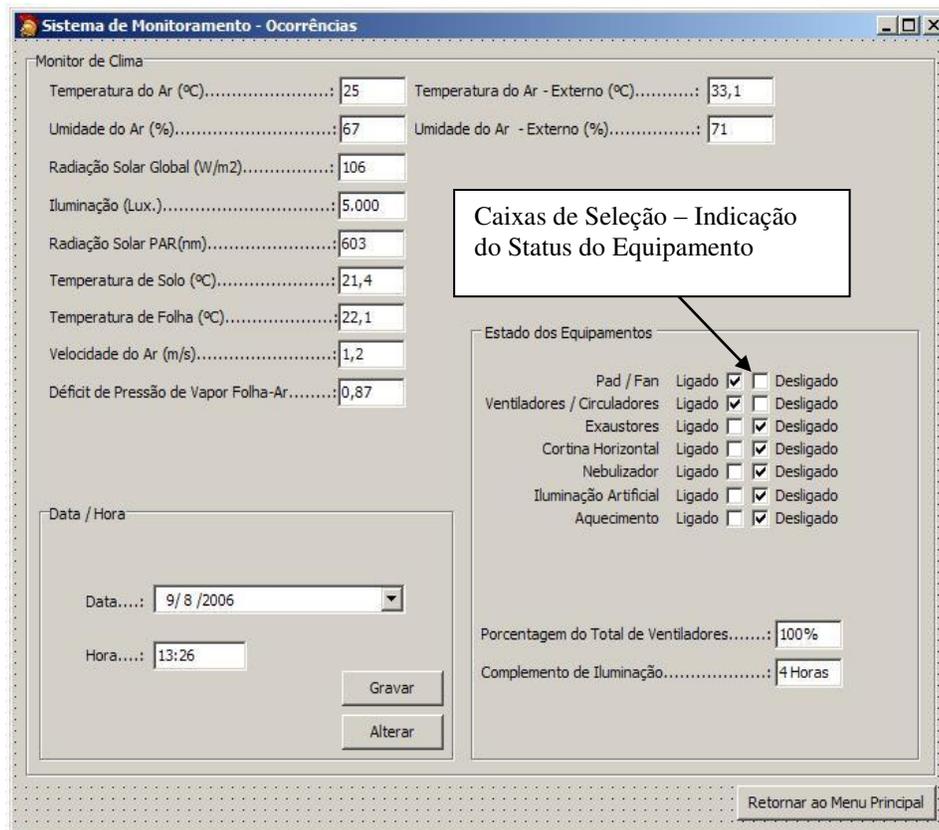


Figura 32 - Tela de Ocorrências – Protótipo Inicial

Considerando que é impossível estabelecer um modelo matemático para este sistema dado o número de variáveis envolvidas e a natureza do processo no interior de um ambiente de produção protegido, torna-se necessário a utilização de um modelo *fuzzy* baseado em métodos heurísticos com o objetivo de prover a automação e algum grau de ausência de intervenção humana no processo.

Uma vez que o computador tenha recebido o dado referente à variável climática por meio do SGBD (Sistema gerenciador de Banco de Dados), o aplicativo computacional inicia o processo de aplicação do algoritmo de controle. Em primeira instância, os dados climáticos servem de parâmetros para os cálculos psicrométricos. A partir destes dados, torna-se possível estimar o conforto térmico da planta; logo em seguida, são aplicadas as inferências utilizando a lógica *fuzzy* e depois definidas as ações de controle que por sua vez são enviadas ao CLP para que atue junto aos equipamentos.

5.1.3.3 – Conforto Térmico

O comportamento estomático tem sido usado como um indicador das condições da planta. Sabe-se que os fatores ambientais (temperatura, umidade, radiação solar, CO₂ etc.) concorrem para a regulação estomática. A fotossíntese e a transpiração apresentam um tempo de resposta muito rápido quando a planta é submetida a mudanças nas condições microclimáticas. Mantendo-o dentro de um intervalo considerado ideal, ainda que parâmetros de clima variem dentro de certos limites, a planta responderá muito rapidamente à correção de determinado parâmetro microclimatológico mudado pelo acionamento de um controle corretivo. (LANGHANS, 1978; HANAN, 1997; BOILY, 1999; ANGELOCCI, 2002)

O conceito de déficit de pressão de vapor folha-ar foi considerado na aplicação desta metodologia como estimativa para conforto térmico da planta. Para obter seu índice, foi utilizado as equações de cálculo de pressão de vapor saturado em função da temperatura (equação 2) e uma aproximação da equação de Tetens para cálculo de pressão de vapor do ar saturado e pressão de vapor na superfície da folha.

Sendo assim, cada espécie e fase da cultura (enraizamento, crescimento e corte) possuem um intervalo ideal próprio. Para fins de avaliação, foi utilizado o intervalo padrão de $0,7 \times 10^3$ e $1,2 \times 10^3$ Pa, ou seja, pode ser usado independentemente fase ou tipo de cultura. (BOILY 1999). Os cálculos utilizados no modelo são listados a seguir:

- Cálculo de temperatura de bulbo úmido em função da temperatura

$$T_d = \frac{b \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)} \quad (2)$$

Onde:

$$\gamma(T, RH) = \frac{a T}{b + T} + \ln(RH/100)$$

T = temperatura do ar °C

RH = umidade relativa do ar %

Ln = logaritmo natural

a = 17,271

b = 237,7 °C

- Cálculo de pressão de vapor do ar saturado

$$P_{vs_i} = \left[\frac{6,108 * 10^{\frac{(7,5 * T_{bu_i})}{(237,3 + T_{bu_i})}}}{10} \right] \quad (3)$$

Onde:

P_{vs_i} = Pressão de vapor do ar saturado interno, Pa

T_{bu_i} = Temperatura de Bulbo Úmido Externo, °C

- Cálculo de pressão de vapor atual (parcial) do ar

$$P_{v_i} = P_{vs_i} - (0,000646 * (1 + 0,000946 * T_{bu_i})) * \left(\frac{P_{atm}}{10} \right) * (T_{bs_I} - T_{bu_I}) \quad (4)$$

Onde:

P_{v_i} = Pressão de vapor atual (parcial) do ar interno, Pa

P_{vs_i} = Pressão de vapor do ar saturado interno, Pa

T_{bu_i} = Temperatura de Bulbo Úmido Externo, °C

T_{bs_i} = Temperatura de Bulbo Seco Externo, °C

P_{atm} = Pressão atmosférica local, Pa

- Cálculo de pressão de vapor do ar na superfície da folha

$$P_{v_f} = 0,6108 * 10^{\frac{(7,5 * T_f)}{(237,3 + T_f)}} \quad (5)$$

Onde:

P_{v_f} = Pressão de vapor do ar na superfície da folha, Pa

T_f = Temperatura da Folha, °C

- Déficit de pressão de vapor do ar na superfície da folha

$$DPV_{folha-ar} = DPV_{ar} - P_{v_F} \quad (6)$$

Onde:

$DPV_{folha-ar}$: Déficit de pressão Folha-Ar, Pa

DPV_{ar} : Déficit de pressão do Ar, Pa

P_{v_F} : Pressão de vapor na superfície da folha, Pa

- Déficit de pressão de vapor folha-ar

$$DPV = P_{ws} - P_w \quad (7)$$

Onde:

DPV : Déficit de pressão de vapor de água, Pa

P_{ws} : Pressão de vapor de água do ar a uma dada temperatura em saturação, Pa (em saturação, umidade relativa = 100%)

P_w : Atual pressão de vapor da água a uma dada temperatura, Pa

5.1.3.4 – Lógica Fuzzy

O funcionamento do controle climático segue o princípio de que como não é possível (e viável) manter constantes os parâmetros internos de uma casa de vegetação ou de um conjunto de casas de vegetação, a estratégia é possibilitar sempre uma variação dentro de uma faixa de controle desejável, já que as plantas toleram algumas variações (LEAL, 2000). Esta constatação justificou o uso da lógica fuzzy ao invés da lógica linear nos estudos de Laranjeira e Rossi (2005). Entretanto o modelo inicial foi desenvolvido para cultivo de crisântemos. Dessa forma, o algoritmo de controle necessitou de diversos ajustes para o cultivo de begônias.

Primeiramente foi realizada a adequação ao nível tecnológico existente, resultando no fato de que todas as ações de controle referentes a ventiladores e circuladores foram

convertidas em uso do exaustor. E seu uso escalonado foi dividido em 50% (um exaustor) e 100% (dois exaustores).

No que se refere a Teoria Fuzzy, os valores no intervalo [0, 1] representam o grau de compatibilidade de um determinado elemento (dado obtido) em relação ao conjunto. Assim, os valores 0 e 1 expressam respectivamente, a completa exclusão e a compatibilidade total deste elemento. Este grau de compatibilidade é conhecido como grau de pertinência e possui diferenças de acordo com o tipo de função, no caso deste estudo somente funções triangulares, trapezoidal, foram utilizadas. Dessa forma, os conjuntos *fuzzy* relativos aos limites máximos e mínimos de Temperatura e Umidade do Ar, Temperatura de Solo e Déficit de Pressão Folha-ar para a cultura (begônias), foram definidos com base em dados mencionados na literatura (Leal, 2000; Bliska e Honório, 2000).

As figuras 33 a 36 ilustram os conjuntos fuzzy com os ajustes e a e a tabela 1 as referentes nomenclaturas.

