

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

**ANÁLISE DA SEMIVARIOGRAFIA TEMPORAL DE
REFLEXÕES ONDULARES NO CERRADO MATOGROSSENSE**

CRISTIANO ROCHA DA CUNHA

**PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS
ORIENTADOR**

Cuiabá - MT, junho de 2016

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

**ANÁLISE DA SEMIVARIOGRAFIA TEMPORAL DE
REFLEXÕES ONDULARES NO CERRADO MATOGROSSENSE**

CRISTIANO ROCHA DA CUNHA

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

**PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS
ORIENTADOR**

Cuiabá – MT, junho de 2016.

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C972a Cunha, Cristiano Rocha da.
ANÁLISE DA SEMIVARIOGRAFIA TEMPORAL DE REFLEXÕES
ONDULARES NO CERRADO MATOGROSSENSE / Cristiano Rocha da Cunha. --
2016
82 f. ; 30 cm.

Orientador: Carlo Ralph De Musis.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2016.
Inclui bibliografia.

1. Geoestatística. 2. Albedo. 3. Refletância PAR e IV. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

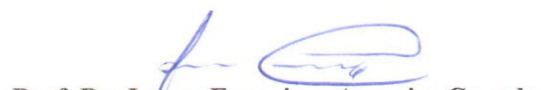
FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: ANÁLISE DA SEMIVARIOGRAFIA TEMPORAL DE
REFLEXÕES ONDULARES NO CERRADO
MATOGROSSENSE**

AUTOR: CRISTIANO ROCHA DA CUNHA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 07 de junho de 2016, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis
Orientador
Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMT


Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues
Examinador Interno
Programa Nacional de Pós Doutorado/PNPD/CAPES


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC


Prof. Dr. Geison Jader de Mello
Examinador Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos que almejam sua inserção numa pós-graduação e lutam para isso, também, o dedico aos meus pais, Valdivino José da Cunha e Ana Paula Rocha da Cunha, à minha esposa, Rute Almeida e Silva e aos meus filhos, Ester Almeida Cunha e Pedro Almeida Cunha.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente à Deus, o Grande Arquiteto do Universo, porque sempre me deu saúde, paz, perseverança e muito tem me abençoado como filho, como profissional, como marido e como pai.
- Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis pela orientação, pelos importantes ensinamentos, pelas longas conversas que consolidaram uma grande amizade, que nunca se furtou em me ajudar em TODOS os momentos que possibilitaram a execução deste trabalho. Ao senhor, professor, meus sinceros agradecimentos e minha plena admiração.
- Aos meus queridos pais, Valdivino José da Cunha e Ana Paula Rocha da Cunha, pessoas que sempre estiveram ao meu lado, nos momentos bons e principalmente nos momentos difíceis.
- À minha doce e amada esposa, Rute Almeida e Silva, que sempre está do meu lado, me apoiando e me ajudando incondicionalmente.
- À minha doce filha, Ester Almeida Cunha, que sempre me abrilhanta com sua presença e brincadeiras, e ao meu filho Pedro Almeida e Silva, que em breve chegará e tornará o mundo de minha família ainda melhor.
- À minha querida irmã Cristina Rocha da Cunha, que sempre me alegrou com sua presença e com seu imenso carinho e nunca mede esforços para estar do meu lado quando preciso.
- Ao grande Prof. Dr. José de Souza Nogueira, coordenador do PPGFA e a sua esposa, Prof. Dr^a. Marta C. J. A. Nogueira, pela amizade e pelos importantes conselhos dados durante suas aulas, pelo imenso carinho, dedicação, zelo e perspicácia com a qual dirigem o PPGFA e o fizeram, junto à todos os professores, um programa de Excelência em MT.
- À banca examinadora, Prof. Dr. Geison Jader Mello, Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira, Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues, Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado, pela leitura da tese e pelas importantes contribuições dadas ao trabalho.

- A todos os professores do PPGFA, todos deixaram um pouquinho de si, e a soma de cada uma de suas contribuições me faz um profissional melhor.
- Ao grande Cesário e a companheira Soilce, pessoas adoráveis que na secretaria do programa sempre me auxiliam no que preciso.
- A todos os colegas da minha turma, companheiros que se tornaram grandes amigos e colegas de pesquisa.
- Em especial ao Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo, que gentilmente forneceu os dados que possibilitaram a execução deste trabalho. Meus sinceros agradecimentos e admiração ao senhor professor, por tão cuidadosamente gerir toda manutenção, coleta e reparo de danos à torre micrometeorológica da Faz. Miranda.
- Também agradeço ao Prof. Dr. Clovis Mirante por permitir que este estudo fosse conduzido em sua propriedade.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1.INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1.Ojetivo Geral.....	3
1.3.2.Objetivos Específicos.....	3
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS	5
2.2.AS INFLUÊNCIAS DO <i>EL NIÑO</i> E <i>LA NIÑA</i> EM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	6
2.3.A INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM ALGUNS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS	7
2.4.A RADIAÇÃO INCIDENTE NA SUPERFÍCIE TERRESTRE, SUAS VARIÁVEIS, PARÂMETROS E CONSTANTES.....	8
2.5. COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E SUAS MUDANÇAS E TENDÊNCIAS AO LONGO DO TEMPO	9
2.6. O ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL E A REFLETÂNCIA DE ALGUMAS ONDAS	11
2.7. REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO VISÍVEL OU <i>PAR</i>	12
2.8. REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO <i>IV</i>	13
2.9. TÉCNICAS DE PREVISÃO	14
2.9.1.Geoestatística... ..	16
2.10. MODELAGEM DO SEMIVARIOGRAMA.....	19
2.10.1.Modelo esférico.....	20

