

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE MEDIDAS DE
ILUMINÂNCIA EM HABITAÇÕES POPULARES
EM CUIABÁ-MT.**

CARLOS EDUARDO RONDON

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis

Co-orientadora: Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Cuiabá – MT
Julho – 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE MEDIDAS DE
ILUMINÂNCIA EM HABITAÇÕES POPULARES
EM CUIABÁ-MT.**

CARLOS EDUARDO RONDON

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física Ambiental do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis

Co-orientadora: Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

Cuiabá – MT
Julho – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

R771v Rondon, Carlos Eduardo.
Variabilidade espacial de medidas de iluminância em habitações populares em Cuiabá-MT / Carlos Eduardo Rondon. – 2011.
93 f. : il. , color.

Orientador: Prof. Dr. Carlo Ralph de Musis.
Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-graduação em Física Ambiental, 2011.
Bibliografia: f. 84-93.

1. Iluminação natural – Habitação popular. 2. Casas populares – Iluminância – Análise geoestatística. 3. Iluminação natural – Habitação popular – Mato Grosso. I. Título.

CDU – 628.92:728.3(817.2)

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

Feliz aquele que transfere o
que sabe e aprende o que ensina.

(Cora Coralina)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, à minha esposa Leticia, aos meus filhos Justino, Silvia, Daniel e à minha neta, Ana Leticia, pelo amor e apoio durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Carlo Ralph De Muis pela colaboração no desenvolvimento do estudo geoestatístico e na orientação do trabalho.
- À Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira pela colaboração e Co-orientação no desenvolvimento do trabalho
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pelo apoio e incentivo.
- À Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, pela exaustiva coleta de dados realizada nas residências no decorrer de 2006.
- A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.
- Aos amigos Denilton Carlos Gaio, Edilberto Ojeda de Almeida Filho, Alfredo Jorge, José Carlos de Arruda, Angela Santana de Oliveira, Oswaldo Borges Pinto Júnior, Carolina de Rezende Maciel, Luciane Cleonice Durante, Fernanda M. Franco, Flávia Maria de Moura Santos, Janaina Melissa Szur Betanin e Fernanda Roberta Ribeiro Milhim pela colaboração no desenvolvimento do trabalho.
- À Soilce e ao Cesário pela colaboração nos trabalhos da secretaria.
- À minha esposa Letícia, aos meus filhos Justino, Silvia, Daniel e à minha neta, Ana Letícia pelo apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.
- Ao meu irmão Celso José Rondon e família pelo apoio durante a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	1
LISTA DE QUADROS	2
LISTA DE TABELAS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. PROBLEMÁTICA	6
1.2. JUSTIFICATIVA	7
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. ILUMINAÇÃO NATURAL E ARQUITETURA	11
2.2. ESTRATÉGIAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	13
2.3. DISPONIBILIDADE DA LUZ NATURAL.....	15
2.4. LUZ	17
2.5. ILUMINÂNCIA	17
2.6. LUMINÂNCIA	18
2.7. DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA (E)	19
2.8. NÍVEIS MÍNIMOS DE ILUMINÂNCIA.....	21
2.9. IMPORTÂNCIA E PRINCÍPIOS BÁSICOS DO CONFORTO.....	22
2.10. EXIGÊNCIAS HUMANAS E FUNCIONAIS	24
2.11. ABERTURAS E PROTEÇÕES SOLARES	25
2.12. PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS MATERIAIS.....	28
2.12.1. REFLEXÃO	29
2.12.2. ABSORÇÃO	30
2.12.3. TRANSMISSÃO.....	30
2.12.4. REFRAÇÃO.....	31
2.13. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	32
2.13.1. INTRODUÇÃO.....	32
2.13.2. PROCEDIMENTO PARA UMA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	34

2.14. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	37
2.14.1. INTRODUÇÃO.....	37
2.14.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	40
2.14.3. HIPÓTESES CONSIDERADAS	42
2.14.4. VARIOGRAMA.....	42
2.14.5. PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA	44
2.14.6. MODELOS TEÓRICOS	45
2.14.7. KRIGEAGEM ORDINÁRIA.....	48
2.15. O DÉFICIT HABITACIONAL NO BRASIL.....	50
3. ÁREA DE ESTUDO	53
3.1. MUNICÍPIO DE CUIABÁ	53
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
4.1. LOCAIS, HORÁRIOS E EQUIPAMENTOS.....	58
4.2. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E GEOESTATÍSTICA	64
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
5.1. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	67
5.2. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
7. BIBLIOGRAFIAS.....	84
7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS	84
7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Espectro visível.....	17
FIGURA 2 – Lei do inverso do quadrado da distância	18
FIGURA 3 – Ângulo sólido	19
FIGURA 4 – Curva de amortecimento da iluminação natural no ambiente.	26
FIGURA 5 – Esquema de funcionamento da prateleira de luz.	27
FIGURA 6 – Fluxo luminoso incidente em uma superfície.....	28
FIGURA 7 – Reflexão em superfície especular, difusa e composta.	30
FIGURA 8 – Transmissão em superfície especular, difusa e composta.	31
FIGURA 9 – Refração da luz entre dois meios diferentes.	31
FIGURA 10 - Principais componentes da variação espacial.	41
FIGURA 11– Amostragem em duas dimensões.....	43
FIGURA 12– Exemplo de semivariograma.	44
FIGURA 13 – Representação gráfica de modelos transitivos normalizados.	46
FIGURA 14 – Localização da cidade de Cuiabá.....	53
FIGURA 15 – Vista parcial da cidade de Cuiabá.....	54
FIGURA 16 – Valores mensais da insolação para Cuiabá no ano de 2005.	55
FIGURA 17 – Média diária da radiação solar incidente na superfície (linha sólida) e da radiação no topo da atmosfera (linha tracejada) no Centro e no CPA em 2007.....	56
FIGURA 18 – Localização do Objeto de Estudo.	58
FIGURA 19– Perspectiva Isométrica – Casa 1 (Projeto original).....	59
FIGURA 20 – Planta Baixa Casa 01	59
FIGURA 21– Perspectiva Isométrica – Casa 2	60
FIGURA 22 – Planta Baixa Casa 02	61
FIGURA 23– Localização dos pontos na Casa 1	61
FIGURA 24– Localização dos pontos na casa 1 após adaptações	62
FIGURA 25– Localização dos pontos na Casa 2	62
FIGURA 26 – Localização dos pontos na Casa 2 após adaptações	63
FIGURA 27 – Semivariograma linear das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006	69
FIGURA 28 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006.	70
FIGURA 29 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006.	71
FIGURA 30 – Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006.....	72
FIGURA 31–Semivariograma gaussiano das medidas de iluminância.Casa 1– 15/05/2006.	72
FIGURA 32 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 1 – 15/05/2006.	73
FIGURA 33 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 1 – 15/05/2006.	74
FIGURA 34– Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 1 – 15 de maio.	75
FIGURA 35 – Semivariograma Gaussiano das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006	75

FIGURA 36 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006.....	76
FIGURA 37– Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006.	77
FIGURA 38 – Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006.....	78
FIGURA 39– Semivariograma Gaussiano das medidas de iluminância. Casa 2 – 15/05/2006.	78
FIGURA 40– Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.....	79
FIGURA 41 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.....	80
FIGURA 42– Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.	81

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – iluminância por classes de tarefas visuais	21
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Refletância, Absortância e Transmitância.....	29
TABELA 2 – Índice de Refração	32
TABELA 3– Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 1– 20/03/2006	66
TABELA 4– Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 1 – 15/05/2006	66
TABELA 5 – Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 2 – 20/03/2006	67
TABELA 6– Medidas de Iluminância e localização dos pontos. Casa 2 – 15/05/2006	67
TABELA 7 – Variância total explicada para a casa 1.....	68
TABELA 8 – Variância total explicada para a casa 2.....	68

RESUMO

RONDON, C. E. **Variabilidade espacial de medidas de iluminância em habitações populares em Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2011. 100 f. Tese – (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Este trabalho realizou uma análise geoestatística aplicada às medidas de iluminância obtidas nas cozinhas de duas casas populares localizadas no bairro CPA IV em Cuiabá. As medições foram realizadas das 8 às 17 horas no dia 20 de março na estação chuvosa e no dia 15 de maio na estação seca do ano de 2006. Os dados brutos foram submetidos a uma simplificação estatística por componentes principais e as variáveis obtidas foram consideradas representativas e submetidas a procedimentos geoestatísticos. Os semivariogramas mostraram que as medidas de iluminância apresentaram um grau de dependência espacial forte nas duas casas com um efeito pepita menor que 25% do patamar. Os mapas da krigeagem ordinária indicaram que existe uma diferença nos padrões do comportamento na distribuição da iluminação nas duas casas mostrando que as medidas de iluminância apresentaram uma boa correlação espacial com coeficiente de determinação acima de 0,85.

Palavras-chave: Iluminação natural, surfer 9, GS⁺ 9.0, análise de componentes principais, análise geoestatística.

ABSTRACT

RONDON, C.E. **Spatial variability of measures illuminance in public housing in Cuiabá-MT.** Cuiabá, 2011. 100 f. Thesis - (PhD in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

This study conducted a geostatistical analysis applied to measurements of illuminance obtained in the kitchens of two homes located in popular neighborhood IV CPA in Cuiaba. Measurements were made from 8 to 17 hours on March 20 in the rainy season and on May 15 in the dry season of 2006. The raw data were subjected to a statistical simplification of principal components and the variables obtained were representative and subjected to geostatistical procedures. The semivariograms showed that measures illuminance showed a strong degree of spatial dependence in the two houses with a nugget effect less than 25% of the baseline. The ordinary kriging maps indicated that there is a difference in behavior patterns in the distribution of illumination in both houses showing that measures illuminance showed good spatial correlation with a coefficient of determination above 0.85.

Keywords: Daylighting, surfer 9, GS⁺ 9.0, principal component analysis, geostatistical analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A preocupação com a economia de energia elétrica tende a conduzir a pesquisas de meios naturais para se obter a iluminação adequada no ambiente.

Neste contexto, a luz natural aparece como importante alternativa para se buscar a eficiência energética. Além de oferecer enormes vantagens como estratégia de obter maior qualidade ambiental, ela também contribui para o conforto visual e o bem-estar das pessoas.

O Brasil tem um grande potencial para economizar energia com iluminação natural por possuir grande disponibilidade de luz natural durante o ano inteiro. É necessário que os projetos arquitetônicos sejam adequados às diferentes situações e às diferentes regiões do país para não gerar situações críticas relacionadas ao conforto térmico e lumínico.

As habitações populares no Brasil são planejadas mais para satisfazer interesses políticos do que interesses públicos e sociais. Pela falta de legislação embasada em conhecimentos ambientais científicos, são edificações totalmente inadequadas quando submetidas à influência dos diferentes climas existentes no país, não se levando em conta principalmente as orientações mais adequadas em relação ao Sol.

No estado de Mato Grosso, o baixo padrão construtivo para a região em virtude da padronização nacional e das péssimas condições das edificações utilizadas em programas de moradia popular, qualifica as unidades habitacionais como inadequadas, por serem de baixo desempenho térmico e lumínico, tornando-as inapropriadas para uma região de clima tropical, sendo ainda mais rigoroso para com as famílias de baixa renda.

Nesse sentido, realizamos este trabalho utilizando um método estatístico, na tentativa de propor um modelo que possa amenizar o problema da inadequação das habitações populares, como a localização das janelas, portas e aberturas, de tal maneira, que elas possam ter um melhor padrão de distribuição da iluminação natural nos ambientes para melhorar o conforto lumínico e a qualidade de vida das pessoas

Dessa forma, foi feito um procedimento de decomposição por componentes principais e geoestatística de modo a compilar mapas que auxiliem na análise do comportamento da iluminação nos ambientes estudados.

A análise de componentes principais (*Principal Componentes Analysis*, PCA) é um procedimento estatístico que pode ser usado para analisar interrelações entre um grande número de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes comuns, os fatores, HAIR et al. (2009).

O objetivo da PCA é encontrar um meio de condensar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes principais) com uma perda mínima de informação. Pelo fato de fornecer uma estimativa empírica da estrutura das variáveis consideradas, a PCA torna-se uma base objetiva para criar escalas múltiplas. Neste estudo a PCA será utilizada para a construção de composições lineares das medidas de iluminação coletadas no decorrer do dia, sendo que o estudo destas variáveis foi idealizado com a finalidade de simplificar a análise do comportamento da iluminação nesses dias, HAIR et al. (2009).

O estudo e a determinação da variabilidade espacial e a interpolação de variáveis aleatórias regionalizadas podem ser realizados utilizando a metodologia geoestatística. Dentro dessa metodologia o semivariograma é muito utilizado na determinação da estrutura de variabilidade espacial e da amplitude da dependência espacial das variáveis. Basicamente o semivariograma permite o exame da correlação espacial entre os pontos medidos da amostra, para avaliar o grau de semelhança entre amostras vizinhas, esperando-se que quanto mais próximas, espacialmente, elas forem selecionadas menor será a semivariância entre elas (maior semelhança) e quanto mais afastada menor será a semelhança (maior semivariância).

Na metodologia geoestatística a krigagem ordinária foi utilizada para representar as variáveis no espaço, utilizando técnicas de interpolação que levam em consideração a relação espacial entre elas, o que possibilita a construção de mapas para uma visualização espacial do comportamento dessas variáveis.

1.2. JUSTIFICATIVA

O mundo vem cruzando atualmente, uma crise dos recursos naturais principalmente em relação à água e a energia. Apesar de ser um país conhecido por possuir rios abundantes, e fazer uso dos mesmos para geração de energia elétrica por meio de usinas hidrelétricas, o Brasil continua com uma crise no sistema energético,

simplesmente porque o governo federal não investiu adequadamente nos últimos anos na geração e distribuição de energia elétrica. Como consequência desta falta de investimento e de não ter ocorrido chuva na maioria dos estados durante sete meses, entre abril e outubro, do ano de 2010, ainda foi necessária a implantação do controvertido “horário de verão”, que é utilizado para reduzir o consumo de energia elétrica nos horários de pico, mas que ocasiona muitos transtornos na vida das pessoas.

O desenvolvimento das cidades tem ocorrido de forma muito acelerada. Para que esse desenvolvimento ocorra de maneira saudável, as novas unidades arquitetônicas deveriam ser projetadas visando à redução da necessidade de geração e de consumo de energia elétrica.

De todas as necessidades do ser humano, a lumínica é aquela que está relacionada não somente à manutenção da saúde, mas também à comunicação. A visão permite ao homem avaliar as distâncias, definir formas, cores, volumes, etc.

Sendo assim toda iluminação precisa garantir a mais adequada visualização do espaço, o que será determinado pela atividade nele desenvolvida, de forma que reduza os esforços físicos que o olho terá de fazer para adaptar-se às condições ambientais e assim, o indivíduo possa desenvolver a atividade em questão de forma mais eficiente.

Uma edificação que saiba aproveitar a iluminação natural durante o dia e que utilize iluminação artificial eficiente e economicamente durante a noite, desenvolve bem o seu papel com relação à eficiência energética e com relação ao conforto lumínico dos usuários.

O controle da iluminância das janelas, das aberturas e da incidência da radiação solar direta são estratégias que podem significar uma redução de até 50% no consumo de energia elétrica para iluminação em um ambiente.

O primeiro fator que deve ser estabelecido em estudos de iluminação é a relação entre a habilidade de se ver, a quantidade de luz fornecida e o grau de contraste inerente ao objeto para o qual está se olhando.

Dada a dificuldade em se trabalhar com espacialização de resultados que variam no tempo buscou-se neste trabalho o desenvolvimento de um protocolo articulando procedimentos de simplificação de variáveis, no caso a análise de componentes principais e representação geoestatística de dados de iluminância. Nessa ordem de pensamentos, o objetivo geral do trabalho foi realizar uma análise geoestatística aplicada aos componentes principais derivados das medidas de iluminância obtidas nas cozinhas de duas casas populares localizadas no bairro CPA IV em Cuiabá que,

especificando, remetem a análise das estruturas das variabilidades espaciais, da amplitude da dependência espacial e da interpolação das medidas de iluminância.

Para tanto foram feitos levantamento qualitativo e quantitativo das habitações escolhidas, definição das estações climáticas, realização das medidas de iluminância *in loco*, desenvolvimento da análise de componentes principais no programa SPSS 19.0 e da análise geoestatística no programa SURFER 9 e GS⁺ 9.0 e a análise dos resultados obtidos.

Com estes objetivos, esperamos que a análise geoestatística possa contribuir com uma proposta de melhor adequação das habitações populares em relação a localização das janelas, portas e aberturas, para se conseguir um melhor aproveitamento da iluminação natural nos ambientes.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto de sete capítulos.

No primeiro capítulo, são apresentadas a problemática, a justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

No segundo, são feitas considerações sobre a iluminação natural e a arquitetura, estratégias para a eficiência energética na iluminação, a disponibilidade da luz natural, a conceituação de luz, iluminância, determinação dos níveis de iluminação, a importância e princípios básicos do conforto lumínico, exigências humanas e funcionais para a cozinha, aberturas e proteções solares, propriedades ópticas dos materiais, análise de componentes principais, análise geoestatística, o déficit habitacional no Brasil.

No terceiro, são feitas explanações sobre as características geográficas, morfológicas e climatológicas da região onde a cidade de Cuiabá está inserida.

No quarto, são descritos os locais, os horários, os equipamentos, a metodologia utilizada para se obter as medidas de iluminância, o desenvolvimento da análise de componentes principais no programa SPSS 19.0 e da análise geoestatística no programa SURFER 9 e GS⁺ 9.0.

No quinto, são expostas as análises e discussões dos resultados obtidos.

No sexto, são apresentadas as considerações finais sobre a análise de componentes principais e a análise geoestatística das medidas de iluminância das residências.

No sétimo, são apresentadas as bibliografias citadas e consultadas para a elaboração da análise de componentes principais e a análise geoestatística das medidas de iluminância das residências.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são feitas considerações sobre a iluminação natural e a arquitetura, estratégias para a eficiência energética na iluminação, a disponibilidade da luz natural, a conceituação de luz, iluminância, determinação dos níveis de iluminação, a importância e princípios básicos do conforto lumínico, exigências humanas e funcionais para a cozinha, aberturas e proteções solares, propriedades ópticas dos materiais, análise de componentes principais, análise geoestatística, o déficit habitacional no Brasil.

2.1. ILUMINAÇÃO NATURAL E ARQUITETURA

A história da arquitetura é rica em exemplos da importância da iluminação natural em diferentes tipologias de ambientes. A luz natural se destaca como modeladora de formas, elemento dinâmico que permite o contato do interior com o exterior, que proporciona a percepção da temporalidade aos ambientes e que exerce papel fundamental na integração da arquitetura com o meio em que está inserida (SCARAZZATO, 2004). Esses aspectos são imprescindíveis no que se refere ao conforto e conservação de energia, ao equilíbrio emocional, à produtividade e relacionamentos interpessoais.

Segundo BAKER (1993), a poluição ambiental causada pela energia consumida com iluminação artificial, os danos psicológicos e fisiológicos causados pela falta de luz natural e os princípios arquitetônicos e estéticos, são os tópicos que compõem os fundamentos da iluminação. Na arquitetura, a iluminação tem o objetivo de produzir ambientes que assegurem conforto visual e sejam adaptados às tarefas a ser desenvolvidas. Considerando as melhorias que podem ser proporcionadas na iluminação arquitetônica testando os ambientes e os elementos utilizados, deve-se atentar para as possibilidades relacionadas também à economia de energia para iluminação.

Desde o final do século XX, a Organização das Nações Unidas (ONU) tem intensificado a orientação para os países voltarem suas ações à redução do aquecimento global e à preservação ambiental. Países desenvolvidos, como Estados Unidos, Japão, Alemanha, Canadá, entre outros, por terem suas reservas dependentes de combustíveis fósseis, estão entre os que mais investem no desenvolvimento de tecnologias ambientalmente responsáveis. A proposta baseia-se na substituição de sistemas

ineficientes e poluidores do meio ambiente, por sistemas que utilizam fontes naturais renováveis, como a energia solar, energia eólica e a iluminação natural. É consensual que novas tecnologias de geração de energia podem reduzir os riscos de colapsos energéticos, como, por exemplo, o episódio denominado “apagão” que ocorreu no Brasil em 2001, 2007 e 2009, e nos Estados Unidos em 2003 (JANNUZZI, 2005).

Um dos fatores que contribuíram para a falta de envolvimento do Brasil com essa questão, até então, é o fato de nosso sistema energético ser provido por hidrelétricas. De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), elas são responsáveis por 82,36% da energia elétrica produzida no Brasil, e provocam menos impacto ambiental do que as emissões atmosféricas geradas por termelétricas, e sua produção teoricamente vem suprindo nossas necessidades.

Os valores acima demonstram o papel dos arquitetos nesse processo. É necessário um projeto de arquitetura que interaja com o meio em que se insere, fazendo uso de iluminação e ventilação naturais, com orientação e forma planejada, proteções solares corretas e especificação criteriosa de materiais (especialmente no envelope da edificação), entre outros aspectos. Tirando o máximo proveito das condições climáticas da região é que se obtêm as maiores contribuições no uso eficiente e na racionalização da energia, sem deixar de garantir o conforto dos usuários.

No Brasil, o consumo de energia elétrica nas edificações, compreendendo os setores residencial, comercial e público, é de aproximadamente 47% do total, conforme mostrado pelo Balanço Energético Nacional (BEN) de 2007, sendo que 70% da energia consumida nesses três setores são para os sistemas de iluminação artificial e ar condicionado. Desta forma, a iluminação natural destaca-se como uma das estratégias de grande potencial para a economia de energia.

Nas pesquisas de campo conforme o BEN (2007) evidenciou-se que:

- a) 20% a 30% da energia consumida seriam suficientes para o funcionamento da edificação;
- b) 30% a 50% da energia consumida são desperdiçados por falta de controles adequados da instalação, por falta de manutenção e também por mau uso;
- c) 25% a 45% da energia são consumidos indevidamente por má orientação da edificação e por desenho inadequado de suas fachadas.

As principais consequências do grande consumo de energia são a perda de grandes áreas de solos úteis, o desmatamento de grandes reservas de florestas e cerrados

que causam um grande impacto ambiental, além de implicar na necessidade de aumento dos investimentos em habitação, educação e saúde.

Conforme relatam HOWLETT, HESCHONG & MCHUGH (2007), desde a última década, houve um significativo aumento de projetos que viabilizaram os recursos alternativos de energia, incluindo a adequação da iluminação natural em substituição à artificial e o seu aproveitamento como condição de conforto visual para os usuários. Nos últimos cinco anos, os projetos de aproveitamento da luz natural tornaram-se um valioso meio para valorizar o espaço, principalmente em áreas normalmente iluminadas artificialmente, tais como hotéis, *shoppings*, museus, entre outros.

Em relação à qualidade da iluminação e ao consumo de energia elétrica, deve-se considerar que o aproveitamento da luz natural disponível está relacionado com o comportamento luminoso da abóbada celeste e do entorno da edificação. Ambos são fontes de luz essenciais para a avaliação final do projeto de interiores (SPASOJEVIAC; MAHDAVI, 2005).

A descrição do fenômeno da luz natural é complexa, pois ela muda com a hora do dia, com as estações do ano, com as nuvens e com o microclima. É preciso considerar a localização geográfica, pois ela se altera relativamente à latitude e à longitude. Com relação ao entorno, outros elementos acentuam seu comportamento, como área construída, tamanho e altura das edificações vizinhas, orientação das fachadas, bem como o controle solar e as características de transmissividade dos materiais.

2.2. ESTRATÉGIAS PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO

A correta utilização da luz natural nas edificações é o ponto fundamental para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente.

Essa premissa encontra no Brasil razões ainda mais fortes para ser amplamente utilizada em função das características climáticas do país. O Brasil possui uma das abóbadas celestes com maior disponibilidade de energia solar e, em grande parte do território, a presença de nebulosidade é reduzida quando comparada a outros países, fato que evidencia o enorme potencial de racionalização energética que representa a utilização da luz natural (ELETROBRÁS/PROCEL, 2002).

Pesquisas desenvolvidas na IEA (2000) comprovam que o objetivo de um projeto de iluminação natural que busca economia de energia deve ser proporcionar um sistema de iluminação natural adequado a um clima particular e a um exemplar arquitetônico por um período significativo do ano, o que permite que a luz artificial seja substituída pela luz natural e que os gastos com climatização sejam reduzidos. Além disso, o aproveitamento da luz natural é uma estratégia importante, principalmente em edifícios comerciais e públicos. A entrada de luz natural pelas janelas deve ser aproveitada para reduzir as horas de operação dos sistemas de iluminação artificial, bastando para isso, a incorporação de sensores para desligarem o sistema artificial quando a quantidade de luz natural for suficiente.

Portanto, em relação ao projeto dos ambientes, deve-se levar em conta, a orientação que dê o melhor aproveitamento da luz do Sol em sua trajetória diária aparente, bem como a posição relativa das janelas com sua área útil (VIANNA & GONÇALVES, 2001; HOPKINSON et al. 1975). É imprescindível considerar também o conforto térmico, pois a incidência direta da luz solar nos climas tropicais e subtropicais tende a elevar a temperatura do ambiente acima dos valores aceitos como confortáveis.