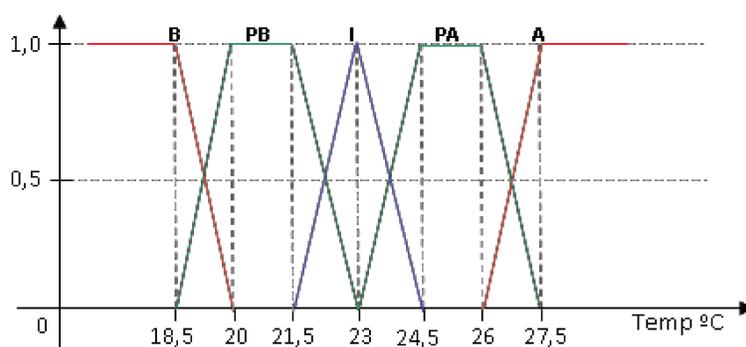


Figura 33 – Conjunto *fuzzy* para Temperatura do Ar

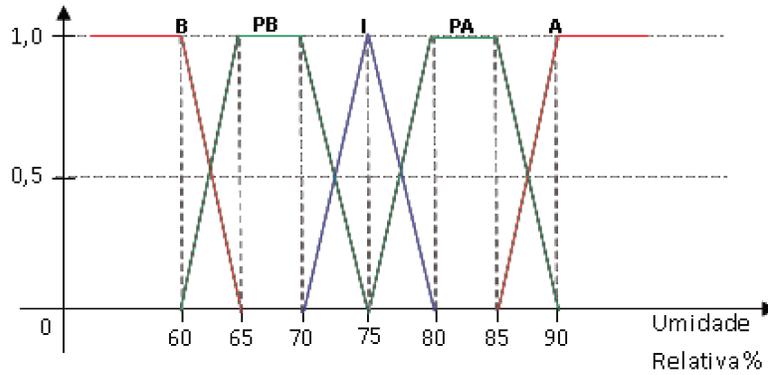


Figura 34 – Conjunto *fuzzy* para Umidade Relativa do Ar

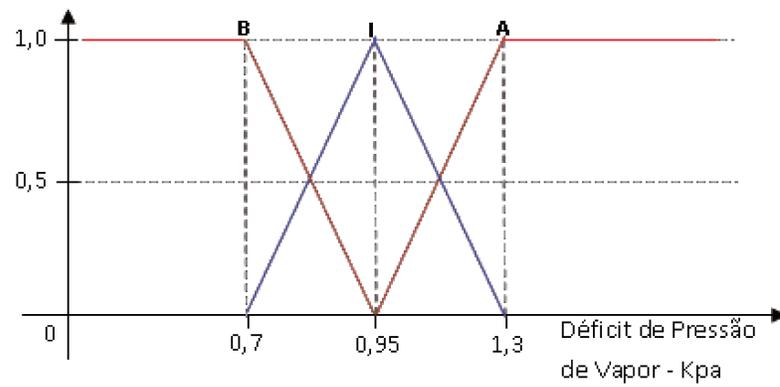


Figura 35 – Conjunto *fuzzy* para Déficit de Pressão Folha-Ar

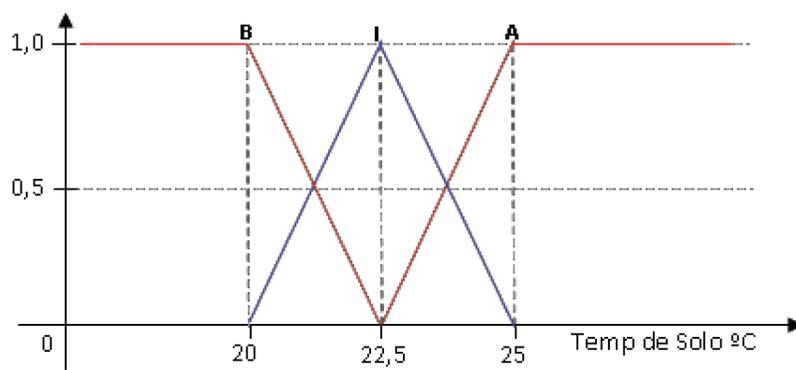


Figura 36 – Conjunto *fuzzy* para Temperatura do Solo

Nomenclaturas	Símbolo
Baixa (Limite Mínimo)	B
Extremamente Baixa	EB
Muito Baixa	MB
Pouco Baixa	PB
Ideal	I
Pouco Alta	PA
Muito Alta	MA
Extremamente Alta	EA
Alta (Limite Máximo)	A

Tabela 1 – Nomenclaturas para os Conjuntos Fuzzy)

5.1.3.5 – Adequação do Sistema

Não é possível garantir que todos os programas funcionem corretamente, sem a presença de erros humanos, visto que os mesmos muitas vezes possuem um grande número de estados com fórmulas, atividades e algoritmos complexos, como no caso deste projeto. Então, seguindo as técnicas de testes propostas pela metodologia de engenharia de software (CARVALHO E CHIOSSI, 2001), deve-se executar os seguintes testes:

- Caixa branca - são testados os caminhos lógicos através do software, fornecendo casos de teste que põem a prova conjuntos específicos de condições e/ou garante que todos os caminhos independentes dentro de um módulo tenham sido exercitados pelo menos uma vez.
- Teste Baseado em erros - consiste em incluir propositalmente algum erro no software e observar o comportamento do programa com erro, comparando-o com o comportamento do programa original.
- Teste de integração - o objetivo é encontrar falhas provenientes da integração interna dos componentes de um sistema. Geralmente os tipos de falhas encontradas são de envio e recebimento de dados.

- Teste de confiabilidade – consistem em garantir que o software executou corretamente um módulo ou instrução.

É importante ressaltar o fato de que no decorrer dos estudos provenientes deste projeto chegou-se a conclusão de que seria necessária a utilização de recursos que facilitassem a integração do sistema em outros sistemas operacionais, tais como, os ambientes Linux em suas diversas distribuições. O motivo da escolha inicial do ambiente de desenvolvimento Delphi® deveu-se ao fato da possibilidade do programa computacional ser operado em plataformas Linux®, além do Windows®, uma vez que o fabricante do CLP disponibiliza os *drivers* de comunicação entre o Controlador e o computador em ambos sistemas operacionais (Linux® e Windows®).

Para a migração para sistemas operacionais Linux® a empresa Borland® disponibiliza o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) Kylix. Nos testes realizados em ambiente Linux nas distribuições Ubuntu versão 9.04, Fedora versão 10, o programa computacional de controle climático apresentou diversos problemas na migração, tais como incompatibilidade entre as bibliotecas utilizadas pelos dois sistemas operacionais (Windows® e Linux). E o fator mais importante consistiu no fato de que atualmente o Kylix deixou de receber suporte, por parte da Borland®, seu original desenvolvedor.

Desta forma iniciou-se a migração do programa computacional de controle climático para a linguagem de programação JAVA. Nesta abordagem, foi utilizada a técnica de reuso de software em conjunto com as metodologias previamente utilizadas e resultou na reutilização da biblioteca de rotinas, porém não foi possível fazer o mesmo com o código-fonte principal do programa, devido as divergências de parâmetros entre as duas linguagens de programação.

O ambiente de desenvolvimento escolhido foi NetBeans, que consiste num Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) gratuito e de código aberto para desenvolvedores de software na linguagem JAVA. Este por sua vez pode ser executado em muitas plataformas, como Windows, Linux, Solaris e MacOS.

O sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) foi migrado para o MySQL, que utiliza a linguagem SQL (Linguagem de Consulta Estruturada, do inglês Structured Query Language) como interface, de livre distribuição e compatível com os sistemas operacionais

Windows® e Linux. As figuras 37 e 38 demonstram o sistema protótipo em linguagem de programação JAVA.

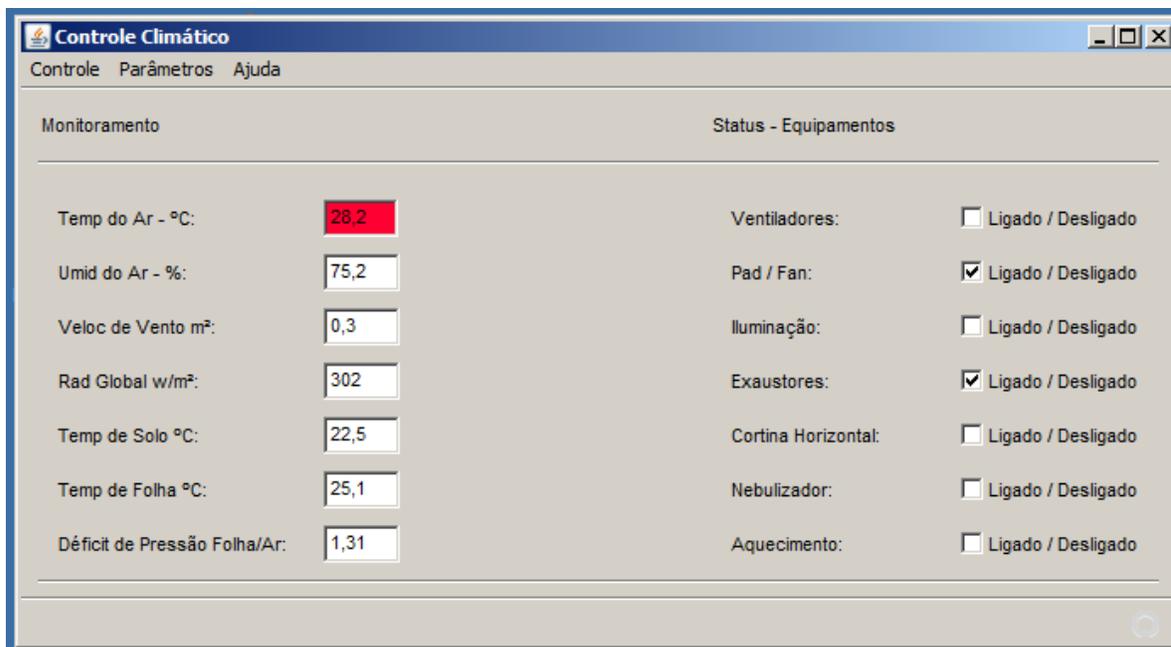


Figura 37 – Aplicativo Computacional – Janela de Monitoramento



Figura 38 – Aplicativo Computacional – Versão

A interface com o usuário foi projetada para conter uma janela principal e a partir dos menus disponíveis acessar as demais opções, chamadas de janelas auxiliares. Estas janelas possuem outras funções, pertinentes a sua categoria que podem ser acessadas a partir de combinações de teclas.

Controle: Permite acesso ao modulo de monitoramento.

Monitoramento: Neste módulo é possível ter acompanhamento do estado presente da casa de vegetação, onde os dados climáticos coletados pelos sensores são visualizados nesta janela, assim como data e hora da coleta. Também é possível ao usuário verificar quais equipamentos estão sendo utilizados naquele instante (através de caixas de verificação).

Parâmetros - Refere-se a área onde o usuário pode definir as configurações de sensores disponíveis ou não disponíveis, parametrização de limites máximos/mínimos e alertas ao usuário.

Ajuda – Referências básicas a respeito do funcionamento e operacionalidades do aplicativo computacional.

VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – Coleta de dados preliminares

6.1.1 – Temperatura e Umidade do Ar

Nas tabelas 2 e 3 são apresentados os resultados para as grandezas temperatura e umidade do ar no tratamento 1, que corresponde a área experimental. O objetivo desta análise estatística é prover os modelos mais adequados para geração dos mapas de krigagem.

Dessa forma, para as análises foram escolhidos dois períodos para a análise estatística: 8h00min-10h00min – Manhã e para Tarde 12h00min e 14h00min

As variáveis foram denominadas T1 (temperatura) e U1 (umidade) para manhã e T2 (temperatura) e U2 (umidade). Em seguida, os dados foram inseridos no software GS+, para os testes estatísticos.

Variável	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Curt	Ass
T1	21,05	20,90	20,40	21,60	0,33	1,57	-0,77	0,39
T2	26,72	26,85	25,50	27,80	0,66	2,48	-0,96	-0,07

Tabela 2 – Análise estatística de Temperatura (Manhã e Meio-Dia)

Variável	Média	Mediana	Mín	Máx	DP	CV	Curt	Ass
U1	82,76	83,30	80,20	84,40	1,28	1,54	-1,34	-0,42
U2	72,77	73,40	65,30	79,90	2,91	4,00	0,31	-0,79

Tabela 3 – Análise estatística de Umidade (Manhã e Meio-Dia)

Inicialmente, não foi verificada presença de pontos discrepantes (*outliers*); na seqüência, fez-se uma análise descritiva dos dados para determinação das estatísticas: média; mediana; valor mínimo e máximo; desvio-padrão; coeficientes de variação, curtose e assimetria.