A luz natural pode significar uma grande diferença na economia de energia, mas as necessidades térmicas e de iluminação podem entrar em conflito. O uso de um sistema de controle inteligente pode reduzir estes conflitos e colaborar para o conforto térmico e visual dos ocupantes do edifício enquanto auxilia na economia de energia (GOULDING et al. 1992). Os sistemas de iluminação natural são uma opção para reduzir os picos de demanda de energia principalmente em locais onde há muito iluminamento disponível durante a maior parte do ano. Assim, se o sistema de proteção solar estiver instalado adequadamente, pode ser utilizada a energia luminosa proveniente da luz natural.

Segundo a ELETROBRÁS/PROCEL (2002), as maiores dificuldades relacionadas ao correto aproveitamento da luz natural são:

- a variação da iluminância da abóbada celeste durante o dia;
- a realização de tarefas com diferentes exigências visuais no mesmo ambiente;
- a carga térmica que entra nas edificações.

É comum encontrarmos projetos de iluminação onde a preocupação se restringe a observar à NBR 5413. No entanto, é importante que haja preocupação com outros fatores relacionados ao estudo da iluminação, tais como o ofuscamento, as sombras, os

efeitos psicológicos, a necessidade ou não de uma alta reprodução de cores no ambiente. A NBR 5413 fornece uma base importante, mas trata apenas de aspectos quantitativos e dependendo da situação e finalidade do projeto de iluminação, a análise qualitativa pode ser ainda mais importante.

A tarefa visual é outro aspecto importante, pois relacionado a ela devem ser analisados aspectos qualitativos como o contraste entre a luminosidade do objeto e o fundo, o tamanho, a forma e textura do objeto, o tempo de observação e a qualidade da luminária. Além de todos estes fatores, o arquiteto deve estar atento para que o sistema de iluminação escolhido seja atual e econômico.

Deve existir, portanto, uma análise cuidadosa da tarefa visual, pois além de ser o ponto de partida e a base para a qualidade do sistema de iluminação, tem implicação direta na economia de energia. As análises quantitativas permitem que se conheçam os níveis mínimos de iluminamento nos ambientes para que sejam utilizados sistemas que correspondam às exigências mínimas de iluminação.

Assim, o desafio do arquiteto é a busca permanente de edificações energeticamente eficientes para que possam produzir o bem estar do homem no espaço em que vive e trabalha e, principalmente, observar que é a luz que dá forma a esse espaço e o integra ao ambiente. Portanto, é fundamental, uma abordagem de todos os problemas arquitetônicos relacionados à iluminação, que possibilitem a compreensão do espaço antes e depois de sua construção, avaliando seu desempenho qualitativo, quantitativo e energético.

A respeito do aspecto luminoso, HOPKINSON et al. (1975) definem como conforto luminoso “É o prazer e satisfação visuais proporcionados por um ambiente, conduzindo a uma sensação de bem-estar.”

2.3. DISPONIBILIDADE DA LUZ NATURAL

A principal fonte da luz natural é o Sol. A iluminação proveniente dessa fonte propaga-se pela atmosfera através do ar, vapor d'água e poeira, e fornece tanto iluminação direta como difusa através da abóbada celeste, tornando-a mais ou menos clara, caracterizando-a como uma fonte geradora de luz

A iluminação produzida pela abóbada celeste depende de sua luminância. Ela varia de acordo com uma série de parâmetros meteorológicos, sazonais e geométricos,

caracterizando uma complexa especificação, pois sua distribuição muda a partir de pequenas variações de tempo. É através da difusão e da reflexão entre nuvens e superfícies que a luz se dirige às aberturas e ilumina o interior das edificações (LAMBERTS et al. 2004).

A disponibilidade da luz natural é a quantidade de luz em um determinado local, por certo período de tempo, em função das suas características geográficas e climáticas. Dados e técnicas para a estimativa das condições da disponibilidade da luz natural são importantes para a avaliação do desempenho final de um projeto em termos de conforto visual e consumo de energia. Esta estimativa se relaciona à maneira como varia a quantidade de luz durante o dia e as épocas do ano, quanto dura essa iluminação ao longo do dia e os motivos pelos quais as localidades dispõem de mais ou menos luz.

Os principais fatores determinantes da disponibilidade da luz natural são: a sazonalidade que, de acordo com o movimento do Sol, modifica a luminosidade natural, variando com a época do ano e hora do dia; o clima que compreende tanto a formação resultante de diversos fatores espaciais e geomorfológicos quais sejam: movimento de rotação e translação, energia solar, latitude, altitude, ventos, distribuição das terras e das águas, vegetação, etc.; quanto sua caracterização definida pelos elementos: temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações, torna-se, pois, importante para a compreensão do sistema atmosférico, (MAITELLI, 1994); a qualidade do ar, características físicas e geográficas, que lidam com os dados de latitude, continentalidade e altitude; bem como a orientação e configuração morfológica do entorno construído.

A disponibilidade de luz natural para qualquer região é determinada pela quantidade de radiação solar incidentes nas diferentes estações do ano. As regiões que recebem os raios solares com grande ângulo durante a maior parte do ano são quentes e luminosas, aquelas que recebem os raios solares só com um ângulo pequeno e durante períodos mais curtos do ano, são frias e escuras no inverno. (MASCARÓ, 1983).

A maior recepção de radiação solar sobre a superfície da Terra num dia claro de verão corresponde a uma zona entre 20° e 45° de latitude. Nessas latitudes compensa-se a grande recepção da luz solar num dia de verão por uma muito pequena num dia de inverno, sendo assim, a maior insolação total anual corresponde a latitudes próximas de 15°. Nessas latitudes o efeito de verão é importante e entra em consideração no projeto dos edifícios. (MASCARÓ, 1983).

2.4. LUZ

De acordo com a Teoria Eletromagnética de J. C. MAXWELL, a luz é uma radiação eletromagnética que se propaga no espaço vazio e que é capaz de produzir sensação visual no olho humano. Na natureza estão presentes radiações capazes de provocar reações diversas no ser humano, como as ondas de rádio, microondas, raios X, raios gama, raios infravermelhos, raios ultravioleta, etc. A luz é uma parcela do espectro eletromagnético compreendida entre os comprimentos de onda de 400 a 700 nm, que o olho humano consegue perceber, como mostra a Figura 1. Existe uma estreita relação entre o comprimento de onda e a cor da luz percebida pelo olho humano. Nos comprimentos de onda de 400 a 440 nm tem-se a cor violeta, de 440 a 500 nm a cor azul, de 500 a 570 nm a cor verde, de 570 a 590 nm a cor amarela, de 590 a 630 nm a cor laranja e finalmente de 630 a 700 nm a cor vermelha.

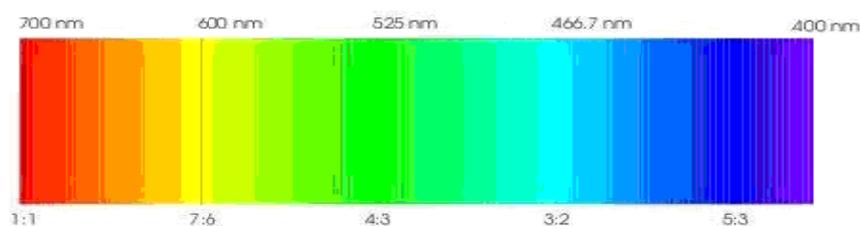


FIGURA 1 – Espectro visível

O homem é um ser totalmente dependente da luz, pois cerca de 70% da percepção humana é visual. Ela faz parte da sua vida, do seu dia a dia, do seu modo de ver e sentir o mundo. Desde que nasce o homem está sendo submetido ao ritmo da natureza, da existência da noite e do dia, elementos que são condições necessárias para que ele se sinta pertencente ao próprio tempo.

O homem como um ser predominantemente visual é mais fortemente afetado pela luz do que por qualquer outra sensação. Forma e cor determinam a percepção do entorno físico através dos olhos, e nos dão uma mais clara e vívida impressão do espaço do que os sentidos tátil, auditivo e olfativo. (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

2.5. ILUMINÂNCIA

O fluxo luminoso de uma fonte de luz é a razão entre a quantidade de energia radiante visível que ela emite durante um certo tempo e este intervalo de tempo.

A Iluminância, Iluminamento ou Aclaramento (E), em lux (lúmem . m^{-2}), indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície (A) situada a uma certa distância dessa fonte, como mostrado na figura 2. A equação que expressa esta grandeza é:

$$E = \frac{\varphi}{A} \left(\frac{lm}{m^2} \right) \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

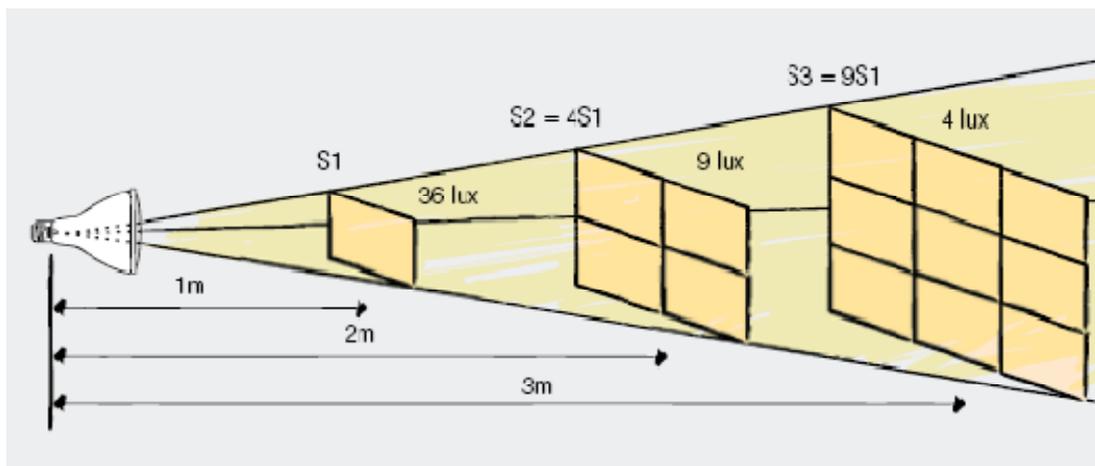


FIGURA 2 – Lei do inverso do quadrado da distância
FONTE: MANUAL DA OSRAM

A Iluminância pode ser definida como a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância (I/h^2), como mostrado na Figura 2. Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro.

Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se, por isso, a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida, relacionados ao conforto visual.

2.6. LUMINÂNCIA

Luminância é uma medida da densidade da intensidade de uma luz refletida numa dada direção, cuja unidade SI é a candela por metro quadrado ($cd.m^{-2}$). Descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície em questão, e decai segundo um ângulo sólido, como na Figura 3. (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

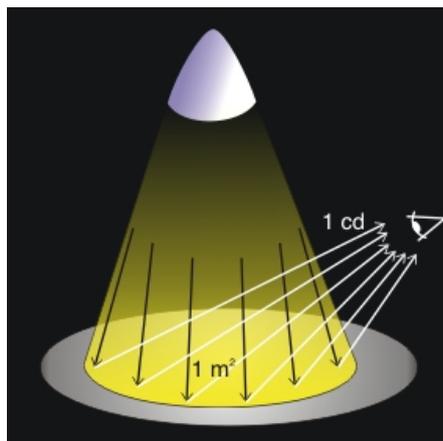


FIGURA 3 – Ângulo sólido
FONTE: VIANNA & GONÇALVES, 2001

A luminância pode ser descrita pela equação:

$$L = \frac{d^2F}{dSd\Omega\cos\theta}$$

EQUAÇÃO 2

Na equação 2:

L é a luminância, medida em candelas.m⁻².

F é o fluxo luminoso, em lumens.

dS é o elemento de superfície considerado, em m².

dΩ é o elemento de ângulo sólido, em estereorradianos.

θ é o ângulo entre a normal à superfície e a direção considerada.

Uma vez que os objetos possuem diferentes capacidades de reflexão da luz, pode-se dizer que certa iluminância pode gerar diferentes luminâncias.

2.7. DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA (E)

O olho humano tem uma capacidade muito grande de adaptação às condições de iluminação existente. Isso pode ser notado verificando-se a nossa percepção frente a condições tão extremas de luz, como o Sol direto e à noite.

Em algumas tarefas, o modo como o olho nos indica se o nível de iluminação está ou não adequado é exatamente por meio da nossa reação fisiológica, ou seja, o maior ou menor esforço que fazemos para ver, e conseqüentemente, o maior ou menor cansaço visual que sentimos. (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

Os níveis de iluminância são baseados empiricamente por meio de testes que relacionam o desempenho da tarefa visual com suas variações. Estudos realizados mostram que a acuidade visual está diretamente relacionada ao nível de iluminação e que ela é determinada principalmente pela relação de luminância entre as tarefas e seu entorno.

Logicamente, existe a necessidade de considerarmos o problema econômico que, envolve o aumento do nível de iluminância. Nossa decisão deve ser tomada levando-se em consideração o máximo de acuidade visual que será conseguida, sem, que os níveis de iluminância sejam demasiadamente elevados.

O desempenho na realização de uma tarefa obviamente se relaciona com a acuidade visual, mas também com a complexidade e a dificuldade da própria tarefa em si, da capacidade e experiência que o próprio indivíduo tem em realizá-la. Alguns fatores que devem ser levados em consideração para determinação do nível de iluminação para tarefas visuais:

- a) O tamanho dos detalhes críticos dessas tarefas;
- b) A distância que esses detalhes são vistos;
- c) A luminância das tarefas em função do fator de reflexão;
- d) Os contrastes entre tarefas e entornos;
- e) A velocidade com que essas tarefas devem ser desenvolvidas;
- f) O grau de precisão exigida na sua realização;
- g) A idade de quem realiza.

A determinação das características de um ambiente não é feita somente por meio do nível de iluminância necessário, mas por uma série de fatores. Muitas vezes, o nível de iluminância pode não ser tão importante frente ao caráter que desejamos dar ao ambiente, como o uso das cores, o jogo entre sombra e luz etc. É sempre a função do local que nos dirá quais os fatores mais importantes que merecem nossa maior preocupação. Logicamente, as necessidades numa igreja, restaurante, cinema e habitações não são as mesmas.

O critério mais utilizado para se determinar os níveis de iluminação convenientes para cada tarefa foi o da maior eficiência. Num primeiro momento,

eficiência foi sinônimo de produtividade. Ainda hoje ela é de certa forma entendida assim: maior rapidez no trabalho, menor cansaço e eliminação de erros cometidos.

2.8. NÍVEIS MÍNIMOS DE ILUMINÂNCIA

A norma NBR – 5413 (1992) – “Iluminância de interiores / Especificação”, trata basicamente dos níveis de iluminância mínimos e médios para as diferentes tarefas visuais, de acordo com o Quadro 1, e estabelece como condições gerais principais:

a) A iluminância deve ser medida no campo de trabalho. Quando este não for definido, entende-se o nível do referente a um plano horizontal a 0,75m do piso;

b) No caso em que seja necessária uma elevada iluminância em um limitado campo de trabalho, este pode ser conseguido com iluminação suplementar;

c) A iluminação no restante do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor adotado para o campo de trabalho, mesmo que a iluminância recomendada para o restante do ambiente seja menor.

QUADRO 1 – Iluminância por classes de tarefas visuais

FAIXA	ILUMINÂNCIA(lux)	TIPO DE ATIVIDADE
A. Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	de 20 a 50	Áreas Públicas com arredores escuros
	de 50 a 100	Orientação simples para permanência curta
	de 100 a 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
B. Iluminação geral para áreas de trabalho	de 200 a 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
	de 500 a 1.000	Tarefa com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	de 1.000 a 5.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C. Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	de 2.000 a 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônicas de tamanho pequeno
	de 5.000 a 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de micro-eletrônica.
	de 10.000 a 20.000	Tarefas visuais muito especiais

FONTE: NBR – 5413 (1992)

2.9. IMPORTÂNCIA E PRINCÍPIOS BÁSICOS DO CONFORTO LUMÍNICO

“O olho é um instrumento óptico que coleta as ondas luminosas e as transforma em impulsos nervosos que estimulam o cérebro, permitindo a formação e decodificação das imagens” (KRAUSE et al., 2004).

O conforto visual ou conforto lumínico é o primeiro determinante da necessidade de iluminação em um edifício. A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento.

Os ambientes construídos são iluminados para permitir o desenvolvimento de tarefas visuais. Cada tarefa visual, em função do nível de detalhes envolvidos merece ser iluminada adequadamente. Embora possa variar de um indivíduo a outro, podemos dizer que a ausência de uma situação mínima de conforto visual, traz fadiga e desgaste dos órgãos visuais, reduz a acuidade visual trazendo o mau desempenho das tarefas propostas.

Conforto visual ou conforto lumínico, segundo LAMBERTS et al. (2004), é a existência de um conjunto de variações, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, com o menor risco de prejuízo à vista e com reduzidos riscos de acidente.

Estas condições, que estão relacionadas aos requisitos necessários para a ocorrência tranqüila do processo visual, podem ser classificadas como seguem:

- a) Iluminância suficiente;
- b) Boa distribuição de iluminâncias;
- c) Ausência de ofuscamento;
- d) Contrastes adequados (proporção de luminâncias);
- e) Bom padrão e direção de sombras.

A iluminação insuficiente pode causar fadiga, dor de cabeça e irritabilidade, além de provocar erros e acidentes. É importante balancear a quantidade e a qualidade da iluminação em um ambiente, bem como escolher adequadamente a fonte de luz natural ou artificial. A solução mais apropriada, buscando uma eficiência no uso da

iluminação, é que o projeto tenha como base a complementação e não a substituição da iluminação natural pela elétrica (CORBELLA, et al., 2003).

Torna-se difícil, no entanto, estimar as preferências humanas à iluminação, visto que este fator é subjetivo e varia conforme o sexo, a idade da pessoa, a hora do dia e as relações contextuais com o local. O emprego preferencial da luz natural permite às pessoas maior tolerância à variação no nível de iluminação.

O olho humano se adapta melhor à luz natural que à artificial, portanto é melhor trabalhar com luz natural. A luz artificial não reproduz as cores da luz natural, pois tem um espectro diferente, e nem varia conforme as horas do dia, reduzindo assim, a riqueza em cores e contrastes dos objetos iluminados. É importante notar também que a luz natural, além de seus benefícios para a saúde, dá a sensação psicológica do tempo – cronológico e climático – no qual se vive, ao contrário da monotonia fornecida pela luz artificial (CORBELLA, et al., 2003).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 5413 (1992), fixa as iluminâncias mínimas em função do tipo de tarefa visual.

Segundo LAMBERTS et al. (2004), as principais variáveis estudadas no conforto lumínico são o contraste e o ofuscamento, que serão descritas a seguir:

1. Contraste: é definido como a diferença entre a luminância (brilho) de um objeto e a luminância do entorno imediato deste objeto. Os extremos são o preto de um lado e uma só tonalidade intermediária do outro. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que por sua vez é função da iluminação, até certos limites, com a possibilidade de ocorrer ofuscamento (LAMBERTS et al., 2004).

2. Ofuscamento: ocorre quando o processo de adaptação não transcorre normalmente devido a uma variação muito grande da iluminação e/ou a uma velocidade muito grande, experimentando-se uma perturbação, desconforto ou até perda da visibilidade, que é chamada de ofuscamento. O ofuscamento pode ocorrer devido a dois efeitos distintos:

2.1. Por contraste: caso a proporção entre as luminâncias de objetos do campo visual seja maior do que 10:1.

2.2. Por saturação: o olho é saturado com luz em excesso; essa saturação ocorre normalmente quando a luminância média da cena excede a 25000 cd.m^{-2} .

Em geral a iluminação uniformemente distribuída no plano de trabalho é desejada em ambientes industriais e comerciais, associada com efeitos direcionais e sombras da iluminação geral, para acentuar a profundidade e forma dos objetos. As

sombras resultantes estão diretamente associadas a características de direcionalidade e intensidade do campo luminoso.

Todas essas condições físicas da luz podem ser resultantes de fonte de luz natural ou artificial. Salvo algumas exceções (câmaras escuras, cinemas, etc.), a maioria dos espaços ocupados pelo homem necessita abundantemente de luz. A luz natural é qualitativamente superior à luz artificial. O jogo de intensidades diferenciadas de luz, sombras e de reprodução das cores são informações espaço - temporais, que a luz natural fornece ao homem, fundamentais ao funcionamento do seu relógio biológico.

A iluminação artificial, embora mais limitada, permite ao homem estender suas atividades em momentos onde a luz natural não é suficiente, durante a noite, por exemplo. Isto tudo faz com que os profissionais da área necessitem de pensar em iluminação de forma a integrar fontes de luz naturais e artificiais. Assim, além de conceber ambientes mais agradáveis, onde o conforto visual é sempre possível, o projetista pode tornar seu projeto mais eficiente com relação ao consumo de energia elétrica necessária para o sistema de iluminação artificial.

2.10. EXIGÊNCIAS HUMANAS E FUNCIONAIS

A definição dos critérios gerais de desempenho a ser cumpridos para cada sub-área do conforto ambiental está em função de duas grandes variáveis:

- a) do uso do espaço – aspectos ligados à funcionalidade de cada ambiente, levando-se em consideração as condições mínimas para a realização de cada atividade, as superposições de funções etc. É a forma como o usuário recebe e usa o espaço;
- b) das exigências humanas e funcionais em relação ao conforto luminoso, térmico e acústico, que vai determinar os critérios de desempenho em si.

Assim, um fator essencial, como dado de projeto, em relação aos critérios de desempenho para todos os parâmetros de conforto ambiental, é a função da atividade a ser desenvolvida no ambiente. Nesse sentido, em relação à habitação, é necessário considerar cada dependência em separado: dormitório, sala, cozinha, banheiro e área de serviço, pois apresentam diferentes exigências de conforto.

Com relação à iluminação natural, três são os critérios gerais de desempenho:

- a) Níveis mínimos de iluminância estabelecidos pela NBR 5413 (1992) da ABNT para cada atividade;
- b) Não incidência de Sol direto para as atividades visuais de acuidade média como leitura, escrita, costura etc.;
- c) Uniformidade máxima entre dois pontos quaisquer do local.

Como as medidas realizadas neste estudo se limitaram ao espaço central da cozinha, nos limitaremos também a considerar somente esta localização na determinação da iluminação natural.

O nível de iluminação geral é relativamente baixo, sendo necessário um nível maior em alguns pontos localizados (pia, mesa e fogão) que muitas vezes é resolvido com iluminação artificial (VIANNA & GONÇALVES, 2001).

Os critérios específicos de acordo com a NBR 5413 (1992) da ABNT são:

- a) Nível de iluminância (NBR 5413) = 150 lux.
- b) Nível de iluminância local: 200-500 lux (fogão, pia e mesa).
- c) Uniformidade: não necessária, porém recomendável.
- d) Incidência de Sol direto: não permitida no plano de trabalho de preparo de alimentação por causar contrastes excessivos e possíveis acidentes com instrumentos cortantes; permitida em outras áreas da cozinha, contanto que se cumpram os critérios de desempenho térmico e de insolação. Quando for utilizado para leitura/escrita/desenho/costura, esta incidência não é permitida por causar ofuscamento e cansaço visual.

2.11. ABERTURAS E PROTEÇÕES SOLARES

Como a luz do Sol deve penetrar no ambiente por aberturas laterais ou zenitais, as janelas devem ser projetadas com disposição, altura e vão livre útil calculados em função das dimensões, da geometria e da profundidade do ambiente (HOPKINSON et al., 1975). O maior aproveitamento da luz natural, neste caso, ocorre perto das janelas, sendo comum um grande declínio à medida que nos afastamos dela, de acordo com a Figura 4.

Curva de Amortecimento da Iluminação Natural

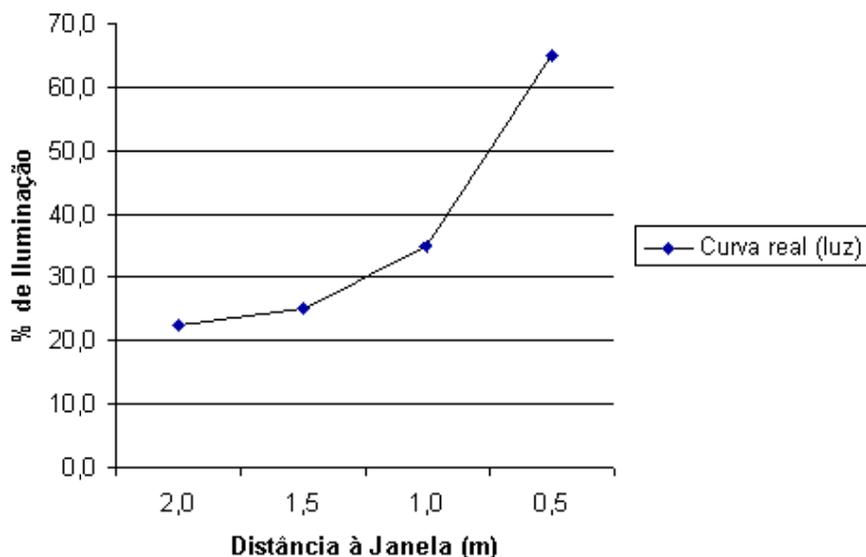


FIGURA 4 – Curva de amortecimento da iluminação natural no ambiente.
FONTE: PEREIRA. & SOUZA (2000)

Tamanho, forma, posição e proteção das aberturas, profundidade do local, altura do forro e decoração das superfícies internas estão intimamente relacionadas com a qualidade de iluminação. São também significativas as proporções do ambiente, a disposição interna dos ambientes do edifício em relação aos espaços abertos e de circulação e o uso que se faz do espaço disponível no terreno. Aberturas iluminantes corretamente dimensionadas, protegidas da radiação solar direta e mantidas em boas condições de uso, são fontes de luz eficientes e econômicas.