Foram testados semivariogramas dos tipos esférico, exponencial, linear sem patamar, linear com patamar e gaussiano, a fim de proporcionar o melhor ajuste para o modelo.

Para T1, no período da Manhã, (figura 39) e T2, período da Tarde, (figura 40) o modelo exponencial foi o que melhor apresentou agrupamento entre os pontos. No que se refere às análises para umidade, para U1 (figura 41) e U2 (figura 42) o modelo esférico. A

tabela 4 demonstra aos valores de efeito pepita (C_0), do patamar (C_0+C), do alcance (A_0), do coeficiente de determinação (r^2) e da soma dos quadrados dos resíduos (RSS) para cada uma das variáveis analisadas.

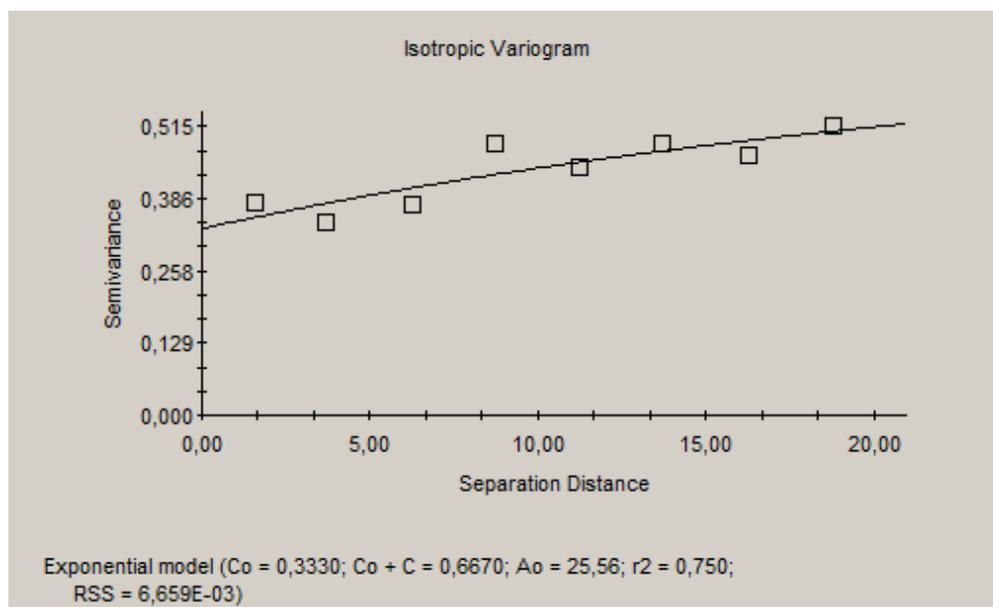


Figura 39 – Variograma Isotrópico para T1 (Manhã)

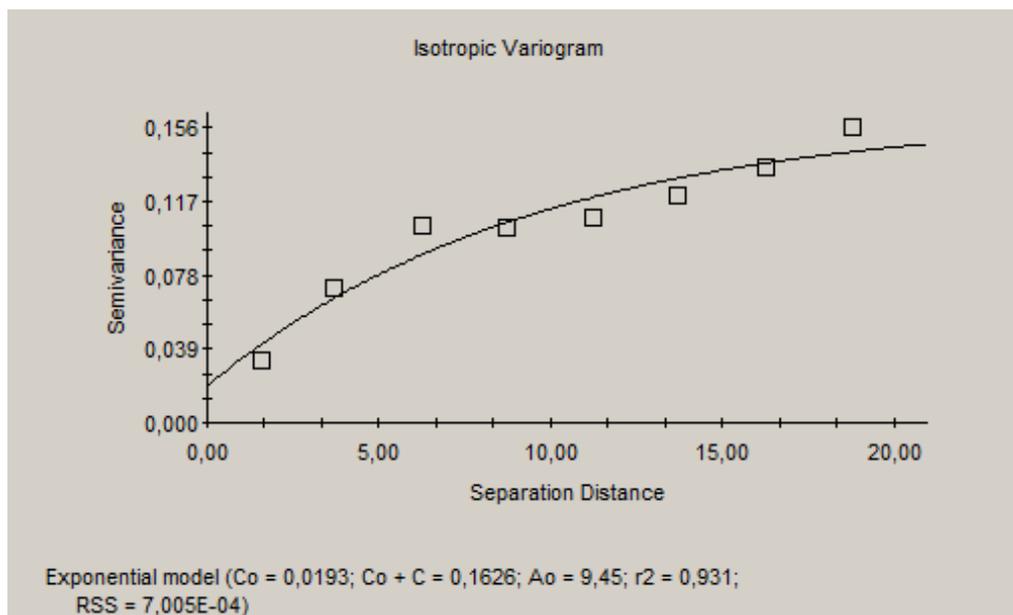


Figura 40 – Variograma Isotrópico para T2 (Meio-Dia)

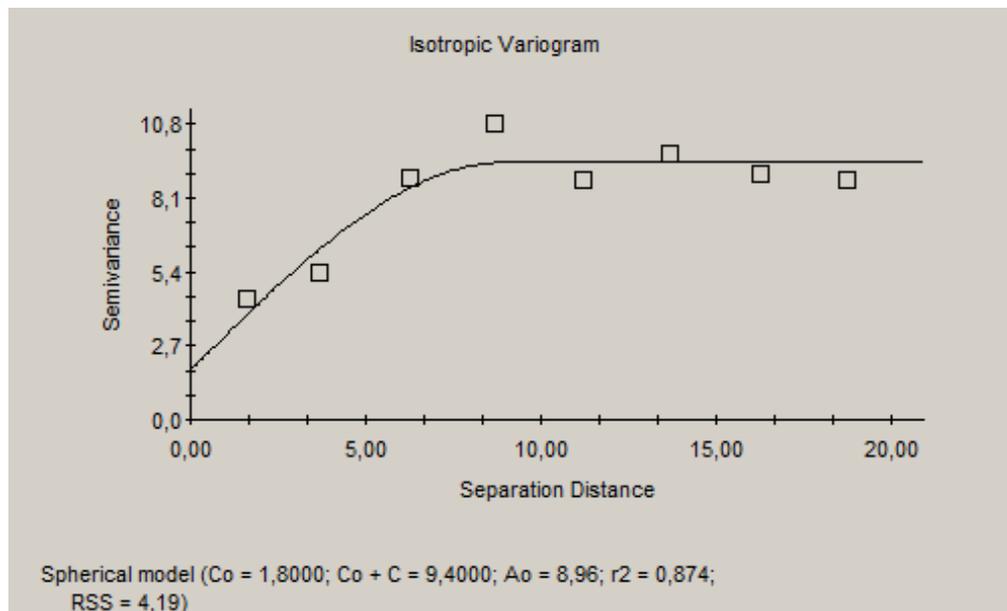


Figura 41 – Variograma Isotrópico para U1 (Manhã)

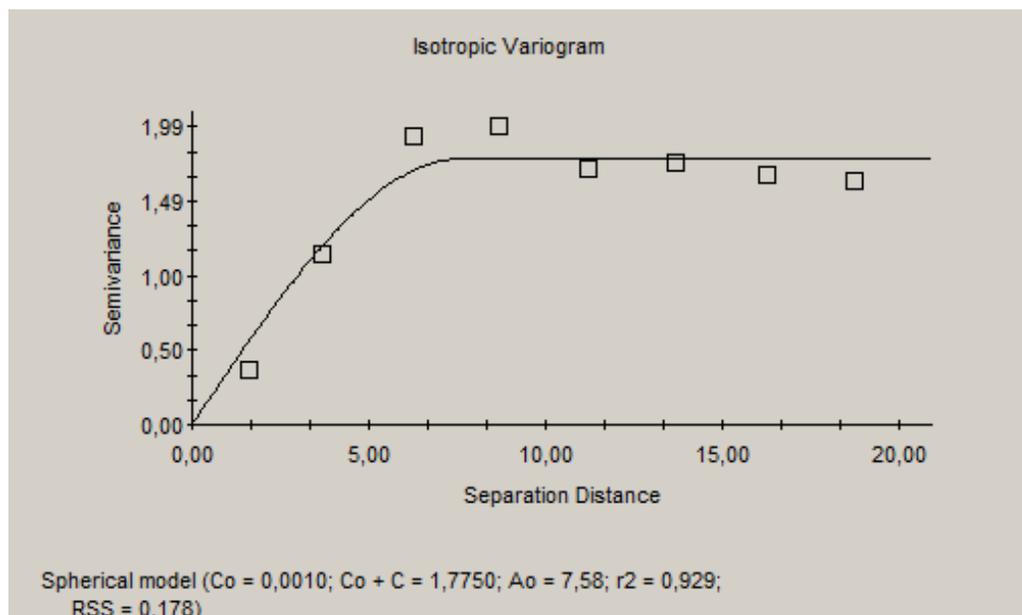


Figura 42 – Variograma Isotrópico para U2 (Umidade)

Variável	T1	T2	U1	U2
Modelo	Exponencial	Exponencial	Esférico	Esférico
Efeito pepita (Co)	0,3330	0,0193	1,8	0,001
Patamar (Co+C)	0,6670	0,1626	9,4	1,775
Alcance (Ao) (m)	25,56	9,45	8,96	7,58
Coefficiente Determ (r2)	0,750	0,931	0,874	0,929
Soma Quadr Resíduos (RSS)	6,659E-03	7,005E-04	4,19	0,178

Tabela 4 – Variogramas para as grandezas Temp e Umidade do ar

A partir do ajuste do variograma, foi utilizada a técnica de krigagem para interpolação espacial dos dados no intuito da construção do mapa de contorno dos valores de temperatura e umidade do ar nos períodos manhã e tarde (figuras 43 e 44) com auxílio do software SURFER.

Estes apresentam o variograma isotrópico experimental dos dados de Temperatura (T1 e T2) e Umidade do Ar (U1 e U2). Assim como os seus respectivos parâmetros, o coeficiente de determinação (r2) e a soma dos quadrados dos resíduos (RSS) que indicam a qualidade de ajuste do modelo. Além de demonstrar ao longo da estrutura os valores de dependência espacial (Ao) dos parâmetros coletados. É importante salientar que as linhas presentes nos mapas (figuras 43 e 44), bem como a escala de cores demonstram as variações nos parâmetros coletados. Dessa forma, é possível visualizar variações nas regiões dos exaustores, onde ocorre intenso fluxo de ar, também é possível notar que nas áreas próximas aos pilares, onde o fluxo de ar é prejudicado existem indícios de variação.