As aberturas laterais são as mais utilizadas, proporcionando além de iluminação, ventilação e contato visual com o exterior. As aberturas unilaterais proporcionam níveis de iluminação irregulares, decrescendo à medida que o afastamento com relação às aberturas aumenta. Segundo IESNA (1995), para evitar grandes escalas de iluminância, a distância da parede com aberturas até a parede interna deve ser limitada a duas vezes a altura principal da janela com vidro claro.

Ainda segundo IESNA (1995), as aberturas bilaterais permitem a duplicação da largura possível do ambiente com sistema unilateral. O segundo conjunto de janelas pode ocupar a parte mais alta da parede, o que reduz o risco de ofuscamento.

As aberturas zenitais permitem a entrada de luz através das superfícies horizontais. Deve-se associar a iluminação natural desse tipo de abertura a um

aquecimento no ambiente, já que as superfícies horizontais estão sujeitas a níveis mais elevados de radiação solar direta do que as verticais.

Os elementos de controle têm a função de regular a entrada de radiação solar direta nos ambientes, influenciando nos níveis de iluminação, no aquecimento do ambiente e no contato visual com o exterior. Os elementos de controle podem ser fixos ou móveis.

Entendido o movimento aparente do Sol percebido por um observador na Terra, pode-se utilizar este conhecimento para o traçado de proteções solares, os *brises*, que impeçam a entrada de raios solares no interior do ambiente durante as horas do dia e os meses do ano em que se deseja esta proteção.

Os *brises* reduzem a profundidade de penetração da luz nos ambientes, e melhoram a uniformidade, pois ajudam a diminuir o ofuscamento, na medida em que diminuem os altos valores de iluminância próximos às aberturas.

Os tipos de *brises* e suas dimensões são funções da eficiência desejada. Um *brise* será considerado eficiente quando impedir a entrada de raios solares.

Os *brises* horizontais impedem a entrada dos raios solares através da abertura a partir do ângulo de altitude solar e os *brises* verticais a partir do ângulo de azimute solar. Os *brises* mistos são a composição de *brises* verticais e horizontais.

As prateleiras de luz ou *light shelves*, assim como os *brises*, impedem a entrada de radiação solar no ambiente nos horários desejados. Porém, a prateleira de luz serve como um elemento para a reflexão dos raios solares para o interior do ambiente. A luz é refletida e atinge o teto onde é distribuída ao ambiente proporcionando uma iluminação mais uniforme, tornando-o mais agradável como na Figura 5.

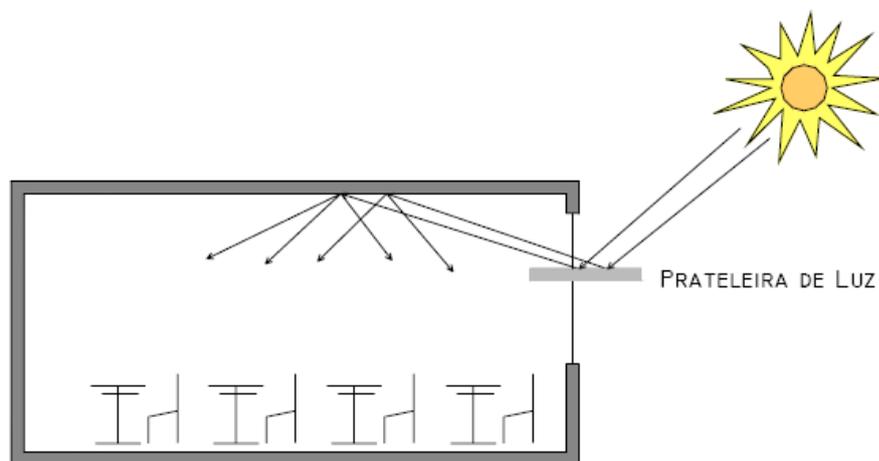


FIGURA 5 – Esquema de funcionamento da prateleira de luz.
FONTE: PEREIRA. & SOUZA (2000)

2.12. PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS MATERIAIS

Materiais expostos à luz se comportam de várias maneiras. Quando a luz incide numa superfície, uma fração ρ do total incidente é refletida, isto é, retorna ao hemisfério de procedência sem penetrar na matéria; outra porção, α é absorvida dentro do material, configurando-se num ganho de energia para o mesmo, enquanto a última fração τ pode ser transmitida como no caso de superfícies transparentes ou translúcidas para o outro lado, de acordo com Figura 6.

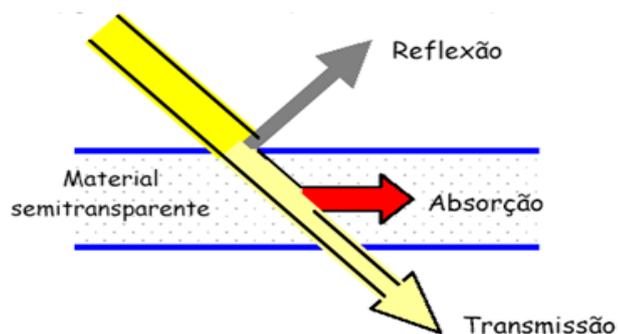


FIGURA 6 – Fluxo luminoso incidente em uma superfície.
FONTE: PEREIRA. & SOUZA (2000)

Caso Φ_i , Φ_r , Φ_a e Φ_t , sejam, respectivamente, o fluxo luminoso total incidente, refletido, absorvido e transmitido, pode-se denominar:

Refletância:

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad \text{EQUAÇÃO 3}$$

Absortância:

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad \text{EQUAÇÃO 4}$$

Transmitância:

$$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i} \quad \text{EQUAÇÃO 5}$$

Resultando na lei da conservação da energia luminosa:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{EQUAÇÃO 6}$$

A Tabela 1 apresenta a porcentagem de luz refletida, transmitida e absorvida por diversos materiais, mas, no entanto, não fornece nenhuma informação a respeito da forma de propagação da luz no interior de cada um deles.

TABELA 1 – Refletância, Absortância e Transmitância.

Material	Refletância	Absortância	Transmitância
Alumínio	0,55 - 0,90	0,45 - 0,10	
Aço polido	0,55 - 0,65	0,45 - 0,35	
Níquel	0,55	0,45	
Papel branco	0,70 - 0,85	0,30 - 0,10	0,10 - 0,20
Vidro transparente	0,06 - 0,08	0,04 - 0,02	0,80 - 0,90
Gesso	0,80 - 0,90	0,20 - 0,10	
Branco de cal	0,80	0,20	
Argamassa de cal	0,40 - 0,70	0,60 - 0,30	
Concreto	0,40 - 0,50	0,60 - 0,50	
Tijolo	0,18 - 0,32	0,82 - 0,68	
Madeira	0,15 - 0,50	0,85 - 0,50	
Espelho	0,70 - 0,85	0,30 - 0,15	

FONTE: PEREIRA & SOUZA (2000)

2.12.1. REFLEXÃO

A Figura 7 mostra como a direção da luz refletida é afetada pela rugosidade da superfície, variando de difusa, que é a luz refletida igualmente em todas as direções, a especular que é a luz refletida somente numa direção, isto é, igual à reflexão de um espelho.

Superfícies polidas e brilhantes produzem reflexão especular, com o raio de luz refletido localizando-se no plano de incidência e com ângulo de reflexão igual ao de incidência, de acordo com a Figura 7 a.

Superfícies rugosas refletem de modo predominantemente difuso, independentemente do ângulo de incidência, fazendo com que, a luminância da superfície seja resultado apenas da iluminação no plano da mesma e de sua refletância, de acordo com Figura 7 b.

A reflexão especular é dita "como de um espelho" porque ela mantém a aparência, direcionalidade e tamanho da fonte original. Superfícies que refletem

especularmente podem ser bastante úteis, mas igualmente prejudiciais caso as reflexões não sejam adequadamente controladas. Entretanto, em geral, as superfícies encontradas na prática não são nem perfeitamente difusas nem especulares, refletindo luz em várias direções em diferentes proporções, como mostra a Figura 7 c.

O uso adequado de reflexões compostas (semi-difusa ou semi-especular) pode ser bastante útil para o controle da direção da luz direta e/ou para suavizar as imagens.

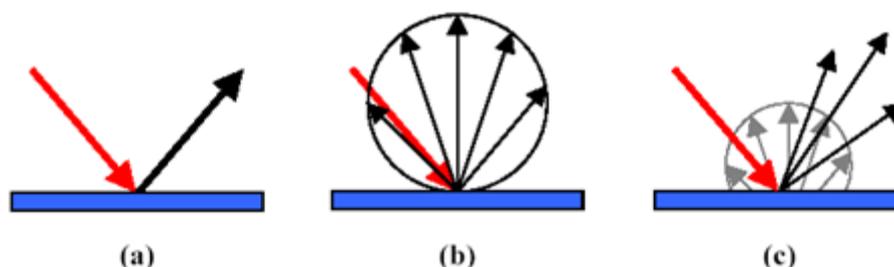


FIGURA 7 – Reflexão em superfície especular, difusa e composta.
FONTE: PEREIRA & SOUZA (2000)

2.12.2. ABSORÇÃO

Parte do fluxo luminoso incidente em uma superfície não é refletido nem transmitido, sendo absorvido por ela. A parcela absorvida pela superfície depende das características da mesma.

2.12.3. TRANSMISSÃO

A transmissão da luz através de superfícies não opacas ocorre de um modo similar ao do mecanismo da reflexão. A luz pode ser transmitida tanto de maneira difusa como colimada ou mesmo de uma forma combinada, produzindo resultados distintos no ambiente lumínico, de acordo com a Figura 8.

A transmitância de uma superfície é afetada pelo ângulo de incidência e pelas características difusoras da mesma. Novos tipos de vidro têm sido estudados e propostos no sentido de aumentar a transmissão da luz natural e a reflexão da radiação térmica.

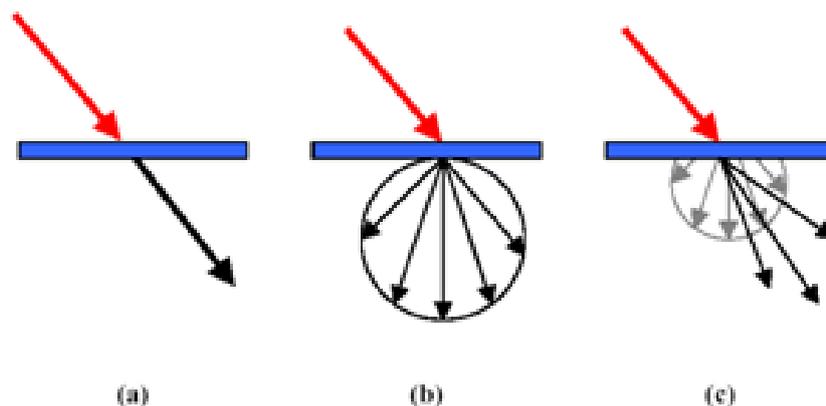


FIGURA 8 – Transmissão em superfície especular, difusa e composta.
FONTE: PEREIRA & SOUZA (2000)

2.12.4. REFRAÇÃO

O fenômeno de refração da luz ocorre quando ela atravessa materiais com índices de refração diferentes, sendo que a direção do feixe de luz é alterada durante sua trajetória através do material. Esta modificação na direção é causada por uma modificação na velocidade da luz. A velocidade diminui se o novo meio é opticamente mais denso do que o primeiro, e aumenta, quando este meio é menos denso. A modificação na velocidade é seguida por um desvio da luz que é conhecido como refração, como pode ser visto na Figura 9.

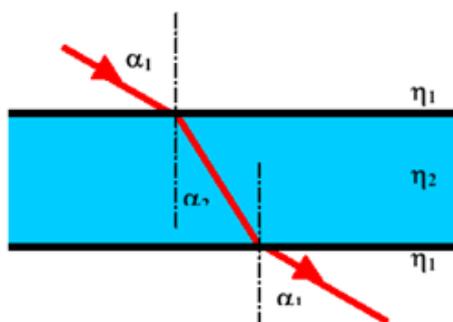


FIGURA 9 – Refração da luz entre dois meios diferentes.
FONTE: PEREIRA & SOUZA (2000)

A lei da refração é descrita pela Equação 7, onde η_1 e η_2 são os índices de refração do primeiro e do segundo meio respectivamente, α_1 o ângulo de incidência do fluxo luminoso e α_2 o ângulo de refração da luz.

EQUAÇÃO 7

A Tabela 2 fornece índices de refração de alguns meios, para um determinado comprimento de onda, e como o índice de refração do ar é igual a 1,00, a Equação 7 resulta na Equação 8:

TABELA 2 – Índice de Refração

Meio	Índice de refração (η)
Ar	1,00
Água	1,33
Vidro comum	1,50 - 1,54
Cristal	1,56 - 1,78

FONTE: PEREIRA & SOUZA (2000)

EQUAÇÃO 8

2.13. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

2.13.1. INTRODUÇÃO

A análise de componentes principais, (*Principal Componentes Analysis*, PCA), foi introduzida por KARL PEARSON em 1901 e está fundamentada no artigo de HOTELLING de 1936. É uma técnica estatística poderosa que pode ser utilizada para redução do número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados. A análise de componentes principais fornece as ferramentas adequadas para identificar as variáveis mais importantes no espaço das componentes principais, MINGOTI (2007).

A PCA é um modelo fatorial no qual os fatores são baseados na variância total. Na PCA, unidades (1s) são usadas na diagonal da matriz de correlação, que é uma tabela que mostra as intercorrelações entre todas as variáveis. Esse procedimento implica computacionalmente que toda a variância é comum ou compartilhada.

A PCA pode ser compreendida como uma técnica de transformação linear que transforma um dado conjunto de variáveis correlacionadas em fatores não correlacionados.

Em geral, essa técnica pode ser usada com as seguintes finalidades: redução dos dados, detecção de "outlier" multivariado, decifrar a matriz de correlação, identificar fatores subjacentes e detectar correlação intrínseca.

A PCA é um dos métodos multivariados mais simples. O objetivo da PCA é o de explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p variáveis aleatórias, por meio da construção de combinações lineares das variáveis originais. Estas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si, MINGOTI (2007).

Assim, o objetivo é tomar p variáveis X_1, X_2, \dots, X_p e encontrar combinações destas para produzir índices Z_1, Z_2, \dots, Z_p que sejam não correlacionados na ordem de sua importância, e que descreva a variação nos dados. A falta de correlação significa que os índices estão medindo diferentes "dimensões" dos dados, e a ordem é tal que $VAR(Z_1) \geq VAR(Z_2) \geq \dots \geq VAR(Z_p)$, em que $VAR(Z_1)$ denota a variância de (Z_1) . Os índices Z são então os componentes principais.

Existem muitos exemplos na literatura que utilizam a PCA. A título de ilustração, destacam-se:

JOHNSON & WICHERN (2002), na aplicação de técnicas de estatística multivariada na avaliação da reação de pacientes à radioterapia;

MINGOTI & SILVA (1997), na aplicação de técnicas de estatística multivariada na construção de índices de preços em estabelecimentos comerciais de Belo Horizonte, MG;

MINGOTI et al. (1998) e BARBOSA et al. (1997), na aplicação de técnicas de estatística multivariada na avaliação da qualidade de água da bacia do Rio Piracicaba e parte do médio Rio Doce;

KOURTI & MACGREGOR (1996) na aplicação de técnicas de estatística multivariada no controle de qualidade de processos e produtos;

FISHER & MARA (1986) na aplicação de técnicas de estatística multivariada para controle de avaliação de instrumentos analíticos multi-determinantes automatizados por computador;

TESCH & OTTO (1995) na aplicação da análise de componentes principais na caracterização e interpretação das propriedades do carvão;

MARANGONI et al.(2004) na caracterização do comportamento da mistura etanol e metanol, utilizando a Espectroscopia Raman e a análise dos componentes principais (PCA).

2.13.2. PROCEDIMENTO PARA UMA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Uma análise de componentes principais começa com dados de p variáveis para n indivíduos. O primeiro componente principal é então a combinação linear das variáveis X_1, X_2, \dots, X_p

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad \text{EQUAÇÃO 9}$$

que varia tanto quanto possível para os indivíduos, sujeitos à condição de que

$$Z_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \quad \text{EQUAÇÃO 10}$$

Assim $VAR(Z_1)$, a variância de Z_1 , é tão grande quanto possível dada esta restrição sobre as constantes. a_{1j} . A restrição é introduzida porque se isto não é feito, então $VAR(Z_1)$, pode ser aumentada fazendo simplesmente crescer qualquer um dos valores a_{1j} .

O segundo componente principal

$$Z_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p \quad \text{EQUAÇÃO 11}$$

é escolhido de modo que $VAR(Z_2)$ seja tão grande quanto possível sujeito à restrição de que

$$a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1$$

EQUAÇÃO 12

e também à condição de que Z_1 e Z_2 tenham correlação zero para os dados.

O terceiro componente principal,

$$Z_3 = a_{31}X_1 + a_{32}X_2 + \dots + a_{3p}X_p$$

EQUAÇÃO 13

é tal que a $VAR(Z_3)$ seja tão grande quanto possível sujeita à restrição de que

$$a_{31}^2 + a_{32}^2 + \dots + a_{3p}^2 = 1$$

EQUAÇÃO 14

e também que Z_3 seja não correlacionada com ambas Z_1 e Z_2 . Posteriores componentes principais são definidos continuando da mesma maneira. Se existem p variáveis, então existirão no máximo p componentes principais.

Para se usar os resultados de uma análise de componentes principais, não é necessário saber como as equações, para os componentes principais, são obtidas.

Entretanto, é útil entender a natureza das equações. De fato, uma análise de componentes principais envolve encontrar os autovalores de uma matriz de covariâncias amostral.

A matriz de covariâncias é simétrica e tem a forma:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & c_{pp} \end{pmatrix}$$

EQUAÇÃO 15

em que o elemento c_{ii} na diagonal é a variância de X_i e o termo fora da diagonal c_{ij} é a covariância entre as variáveis X_i e X_j .

As variâncias dos componentes principais são os autovalores da matriz \mathbf{C} . Existem p destes autovalores, alguns dos quais podem ser zero. Autovalores negativos não são possíveis para uma matriz de covariância. Assumindo que os autovalores estão

ordenados como $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$, então λ_i corresponde ao i -ésimo componente principal

$$Z_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad \text{EQUAÇÃO 16}$$

Em particular, $\text{VAR}(Z_i) = \lambda_i$ e as constantes $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}$ são os elementos do correspondente autovetor, escalonado de modo que

$$a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ip}^2 = 1 \quad \text{EQUAÇÃO 17}$$

Uma propriedade importante dos autovalores é que a soma deles é igual à soma dos elementos da diagonal (o traço) da matriz \mathbf{C} . Isto é,

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p = c_{11} + c_{22} + \dots + c_{pp} \quad \text{EQUAÇÃO 18}$$

Porque c_{ii} é a variância de X_i e λ_i é a variância de Z_i , isto significa que a soma das variâncias dos componentes principais é igual à soma das variâncias das variáveis originais. Portanto, em certo sentido, os componentes principais contam com toda a variação nos dados originais.

A fim de evitar uma ou duas variáveis tendo uma indevida influência nos componentes principais, é usual codificar as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p para terem médias zero e variâncias um no início de uma análise. A matriz \mathbf{C} então toma forma

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & c_{12} & \dots & c_{1p} \\ c_{21} & 1 & \dots & c_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad \text{EQUAÇÃO 19}$$

em que $c_{ij} = c_{ji}$ é a correlação entre X_i e X_j . Em outras palavras, a análise de componentes principais é feita sobre a matriz de correlação. Neste caso, a soma dos termos da diagonal, e, portanto, a soma dos autovalores, é igual a p , o número de variáveis X .

Os passos em uma análise de componentes principais podem agora ser estabelecidos:

- a) Comece codificando as variáveis X_1, X_2, \dots, X_p para terem médias zero e variâncias unitárias. Isto é usual, mas é omitido em alguns casos em que se assume que a importância das variáveis é refletida em suas variâncias.
- b) Calcule a matriz de covariâncias C . Esta é uma matriz de correlações se o passo 1 foi feito.
- c) Encontre os autovalores $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ e os correspondentes autovetores a_1, a_2, \dots, a_p . Os coeficientes do i -ésimo componente principal são então os elementos de a_i , enquanto que λ_i é sua variância.
- d) Descarte quaisquer componentes que explicam somente uma pequena proporção da variação nos dados. Por exemplo, começando com 20 variáveis, pode ser obtido que os primeiros três componentes expliquem 90% da variância total. Com base nisso, ou outros 17 componentes podem ser razoavelmente ignorados.

A padronização das medidas assegura que todas elas têm o mesmo peso na análise. Omitir a padronização significaria que certas variáveis, tenderiam a dominar os componentes principais.

2.14. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

2.14.1. INTRODUÇÃO

A geoestatística tem por objetivo, estudar as variáveis que possuem algum grau de dependência espacial ou temporal.

Quando uma determinada propriedade varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso por meio da dependência espacial, a estatística clássica não deve ser aplicada e, portanto uma estatística relativamente nova, a Geoestatística, pode substituir a metodologia clássica, produzindo melhores resultados de estimativas. O método foi proposto por MATHERON, em 1963, e leva em consideração a variabilidade espacial do fenômeno estudado.

O uso do semivariograma e de um método de interpolação chamado krigagem, possibilitam a construção de mapas de contornos (isolinhas ou curvas de nível) com alta precisão, uma vez que após a interpolação, a densidade espacial de dados será muito maior do que antes, além de oferecer também os limites de confiança para o mapa, por

meio da variância da estimativa. Além disso, conhecendo-se os semivariogramas das variáveis em estudo, e os semivariogramas cruzados daquelas correlacionadas, pode-se usar a krigagem ou a co-krigagem para delinear espaçamento e disposição de amostras no campo para se obter uma variância de estimativa prefixada.

O termo krigagem ou krigagem é derivado do nome de DANIEL G. KRIGE, que foi o primeiro a introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (DELFINER & DELHOMME, 1975). Inicialmente, o método de krigagem foi desenvolvido para solucionar problemas de mapeamentos geológicos, mas seu uso expandiu-se com sucesso no mapeamento de solos, mapeamento hidrológico, mapeamento atmosférico, engenharia e outros campos correlatos.

Na literatura existem vários trabalhos das mais diversas áreas do conhecimento que utilizaram a geoestatística como método de estudo:

CARNEIRO (2006) avaliou a predição espacial da concentração de monóxido de carbono gerado pelo volume de tráfego veicular urbano, a partir dos levantamentos dessas variáveis em uma série de pontos da área central da cidade de Florianópolis, realizados de abril a agosto de 2005, produzindo representações espacializadas de predição pelos métodos de krigagem e cokrigagem ordinárias. Os resultados são confirmados pela validação cruzada e independente.

LOU (2004) avaliou a distribuição espaço-temporal da chuva por meio da geoestatística. Os dados de chuva foram obtidos pelos postos pluviométricos localizados na bacia do Alto-Tiete e pelas estimativas feitas pelo radar meteorológico de São Paulo. Os resultados dessa análise estrutural mostraram a presença de correlação espacial dos dados.

AMARAL et al. (2010) estudaram a variabilidade espacial das análises de biomassa e carbono - que estão em destaque hoje como serviços ambientais prestados por uma floresta - em fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM), utilizando krigagem ordinária. Os dados foram georreferenciados e obtidos em 45 unidades amostrais utilizadas em levantamento fitossociológico em 2007, numa área em General Carneiro (PR), com aplicação de equações alométricas ajustadas. As análises espaciais e elaboração de mapas foram realizadas no programa GS+®. Foi possível ajustar os semivariogramas, utilizando o modelo exponencial, obtendo-se forte dependência espacial para as respectivas variáveis, resultando em mapas de isovalores.

RODRIGUES & SILANS (2007) analisaram a variabilidade espacial da precipitação no litoral do nordeste brasileiro por meio da geoestatística, focalizando o estado da Paraíba. Os períodos escolhidos para análise foram: o período anual, o período onde domina as ondas de leste (meses de Abril a Agosto), o período onde domina a Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT), que corresponde aos meses de Janeiro a Março e o período onde domina o Vórtice Ciclônico da Alta Troposfera (VCAT) (de Outubro a Dezembro). Para ondas de leste as correlações foram significativas, isso indica a existência de um ordenamento espacial que decrescem de leste para oeste. A geoestatística foi aplicada somente para Ondas de Leste. A relação espacial não pode ser observada, pois não havia um número de estações suficiente (17 postos da SUDENE).

ALMEIDA (2008) analisou comparativamente a espacialização da chuva de acordo com método de estatística clássica (Polígonos de Thiessen) e geoestatístico (Krigagem Ordinária) visando sua utilização na regionalização de informações hidrometeorológicas, em região semi-árida.

SOUZA et al. (2004) estudaram a variabilidade espacial do pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V%) em um Latossolo Vermelho eutrófico sob cultivo de cana-de-açúcar, utilizando-se métodos da estatística clássica, análise geoestatística e técnica de interpolação de dados, com a finalidade de observar padrões de ocorrência destes atributos na paisagem.