Observando os mapas de temperatura e umidade, torna-se evidente que a umidade do ar está mais propenso a variações, onde é demonstrado o grande número de linhas de variação e progressão na escala de cores. Outro importante fator a ser notado é que nos períodos manhã e tarde para umidade do ar (U1 e U2) é demonstrado claramente os efeitos climáticos dos diferentes posicionamentos do sol no interior da estrutura de cultivo.

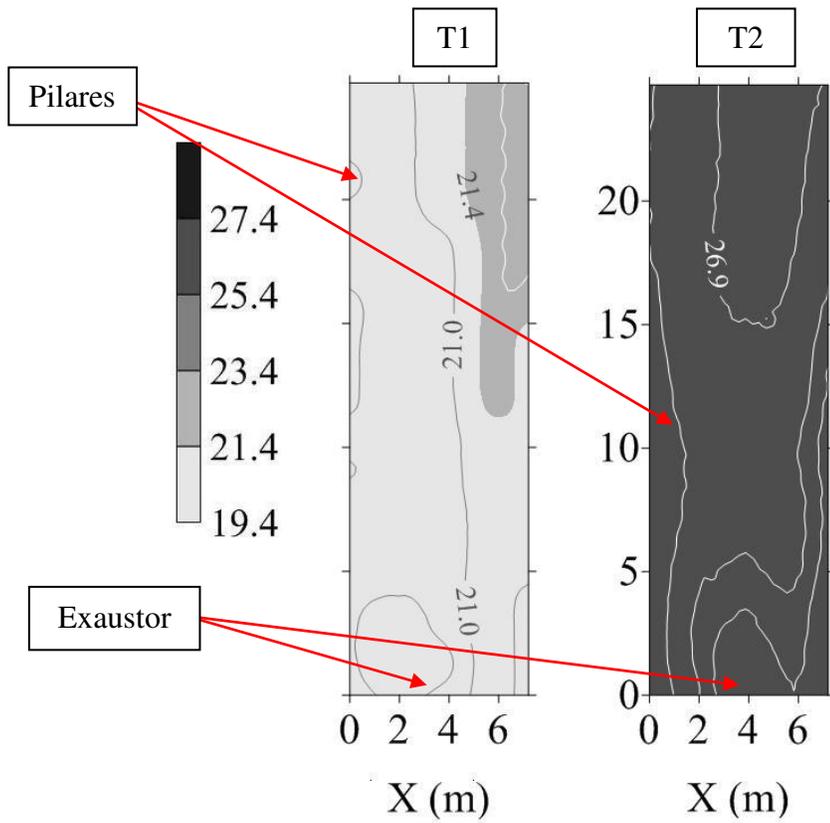


Figura 43 – Mapa de Temperatura do Ar (°C)

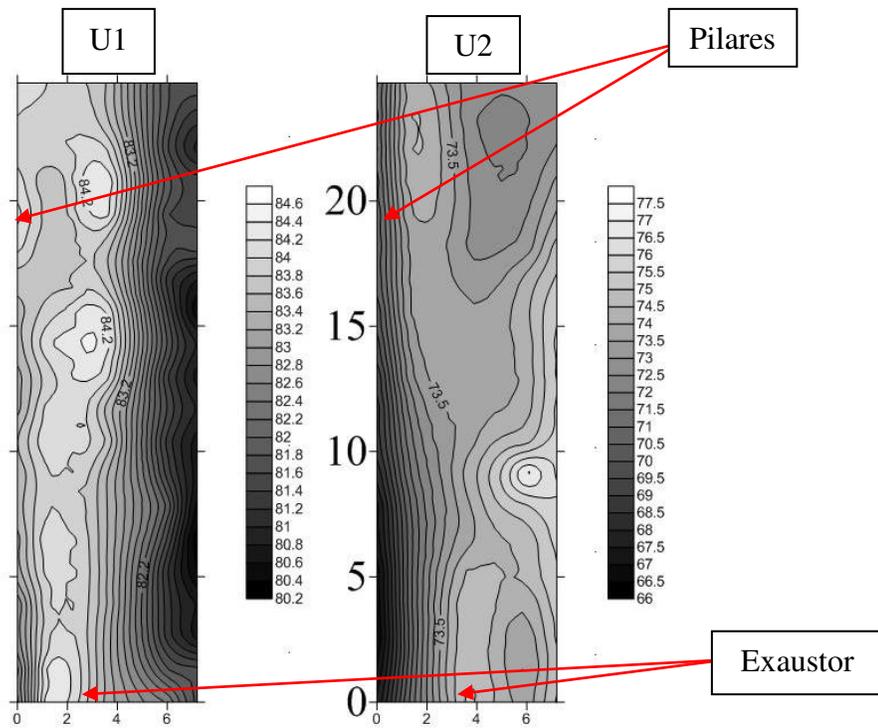


Figura 44 – Mapa de Umidade do Ar (%)

6.1.2 – Radiação Solar

As medições foram realizadas no período de 8h00min às 18h00min, a condição de céu limpo, de forma a indicar os efeitos da radiação com e sem o uso da cortina horizontal.

As diferenças na transmissão de radiação foram significativas apenas no período de 10h00min às 18h00min alcançando valores máximos entre 12h00min e 14h00min. Fornecendo um indicativo de quais períodos seria necessário o uso mais intenso dos equipamentos de controle do clima. A tabela 5 mostra as leituras de radiação solar global em W/m^2 com e sem uso da cortina horizontal.

Horário	Sem Cobertura	Com cobertura
8:00	108,09	86,53
10:00	306,60	285,73
12:00	496,65	418,20
14:00	439,50	359,46
16:00	173,01	125,09
18:00	17,01	12,35

Tabela 5 – Análise dos Valores de Radiação Solar (W/m^2)

6.1.3 – Consumo de Energia

Com a finalidade de avaliar o consumo de energia da estrutura foram coletados dados das grandezas elétricas (Tensão, Corrente, Demanda, Fator de Potência) dos exaustores e iluminação artificial.

No verão os exaustores são utilizados durante todo o período das 08h00min às 18h00min, coincidindo com a alta incidência de radiação solar. A figura 45 mostra o consumo diário (verão) para cada exaustor, denominados exaustores 1 e 2.

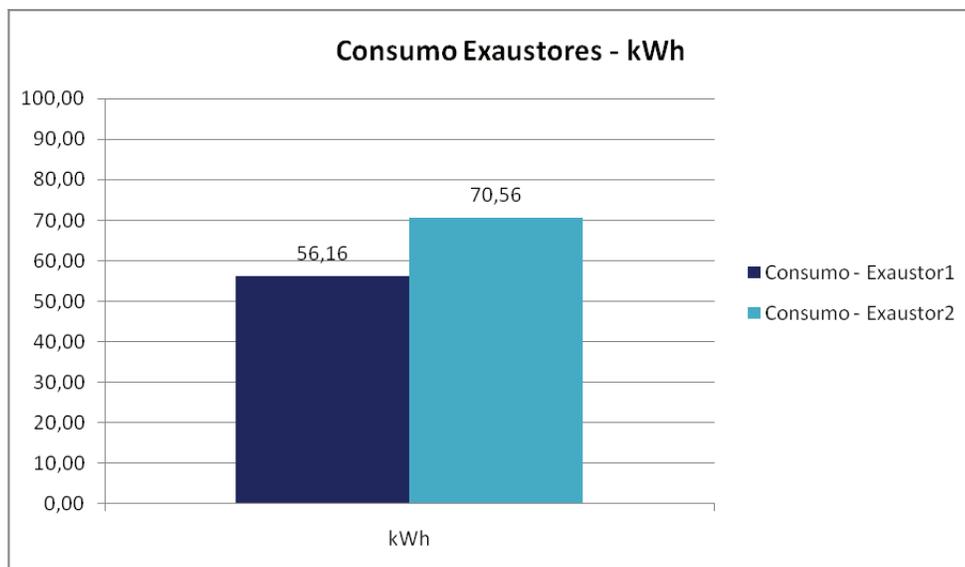


Figura 45 – Consumo de Energia dos Exaustores (diário)

No gráfico é possível perceber maior consumo no exaustor 2, isso ocorreu devido ao seu estado de conservação onde, provavelmente a falta de manutenção adequada acarretou em aumento da carga sobre o motor.

Para a iluminação artificial foram medidos o consumo diários com base no uso realizado pelo produtor de 6 horas de complemento, compreendendo ao intervalo de 15 minutos com o dispositivo ligado de 00h00min as 06h00min. Isto com a finalidade de efeitos inibitórios na formação de botões florais no local das folhas retiradas. A ilustração a seguir (figura 46) demonstra o consumo diário por lâmpada do conjunto de 48 lâmpadas.

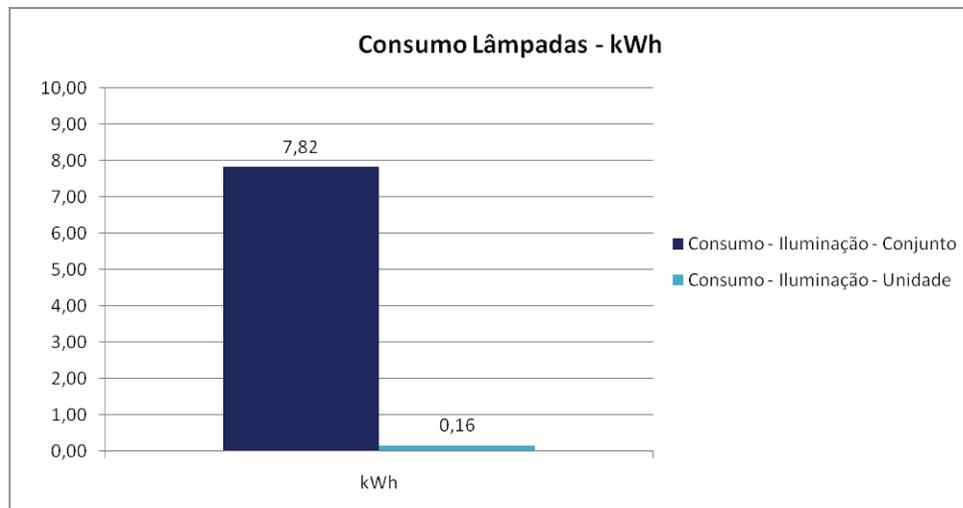


Figura 46 – Consumo de Energia das Lâmpadas (diário)

6.2 – Testes Funcionais

Os processos de verificação de cada parâmetro (Tempeatura e Umidade do Ar, Déficit de Pressão folha-ar, Temperatura de Solo e Radiação Solar) estão vinculados a rotinas referentes à leitura dos dados de cada sensor e após as inferências, a ação de controle é enviada ao CLP que por sua vez atua junto ao equipamento.

Para determinação das regras válidas foi utilizado o software fuzzyCLIPs, onde de 30 observações de dados foram escolhidas aleatoriamente 9 (30%) que se destinaram ao treinamento e conseqüentemente determinação da base de regras a ser utilizada no experimento. O fluxograma é demonstrado na figura 47.