O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras).

Na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados.

Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

Os procedimentos geoestatísticos baseados em técnicas de krigagem englobam análise exploratória, geração e modelagem de semivariogramas, validação do modelo e interpolação de krigagem e tem como principal objetivo a análise em duas dimensões

para dados espacialmente distribuídos, no que diz respeito à interpolação de superfícies geradas a partir de amostras e de medidas obtidas.

2.14.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A variabilidade espacial de algumas características do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores praticamente desde o início do século. SMITH (1910) estudou a disposição de parcelas no campo em experimentos de rendimento de variedades de milho, numa tentativa de eliminar o efeito de variações do solo. MONTGOMERY (1913), preocupado com o efeito do nitrogênio no rendimento do trigo, fez um experimento em 224 parcelas, medindo o rendimento de grãos. Vários outros autores, como WAYNICK & SHARP (1919), também estudaram variações de nitrogênio e o carbono no solo.

Os procedimentos usados na época baseavam-se na estatística clássica e utilizavam grandes quantidades de dados amostrais, visando caracterizar ou descrever a distribuição espacial da característica em estudo. Por estatística clássica entende-se aquela que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias.

KRIGE (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para tal, seria necessário levar em consideração a distância entre as observações. A partir daí surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Diferente dos métodos convencionais de estimação, a krigeagem está fundamentada na “Teoria das variáveis regionalizadas”, formalizada por MATHERON (1963, 1971) e baseada nas observações de KRIGE (1951). Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples.

A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes (BURROUGH, 1987):

- a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada;
- c) um ruído aleatório ou erro residual.

Se \mathbf{x} representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z , em \mathbf{x} , é dada por (BURROUGH, 1987):

$$Z(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}) + \varepsilon'(\mathbf{x}) + \varepsilon'' \quad \text{EQUAÇÃO 20}$$

Na equação 20:

- $m(\mathbf{x})$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em \mathbf{x} ;
- $\varepsilon'(\mathbf{x})$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(\mathbf{x})$;
- ε'' é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

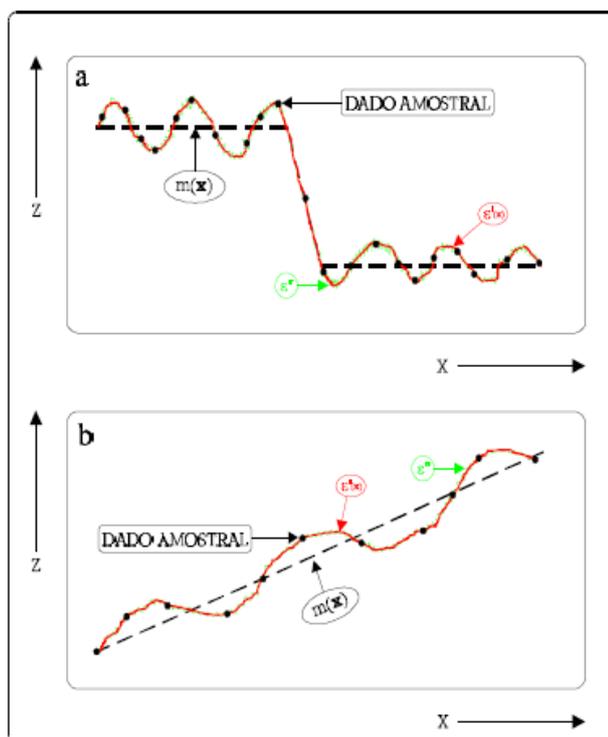


FIGURA 10 - Principais componentes da variação espacial. .
FONTE: CAMARGO (2006)

As Figuras 10(a) e 10(b) ilustram as três componentes principais da variação espacial. A Figura 10(a) apresenta uma componente determinística que varia abruptamente, enquanto a componente determinística na Figura 10(b) apresenta uma tendência constante.

2.14.3. HIPÓTESES CONSIDERADAS

As hipóteses mais comuns utilizadas na krigeagem são a "estacionaridade de 2ª ordem" e a "hipótese intrínseca" (BURROUGH, 1987):

- A componente determinística, $m(\mathbf{x})$, é constante (não há tendências na região)
- A variância das diferenças entre duas amostras depende somente da distância \mathbf{h} entre elas, isto é:

$$Var [Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})] = E\{[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})]^2\} = 2\gamma(\mathbf{h}) \quad \text{EQUAÇÃO 21}$$

Para mostrar a contribuição da semivariância $\gamma(\mathbf{h})$, podemos reescrever a equação 21 como:

$$Z(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}) + \gamma(\mathbf{h}) + \varepsilon \quad \text{EQUAÇÃO 22}$$

Em outras palavras, como supomos $m(\mathbf{x})$ ser constante, a variação local das amostras e seu relacionamento espacial pode ser caracterizado pela semivariância $\gamma(\mathbf{h})$.

2.14.4. VARIOGRAMA

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigeagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). Considere duas variáveis regionalizadas, X e Y , onde $X = Z(\mathbf{x})$ e $Y = Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})$. Neste caso, referem-se ao mesmo atributo, como por exemplo, o teor de zinco no solo, medido em duas posições diferentes, conforme ilustra a Figura 11, onde \mathbf{x} denota uma posição em duas dimensões, com componentes (x_i, y_i) , e \mathbf{h} um vetor distância (módulo e direção) que separa os pontos.

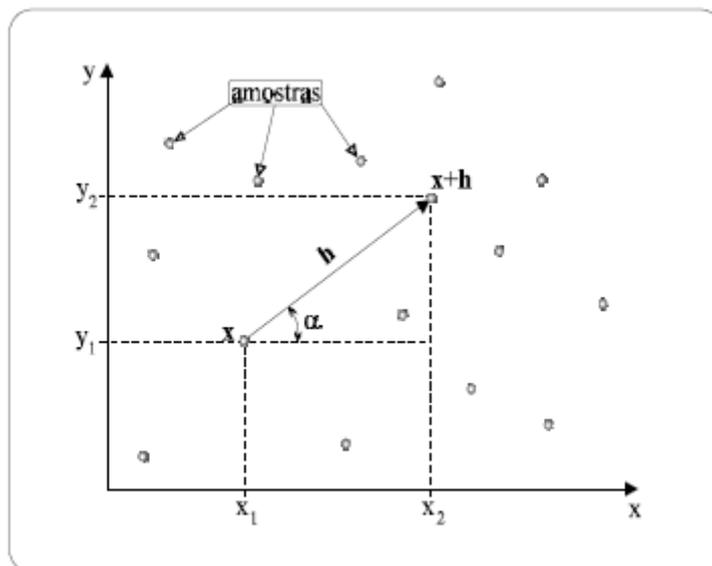


FIGURA 11– Amostragem em duas dimensões.
FONTE: CAMARGO (2006)

O nível de dependência entre essas duas variáveis regionalizadas, X e Y , é representado pelo variograma, $2\gamma(\mathbf{h})$, o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância \mathbf{h} , isto é,

$$2\gamma(\mathbf{h}) = E\{[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})]^2\} = \text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})] \quad \text{EQUAÇÃO 23}$$

Por meio de uma amostra $z(\mathbf{x}_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, o variograma pode ser estimado por

$$2\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [z(\mathbf{x}_i) - z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})]^2 \quad \text{EQUAÇÃO 24}$$

Na equação 24:

- $2\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ – é o variograma estimado;
- $N(\mathbf{h})$ – é o número de pares de valores medidos, $z(\mathbf{x}_i)$ e $z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$, separados por um vetor distancia \mathbf{h} ;
- $z(\mathbf{x}_i)$ e $z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ – são valores da i -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos \mathbf{x}_i e $\mathbf{x}_i + \mathbf{h}$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor distância \mathbf{h} .

2.14.5. PARÂMETROS DO SEMIVARIOGRAMA

A Figura 12 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $\{z(x_i) - z(x_i + \mathbf{h})\}$ decresçam à medida que \mathbf{h} , a distância que as separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\gamma(\mathbf{h})$ aumente com a distância \mathbf{h} .

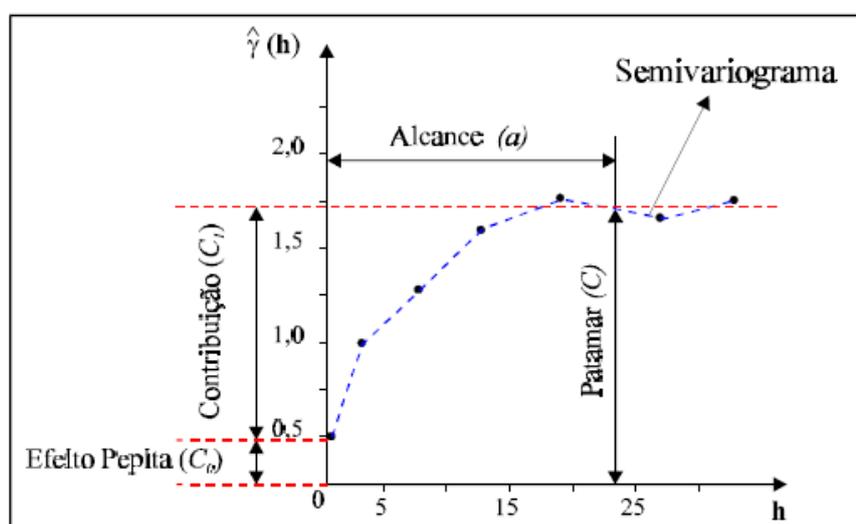


FIGURA 12– Exemplo de semivariograma.
FONTE: CAMARGO (2006)

Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente na Figura 12:

- Alcance (a ou A_0): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Na Figura 12, o alcance ocorre próximo de 25m.
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (A_0). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var} [Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})]$) torna-se invariante com a distância.
- Efeito Pepita (C_0): idealmente, $\gamma(\mathbf{0}) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que \mathbf{h} tende para 0 (zero), $\gamma(\mathbf{h})$ se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita (C_0), que

revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.

- Contribuição (C_1): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C_0).

Se o semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de h , for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , ocorre um Efeito Pepita Puro ou ausência total de dependência espacial. Isto significa que o alcance, A_0 , para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras. Para estes dados, tem-se uma distribuição espacial completamente aleatória, e a única estatística aplicável é a estatística clássica.

2.14.6. MODELOS TEÓRICOS

O gráfico do semivariograma experimental, $\hat{\gamma}(h)$, calculado por meio da Equação 24, é formado por uma série de valores, conforme ilustra a Figura 12, sobre os quais se objetiva ajustar uma função. É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $\hat{\gamma}(h)$, em relação a h . Deste modo, as estimativas obtidas a partir da krigagem serão mais exatas e, portanto mais confiáveis.

O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, por exemplo, mas sim interativo, pois nesse processo o intérprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode-se ou não redefinir o modelo, até se obter um que seja considerado satisfatório.

Os modelos básicos, denominados de modelos isotrópicos por ISAAKS & SRIVASTAVA (1989), estão divididos em dois tipos:

- modelos com patamar são referenciados como modelos transitivos. Alguns dos modelos transitivos atingem o patamar (C) assintoticamente. Para tais modelos, o alcance (a) é arbitrariamente definido como a distância correspondente a 95% do patamar. Os modelos transitivos mais utilizados são: modelo esférico (Sph), modelo exponencial (Exp) e modelo gaussiano (Gau) e estão apresentados na Figura 13 com o mesmo alcance (a ou A_0).

- modelos sem patamar são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão, e por isto, não tem variância finita e a covariância não pode ser definida.

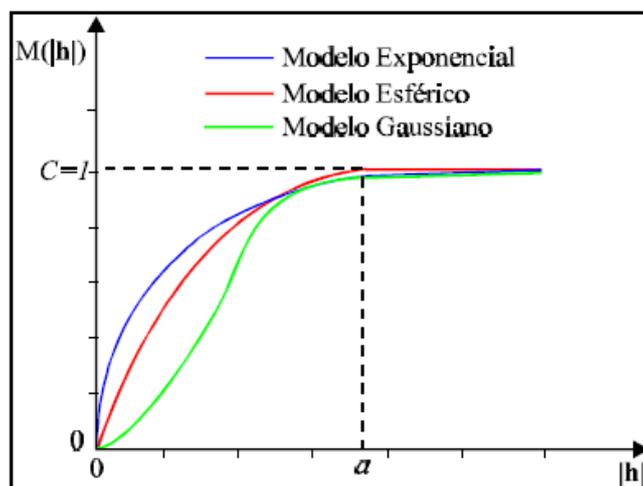


FIGURA 13 – Representação gráfica de modelos transitivos normalizados.
FONTE: CAMARGO (2006)

O modelo esférico é um dos modelos mais utilizados e está representado em vermelho na Figura 13. A equação normalizada deste modelo é:

$$Sph(|\mathbf{h}|) = \begin{cases} 0 & , \quad |\mathbf{h}| = 0 \\ 1,5 \left(\frac{|\mathbf{h}|}{a} \right) - 0,5 \left(\frac{|\mathbf{h}|}{a} \right)^3 & , \quad 0 < |\mathbf{h}| \leq a \\ 1 & , \quad |\mathbf{h}| > a \end{cases} \quad \text{EQUAÇÃO 25}$$

Outro modelo bastante utilizado é o modelo exponencial, o qual é apresentado em azul na Figura 13. A equação normalizada deste modelo é:

$$Exp(|\mathbf{h}|) = \begin{cases} 0 & , \quad |\mathbf{h}| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{h}|}{a}\right) & , \quad |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases} \quad \text{EQUAÇÃO 26}$$

Este modelo atinge o patamar assintoticamente, com o alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

O modelo gaussiano é um modelo transitivo, muitas vezes usado para modelar fenômenos extremamente contínuos (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Sua formulação é dada por:

$$Gau(|\mathbf{h}|) = \begin{cases} 0 & |\mathbf{h}| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{h}|}{a}\right)^2 & |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases} \quad \text{EQUAÇÃO 27}$$

Semelhante no modelo exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro a é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). O que caracteriza este modelo é seu comportamento parabólico próximo à origem, conforme representado na Figura 13 por meio da linha sólida verde.

Os ajustes aqui considerados são baseados no processo misto, onde os parâmetros são previamente definidos e depois ajustados automaticamente maximizando o valor do coeficiente de determinação R^2 , expresso na equação 28:

$$R^2 = 1 - (SQR - SQT) \quad \text{EQUAÇÃO 28}$$

O coeficiente de determinação, R^2 é uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. Na prática, é pouco comum que se tenha uma correlação perfeita ($R^2=1$).

A soma dos quadrados dos resíduos (SQR ou RSS) é dada pela equação 29:

$$SQR = \sum_{i=1}^n (\hat{\gamma}(h) - \gamma(h))^2 \quad \text{EQUAÇÃO 29}$$

A soma dos quadrados totais (SQT) é dada pela equação 30:

$$SQT = \sum_{i=1}^n (\hat{\gamma}(h) - \bar{\gamma}(h))^2 \quad \text{EQUAÇÃO 30}$$

Nas equações acima $\bar{\gamma}(h)$ é a média dos valores estimados do semivariograma $\hat{\gamma}(h)$.

2.14.7. KRIGEAGEM ORDINÁRIA

Segundo OLIVER & WEBSTER (1990), a krigeagem engloba um conjunto de métodos de estimação, a saber: krigeagem simples, krigeagem ordinária, krigeagem universal, Co-krigeagem, krigeagem disjuntiva, etc. Este trabalho limita-se somente à apresentação da krigeagem ordinária.

Considere uma superfície sobre a qual se observe alguma propriedade do solo, Z , em n pontos distintos, com coordenadas representadas pelo vetor \mathbf{x} . Assim, tem-se um conjunto de valores $\{z(\mathbf{x}_i), i = 1, \dots, n\}$, onde \mathbf{x}_i identifica uma posição em duas dimensões representada pelos pares de coordenadas (x_i, y_i) . Suponha que se objetive estimar o valor de Z no ponto \mathbf{x}_0 . O valor desconhecido de $Z(\mathbf{x}_0)$ pode ser estimado a partir de uma combinação linear dos n valores observados, adicionado a um parâmetro, λ_0 (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978):

$$Z_{\mathbf{x}_0}^* = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i) \quad \text{EQUAÇÃO 31}$$

Deseja-se um estimador não tendencioso, isto é,

$$E [Z_{\mathbf{x}_0} - Z_{\mathbf{x}_0}^*] = 0 \quad \text{EQUAÇÃO 32}$$

A relação acima impõe que as duas médias sejam iguais; assim, aplicando-se a Equação 31 na Equação 32, obtemos:

$$E[Z_{\mathbf{x}_0}] = E \left[\lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(\mathbf{x}_i) \right] \Rightarrow m = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i m \quad \text{EQUAÇÃO 33}$$

A krigeagem ordinária não requer o prévio conhecimento da média m . Nesse caso, para que a igualdade da Equação 33 seja satisfeita é necessário que:

$$\lambda_0 = 0 \text{ e } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{EQUAÇÃO 34}$$

Portanto, o estimador de krigeagem ordinária é:

$$Z_{\mathbf{x}_0}^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{x}_i), \quad \text{com} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \text{EQUAÇÃO 35}$$

JOURNEL & HUIJBREGTS (1978) mostram que, minimizando a variância do erro ($Var [Z_{\mathbf{x}_0} - Z_{\mathbf{x}_0}^*]$) sob a condição de que $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, os pesos λ_i são obtidos a partir do sistema de equações abaixo, denominado sistema de krigeagem ordinária:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) - \alpha = C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_0) & \text{para } i = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad \text{EQUAÇÃO 36}$$

Na equação 36,

- $C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ e $C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_0)$ são respectivamente, a semivariância entre os pontos \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_j e entre os pontos \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_0 .
- α é o multiplicador de LAGRANGE necessário para a minimização da variância do erro.

A correspondente variância minimizada do erro, denominada variância de krigeagem ordinária ($\sigma_{\mathbf{k}_0}^2$), é dada pela seguinte expressão (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978):

$$\sigma_{\mathbf{k}_0}^2 = Var [Z_{\mathbf{x}_0} - Z_{\mathbf{x}_0}^*] = C(0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_0) - \alpha. \quad \text{EQUAÇÃO 37}$$

A krigeagem ordinária é um interpolador exato no sentido de que, quando as equações acima forem usadas, os valores interpolados irão coincidir com os valores dos pontos amostrais. A variância da krigeagem ordinária, indicada na equação 37, fornece informação importante sobre a confiabilidade dos valores interpolados (BURROUGH, 1987).

2.15. O DÉFICIT HABITACIONAL NO BRASIL

No período de 22 a 26 de março de 2010, realizou-se no Rio de Janeiro, o 5º Fórum Urbano Mundial, que foi estabelecido pelas Nações Unidas para analisar um dos problemas mais urgentes que o mundo enfrenta hoje: a rápida urbanização e seu impacto nas comunidades, cidades, economias, mudanças climáticas e políticas globais.

Representantes do Ministério das Cidades anunciaram durante o Fórum, que de 2007 para 2008 o déficit habitacional no Brasil foi reduzido de 6,3 milhões para 5,8 milhões de domicílios, uma queda de 8%. No entanto, houve piora no indicador que mede o total de moradias com infraestrutura inadequada, que aumentou em 500 mil, chegando a 11 milhões de unidades, ou 22% dos domicílios urbanos.

A moradia é considerada inadequada quando há problema de acesso a pelo menos um dos seguintes serviços básicos: iluminação elétrica, abastecimento de água com canalização interna, rede geral de esgoto ou fossa séptica e coleta de lixo.

De acordo com dados do Ministério das Cidades, as famílias com renda de até três salários mínimos concentram 89,2% do déficit habitacional. O problema se agrava nas cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes. Segundo os dados, em 97,3% delas existem favelas, em 86,5%, cortiços e em 94,6%, loteamentos clandestinos ou irregulares. As áreas urbanas concentram 82% do déficit habitacional do País. Apesar de ainda ser alto, o déficit habitacional vem caindo e, nos últimos 16 anos, o percentual de pessoas morando em condições adequadas no País melhorou 15%. Segundo os dados, 50,7% da população morava em locais com boas condições em 1992. Esse percentual subiu para 65,7% em 2008.

Ainda de acordo com o Ministério, os índices de saneamento básico também registraram melhora entre 2007 e 2008. Nas cidades, a água tratada chega a 91,6% das famílias. Mas a situação no interior do País ainda é preocupante, já que apenas 27,4% das famílias têm acesso a água tratada e 51,5% não têm acesso ao serviço de esgoto.

O governo federal analisa o que levou ao avanço de moradias com infraestrutura inadequada. Uma das hipóteses é que tenha havido um crescimento no número de domicílios, mas que eles podem estar em áreas com infraestrutura inadequada. Basta não atender a um dos critérios para a moradia ser considerada inadequada.

Os cálculos foram feitos a partir de dados do IBGE pela Fundação João Pinheiro. Os itens que mais contribuem para o déficit são o ônus excessivo com aluguel (40,4%) e famílias vivendo no mesmo domicílio (39,6%).

Em 2007, houve mudança na metodologia de cálculo desse último indicador, após críticas de vários especialistas de que os dados usados pelo Ministério superestimavam o déficit por incluir toda família que coabitava numa residência com outra no cálculo do déficit.

Para o IBGE, se um casal abriga filhos e netos na mesma casa, considera-se que são duas famílias num mesmo domicílio. No entanto, em muitos casos, essa coabitação pode acontecer por opção, e não por necessidade. Por isso, a partir da Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD) de 2007, foi incluída uma pergunta específica sobre a vontade de famílias coabitando de viverem juntas ou não.

A mudança metodológica resultou na queda do déficit em 1 milhão de residências. Pelos critérios antigos para 2007, seriam 7,3 milhões. Pelos novos, 6,3 milhões para aquele ano. Pela metodologia antiga, o país já havia registrado queda de 2006 para 2007. A razão principal foi a melhoria da renda

O novo indicador do déficit habitacional estimado é de 5,8 milhões de domicílios, dos quais 82% estão localizados nas áreas urbanas. As principais áreas metropolitanas do país abrigam 1,6 milhões de domicílios representando 27% das carências habitacionais do país. Em relação ao total dos domicílios, o déficit representa 10,1% do país, sendo 9,7% nas áreas urbanas e 11,9% nas rurais.

Os estudos sobre o déficit habitacional no Brasil utilizam a metodologia originalmente elaborada pela Fundação João Pinheiro, adotada oficialmente pelo Ministério das Cidades e referência nacional entre os estudiosos da questão habitacional.

A metodologia se baseia em um conceito amplo de necessidades habitacionais que engloba tanto o déficit habitacional (domicílios que demandam incremento e reposição do estoque de moradias), como o déficit por inadequação (o conjunto de domicílios com especificidades que condicionam deficiências na qualidade de vida de seus moradores).

Quatro elementos compõem o cálculo do déficit: habitações precárias, coabitação familiar, ônus excessivo com aluguel e adensamento excessivo nos domicílios alugados. São consideradas habitações precárias os domicílios improvisados e os rústicos; a coabitação familiar se caracteriza pela convivência de famílias na

mesma moradia por falta de opção; o ônus excessivo com aluguel acontece quando mais de 30% da renda mensal de uma família com renda familiar de até três salários mínimos (R\$ 1.530) são destinados ao pagamento do aluguel; e o adensamento excessivo nos domicílios alugados quando mais de três pessoas dividem o mesmo dormitório.

Sempre que possível essa metodologia tem sido aprimorada com o objetivo de melhor retratar a situação do setor no país nesse sentido, destaca-se, a partir do cálculo dos indicadores para 2007, a introdução de duas perguntas específicas no questionário da PNAD, que qualificam as informações sobre a coabitação familiar, permitindo identificar, entre o total das famílias conviventes, aquelas que efetivamente desejam constituir um domicílio exclusivo. Essas alterações propiciaram, indiscutivelmente, um substantivo avanço metodológico.

Além dos aspectos de custo, ou seja, de ordem econômica, quanto à construção de moradias para a população de baixa renda, devem ser considerados aspectos de ordem ambiental e social.

A respeito dos aspectos ambientais no desenvolvimento de um sistema construtivo, deve-se observar que o ato de construir constitui basicamente uma intervenção no meio ambiente, na qual não apenas o local onde se constrói é modificado, como também um grande número de recursos naturais é despendido para este fim. Torna-se assim necessário que os danos ao meio ambiente sejam, à medida do possível, minimizados. Tal necessidade se refere não apenas ao bem-estar das sociedades atuais (KRUGER, 2002).

No atendimento, tanto aos aspectos ambientais quanto aos aspectos socioeconômicos do planejamento e execução de moradias, deve-se dar prioridade à procura por métodos racionais de se chegar ao produto final, ou seja, à habitação propriamente dita (KRUGER, 2002).

Acentuam-se também os problemas de difícil administração decorrentes do baixo índice brasileiro de urbanização, da falta e da incorreta aplicação de recursos públicos para investimentos essenciais.

3. ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são feitas explanações sobre as características geográficas, morfológicas e climatológicas da região onde a cidade de Cuiabá está inserida.

3.1. MUNICÍPIO DE CUIABÁ

O município de Cuiabá está localizado geograficamente na região centro sul do estado de Mato Grosso e apresentado na Figura 14 com uma área de 3.224,37 km². Com as “coordenadas geográficas 15°35’56” latitude Sul e 56°06’01” longitude Oeste”, o município está contido na Zona Intertropical, próximo ao Equador, sendo esta a justificativa para as pequenas diferenças existentes entre as estações e a ocorrência de altas temperaturas durante boa parte do ano.