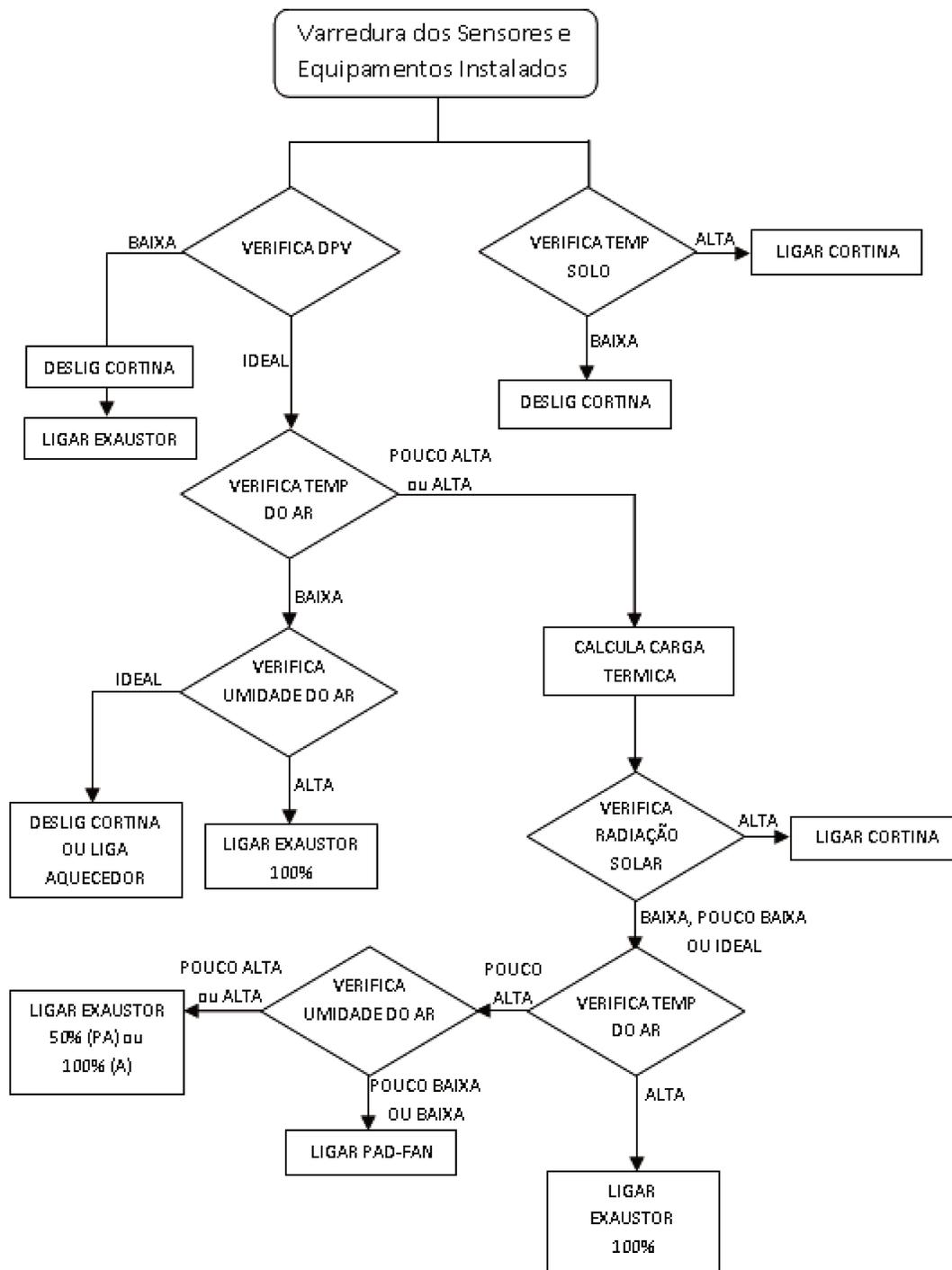


Figura 47 – Fluxograma da base de regras utilizada

6.3 – Testes de Campo

Conforme descrito no item 4.4, foram realizados testes em ambiente de produção com a finalidade de testes de algoritmo e avaliação do controle proposto em comparação ao controle existente, sendo realizado no intervalo de 11h00min às 12h00min.

Os testes iniciais procederam às 11h00min com coleta, em ambos os tratamentos, de dados climáticos (temperatura e umidade do ar), em 100 pontos ao longo da estrutura (conforme descrito no item 4.1.1), seguidos de coletas de radiação solar global e temperatura de folha (tabela 6) com todos os equipamentos (Exaustores, Pad-Fan e Cortinas) desativados, para determinação do ambiente antes de qualquer atuação por parte do controle proposto. As ilustrações (figuras 48 e 49) a seguir demonstram o mapa de krigagem gerado para este evento.

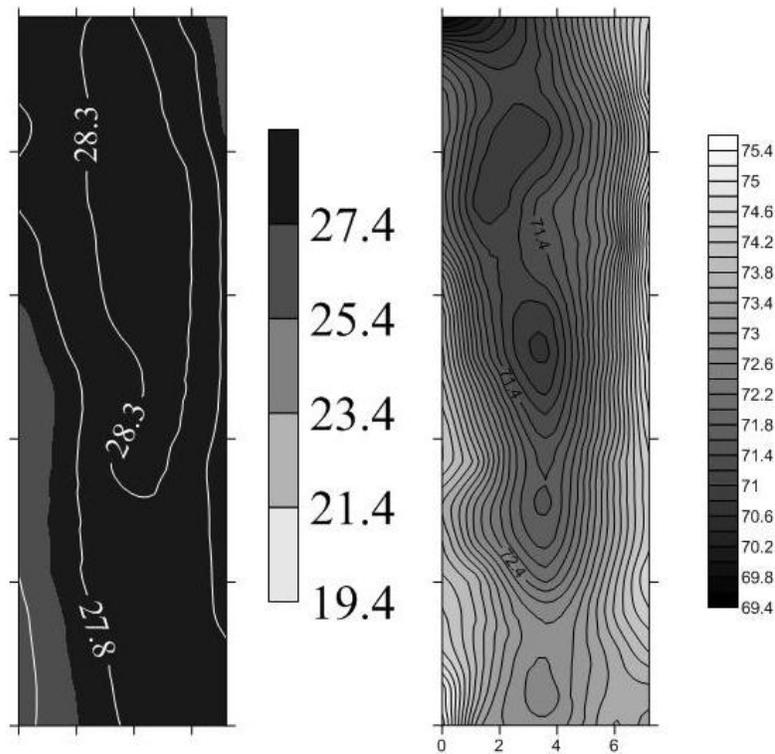


Figura 48 – Mapas de temperatura e umidade - Tratamento 1 (11:00hs)

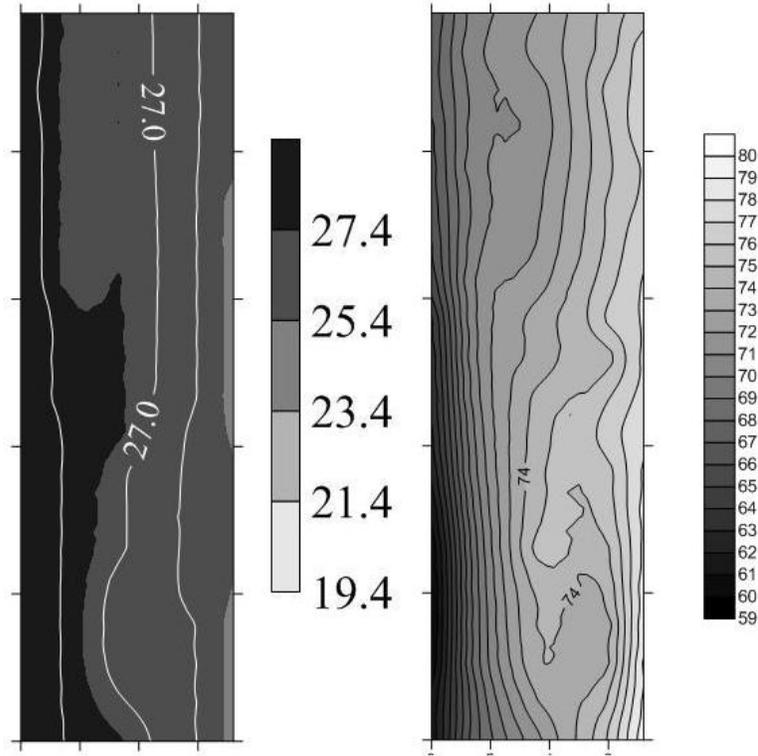


Figura 49 – Mapas de temperatura e umidade - Tratamento 2 (11h00min)

	Horário	Radiação Solar W/m²	DPV (Pa)	Temperatura do ar °C	Umidade do ar %
Tratamento1	11h00min	292	1,12	28,3	77,0
Tratamento2	11h00min	292	1,08	27,8	76,3

Tabela 6 – Dados Climáticos – Tratamento 1 e 2

Subseqüentemente, nos controles, proposto e existente, foram ajustados os intervalos dos sensores acoplados para 10 minutos entre as leituras.

Controle Proposto – Tratamento 1

No que se refere aos testes de caixa branca, onde é possível notar as alterações climáticas e as classificações dentro da lógica *fuzzy*, ocorreram no período, verificando as tabelas 7 a 9.

Horário	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
Temperatura	26,2	26,2	26,2	25,5	25,5
Conj. Fuzzy					
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PA	0,87	0,87	0,87	1,00	1,00
A	0,13	0,13	0,13	0,00	0,00

Tabela 7 – Temperatura do Ar – Controle Proposto

Horário	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
Umidade	76,4	75,6	75,8	77,9	79,7
Conj. Fuzzy					
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PB	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	0,72	0,88	0,84	0,42	0,06
PA	0,28	0,12	0,16	0,58	0,94
A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 8 – Umidade do Ar – Controle Proposto

Horário	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
DPV	1,02	1,02	1,02	1,05	1,07
Conj. Fuzzy					
B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	0,80	0,80	0,80	0,71	0,71
A	0,20	0,20	0,20	0,29	0,29

Tabela 9 –DPV (folha-ar) – Controle Proposto

Às 11h00minhs o sistema tendo classificado a temperatura do ar como ALTA (100%) segue o passo seguinte, cálculo de carga térmica e verifica a radiação solar como (BAIXA), e ativa e segue a rotina até a verificação de umidade do ar classificada como POUCO ALTA (100%), ativando assim um dos exaustores (50%).

Dez minutos seguidos (11h10min) o aplicativo realiza novamente as verificações e verifica redução na temperatura do ar classificando-a como POUCO ALTA (87%) e ALTA (13%), seguindo o passo seguinte, cálculo de carga térmica e verificação da radiação solar (IDEAL). Então, faz a checagem de umidade do ar (IDEAL-72% e POUCO ALTA 28%), o uso dos equipamentos permanece inalterado.