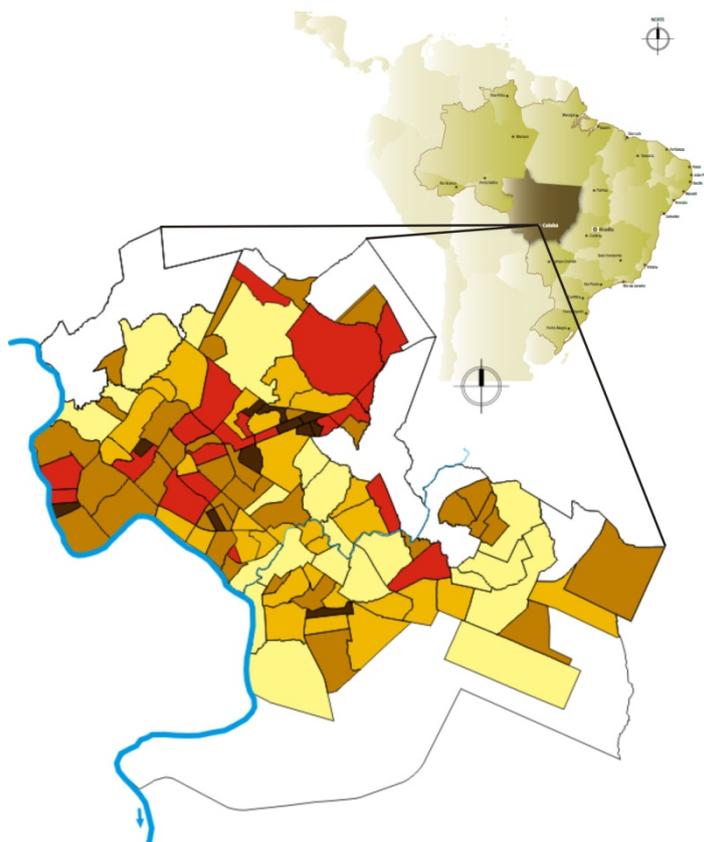


FIGURA 14 – Localização da cidade de Cuiabá
FONTE: BOMBLED, 2007.

A cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso, situa-se à margem esquerda do rio Cuiabá, afluente do rio Paraguai, encaixada na depressão paraguaia e

circundada por chapadões ao norte e oeste e, ao sul, pelo pantanal mato-grossense (MAITELLI, 1994).

Conforme descrição de MAITELLI (1994), Cuiabá, nos anos 70, experimentou um acentuado crescimento vertical da cidade, na parte noroeste e nordeste do seu núcleo central.

Nos anos 2000, a cidade apresentou uma acentuada concentração de grandes edifícios, tanto na região do centro da cidade como nos bairros de classe de renda média alta como pode ser visto na Figura 15. Essas construções absorvem e armazenam parte da energia térmica que, à noite, é emitida para o ar atmosférico, além de alterar o fluxo natural do vento, ocasionado pelo gradiente de temperatura do ar. A superfície do solo urbano é quase completamente formada por materiais impermeáveis e nas áreas centrais já ocorre à redução das áreas verdes, antes, presentes nas vias públicas e nos quintais. (DUARTE, 2000).



FIGURA 15 – Vista parcial da cidade de Cuiabá
FONTE: VERLANGIÉRI, T

De acordo com o Censo Demográfico IBGE (2010), Cuiabá tem uma população de 551.350 habitantes e Várzea Grande 252.709 habitantes e formam um único complexo urbano, conhecido como a Grande Cuiabá.

Nos novos bairros, em especial, os de casas populares, a cobertura vegetal também é mínima, já que existem poucas áreas verdes com parques e jardins.

É o caso do Bairro Morada da Serra no CPA IV situado na região nordeste de Cuiabá, criado e construído pela extinta Companhia de Habitação Popular do Estado de Mato Grosso (COHAB-MT) na segunda metade da década de 1970, e caracterizado como um loteamento popular, com alta densidade populacional.

A insolação média anual é de 2.179 horas. A figura 16 mostra que as médias mensais mínimas abrangem o trimestre dezembro-janeiro-fevereiro (menor valor) com valores acima de 150 horas mensais. As médias mensais máximas abrangem os meses de abril, maio, junho, julho (maior valor), agosto, outubro, com valores acima de 200 horas mensais, devido principalmente a menor cobertura de nuvens nessa época do ano.

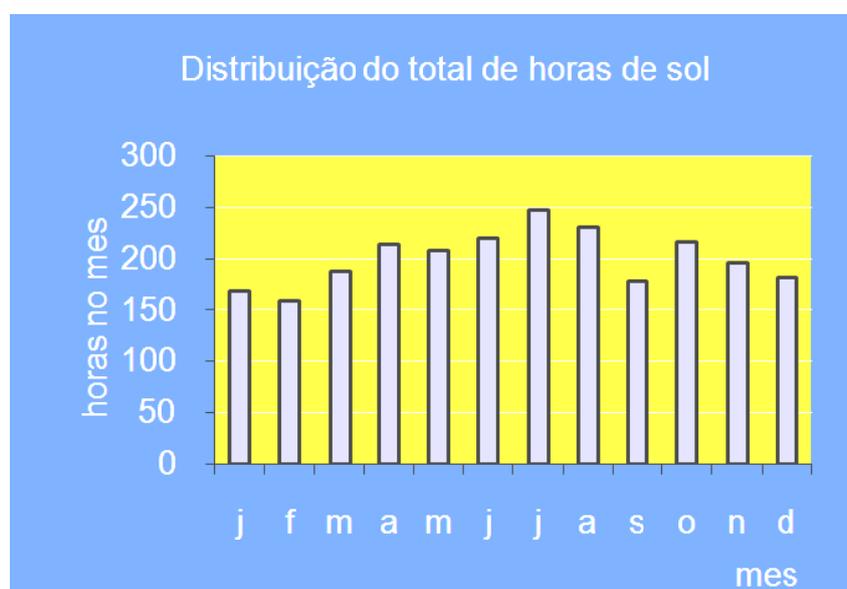


FIGURA 16 – Valores mensais da insolação em horas de sol no mês para Cuiabá no ano de 2005.

FONTE: CLIMATICUS 4.2.

As medidas da radiação solar no topo da atmosfera (R_o) e a radiação solar incidente na superfície (R_{sg}) para Cuiabá e para o CPA em função do dia Juliano de 2007, foram efetuadas por GOMES (2010) e são mostradas na Figura 17. Em Cuiabá foi selecionada a estação Centro localizada na Rua Manoel Ferreira de Mendonça, n. 260, bairro Bandeirantes, nas coordenadas $15^{\circ}36'1''$ latitude Sul e $56^{\circ}5'29''$ de longitude Oeste, altitude 187m, em área de alta densidade construtiva na zona central urbana. No CPA foi selecionada a estação localizada na Secretaria Estadual de Planejamento, Centro Político Administrativo, na Rua C, nas coordenadas $15^{\circ}33'59''$ latitude Sul e $56^{\circ}4'30''$ de longitude Oeste, altitude 239m, em área de média densidade construtiva e próximo a lagoa Paiaguás. Os maiores valores de radiação solar no topo da atmosfera (linha tracejada) foram obtidos em março $36,57 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e outubro $36,00 \text{ MJ m}^{-2}$

dia⁻¹ tanto para Cuiabá como para o CPA. O menor valor ocorreu em junho 32,24 MJ m⁻² dia⁻¹ tanto para Cuiabá como para o CPA. Os maiores valores da radiação solar incidente na superfície (linha sólida) foram de 26,2 MJ m⁻² dia⁻¹ em dezembro no CPA e de 26,0 MJ m⁻² dia⁻¹ em março e novembro em Cuiabá.

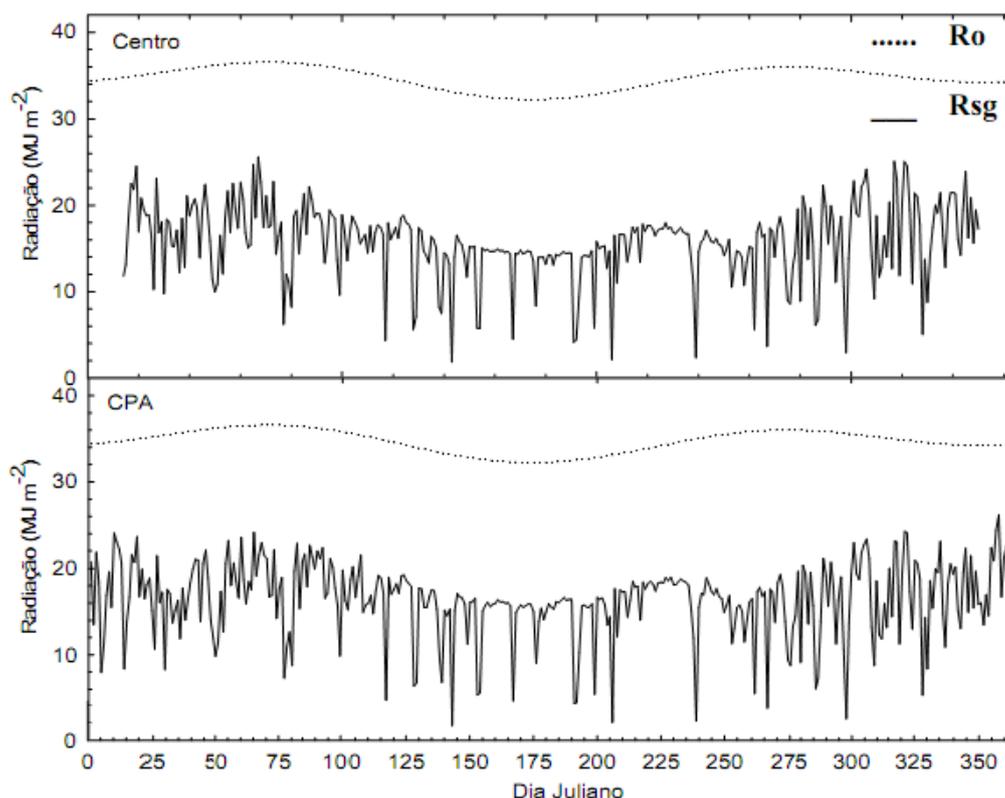


FIGURA 17 – Média diária da radiação solar incidente na superfície (linha sólida) e da radiação no topo da atmosfera (linha tracejada) no Centro e no CPA em 2007.

FONTE: Adaptado de GOMES (2010)

A maior média da radiação solar incidente na superfície (R_{sg}) foi registrada na estação Centro ($353,66 \text{ W m}^{-2}$) seguida pela estação CPA ($349,03 \text{ W m}^{-2}$).

Em relação ao clima, segundo a classificação proposta por KÖPPEN (IBGE, 1960), Cuiabá está localizada numa região de clima AW, do tipo Tropical, com verão úmido e inverno seco.

Segundo MAITELLI (1994), as maiores velocidades médias de vento são observadas por volta das 14 horas, com medidas até 2,3 m/s no início da estação chuvosa. Na estação seca, sob condições de tempo estável, céu limpo e calmaria, a densidade média da ilha de calor é de 3,8°C, no período noturno.

Conforme estudos desenvolvidos por MAITELLI (1994) e DUARTE (1995), mais que 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano precipitam-se no período de novembro a março. A estação seca vai de abril a outubro. O mês mais frio e seco é o de julho com temperatura média mínima inferior a 18°C e o mês mais quente, o de outubro, com média máxima ligeiramente superior a 34°C. A média anual da umidade relativa do ar é de 69,9%. Durante a estação seca chega a 12 %.

Por estar localizada na porção centro-sul do estado de Mato Grosso predomina durante a estação seca o sistema de circulação estável do Anticiclone do Atlântico Sul e também o sistema de correntes perturbadas de Sul e Sudoeste do Anticiclone Polar, responsável pelo fenômeno de “friagem” na região (MAITELLI, 1994). Na estação chuvosa atua o sistema de correntes perturbadas de Oeste e Noroeste (linhas de instabilidades das Frentes Intertropicais) causando chuvas e temperaturas elevadas. Outro fator importante é a influência da continentalidade em Cuiabá, que causa elevadas amplitudes térmicas mensais (diferença entre a temperatura máxima e mínima registrada), sobretudo nos meses de seca, sendo registradas amplitudes de até 15°C nos meses de julho e agosto entre os anos de 1970 a 1992. (MAITELLI, 1994).

A vegetação é típica do cerrado, constituída por um estrato arbóreo com indivíduos muito espaçados entre si e um extrato herbáceo, formado geralmente por gramíneas e ervas rasteiras. Apresenta enorme variação, ora surgindo floresta de 8 a 12 metros de altura, em geral, próximas de cursos d’água, ora arbustos de estratos menos elevados entremeados por campos. A grande maioria das árvores possui tronco e galhos retorcidos, recobertos por cascas espessas que lhes asseguram certa resistência ao fogo. As folhas, em geral, são grandes e coriáceas, caducas no período mais intenso da seca (IBGE, 1960).

Durante a estação seca, o conjunto da paisagem vai ficando cada vez mais ocre e ressecado em toda a região. Nos meses de agosto a outubro, o céu de Cuiabá fica muito escuro e o ar muito pesado, com uma densa camada de fumaça que apresenta uma grande concentração de gases e partículas provenientes das queimadas em todo o estado, reforçado pelo fogo no lixo dos terrenos baldios e nas áreas verdes remanescentes em torno da cidade.

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2010) no mês de agosto de 2010 foram registrados mais de 64.000 focos de incêndio e no mês de setembro do mesmo ano, mais de 15.000 no estado de Mato-Grosso.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os locais, os horários, os equipamentos, a metodologia utilizada para se obter as medidas de iluminância, o desenvolvimento da análise de componentes principais no programa SPSS 19.0 e da análise geostatística no programa SURFER 9 e no programa GS⁺ 9.0.

4.1. LOCAIS, HORÁRIOS E EQUIPAMENTOS

Foi realizada uma análise geostatística aplicada aos componentes principais derivados das medidas de iluminância obtidas nas cozinhas de duas casas populares localizadas na Rua Cegonha no Bairro Morada da Serra no CPA IV, em Cuiabá, como mostra a Figura 18, para a determinação da estrutura da variabilidade espacial, da amplitude da dependência espacial e da interpolação das medidas de iluminância.

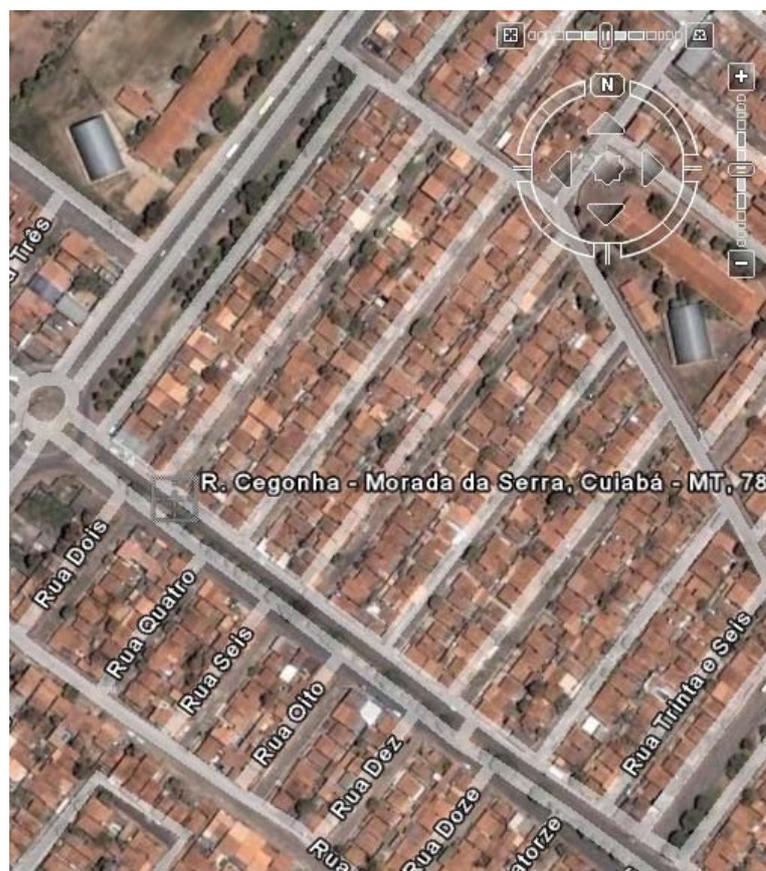


FIGURA 18 – Localização do Objeto de Estudo.
FONTE: GOOGLE EARTH

O ambiente escolhido foi a cozinha, por apresentar maior complexidade com relação à configuração do mobiliário e também por representar um espaço coletivo da casa, preservando os ambientes de maior privacidade, visto que a mesma estava ocupada.

O fechamento vertical das casas é feito em alvenaria de tijolo cerâmico, a cobertura em telha cerâmica e as esquadrias são metálicas. Das duas casas em estudo, a Casa 1, não sofreu alterações em seu projeto original como pode ser visto nas Figuras 19 e 20.

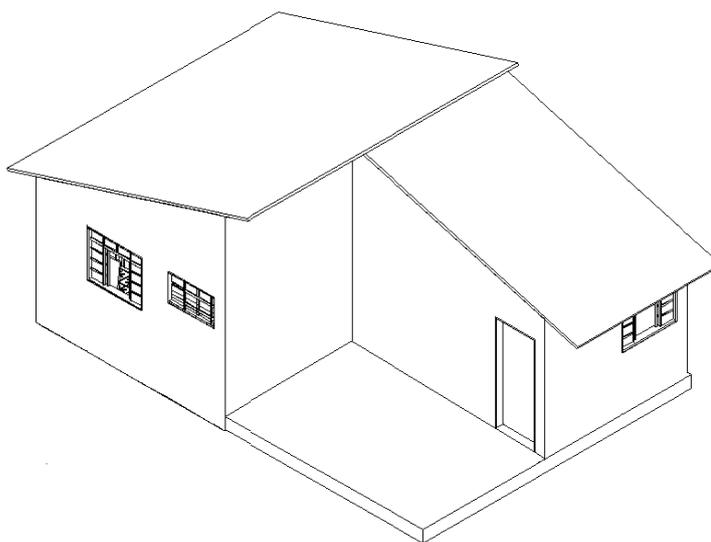


FIGURA 19– Perspectiva Isométrica – Casa 1 (Projeto original)
FONTE: ROSSETI (2006)

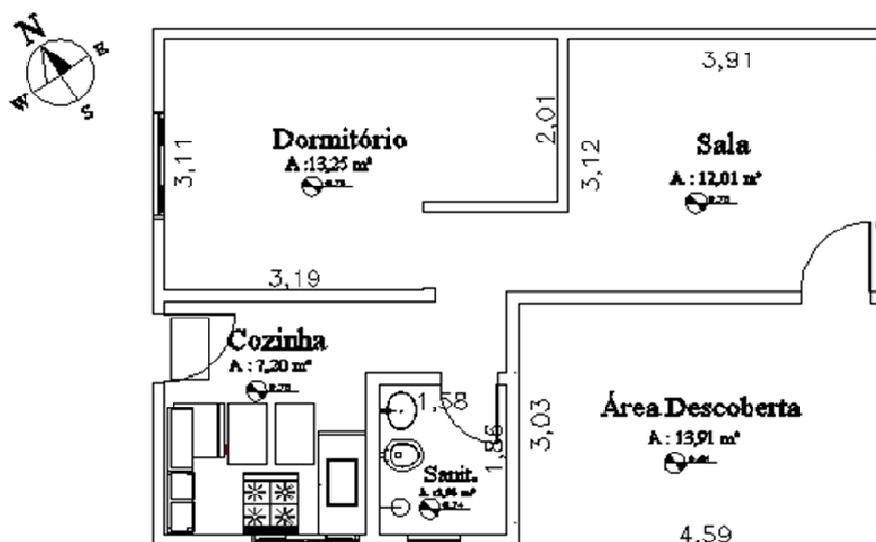


FIGURA 20 – Planta Baixa Casa 01
FONTE: BETANIN (2011)

Características da Casa 01:

- Área Total: 43,85 m²
- Área do cômodo em estudo: 6,02 m² (2,30m x 2,62m)
 - Número de aberturas e dimensão:
 - Porta: 0,80m x 2,10m
 - Janela: 1,20m x 1,00m
 - Orientação da fachada: Sudeste

Na Casa 2 foram feitas modificações em relação ao projeto inicial, como pode ser visto nas Figuras 21 e 22. Nesta casa foi criada uma edícula nos fundos composta por 2 dormitórios e um banheiro com cobertura em telha de fibrocimento que se prolonga até encontrar a cobertura original da casa. Também foi acrescentado um cômodo na região frontal coberta, utilizado como varanda, que originalmente constituía-se de um espaço aberto sem cobertura.

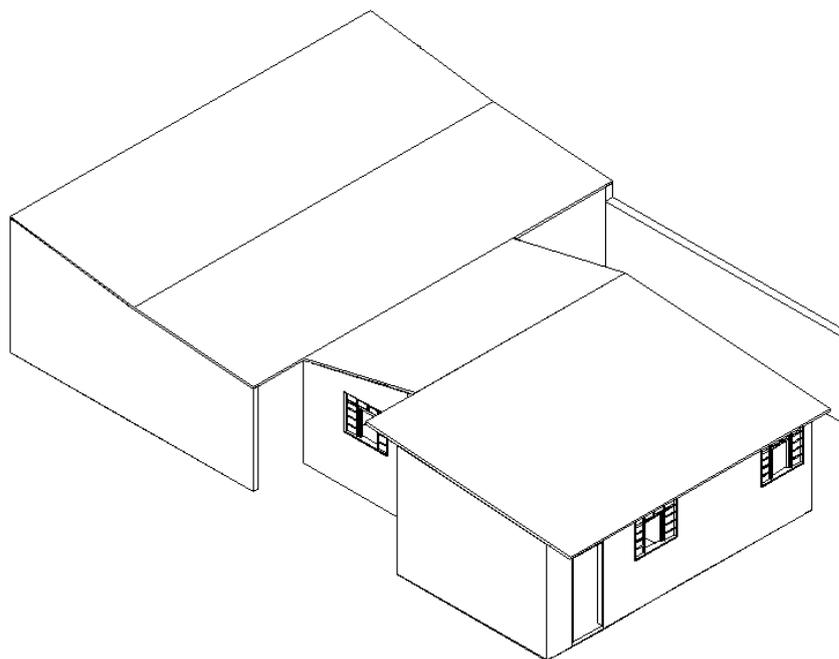


FIGURA 21– Perspectiva Isométrica – Casa 2
(Com modificações no projeto original)
FONTE: ROSSETI (2006)

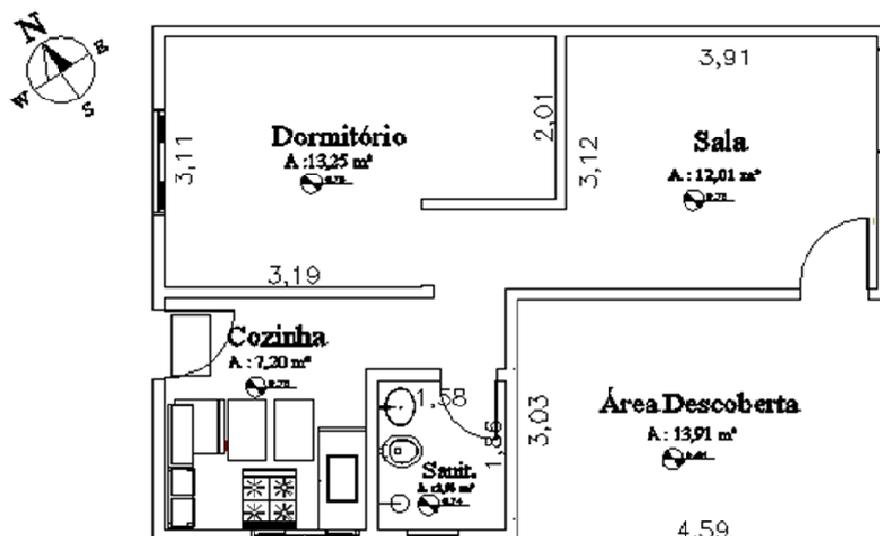


FIGURA 22 – Planta Baixa Casa 02
FONTE: BETANIN (2011)

Características da Casa 02:

- Área Total: 82,91 m²
- Área do cômodo em estudo: 6,02 m² (2,30m x 2,62m)
 - Número de aberturas e dimensão:
 - Porta: 0,80m x 2,10m
 - Janela: 1,20m x 1,00m
 - Orientação da fachada: Sudeste

O número mínimo de pontos necessários para uma verificação adequada do nível de iluminação natural foi obtido por meio da metodologia proposta pela norma NBR-15220 (2005).

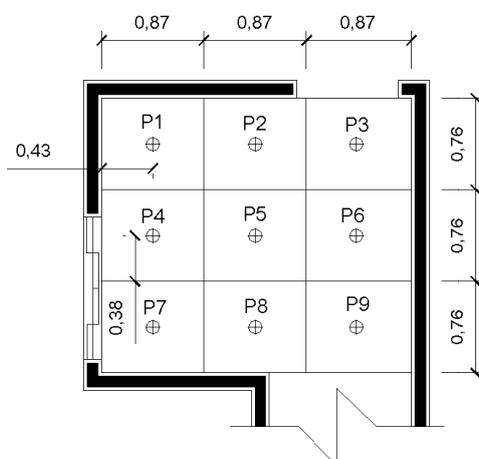


FIGURA 23– Localização dos pontos na Casa 1
FONTE: ROSSETI (2006)

Para se conseguir uma boa caracterização das medidas de iluminância, a área total do ambiente foi dividida em 9 áreas de dimensões iguais, no centro das quais se encontraria cada ponto de captura das medidas como mostra a Figura 23.

No entanto, devido ao fato do ambiente representar o espaço de uma cozinha, constatou-se a presença de móveis, geladeira e outros aparelhos domésticos, sendo necessária uma modificação no posicionamento inicial desses pontos, para que não coincidisse com o posicionamento de nenhum móvel presente no ambiente, como mostrado na Figura 24.

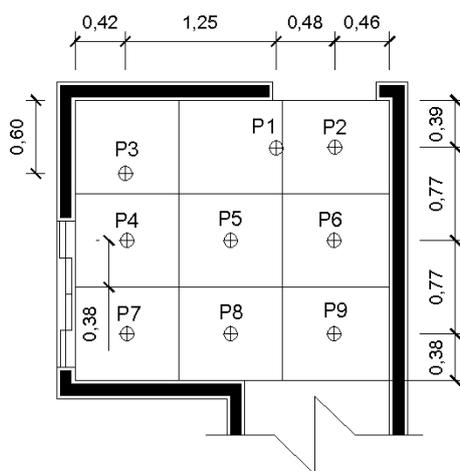


FIGURA 24– Localização dos pontos na casa 1 após adaptações
FONTE: ROSSETI (2006)

Os mesmos procedimentos foram realizados na Casa 2 onde foi feita também a modificação do posicionamento dos pontos de captura das medidas de iluminação natural, como mostram as Figuras 25 e 26.

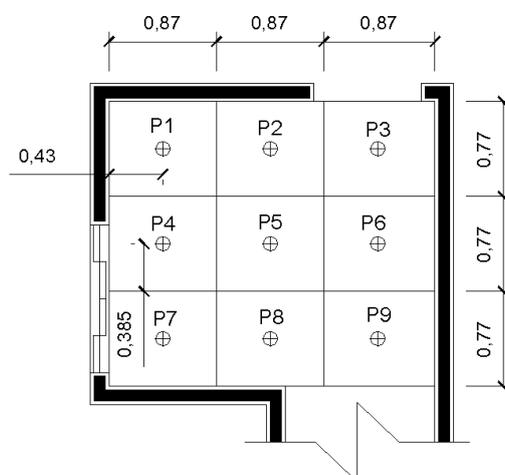


FIGURA 25– Localização dos pontos na Casa 2
FONTE: ROSSETI (2006)

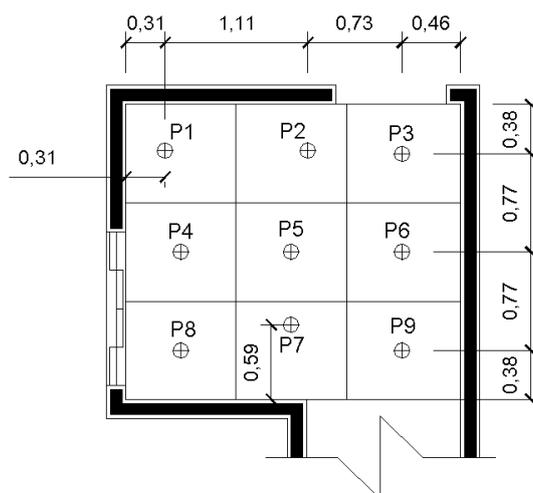


FIGURA 26 – Localização dos pontos na Casa 2 após adaptações
FONTE: ROSSETI (2006)

As medidas de iluminância nos ambientes foram realizadas de uma em uma hora, de forma a conseguir um acompanhamento da evolução da iluminação natural durante todo o período de estudo, e foram efetuadas nas duas casas simultaneamente. O intervalo temporal escolhido foi das 08 às 17 horas, pois corresponde a um período do dia com grande fornecimento de luz natural. O processo foi repetido em duas estações do ano, a primeira foi realizada na estação chuvosa no dia 20 de março de 2006 e a segunda na estação seca no dia 15 de maio de 2006, para podermos analisar o comportamento da iluminação natural quando submetidas a dois períodos climáticos distintos.

As medições foram feitas com um luxímetro portátil da marca Minipa, modelo MLM 1332, localizado a 1 metro de altura, mantendo o globo fotossensível voltado para cima de forma a captar a luz proveniente das superfícies superiores ao plano de trabalho.

Foi utilizada ainda uma trena de 5,00 metros para o levantamento das dimensões das casas e da localização dos pontos de captura das medidas.

4.2. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise geoestatística aplicada aos componentes principais derivados das medidas de iluminância obtidas nas cozinhas de duas casas populares localizadas na Rua Cegonha no Bairro Morada da Serra no CPA IV, em Cuiabá, com mesma matriz arquitetônica, mas que sofreram diferentes desdobramentos construtivos e que possuem uma localização espacial diferenciada.

Buscou-se, por meio das PCA, explicar a estrutura de variância-covariância das medidas de iluminância por meio de combinações lineares. Dessa forma, os objetivos da análise foram principalmente: reduzir a dimensão original das medidas, facilitar a interpretação espacial das análises e determinar a existência de correlação espacial entre essas medidas.

Os métodos geoestatísticos utilizados foram a análise de semivariogramas para a determinação da estrutura da variabilidade espacial e a amplitude da dependência espacial e a krigagem para a interpolação das medidas de iluminância.

O programa SURFER 9 permite reunir os valores das medidas de iluminância encontrados nas cozinhas das duas casas populares e as coordenadas dos pontos dessas medidas numa planilha de dados com coordenadas X, Y e Z. Por meio dessas coordenadas gera-se um ponto de referência. O conjunto de pontos é interpolado resultando gráficos com curvas delimitando zonas.

Assim, pode-se obter um mapa da distribuição espacial dessas medidas, utilizando-se um algoritmo de interpolação. Portanto, este procedimento permite determinar a estrutura espacial das medidas de iluminância, e, uma vez conhecido o modelo da dependência espacial, construir os mapas de contorno e as superfícies 3 D, que permitem uma visualização espacial do comportamento dessas medidas.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas no programa GS⁺ 9.0. O semivariograma estimado é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ versus \mathbf{h} . Os modelos de semivariogramas obtidos foram o linear para a casa 1 no dia 20 de março e o gaussiano para a casa 1 no dia 15 de maio e para casa 2 nos dois períodos.

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$ foram estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, isto é, o efeito

pepita, C_0 ; o patamar, C_0+C ; o alcance, A_0 , o coeficiente de determinação, r^2 e a soma dos quadrados dos resíduos, RSS.

Para analisar o grau da dependência espacial das medidas de iluminância utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Os mapas de distribuição espacial foram obtidos por meio da interpolação das medidas de iluminância utilizando-se a krigagem ordinária e foram ajustados pelo programa SURFER 9.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são feitas a análise e a discussão dos resultados obtidos.

As medidas de iluminância em lux (lm. m^{-2}) foram obtidas por ROSSETI (2006) e organizadas juntamente com a localização dos pontos de captura por RONDON (2007) nas Tabelas 3 a 6 para serem utilizadas na análise de componentes principais e na análise geoestatística.

TABELA 3– Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 1–20/03/2006

Pontos	Localização		Medidas de iluminância (lux)									
	X	Y	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
P1	1,7	1,9	1529,0	1944,0	3329,0	8181,0	8620,0	4701,0	3018,0	4930,0	3971,0	9500,0
P2	2,2	1,9	2778,0	3906,0	6679,0	11390,0	15230,0	10680,0	54080,0	73750,0	59620,0	2507,0
P3	0,4	1,7	106,0	131,2	149,2	248,8	277,9	195,1	202,4	608,3	579,1	83,3
P4	0,4	1,2	678,0	555,5	979,2	1550,0	1440,0	424,7	564,7	1280,0	1068,0	218,6
P5	1,3	1,2	801,0	1008,0	1065,0	3041,0	3189,0	1081,0	905,1	1911,0	1663,0	382,5
P6	2,2	1,2	1219,0	1841,0	2819,0	5028,0	5387,0	2361,0	3320,0	16580,0	6615,0	974,0
P7	0,4	0,4	509,7	743,6	1216,0	1806,0	2476,0	1824,0	1980,0	2544,0	1593,0	532,0
P8	1,3	0,4	510,7	577,3	629,0	1507,0	1161,0	665,6	534,4	1491,0	2083,0	211,1
P9	2,2	0,4	537,7	865,2	1172,0	2539,0	2348,0	988,8	876,0	2294,0	2800,0	435,2

FONTE: ROSSETI (2006)

TABELA 4– Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 1 – 15/05/2006

Pontos	Localização		Medidas de Iluminância (lux)									
	X	Y	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
P1	1,7	1,9	191,6	462,1	513,8	859	413,9	625,5	435	384,2	333,7	96,11
P2	2,2	1,9	605,4	836,8	681,9	851	932	524,9	653,8	461,5	256,5	101,8
P3	0,4	1,7	77,6	117,6	153,1	150,2	175,4	134	77,08	38,05	60,28	13,14
P4	0,4	1,2	225,2	265,4	459,2	567,4	467,8	288	208,2	105,1	152,8	34,25
P5	1,3	1,2	114,2	293,9	287,2	325,9	303,6	297,4	230,7	153,4	98,9	26,16
P6	2,2	1,2	167,8	284,1	312,9	268,9	229,2	272,8	209,4	144,3	125,4	19,14
P7	0,4	0,4	333,6	385,1	607,5	473,6	404,6	374,3	257	209,2	283,5	94,1
P8	1,3	0,4	133,2	216,9	309,2	282,6	317,8	182,7	130,3	88,14	39,69	13,39
P9	2,2	0,4	95,4	268,2	246,6	229,9	201,3	172,4	144,4	92,3	76,88	11,34

FONTE: ROSSETI (2006)

TABELA 5 – Medidas de iluminância e localização dos pontos. Casa 2 – 20/03/2006

Pontos	Localização		Medidas de Iluminância (lux)									
	X	Y	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
P1	0,31	1,92	3,62	5,87	12,4	30,98	37,06	133,62	13,81	42,57	52,31	7,67
P2	1,42	1,92	6,05	8,59	12,54	37,24	40,03	24,89	19,52	71,4	9,55	2,61
P3	2,15	1,92	4,49	6,59	16,78	32,26	51,08	44,12	30,78	154,8	7,89	1,54
P4	0,33	1,15	169	240,8	431,2	916,1	912,1	370,7	171,7	473,2	74,19	39,31
P5	1,4	1,15	22,6	42,08	74,7	158,3	241,5	73,84	53,52	189,5	15	3,59
P6	2,15	1,15	7,24	12,67	26,85	82,32	116,2	30,01	22,75	95,7	6,32	1,57
P7	1,4	0,59	35,6	104,1	102,8	218,8	273	127	103,5	224,9	15,94	5,23
P8	0,33	0,38	165	331,8	704	1016	1578	1245	1241	2334	98,1	40,79
P9	2,15	0,38	8,26	19,67	25,41	53,58	113,9	37,54	24,96	58,13	6,61	2,73

FONTE: ROSSETI (2006)

TABELA 6– Medidas de Iluminância e localização dos pontos. Casa 2 – 15/05/2006

Pontos	Localização		Medidas de Iluminância (lux)									
	X	Y	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
P1	0,31	1,92	18,48	75,36	135,3	187,5	51,1	60,54	35,19	55,81	52,31	7,67
P2	1,42	1,92	25,72	51,62	81,74	116,6	98,9	50,29	32,88	19,64	9,55	2,61
P3	2,15	1,92	29,27	33,56	49,94	61,02	54,44	38,56	30,1	12,72	7,89	1,54
P4	0,33	1,15	183,6	281,9	350,8	422,7	335,7	274	155,7	138,7	74,19	39,31
P5	1,4	1,15	46,34	88,25	140,3	44,18	113,2	108,2	59,24	20,27	15	3,59
P6	2,15	1,15	24	28,57	56,59	67,35	68,72	53,2	32,67	10,47	6,32	1,57
P7	1,4	0,59	102,3	114,7	160,9	152,8	148,8	117,8	67,09	24,17	15,94	5,23
P8	0,33	0,38	181	213,9	332,9	368,4	369,1	247,2	203,3	131	98,1	40,79
P9	2,15	0,38	25,76	38,91	69,31	88,97	72,64	45,47	28,81	13,72	6,61	2,73

FONTE: ROSSETI (2006)

5.1. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Os resultados obtidos pela análise de componentes principais para a Casa 1 podem ser observados na Tabela7 que mostra que as medidas de iluminância podem ser simplificadas para uma composição linear que explica 91,337% da variabilidade dessas medidas.

TABELA 7 – Variância total explicada para a casa 1.

Componentes	Autovalores iniciais		
	Total	% Variância	% Acumulada
1	9,134	91,337	91,337
2	,651	6,510	97,847
3	,193	1,927	99,774
4	,017	,168	99,943
5	,004	,041	99,984
6	,001	,013	99,997
7	,000	,002	99,999
8	9,294E-5	,001	100,000
9	1,975E-16	1,975E-15	100,000
10	-1,757E-16	-1,757E-15	100,000

De forma similar a Casa 1, os resultados obtidos pela análise de componentes principais para a Casa 2 podem ser observados na Tabela 8 que mostra que um único componente principal explica 94,338% da variabilidade das medidas de iluminância.

TABELA 8 – Variância total explicada para a casa 2

Componentes	Autovalores iniciais		
	Total	% Variância	% Acumulada
1	9,439	94,388	94,388
2	,321	3,206	97,594
3	,137	1,371	98,964
4	,060	,603	99,568
5	,031	,308	99,876
6	,010	,100	99,975
7	,002	,018	99,993
8	,001	,007	100,000
9	1,932E-16	1,932E-15	100,000
10	-9,532E-17	-9,532E-16	100,000

5.2. ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Os dados brutos das medidas de iluminância podem ser observados nas Tabelas 3 a 6. A partir deles foram obtidos os resultados da análise geoestatística, onde foram calculados os semivariogramas no programa GS⁺ 9.0 e, na sequência, foram plotados os mapas obtidos pela krigagem ordinária e ajustados pelo programa SURFER 9.

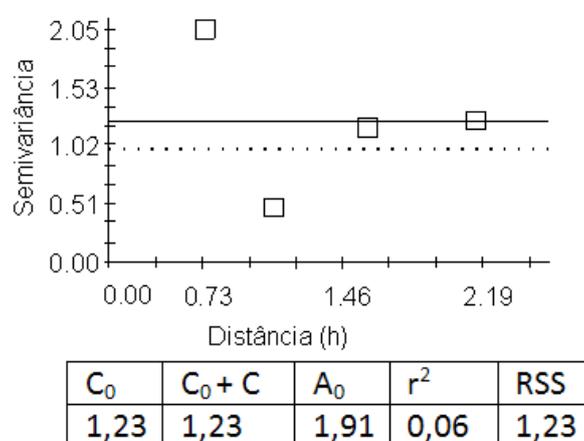


FIGURA 27 – Semivariograma linear das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006

A figura 27 apresenta o semivariograma ajustado para a Casa 1 no dia 20 de março de 2006, onde são mostrados os coeficientes do modelo teórico, isto é, o efeito pepita, C_0 ; o patamar, C_0+C ; o alcance, A_0 , o coeficiente de determinação, r^2 e a soma dos quadrados dos resíduos, RSS.

Na análise do grau de dependência espacial das medidas de iluminância, este semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de h , apresentou Efeito Pepita Puro, igual a 1.23, o que mostra, neste caso, uma ausência total de dependência espacial. Isto significa que o alcance, A_0 , para as medidas em questão, é menor do que o menor espaçamento entre elas e tem-se uma distribuição espacial completamente aleatória, e a única estatística aplicável é a estatística convencional, sem considerar qualquer dependência espacial.

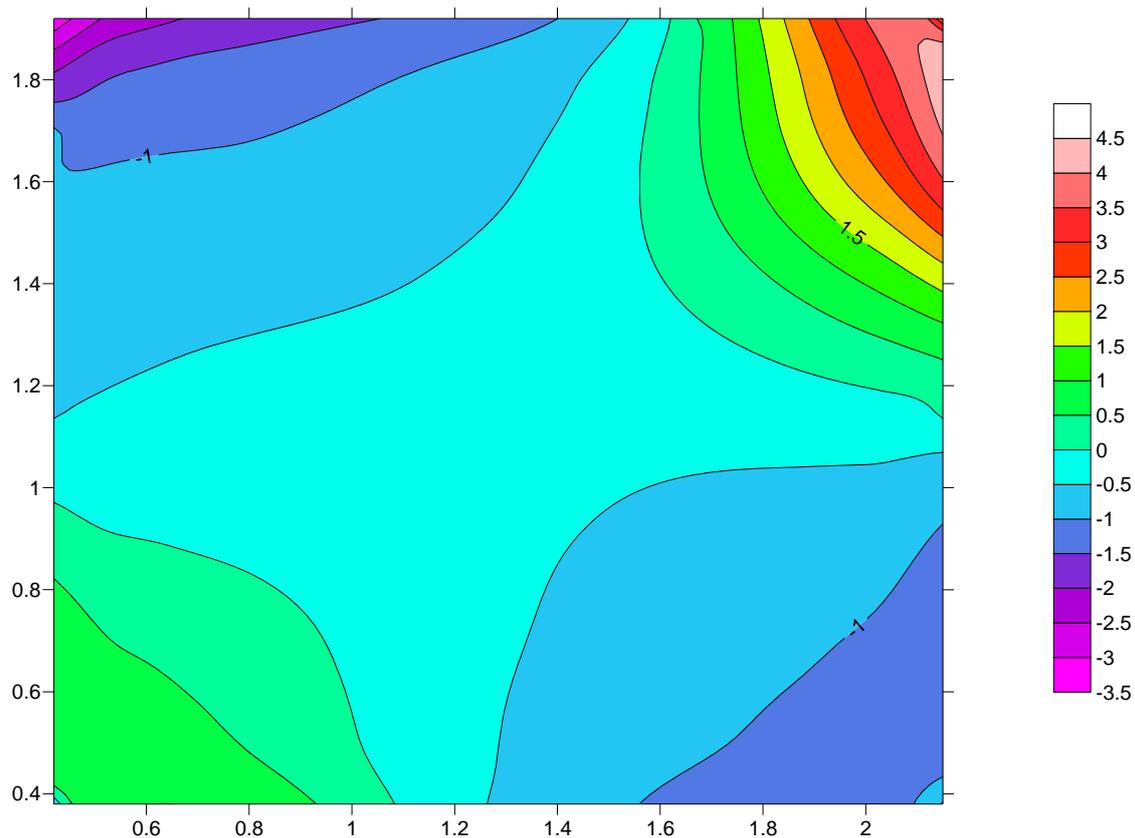


FIGURA 28 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006.

Na figura 28 o mapa de contorno da krigagem ordinária mostra as isolinhas que representam a variabilidade espacial das medidas de iluminância para a Casa 1 no 20 de março. A opção de cores, com a respectiva escala, permite uma melhor visualização dos valores mais altos e mais baixos assumidos pelas medidas de iluminância. Por convenção, opta-se por cores mais frias para valores baixos e cores mais quentes para valores altos.

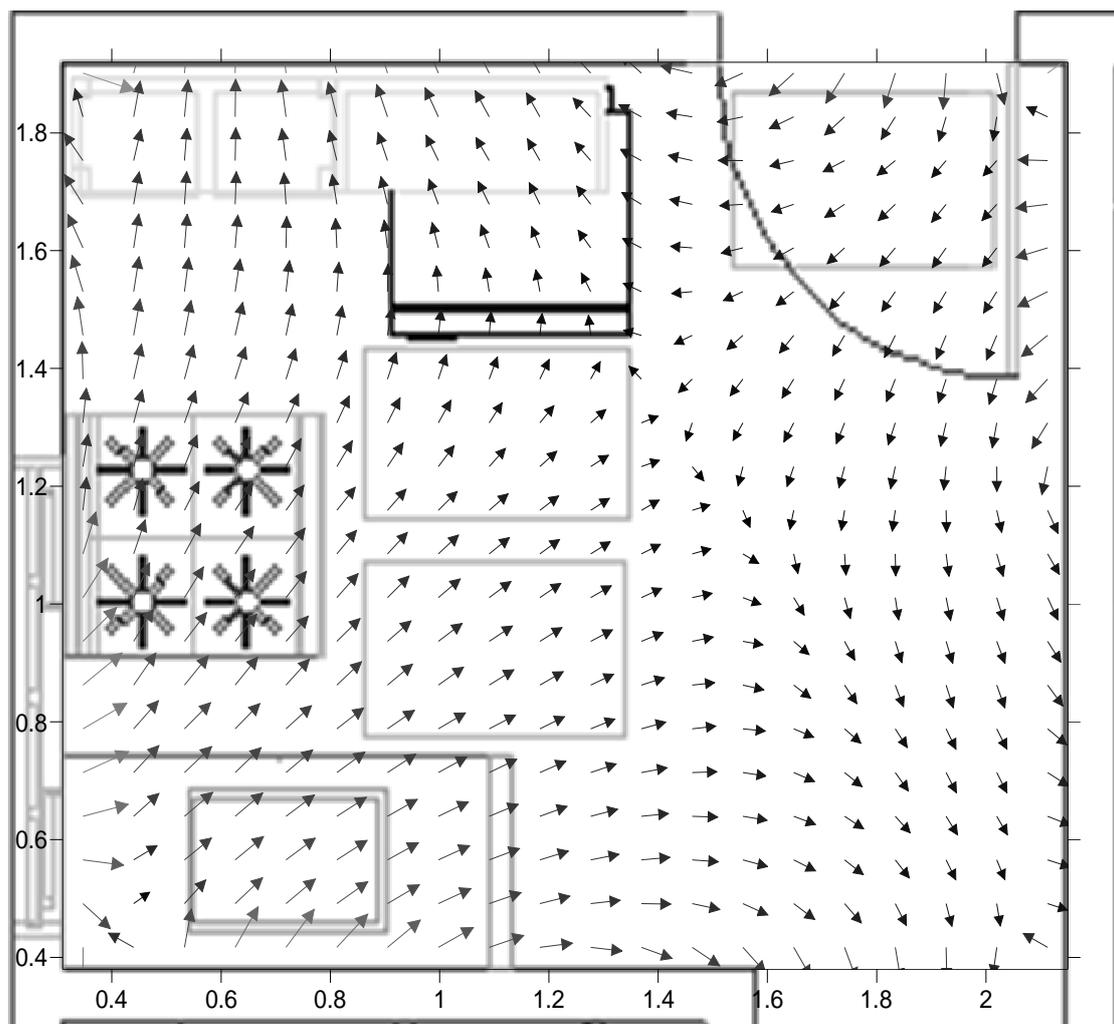


FIGURA 29 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006.

A figura 29 mostra a superposição do mapa de gradientes das medidas de iluminância com a planta baixa da Casa 1 e permite a visualização da distribuição espacial da iluminação em cada ponto do ambiente no dia 20 de março. Os mapas de gradiente representam diferenças na intensidade da iluminação no ambiente, isto é, mostram a quantidade de iluminação em cada ponto do ambiente. Eles mostram que a localização da janela e da porta permite uma boa entrada e boa distribuição da iluminação no ambiente.

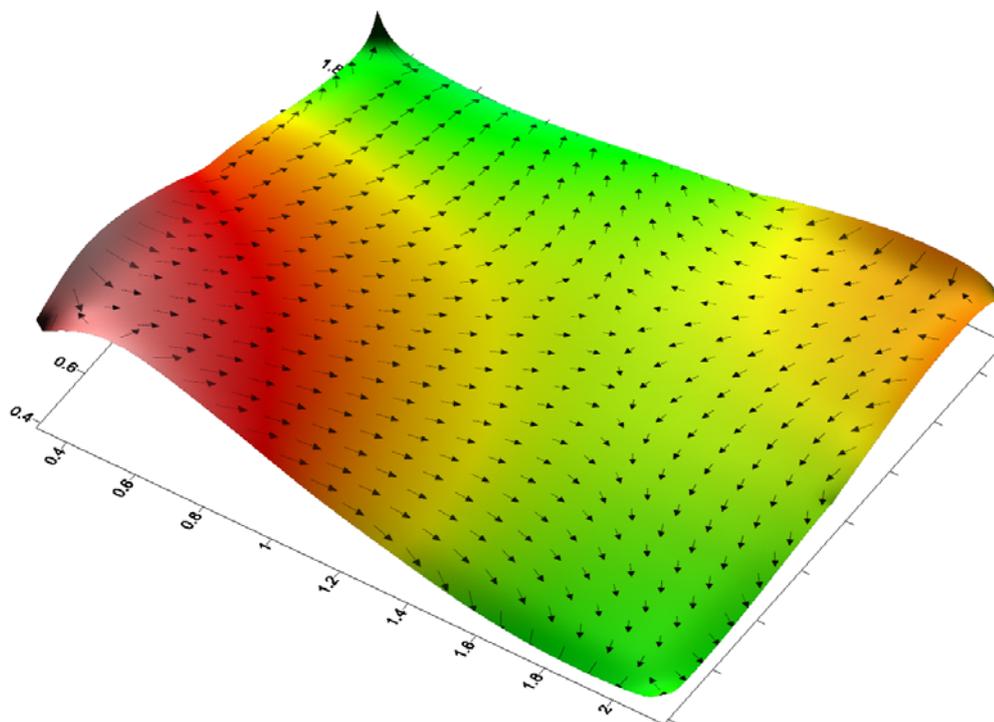
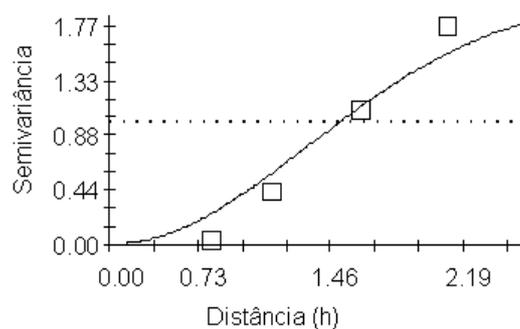


FIGURA 30 – Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 1 – 20/03/2006

Na figura 30 a superfície 3 D permite uma melhor visualização espacial do comportamento das medidas de iluminância para a Casa 1 no dia 20 de março, mostrando a direção do fluxo de iluminação, isto é, como a iluminação penetra pelas janelas e portas e se espalha pelo ambiente. Ela mostra como é importante um projeto do ambiente que leve em consideração a localização e a orientação das janelas e portas para que se obtenha o melhor aproveitamento da luz do Sol. Mostra também que uns pontos são mais iluminados do que outros por se encontrarem próximos a janela.