De 11h40min às 11h50min, torna-se perceptível ligeira redução na temperatura do ar, devido ao uso do exaustor, entretanto, a classificação permanece inalterada (POUCO ALTA-100%), seguindo a lógica do algoritmo é realizada o calculo de carga térmica novamente e verificação de radiação solar global, sendo esta detectada acima de 450 W/m^2 e então o CLP, atuando, ativa a cortina horizontal, finalizado o período de testes.

De 11:10 às 11:50, o parâmetro indicador de conforto térmico da planta, o déficit de pressão de vapor folha-ar permaneceu dentro do conjunto classificado como IDEAL (tabela 9), resultando no fato de que nenhuma rotina especifica para este parâmetro necessitasse ser executada.

Ao fim de cada período (11h40min controle proposto - 12hs:20min para controle existente) realizou-se uma nova coleta de temperatura e umidade do ar. A partir destes foram aplicadas as análises de semivariâncias. Nas figuras 50 e 51 são demonstrados os modelos ajustados para os dados do tratamento 1 e a tabela 10 os coeficientes de determinação (r^2), soma dos quadrados dos resíduos (RSS) para ajuste do modelo, e os valores de dependência espacial (A_0).

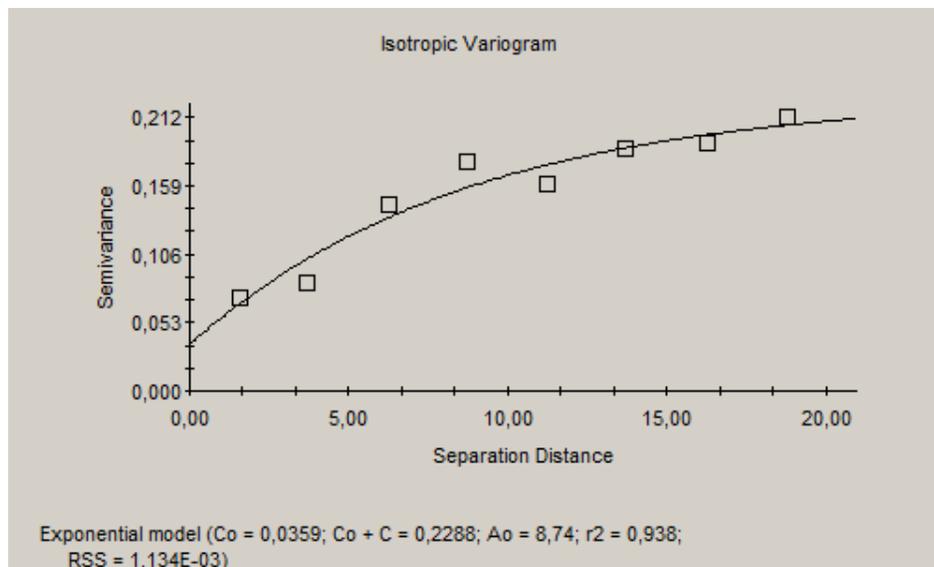


Figura 50 – Variograma de temperatura – Tratamento 1 (12h00min)

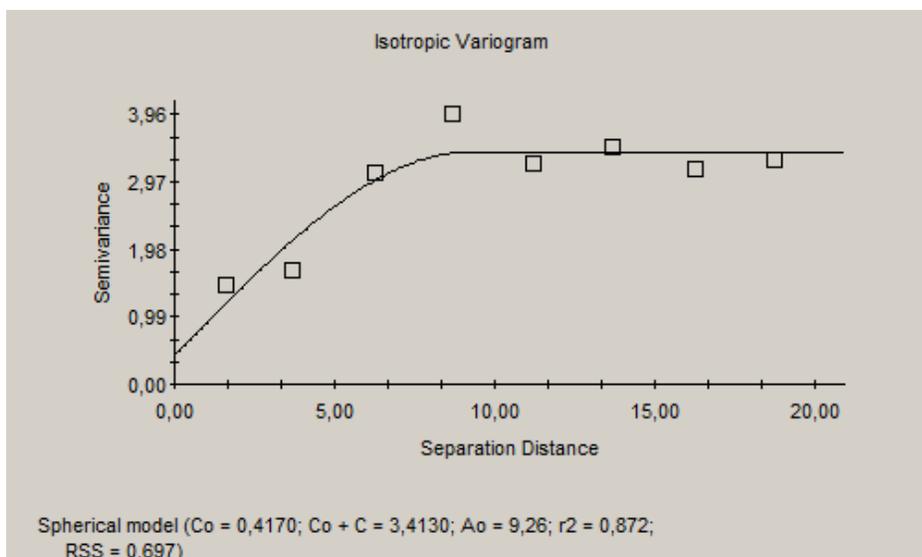


Figura 51 – Variograma de umidade – Tratamento 1 (12h00min)

Variável	T1	T2
Modelo	Exponencial	Exponencial
Efeito pepita (Co)	0,0359	0,4170
Patamar (Co+C)	0,2288	3,4130
Alcance (Ao) (m)	8,74	9,26
Coeficiente Determ (r2)	0,938	0,872
Soma Quadr Residuos (RSS)	1,134E-03	0,697

Tabela 10 – Variogramas Temp e Umidade do ar – Tratamento1

A partir dos ajustes realizados nas análises de semivariâncias, foram gerados os mapas de krigagem (figura 52)

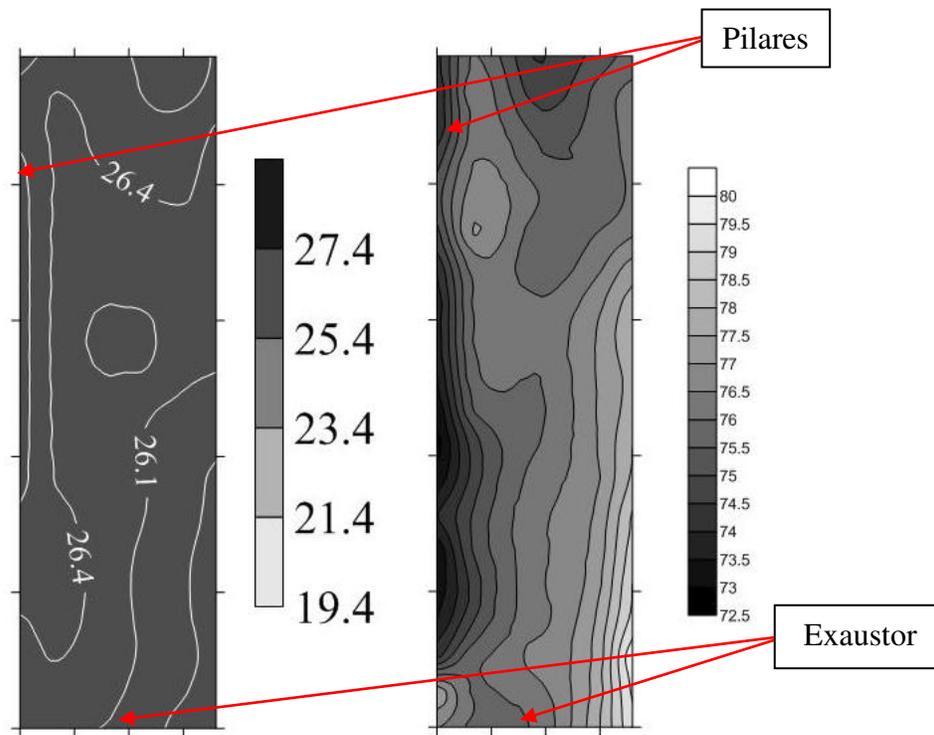


Figura 52 – Mapas de temperatura e umidade – Tratamento 1 (12h00min)

Controle Existente – Tratamento 2

Este teste acompanhou as ações de controle existente e verificou que o mesmo imediatamente atuou com a ativação dos dois exaustores, devido a alta temperatura (maior que 23°C), resultando numa redução de 27,8°C para 25°C que somente se alterou no período de 11h40min e permanecendo nesse índice até o fim do período de testes. No que se refere à umidade do ar, devido a troca forçada de ar nota-se a queda nos períodos de 11h10min às 11h20min. No período final do teste voltou a subir e permanecendo na faixa de 76,3% e devido a elevação da radiação solar global (acima de 450W/m²), ativou a cortina-horizontal. O mais importante nestas ocorrências reside no fato de o índice de conforto térmico da planta não ter ultrapassado da faixa considerada ideal para seu comportamento estomático (0,7 - 1,2 KPa). As variações podem ser constatadas na tabela 11.

Horário	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50
Temperatura °C	25,1	25,1	25,1	24,8	25,1
Umidade %	74	73,9	75,4	77,4	76,3
DPV	0,93	0,91	0,97	1,01	0,99
Rad Solar W/m ²	305,2	325	374	418	473

Tabela 11 – Dados Climáticos – Controle Existente

Neste caso também foram aplicadas as análises de semivariâncias (figura 53 e 54), onde são demonstrados os modelos ajustados para os dados do tratamento 2 e a tabela 11 os coeficientes de determinação (r^2), soma dos quadrados dos resíduos (RSS) para ajuste do modelo, e os valores de dependência espacial (A_0), em seguida os mapas de krigagem do ambiente ao final do período de testes (figura 55).

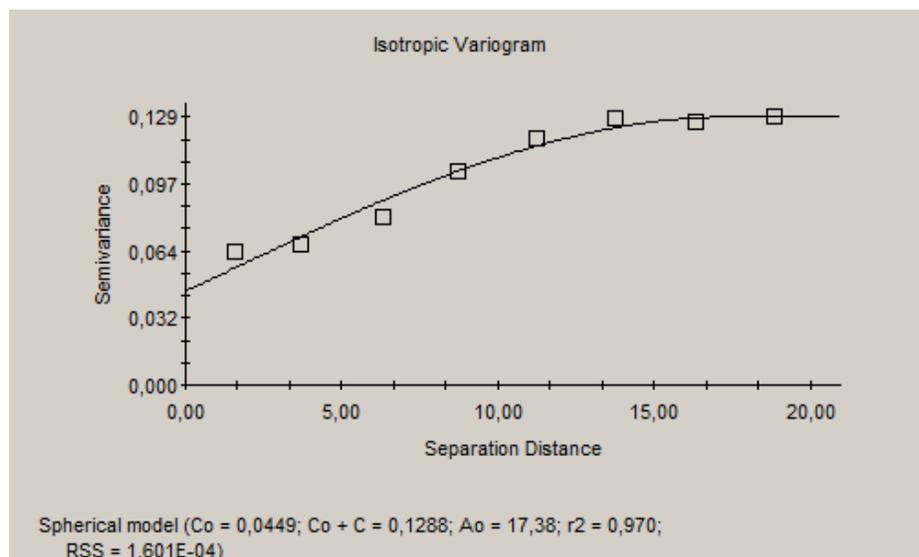


Figura 53 – Variograma de temperatura – Tratamento 2 (12h00min)

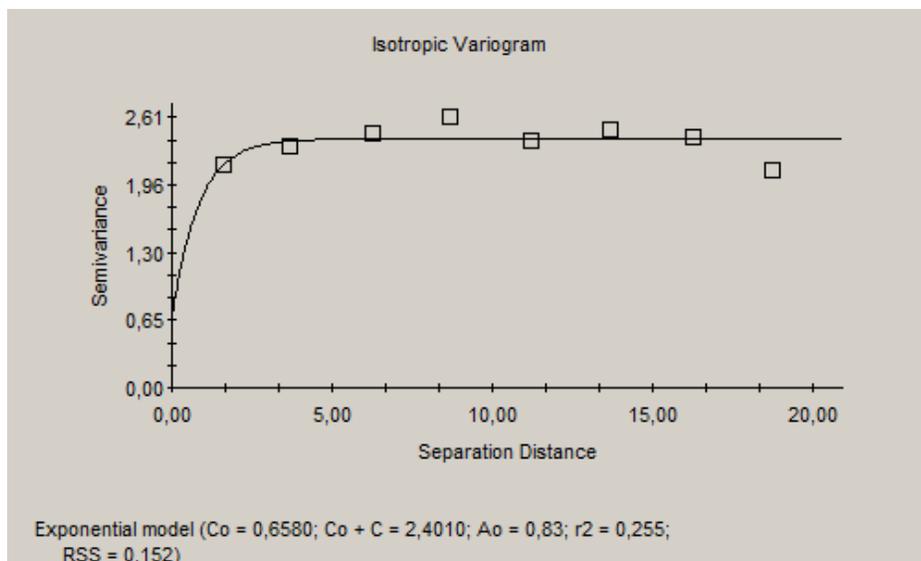


Figura 54 – Variograma de umidade – Tratamento 2 (12h00min)

Variável	T1	T2
Modelo	Exponencial	Exponencial
Efeito pepita (C_0)	0,0359	0,4170
Patamar (C_0+C)	0,2288	3,4130
Alcance (A_0) (m)	8,74	9,26
Coefficiente Determ (r^2)	0,938	0,872
Soma Quadr Resíduos (RSS)	1,134E-03	0,697

Tabela 12 – Variogramas Temp e Umidade do ar – Tratamento2

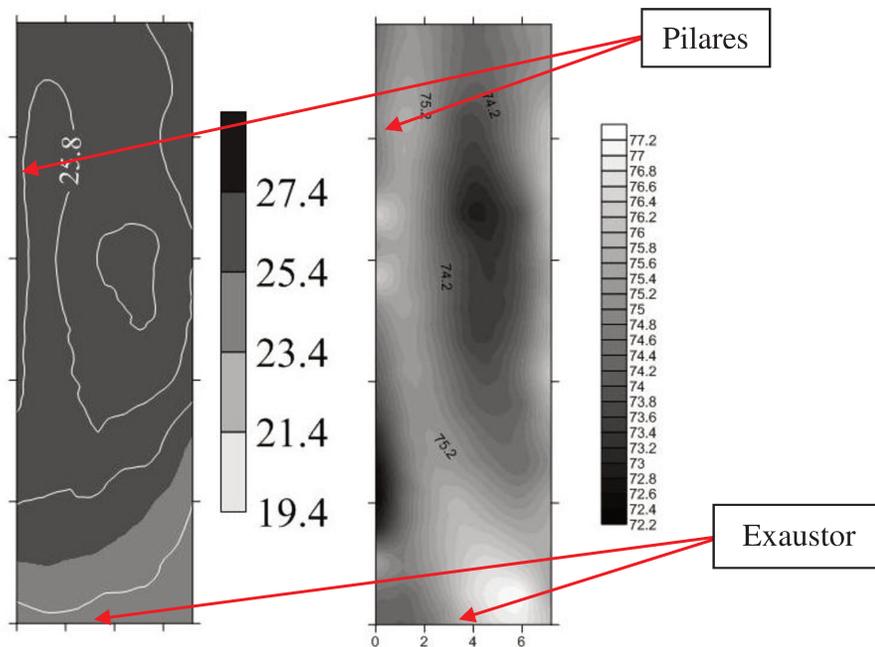


Figura 55 – Mapas de temperatura e umidade – Tratamento 2 (12h00min)

Exaustores

Para os tratamentos 1 e 2, foram adquiridos os dados de consumo de energia do exaustor e comparados, como pode ser verificado na figura 56. No que se refere ao uso da cortina-horizontal, o mesmo foi desprezado, primeiramente devido a sua forma de funcionamento, o motor só permanece ligado tempo suficiente para estender a cortina e desligado. Os dois controles (existente e proposto) a utilizaram da mesma forma.

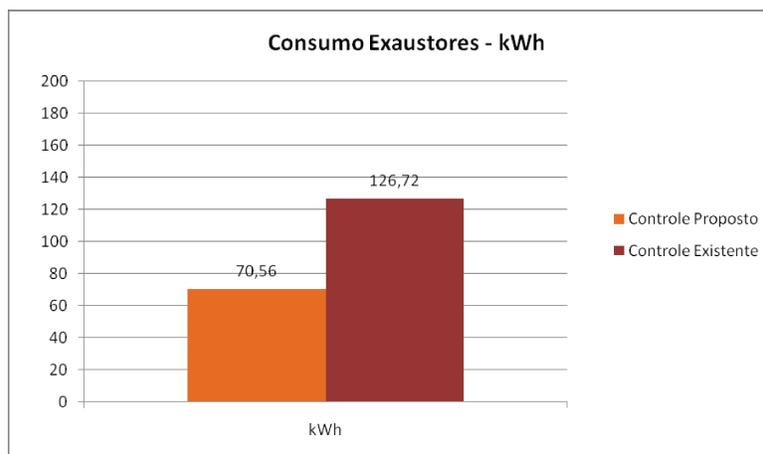


Figura 56 – Consumo de Energia dos Exaustores – Tratamentos 1 e 2

Iluminação Artificial

Este teste consistiu na aplicação de diferentes regimes de acionamento do sistema de iluminação artificial com duas finalidades, não induzir botões florais e prover economia de energia elétrica. Inicialmente, previa-se deduzir o tempo com base no tempo de iluminação diária, entretanto, por recomendação do produtor e a fim de não prejudicar o ambiente de produção foram utilizados os seguintes regimes:

- 15 minutos, totalizando 6 horas de complemento, a partir das 00:00hs (controle existente)
- 30 minutos ligado, 10 desligado, totalizando 4 horas de complemento, a partir das 00:00hs (controle proposto)

O consumo com o regime de 4 horas demonstrou ser mais econômico (figura 57) e segundo dados do produtor não houve indução de botões florais. Sendo este um importante fator produtivo.

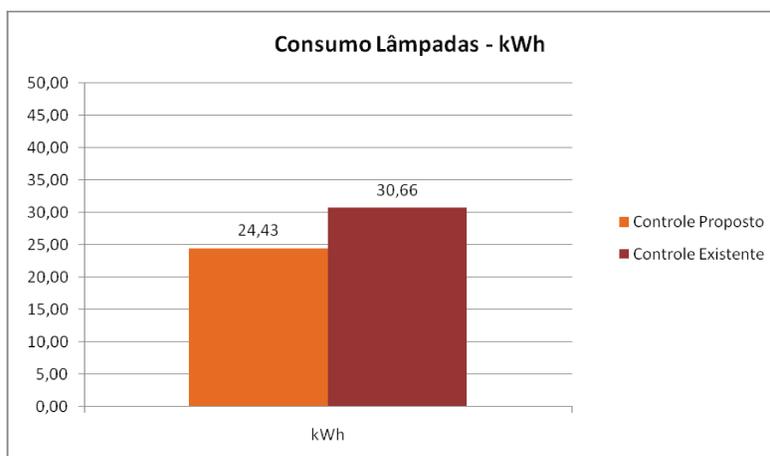


Figura 57 – Consumo de Energia das Lâmpadas – Tratamentos 1 e 2

Discussão Geral

O controle existente mostrou-se mais eficiente se levarmos em consideração somente os parâmetros climáticos, parâmetro normalmente empregado nos controladores disponíveis no mercado. Porém no que se refere ao consumo de energia o controle proposto demonstrou prover conforto térmico para a planta, com menor consumo. Inclusive este conforto foi mantido com o parâmetro temperatura do ar acima dos limites considerados ideais.

É importante ressaltar que dado número de variáveis envolvidas e a natureza do processo no interior de uma casa de vegetação, seria de custo elevado em termos de consumo de energia a manutenção do clima dentro de parâmetros exatos.

E finalmente, no que diz respeito ao uso da iluminação, a aplicação de regimes diferenciados demonstrou ser aplicável (sem indução de botões florais) e com economia de energia e, deve ser objeto de estudos futuros, assim como testes com diferentes tipos de lâmpadas

VI – CONCLUSÃO

Como aprimoramento do estudo realizado por Laranjeira e Rossi (2005) este trabalho demonstrou a possibilidade de se construir controles que leve em consideração o estado de conforto térmico da cultura, integração com sistemas de informação usando uma infraestrutura de desenvolvimento computacional baseada em padrões abertos e plataformas de software livre. Bem como a utilização de métodos geoestatísticos a fim de proporcionar melhor avaliação do ambiente, antes e depois, do emprego de uma ação de controle.

É muito importante ressaltar o potencial do uso dos métodos de agricultura de precisão, em específico métodos geoestatísticos em futuros experimentos, onde é possível visualizar com precisão as variações dentro de uma estrutura. Entretanto, deve-se ressaltar que tal método exige um grande número de sensores por área estudada, o que praticamente elimina o uso de sistemas de aquisição de dados convencionais disponíveis no mercado. Recomenda-se o uso de sistemas sem-fio para condução deste tipo de coleta, para eliminar os erros provenientes de intervenção humana. Além do fato de que os métodos geoestatísticos permitem definir os locais com maior número de sensores a serem instalados, resultando em maior percepção das alterações climáticas.

O uso da lógica *fuzzy* também demonstrou ser plenamente aplicável provendo avaliações de clima com confiabilidade em suas classificações, mas é imprescindível reforçar que todo sistema que se utiliza de algoritmos não lineares precisa ser testado exaustivamente. Muitas vezes os resultados adversos são provenientes de planejamento precário de sua lógica.

Também vale ressaltar a interdisciplinaridade do trabalho onde, certamente não foi possível explorar todas as possibilidades decorrentes deste estudo. Trabalhos futuros devem ser motivados pela possibilidade de consolidação das idéias apresentadas neste trabalho são apresentados para que seja alcançado um nível de aplicação razoável e de utilidade para o produtor.

O primeiro passo seria a programação de rotinas com finalidade de integração com uma maior diversidade de sensores disponíveis no mercado, incorporando novas tecnologias de redes descentralizadas e sensoriamento sem fio.