C_0	$C_0 + C$	A_0	r^2	RSS
0.00	2.01	1.54	0.99	0.11

FIGURA 31–Semivariograma gaussiano das medidas de iluminância. Casa 1– 15/05/2006.

A figura 31 apresenta o semivariograma ajustado para a Casa 1 no dia 15 de maio de 2006, onde são mostrados os coeficientes do modelo teórico, isto é, o efeito pepita, C_0 ; o patamar, C_0+C ; o alcance, A_0 , o coeficiente de determinação, r^2 e a soma dos quadrados dos resíduos, RSS. De acordo com a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), este semivariograma mostra um grau de dependência espacial forte para as medidas de iluminância, pois tem um efeito pepita(0.00) menor que 25% do patamar(2,01). Mostra também uma ótima correlação entre as medidas, pois tem um ótimo coeficiente de determinação (0.99) e boa soma dos quadrados dos resíduos (0.11).

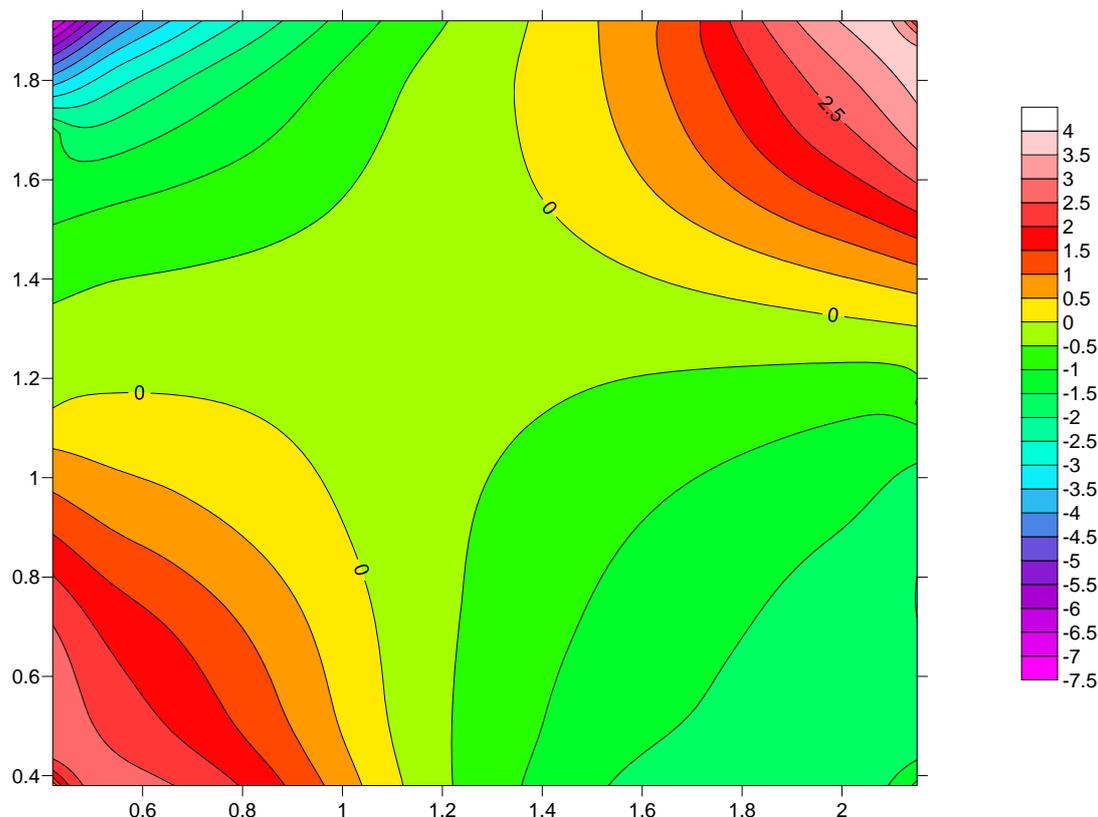


FIGURA 32 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 1 – 15/05/2006.

Na figura 32 o mapa de contorno da krigagem ordinária mostra as isolinhas que representam a variabilidade espacial das medidas de iluminância para a Casa 1 no dia 15 de maio. A opção de cores, com a respectiva escala, permite uma melhor visualização dos valores mais altos e mais baixos assumidos pelas medidas de iluminância. Por convenção, opta-se por cores mais frias para valores baixos e cores mais quentes para valores altos.

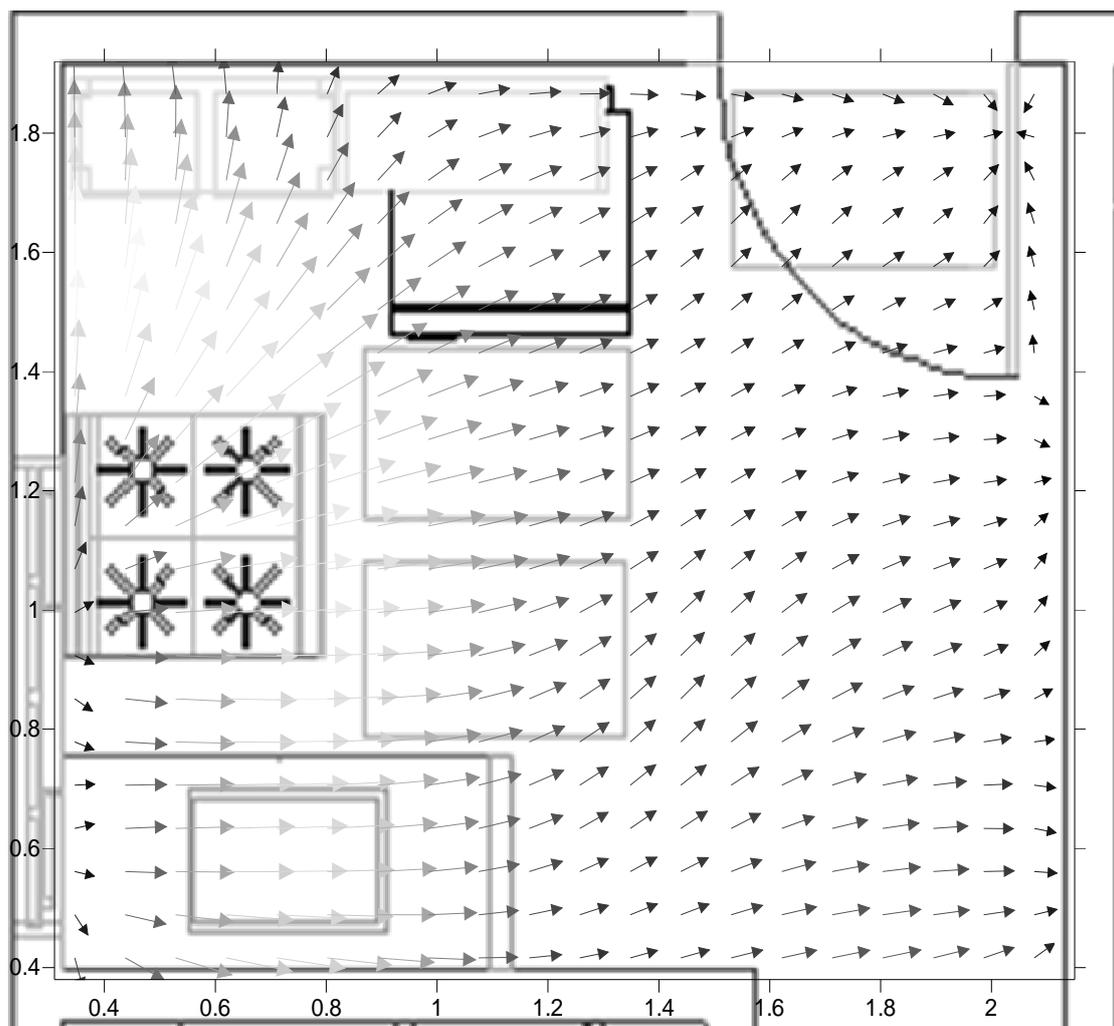


FIGURA 33 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 1 – 15/05/2006.

A figura 33 mostra a superposição do mapa de gradientes das medidas de iluminância com a planta baixa da Casa 1 e permite a visualização da distribuição espacial da iluminação no dia 15 de maio. Os mapas de gradiente representam diferenças na intensidade da iluminação no ambiente, isto é, mostram a quantidade de iluminação em cada ponto do ambiente. Eles mostram uma melhor entrada e distribuição da iluminação no ambiente devido à localização da janela do que pela localização da porta.

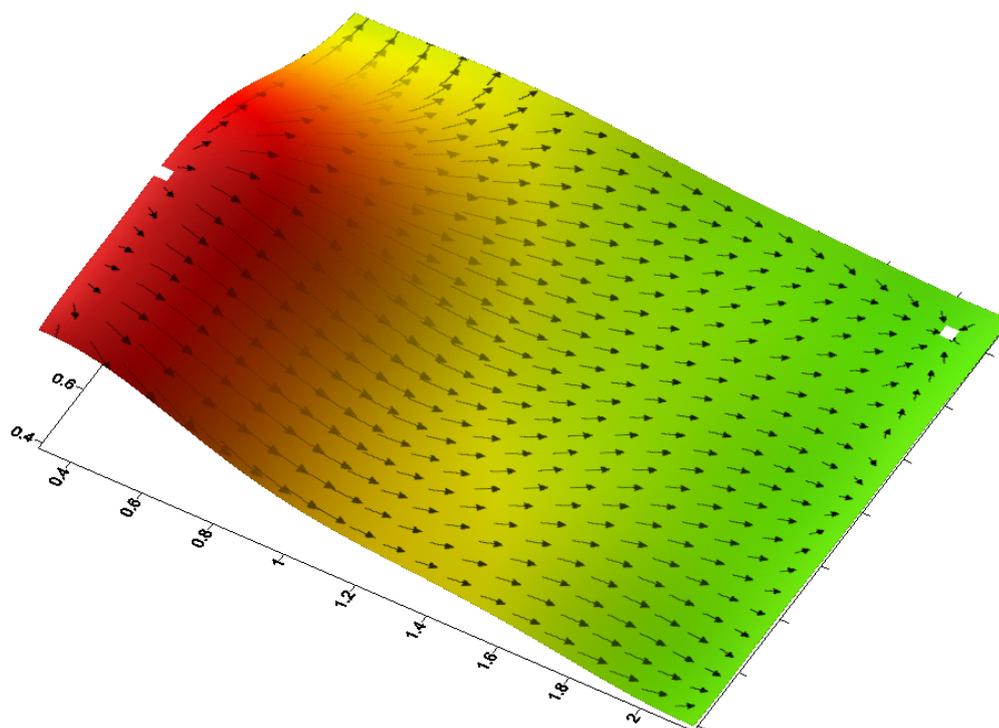
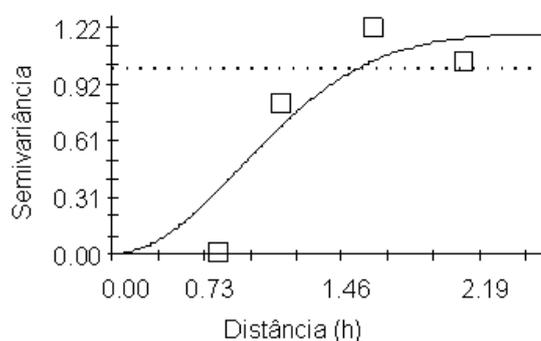


FIGURA 34– Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 1 – 15 de maio.

Na figura 34 a superfície 3 D permite uma melhor visualização espacial do comportamento das medidas de iluminância para a Casa 1 no 15 de maio, mostrando a direção do fluxo de iluminação, isto é, como a iluminação penetra pelas janelas e se espalha pelo ambiente. Ela mostra como é importante um projeto do ambiente que leve em consideração a localização e a orientação das janelas e portas para que se obtenha o melhor aproveitamento da luz do Sol. Mostra também que uns pontos são mais iluminados do que outros por se encontrarem próximos a janela.



C_0	$C_0 + C$	A_0	r^2	RSS
0,00	1,19	0.96	0,85	0,17

FIGURA 35 – Semivariograma Gaussiano das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006

A figura 35 apresenta o semivariograma ajustado para a Casa 2 no dia 20 de março de 2006, onde são mostrados os coeficientes do modelo teórico, isto é, o efeito pepita, C_0 ; o patamar, C_0+C ; o alcance, A_0 , o coeficiente de determinação, r^2 e a soma dos quadrados dos resíduos, RSS.

De acordo com a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), este semivariograma mostra um grau de dependência espacial forte para as medidas de iluminância, pois tem um efeito pepita(0.00) menor que 25% do patamar(1.19). Mostra também uma boa correlação entre as medidas, pois tem um bom coeficiente de determinação (0.85) e boa soma dos quadrados dos resíduos (0.17).

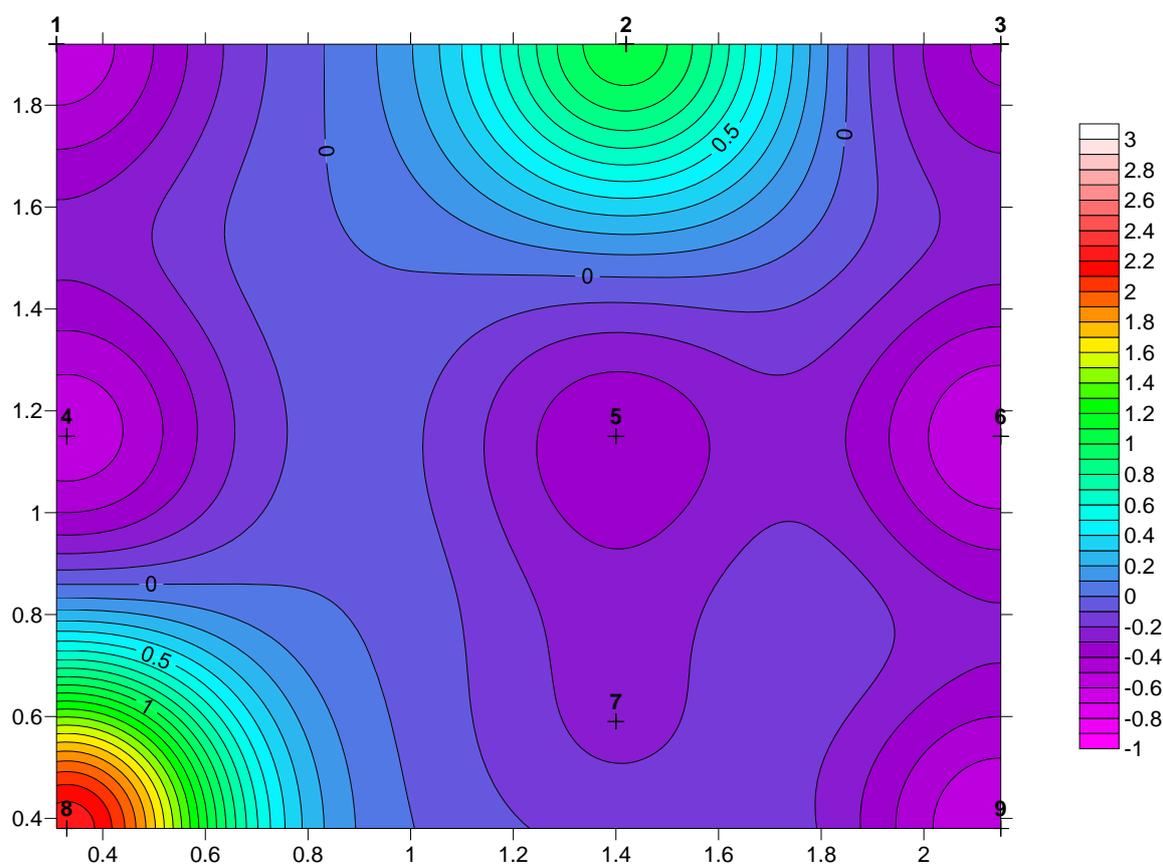


FIGURA 36 – Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006.

Na figura 36 o mapa de contorno da krigagem ordinária mostra as isolinhas que representam a variabilidade espacial das medidas de iluminância para a Casa 2 no dia 20 de março. A opção de cores, com a respectiva escala, permite uma melhor visualização dos valores mais altos e mais baixos assumidos pelas medidas de iluminância. Por convenção, opta-se por cores mais frias para valores baixos e cores mais quentes para valores altos.

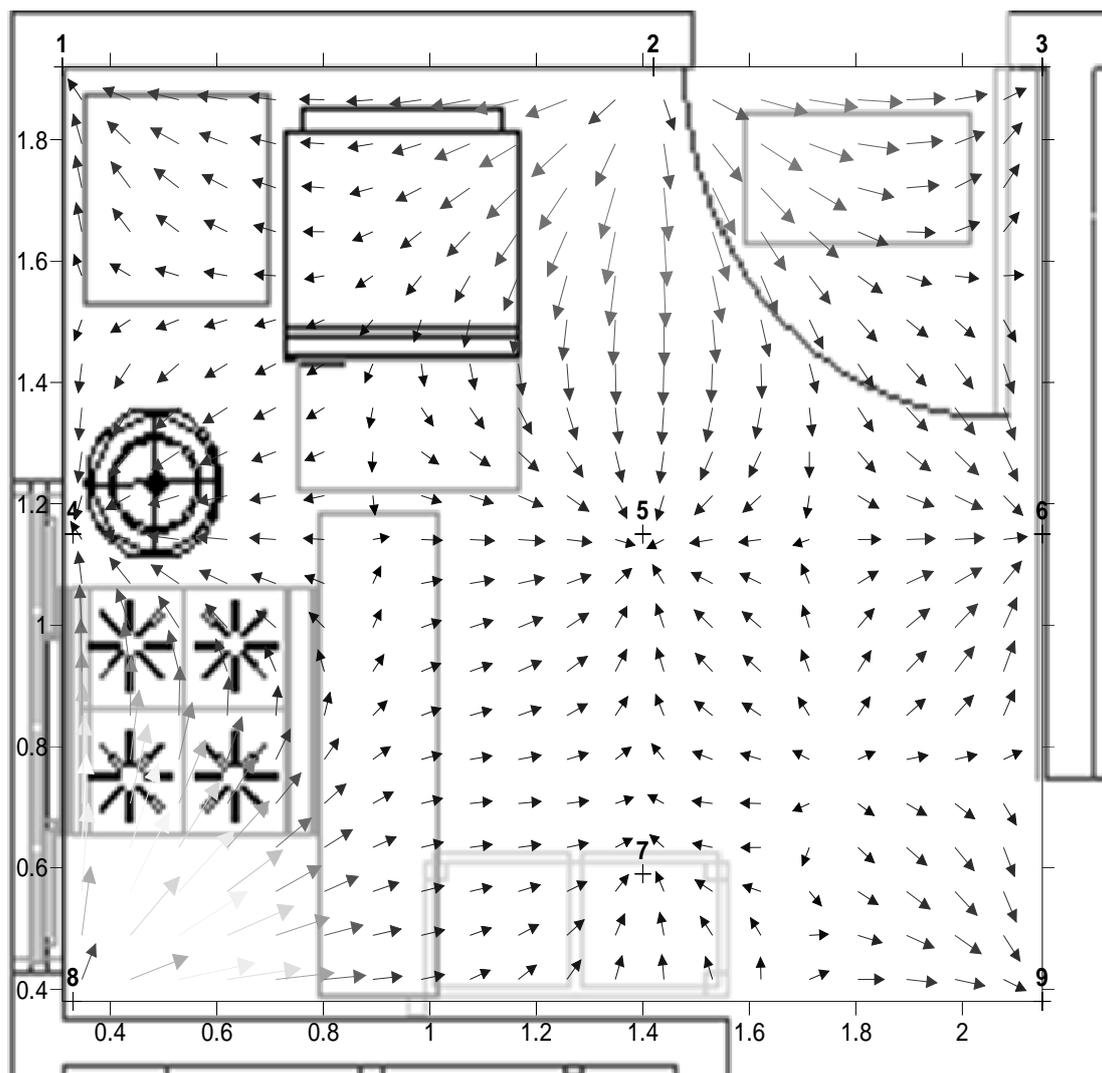


FIGURA 37– Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006.

A figura 37 mostra a superposição do mapa de gradientes das medidas de iluminância com a planta baixa da Casa 2 e permite a visualização da distribuição espacial da iluminação no dia 20 de março. Os mapas de gradiente representam diferenças na intensidade da iluminação no ambiente, isto é, mostram a quantidade de iluminação em cada ponto do ambiente. Eles mostram que a localização da janela permite uma boa entrada de iluminação. A entrada de iluminação pela porta ficou reduzida, em função da área construída logo após a cozinha, ou, devido à existência de algum entorno, o que prejudicou a distribuição da iluminação no ambiente.

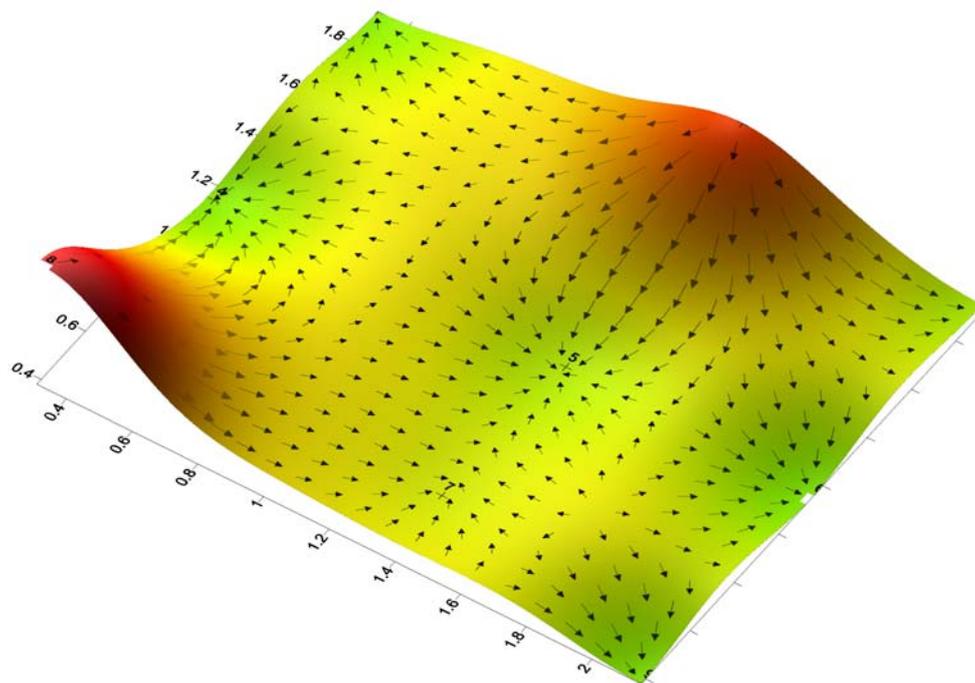
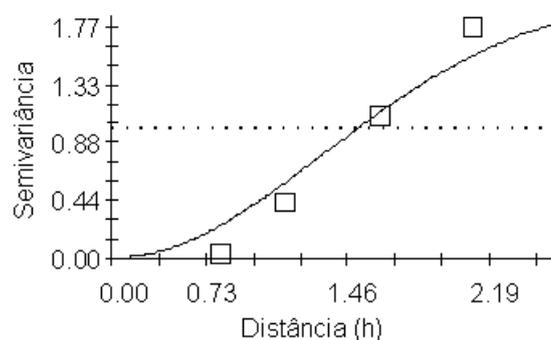


FIGURA 38 – Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 2 – 20/03/2006

Na figura 38 a superfície 3 D permite uma melhor visualização espacial do comportamento das medidas de iluminância para a Casa 2 no dia 20 de março, mostrando a direção do fluxo de iluminação, isto é, como a iluminação penetra pelas janelas e portas e se espalha pelo ambiente. Ela mostra como é importante um projeto do ambiente que leve em consideração a localização e a orientação das janelas e portas para que se obtenha o melhor aproveitamento da luz do Sol. Mostra também que uns pontos são mais iluminados do que outros por se encontrarem próximos a janelas e portas.



C_0	$C_0 + C$	A_0	r^2	RSS
0,00	2.01	1.54	0,99	0,11

FIGURA 39– Semivariograma Gaussiano das medidas de iluminância. Casa 2 – 15/05/2006.

A figura 39 apresenta o semivariograma ajustado para a Casa 2 no dia 15 de maio de 2006, onde são mostrados os coeficientes do modelo teórico, isto é, o efeito pepita, C_0 ; o patamar, C_0+C ; o alcance, A_0 , o coeficiente de determinação, r^2 e a soma dos quadrados dos resíduos, RSS.

De acordo com a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), este semivariograma mostra um grau de dependência espacial forte para as medidas de iluminância, pois tem um efeito pepita(0.00) menor que 25% do patamar(2,01). Mostra também uma ótima correlação entre as medidas, pois tem um ótimo coeficiente de determinação (0.99) e ótima soma dos quadrados dos resíduos (0.11).

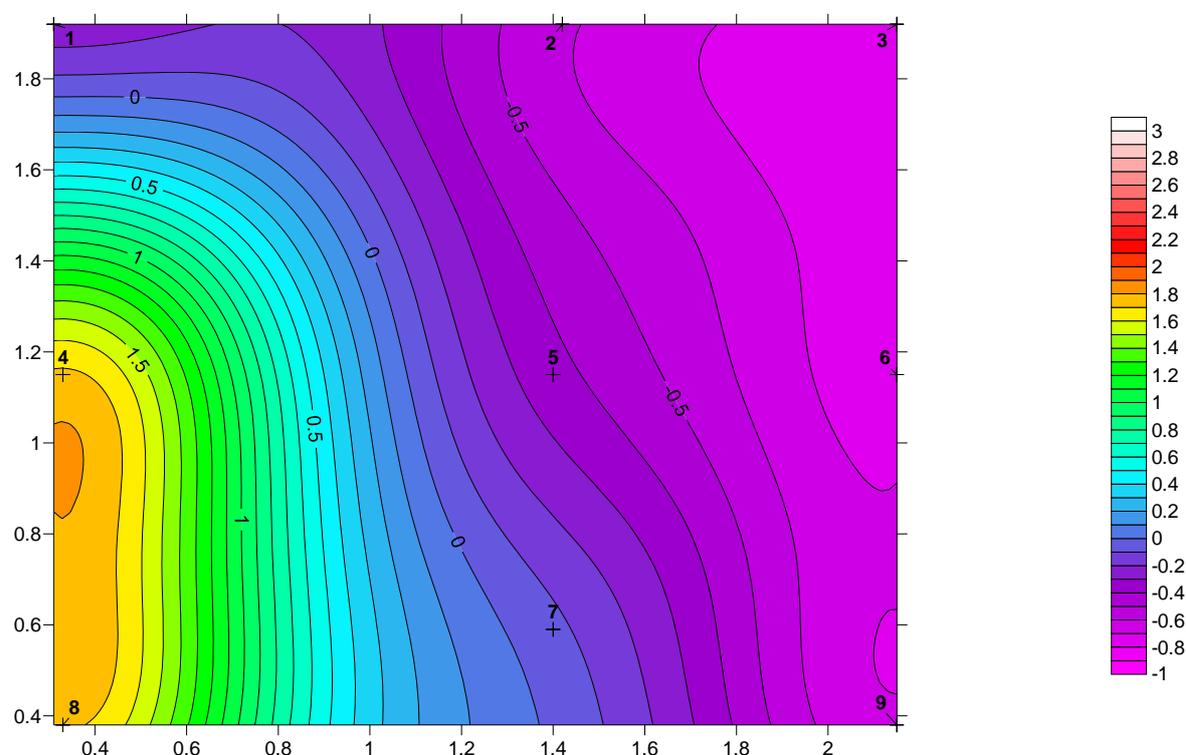


FIGURA 40– Mapa de contorno das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.

Na figura 40 o mapa de contorno da krigeagem ordinária mostra as isolinhas que representam a variabilidade espacial das medidas de iluminância para a Casa 2 no dia 15 de maio. A opção de cores, com a respectiva escala, permite uma melhor visualização dos valores mais altos e mais baixos assumidos pelas medidas de iluminância. Por convenção, opta-se por cores mais frias para valores baixos e cores mais quentes para valores altos.

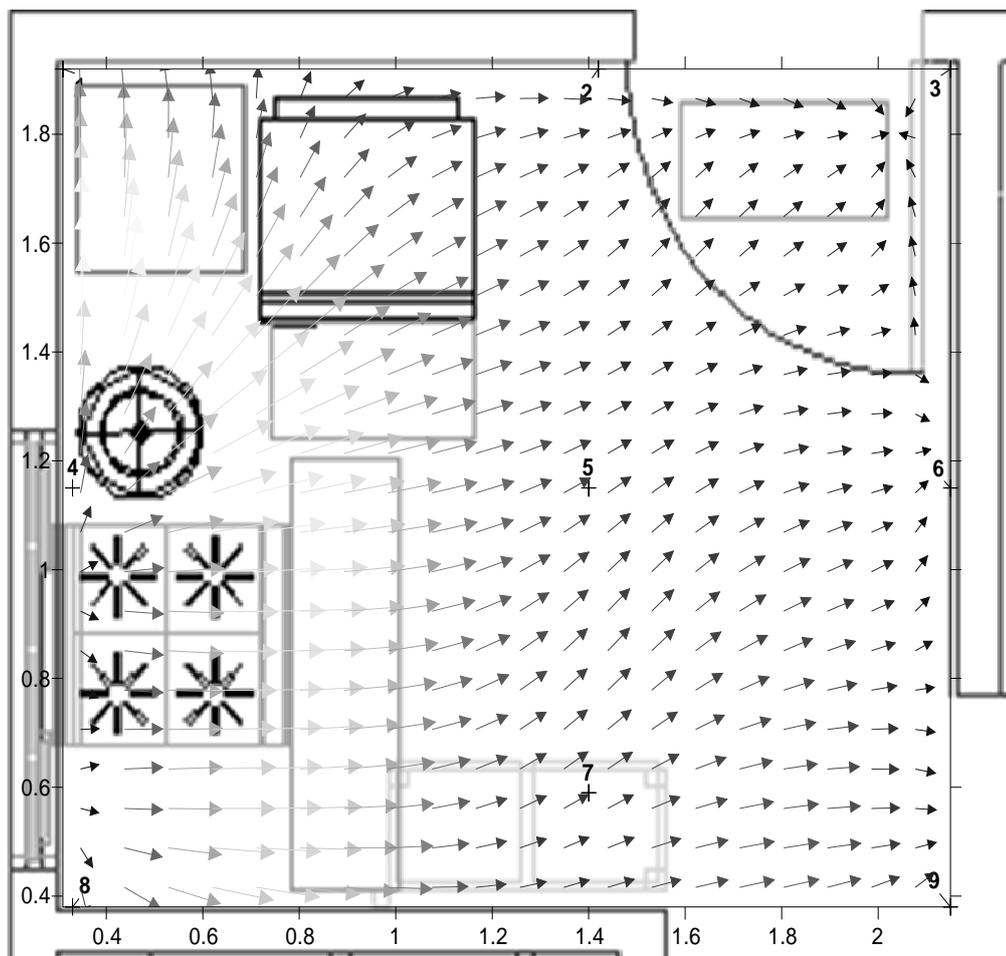


FIGURA 41 – Mapa de gradientes das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.

A figura 41 mostra a superposição do mapa de gradientes das medidas de iluminância com a planta baixa da Casa 2 e permite a visualização da distribuição espacial da iluminação no dia 15 de maio. Os mapas de gradiente representam diferenças na intensidade da iluminação no ambiente, isto é, mostram a quantidade de iluminação em cada ponto do ambiente. Eles mostram que a localização da janela permite uma boa entrada de iluminação. A entrada de iluminação pela porta ficou reduzida, em função da área construída logo após a cozinha, ou, devido à existência de algum entorno, o que prejudicou a distribuição da iluminação no ambiente.

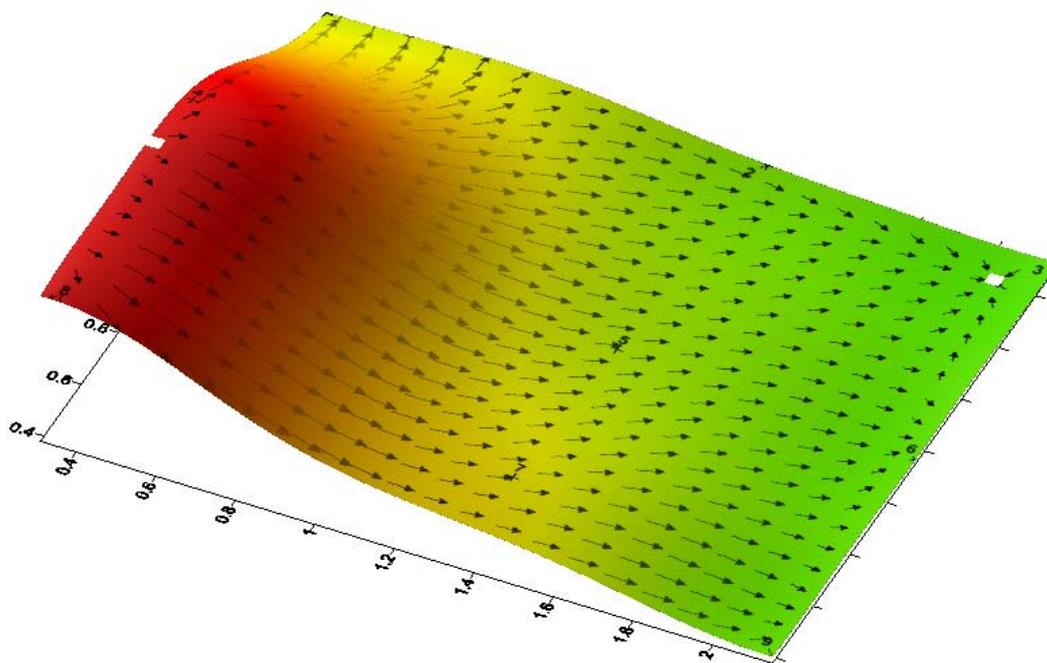


FIGURA 42– Superfície 3 D das medidas de iluminância. Casa 2 – 15 de maio.

Na figura 42 a superfície 3 D permite uma melhor visualização espacial do comportamento das medidas de iluminância para a Casa 2 no dia 15 de maio, mostrando a direção do fluxo de iluminação, isto é, como a iluminação penetra pelas janelas e se espalha pelo ambiente. Ela mostra como é importante um projeto do ambiente que leve em consideração a localização e a orientação das janelas e portas para que se obtenha o melhor aproveitamento da luz do Sol. Mostra também que uns pontos são mais iluminados do que outros por se encontrarem próximos a janela.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais sobre a análise de componentes principais e a análise geoestatística das medidas de iluminância das residências.

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) A análise de componentes principais mostrou que as medidas de iluminância podem ser simplificadas para uma composição linear que explica 91,337% da variabilidade espacial dessas medidas para a Casa 1.
- b) A análise de componentes principais mostrou que um único componente principal explica 94,338% da variabilidade espacial das medidas de iluminância para a Casa 2.
- c) Na análise geoestatística, os semivariogramas mostraram que as medidas de iluminância apresentaram uma boa estrutura de dependência espacial nas duas casas populares, o que permitiu o seu mapeamento.
- d) Os modelos que melhor se ajustaram ao semivariograma das medidas de iluminância com base no menor valor da soma dos quadrados dos resíduos (RSS) e no maior valor do coeficiente de determinação (r^2), foram o gaussiano para a Casa 1 no dia 15 de maio e gaussiano para a Casa 2 nos dias 20 de março e 15 de maio.
- e) A análise geoestatística mostrou que os mapas da krigagem ordinária foram muito eficientes na identificação do comportamento da distribuição espacial da iluminação nas duas casas populares.
- f) Verifica-se, por meio desses mapas que existe uma diferença nos padrões do comportamento da distribuição espacial da iluminação nas duas casas, mostrando que as medidas de iluminância apresentam uma boa correlação espacial com coeficiente de determinação acima de 0,85.
- g) Observa-se pelos mapas da krigagem ordinária que existe influência dos aspectos construtivos e de localização, pois, eles mostraram que os desempenhos da distribuição espacial da iluminação nas duas casas são diferenciados, o que demonstra a importância do posicionamento das janelas e portas para uma melhor distribuição da iluminação.

Pelas considerações feitas anteriormente, pode-se concluir que a análise de componentes principais e a análise geoestatística das medidas de iluminância das residências podem ser uma boa opção para uma melhor adequação das habitações populares em relação a localização das janelas, portas e aberturas, para se conseguir um melhor aproveitamento da iluminação natural nos ambientes.

Assim, o desafio seria a busca de edificações, principalmente as populares, com um bom aproveitamento da iluminação natural, para que possam produzir o bem estar das pessoas no espaço em que vivem e, principalmente, observar que é a luz que dá forma a esse espaço e o integra ao ambiente. Portanto, é fundamental, uma abordagem de todos os problemas arquitetônicos relacionados à iluminação, que possibilitem a compreensão do espaço antes e depois de sua construção, para um bom aproveitamento da iluminação natural.

7. BIBLIOGRAFIAS

Neste capítulo são apresentadas as bibliografias citadas e consultadas para a elaboração da análise de componentes principais e a análise geoestatística das medidas de iluminância das residências.

7.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ALMEIDA, R. B. **Análise comparativa do uso da estatística clássica e a geoestatística na espacialização da região semi-árida**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.

AMARAL, L. P.; FERREIRA, R. A.; WATZLAWICK, L. F.; GENÚ, A. M. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em floresta ombrófila mista. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais. V. 6 Edição Especial. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 15220 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição**. Rio de Janeiro, 2005. 15p.

_____ **NBR 5413 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, 1992.13p.

BAKER, N.; FRANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. *Daylight in architecture: A European Reference Book*. Londres: James & James Editors, 1993.

BARBOSA, F. R. Impactos antrópicos e biodiversidade aquática. In: **Biodiversidade, população e economia**. Belo Horizonte: UFMG/CEDELAR – ECMVS/PADCAT – CIAMB, 1997. p. 345-454.

BOMBLED, J. **Meio século de meteorologia** – v.1, 4º. Fascículo apud Cuiabá. Prefeitura. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano – IPDU. Diretoria de Pesquisa e Informação – DPI. Perfil Sócioeconômico de Cuiabá – Volume III – Cuiabá, MT: Central de Texto, 2007. p. 64.

BRAGA, L. P. V. **Geoestatística e Aplicações**. São Paulo: IME. USP, 1990.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1987.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. cap 5. In: Geoprocessamento em projetos ambientais. 2006. disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2010.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison: 1994. v. 58, n. 5, p. 1501-1511.

CARNEIRO, G. **Aplicação da geoestatística usando a predição espacial de monóxido de carbono pelo tráfego urbano**. 157 f. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

DELFINER, P.; DELHOMME, J. P. *Optimum interpolation by kriging*. New York: John Wiley, 1975. p. 96-114.

DUARTE, D. H. S. **O clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá**. 1995. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995.

_____. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Manual de prédios eficientes em energia elétrica*. Rio de Janeiro: IBAM – ELETROBRÁS/PROCEL, 2002.

- FISHER, M. T.; MARA, M. K. Techniques for evaluating control of automated multi-determinant analytical instruments by computer. **Analyst**, 111. 1986. p. 1225-1229.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS⁺ 9.0. **Geostatistics for the environmental sciences**, 2004
- GOMES, F. J. D. **Relação entre variáveis meteorológicas e cobertura do céu na região central de Cuiabá e entorno**. 2010. 73f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2010.
- GOULDING, J R.; LEWIS, J. O.; STEEMERS, T C. **Energy in architecture: The European Passive Solar Handbook**. London: B. T. Batsford Limited, 1992.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 6ª edição. Porto Alegre, RS. Bookman, 2009.
- HOPKINSON, R. G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Illuminação natural**. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.
- HOTELLING, H. Relations between two sets of variates. **Biometrika**, 28. 1936. p. 321-377.
- HOWLETT, O.; HESCHONG, L.; MCHUGH, L. Scoping Study for Daylight Metrics from Luminance Maps. Leukos. **The Illuminating Engineering Society of North America**. 2007. v. 3, n. 3, January, p. 201 – 215.
- IBGE. **Geografia do Brasil: Grande Região Centro-Oeste**. Vol. II. Biblioteca Geográfica Brasileira. Publicação nº16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Conselho Nacional de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE. 1960.
- _____. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em 30/11/2010.
- IEA - International Energy Agency (IEA). Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings & Community Systems. **Daylighting in buildings: A source book on daylighting systems and componentes**. Califórnia, EUA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

IESNA. Illuminating Engineering Society of North América. **Lighting Handbook**. Eighth Edition. 1995.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Queimadas. Monitoramento de Focos**. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/#>. Acesso em 30/10/2010.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistic**. New York: Oxford University Press, 1989.

JANNUZZI, G. M. Power sector in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy Policy**, 2005. v. 33, p. 1753-1762.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600p.

KOURTI, T.; MACGREGOR, J. Multivariate spc methods for process and product monitoring. **Journal of Quality Technology**, 28. 1996. p. 409 - 428.

KRAUSE, C. B.; SANTOS, M. J.; NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M.; GOMES, A. M. R. C.; TEIXEIRA, K. C.; GOMES, J. C. P. **Bioclimatismo no projeto da arquitetura: dicas de projeto**. UFRJ: PROARQ DTC / FAU. 2004.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **J. Chem. Metall. Min. Soc.** S. Afri. Johannesburg, 1951. pg. 119-139.

KRÜGER, E. L. **Tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. 231 f. 2002. Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: Prolivros, 2004.

LOU, A. P. F. **Modelagem geoestatística aplicada à integração entre dados de postos pluviométricos e radar meteorológico**. 147 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220 f. Tese (Doutorado). (Programa de Pós Graduação em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MARANGONI, A. C.; MELLO, C.; RIBEIRO, D.; RICCI, E.; COELHO, L, M. F. R. **Aplicação do método de análise dos componentes principais com espectroscopia Raman em sistemas de etanol-metanol**. 2004. Disponível em: unifacel.com.br/novo/publicações/IIforum. Acesso em 04.10.2010.

MASCARÓ, L. E. **Iluminação Natural dos Edifícios**. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. 1975.

_____. **Luz, Clima e Arquitetura**. 3ª edição, São Paulo: Editora Nobel. 1983.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2ª ed. Porto Alegre: Ed. Luzzatto, 1992.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econ. Geology**: 58. 1963. p. 1246-1266.

_____. The theory of regionalized variables and its application. **Les Cahiers Fas**. 5, C. G. Fontainebleau. 1971.

MEIRIÑO, M. **Projeto arquitetônico deve incorporar elementos de eficiência energética**. Edição 291. São Paulo: Projeto Design. 2004.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada – Uma abordagem aplicada**. Reimpressão. Belo Horizonte, MG. Editora UFMG, 2007.

_____.; SILVA, A. F. Um exemplo de aplicação de técnicas de estatística multivariada na construção de índices de preços. **Revista Nova Economia**, 7,2. 1997. p. 203-212.

_____.; AQUINO, V.; BARBOSA, F. R.; BARBOSA, M. P.; SANTOS, M. R. L. Índices físico-químico e biológico de qualidade de água do rio Piracicaba e parte do médio rio Doce: uma primeira aproximação. **Revista de Matemática e Estatística da UNESP**, 1998. p. 05 – 16.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Déficit Habitacional Brasileiro**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/noticias/ministro-anuncia-novo-deficit-habitacional-de-5-8-durante-fum5/>. Acesso em 16/11/2010.

McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford: 1986. v.37, n.4, p. 617 - 639.

_____. Detection of ridge and furrow pattern by spectral analysis of crop yield. **International Statistical Review**, Voorburb: 1981. p. 49 - 52.

OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Science**. July, 1990. v. 4, n. 3. p. 313-332.

OSRAM. Manual Luminotécnico Prático. Disponível em: <http://www.osram.com.br/download/manual/manual.pdf>. Acesso em: 12 set 2007.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Séries 6, 2. 1901. p. 559 - 572.

PEREIRA, F. O. R.; SOUZA, M. B. **Iluminação**. Apostila da disciplina Higiene do Trabalho II do curso de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho. Florianópolis, 2000.

RODRIGUES, A. A.; SILANS, A. **Análise da variabilidade espacial da precipitação no litoral do Nordeste Brasileiro**. 2007. Disponível em: [http://www.lrh.ct.ufpb.br/caririPublica%20C3%A7%C3%B5es\(PDF\)Art%2009.PDF](http://www.lrh.ct.ufpb.br/caririPublica%20C3%A7%C3%B5es(PDF)Art%2009.PDF)
Acessado em: 20 de maio de 2010.

ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226 p.

RONDON, C. E. **Análise estatística de medidas de iluminância obtidas in loco e por simulação em habitações populares: estudo de caso em Cuiabá-MT**. 2007. 80 f. Dissertação – (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2007.

- ROSSETI, K. A. C. **Uso de ferramenta computacional para análise do desempenho lumínico em edificações: estudo de caso em habitações populares de Cuiabá.** 2006. 100 f. Monografia – Curso de Arquitetura – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2006.
- SCARAZATTO, P. S. *Software DLN*. In: **Revista Lume**. Nº 10. São Paulo: Comunicação e Editora, 2004. p. 24-29.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, nov-dez, 2004.
- SPASOJEVIAC, B.; MAHDAVI, A. Sky Luminance Mapping for Computation Daylight Modeling. Montréal, Canada: **Ninth International IBPSA Conference**. 2005. p. 1163-1170.
- SPSS 19.0 for WINDOWS. Arquivos de programas/ SPSS Evaluation.
- SURFER. version 9.0. Golden Software, Inc. 2009. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com>.
- TESCH, S.; OTTO, M. Application of principal component analysis to the interpretation of brown coal properties. **Fuel**, 74, 7. 1995. p. 978 - 982.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO (FAUUSP). **Softwares de Conforto**. LABAUT. São Paulo, 2005. Disponível em <http://www.usp.br/fau/pesquisa/laboratorios/labaut/conforto/index.html>. Acessado em: 10. 03. 2011.
- VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e Arquitetura**, São Paulo: Virtus, Universidade do Grande ABC, 2001.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1 - 53.
- WAYNICK, D. D.; SHARP, L. T. Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. II. Variation in nitrogen and carbon in field soils and their relation to the accuracy of field trials. **Agricultural Sciences**. Davis 4(5). 1919. pag. 121 - 139.

7.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ARAÚJO, W. O.; COELHO, C. J. **Análise de Componentes Principais (PCA)**. Relatório Técnico. Mestrado Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. Centro Universitário de Anápolis. Maio, 2009.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. cap 5. In: Geoprocessamento em Projetos Ambientais. 2006. disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf. Acesso em: 12 de maio de 2010.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social**. 2002. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

FREITAS, V. A. **Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas**. 2000. disponível em: <http://www.famat.ufu.br/prof/ednaldo/geoest/mvan.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2010.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 3ª. ed. São Paulo: Nobel. Arquitetura e Urbanismo, 1999.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS⁺ 9.0. **Geostatistics for the environmental sciences**, 2004.

GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Avaliação das condições de iluminação natural nas salas de aula da UFSC**. Artigo. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/enecs97_ghisi.pdf>. Acesso em: 12 de setembro de 2007.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 6ª edição. Porto Alegre, RS. Bookman, 2009.

IANNI, O. **A Era do Globalismo**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1997.

- LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas.** Rio Claro: UNESP. 2000. 20 p. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 12 de maio de 2010.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada – Uma abordagem aplicada.** Reimpressão. Belo Horizonte, MG. Editora UFMG, 2007.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Série: Recursos Naturais e Meio Ambiente. Nº 4. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- PEREIRA, R. C. **Avaliação de ferramentas de simulação de iluminação natural por meio de mapeamento digital de luminâncias da abóbada celeste e entorno.** 2009. 174 pag. Tese (Doutorado) – (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.
- REIS FILHO, N. G. **Quadro da Arquitetura no Brasil.** São Paulo: Ed. Perspectiva, 1970.
- RONDON, C. E. **Análise estatística de medidas de iluminância obtidas in loco e por simulação em habitações populares: estudo de caso em Cuiabá-MT.** 2007. 80 f. Dissertação – (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2007.
- ROSSETI, K. A. C. **Uso de ferramenta computacional para análise do desempenho lumínico em edificações: estudo de caso em habitações populares de Cuiabá.** 2006. 100 f. Monografia – Curso de Arquitetura – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2006.
- _____. **Estudo do desempenho de coberturas verdes como estratégia passiva de condicionamento térmico dos edifícios na cidade de Cuiabá, MT.** 2009. 145f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2009.
- SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico informacional.** São Paulo: Hucitec, 1998.

SURFER. version 9.0. Golden Software, Inc 2009. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com>.

TAVARES, S. G. **Simulação computacional para projeto de iluminação em arquitetura**. 2007. 183 pg. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.