O segundo passo é evoluir o algoritmo de programação abrangendo um maior número de ocorrências inicialmente previstas. Produtores e Pesquisadores devem compor um esforço conjunto para agregar fundamentação científica e aplicação prática.

O terceiro passo é criar um servidor de registros de diversas culturas a fim de prover uma base de conhecimento sólida para aplicação de algoritmos.

Finalmente, em paralelo aos demais passos devem ser continuados os estudos para evolução dos conceitos apresentados nesta tese, tais como uso das tecnologias existentes testes com malhas de coberturas diferentes, tipos de iluminação diversos, uso da iluminação em variados regimes, uso integrado de equipamentos com objetivo de obter melhores resultados no que tange ao clima interno.

VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE, **Handbook of applications**, ASHRAE, Atlanta, Geórgia, 1978.

ASAE, **Handbook of fundamentals**, ASAE, Atlanta, Geórgia, 1978.

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas com a atmosfera**, IAC, Campinas, 2002, 272p.

ABRIGHT, L.D. **Environment Control for Animals and Plants**. St.Joseph: ASAE, 1990, 453p.

_____. **Controlling Greenhouse Environments**. In: **Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses**. Acta Horticulturae, n°.578, p.47-54, 2002.

AZEVEDO, J.A.; SILVA, E. M. **Tensiômetro: Dispositivo prático para controle da Irrigação, Embrapa Cerrados - Circular Técnica**, Planaltina: EMBRAPA. 1999, 39p.

BAKKER, J.C. **Greenhouse Climate Control: Constraints and Limitations**. Acta Horticulturae, n°.399, p.25-35, 1995.

BARBOSA, J.G.; MARTINEZ, H.F.P. **O cultivo hidropônico do crisântemo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Conselho Técnico de Extensão, 1995, 8p.

BLISKA Jr, A.; HONÓRIO, S.L. **Cartilha Tecnológica de Plasticultura e Estufa**, Ed. 2º, Unicamp,. Campinas, SP. 2000.

BOILY, R. **Estufa: Controle do meio ambiente**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999 (Apostila).

CANTÃO, L.A. **Programação Não-Linear com Parâmetros “Fuzzy”:** Teoria e Algoritmos – Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade de Estadual de Campinas – FEEC/Unicamp, Campinas, 2003, 89p.

CANSADO, J.C. **AGRILOGIC: Sistema para experimentação de controle climático em casas de vegetação – Dissertação (Mestrado)**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, São Paulo, 2003, 111p.

CARR, J.J. **Interfacing your microcomputer to virtually anything.** Tab books, Inc., Blue Ridge Summit, PA. 325p. apud HANAN, Joe. J. Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture. Flórida: CRC PRESS, 1997, 684p.

CARVALHO, A. M. B. R.; CHIOSSI, T. C. S.. **Introdução à engenharia de software.** Editora da Unicamp. 2001.

CIOKOLSZ, D.E.; ALBRIGHT, L.D.; SAGER, J.C.; LANGHANS, R.W. **A Model for Plant Lighting System Selection**, Transactions of ASAE, v.45(1), p.215-221, 2002.

CUNHA, J.B.; COUTO, C; RUANO, A.E.B. **A Greenhouse Climate Multivariable Predictive Controller.** In: Proceedings of the International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques Towards the 3rd Millenium. Acta Horticulturae, n°.534, p.269-276, 2000.

CRUZ, L.F. **Modelo “Fuzzy” para Obtenção do Tempo de Aeração em Silos Verticais Visando Reduzir o Consumo de Energia Elétrica – Tese (Doutorado)**, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade do Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2001, 102p.

CRUZ, L.F. **Sistematizações da Teoria Fuzzy – Dissertação (Mestrado)**, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade do Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 1996, 72p.

DOGRA, A.K.; CHANDRA, P. **Development of an Intelligent Controller for a Greenhouse Management**. In: Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses. Acta Horticulturae, n°.578, p.377-382, 2002.

_____. **A Decision Support System for the Management of Greenhouse Environment**. In: Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses. Acta Horticulturae, n°.578, p.383-388, 2002.

DOWNS, R. J. HELLMERS, H. **Environment and the Experimental Control of Plant Growth**. New York: ACADEMIC PRESS, 1975, 147p.

FEITOSA, H. A. **Princípios Fundamentais da Teoria Fuzzy – Dissertação (Mestrado)**, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade do Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 1992, 89p.

FONTES, I.R. **Sistema de Supervisão e Controle de Irrigação Utilizando Técnicas de Inteligência Artificial Visando o Uso Racional de Energia – Dissertação (Doutorado)**, Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade do Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2003, 206p.

FURLAN, R.A. **Avaliação da Nebulização e Abertura de Cortinas na Redução da Temperatura do Ar em Ambiente Protegido – Dissertação (Doutorado)**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba, 2002, 160p.

GAO, X.; HE, Y. **The study of single board microcomputer control system in multi-function greenhouse and its attached equipment**, disponível em <http://www.asae.org>, 25/02/2003.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences.** Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2004.

GIACOMELLI, A.G. **Nutrient Delivery Systems for Crop Production in the Controlled Environment.** In: Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses. Acta Horticulturae, n°.578, p.207-212, 2002.

GOLDEN SOFTWARE, INC. Surfer 7.0. **Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers.** New York: User's Guide, 1999. 619p.

GUISELINI, C.; **Microclima e Produção de Gérbera em Ambientes Protegidos com Diferentes tipos de Cobertura - Dissertação (Mestrado),** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba, 2002, 71p.

HANAN, Joe. J. **Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture.** Flórida: CRC PRESS, 1997, 684p.

HEIDE OM, RUNGER W (1985) Begonia. In: Halevy AH (ed) CRC handbook of flowering. Vol. II. **Boca Raton, FL,** pp 4–23

HOFFMANN, S; WAAIJENBERG, D. **Tropical and Subtropical Greenhouses – A challenge for New Plastic Films.** In: Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses. Acta Horticulturae, n°.578, p.163-169, 2002.

ISMAIL, K. A. R., GONÇALVES, M. M., BENEVENUTO, F. J. **Instrumentação Básica para Engenharia.** Campinas, SP. Ed. do autor, 1998. 470p.

JONES, J.W.; HWANG, Y.K.; SEGINER, I. **Simulation of Greenhouse, Environments and Control Systems.** Acta Horticulturae, n°.399, p.73-84, 1995.

JONES, H.G. **Plants and Microclimate**. 2o Ed., Cambridge University Press 2ª. Ed, 1992, 428p.

KITTAS, C.; BARTZANAS, T.; JAFFRIN, A. **Greenhouse Evaporative Cooling: Measurement and Data Analysis**, Transactions of ASAE, v.44(3), p.683-689, 2001.

LARANJEIRA, E.G; ROSSI L.A. **Modelo Computacional para Supervisão e Controle de Casas de Vegetação – Dissertação (Mestrado)**, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade do Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2005, 105p.

LEAL, P.M. **Carga de Aquecimento e Resfriamento em Estruturas**.
<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358/cargadeaquecimentoresfriamento.doc>.
Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Respostas Fisiológicas aos Fatores Climáticos**.

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358/FisioVeg.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Psicrometria**.

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358/psicrometria.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Radiação solar**.

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358/radiacaosolar.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Transferência de Calor em Estruturas**.

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358/transferenciadecalor.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Controles, Equipamentos e Manutenção.**

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358fa873/controles.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Ventilação Mecânica.**

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358fa873/ventilacaomecanica.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

_____. **Ventilação Natural.**

<ftp://ftp.agr.unicamp.br/pub/disciplinas/ap358fa873/ventilacaonatural.doc>. Acesso em: 12 Agosto 2004.

MCCORMACK, A.C., RUMMEL, J.D. **A Survey of current control approaches for plant growth systems used in life support systems.** SAE International – ICES Paper nº 932280, 1993. apud FLEISHER, D.H. Preliminary Analisis of Plant Response to Environmental Disturbances in Controlled Environments, disponível em <http://www.asae.org>, paper nº 024076 ,25/02/2003.

MELLO, J.M. **Geoestatística Aplicada ao Inventário Florestal – Tese (Doutorado)**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba, 2004, 192p.

MONTERO, J.I.; ANTÓN, A. **Greenhouse cooling during warm periods**, Acta Horticulturae, v. 357, p.49-61, 1994.

MORAES, R.; CUNHA, J.B. **Agritronics: A Distributed Data Acquisition and Control Network for Agriculture Environments.** In: Proceedings of the International Conference and British-Israeli Workshop on Greenhouse Techniques Towards the 3rd Millenium Acta Horticulturae, nº.534, p.319-325, 2000.

MURAKAMI, E. **Uma infraestrutura de desenvolvimento de sistemas de informação orientados a serviços distribuídos para agricultura de precisão - Tese (Doutorado)** – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006, 192p.

ODHIAMBO, L.O.; YODER, R.E.; YODER, D.C. **Estimation of Reference Crop Evapotranspiration using “Fuzzy” State Models**, Transactions of ASAE, v.44(3), p.543-550, 2001.

OKUMURA, M.H. **Uso de geoestatística para aprimorar o controle de pragas na citricultura – Dissertação (Mestrado)**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, São Paulo, 2007, 67p.

PRESSMAN, R.S. **Software Engineering: a practitioner’s approach**. New York: MacGraw-Hill, 2004, 880p.

ROCHA, P.K. **Desenvolvimento de Bromélias em Ambientes Protegidos com Diferentes Alturas e Níveis de Sombreamento – Dissertação (Mestrado)**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba, 2002, 111p.

SCHIMANSKI, A. **Application experiences with fieldbus instruments**. ISA Transactions, v.35, p.137-145, 1996.

SHICKHUBER, G.; MCCARTHY, O. **Distributed fieldbus and control network systems**. Computing & Control Engineering Journal, v. 1, p. 21-32, Feb. 1997

SWEBOK, **Guide for the Software Engineering Body of Knowledge**, 2004 version, IEEE Computer Society, California, EUA.

TAVARES, A. L.; ECKEL, A. P.; SCARPA, C.; VENDRAME, Z. R.. **Engenharia de Software: uma visão geral**, <http://inf.unisul.br/~pacheco/princ_eng_sw/07_artigo.pdf>. Acesso em: 15 Janeiro de 2009.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, Oakland, v.51, p.1-75,1983.

YAGER, R.; OVCHINNOIKOV, S.; TONG, R., NGUYEN, H. (eds.), **“Fuzzy” Sets and Applications**. Selected papers by L. A Zadeh, John Wiley, New York, 1987.

WANG, D.C.; FANG, W.; FON, D. **Development of a Digital Psychrometric Calculator using MATLAB**. In: **Proceedings of the International Symposium on Design and Environmental Control of Tropical and Subtropical Greenhouses**. Acta Horticulturae, nº.578, p.339-344, 2002.

ZADEH, Z. A. **Fuzzy Sets and Applications**, New York, John Wiley, 1987, 684p.