2.10.2.Modelo exponencial	20
2.10.3.Modelo gaussiano	20
3.MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.2. EQUIPAMENTOS DE COLETA DE DADOS	24
3.3. TRATAMENTO DOS DADOS	25
3.4. PLOTAGEM DOS SEMIVARIOGRAMAS.....	26
3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
3.5.1.As técnicas de Validação cruzada: Os Métodos <i>holdout</i> , <i>k-fold</i> e <i>leave-one-out</i>	27
3.5.2.O teste de Wilcoxon	28
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1. CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA DA ÁREA ESTUDADA	30
4.1.1.Precipitação.....	30
4.1.2.Temperatura e umidade relativa (UR).....	31
4.1.3.Vento.....	33
4.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS	35
4.3. ANÁLISE DO ALBEDO GLOBAL	35
4.4. ANÁLISE DA REFLETÂNCIA PAR.....	39
4.5. ANÁLISE DA REFLETÂNCIA IV	41
4.6.O RESULTADO DA VALIDAÇÃO CRUZADA	43
4.7.ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DO ALBEDO GLOBAL	45
4.8.ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DA REFLETÂNCIA IV	50
4.9.ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DA REFLETÂNCIA PAR.....	54
5.CONCLUSÕES	59
5.1. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	60
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO SCRIPT PYTHON	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática do balanço médio de radiação de ondas curtas, na superfície terrestre (PEREIRA et. al., 2002).	9
Figura 2. Sensor Quantum (LI-190SA da Licor Inc.).	13
Figura 3. Fluxograma das técnicas de previsão de dados, adaptado de Rocha (2008)	15
Figura 4. Exemplo teórico de um semivariograma. Adaptado de (CAMARGO, 1998).	18
Figura 5. Principais modelos teóricos usados no ajuste do semivariograma experimental. Adaptado de (Isaaks & Srivastava 1989)	19
Figura 6. Localização da Fazenda Miranda.	23
Figura 7. Piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincol, NE, USA)	24
Figura 8. Sensor de radiação PAR (LI-190SA da Licor Inc.).....	25
Figura 9. Precipitação mensal acumulada durante o período estudado (2009-2013). 31	
Figura 10. Valores da média diária da temperatura (T) e umidade relativa (UR) para o período estudado.	32
Figura 11. Rosa dos ventos das principais direções e da direção anual predominante (indica de onde o vento está vindo).....	34
Figura 12. Regressão linear entre a média anual do albedo global no período estudado.....	38
Figura 13. Regressão linear entre a média anual da Refletância PAR no período estudado.....	40
Figura 14. Regressão linear entre a média anual da Refletância IV no período estudado.....	43
Figura 15. Relação entre o parâmetro de alisamento obtido pelo método da bissecção e o melhor “P” da validação.....	45
Figura 16. Semivariograma temporal do albedo global.	45

Figura 17. Comportamento crescente da semivariância global até o dia 200, em seguida, decrescimento de γ .	47
Figura 18. Semivariograma interpolado em <i>spline</i> nas imediações do dia 200 para o albedo global.	48
Figura 19. Representação dos parâmetros do semivariograma do albedo global.	49
Figura 20. Semivariograma temporal da refletância da radiação IV.	50
Figura 21. Comportamento crescente da semivariância IV até o dia 200, aproximadamente, em seguida, decrescimento de γ .	51
Figura 22. Semivariograma interpolado em <i>spline</i> nas imediações do dia 200 para a refletância IV.	52
Figura 23. Semivariograma da média diária da UR do ar.	53
Figura 24. Representação dos parâmetros do semivariograma da refletância IV.	54
Figura 25. Semivariograma temporal da refletância PAR.	55
Figura 26. Comportamento crescente da semivariância PAR até meados do dia 100, em seguida, γ atinge o patamar.	56
Figura 27. Semivariograma interpolado em <i>spline</i> nas imediações do dia 100 para a refletância PAR.	57
Figura 28. Representação dos parâmetros do semivariograma da refletância PAR.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de referência de saldo de radiação para diferentes coberturas.....	10
Tabela 2. Ano de coleta de dados bem como número de meses e dias.....	30
Tabela 3. Estatística Descritiva para o Albedo Global.	35
Tabela 4. Referência de classificação da distribuição de um histograma “Curtose”.	37
Tabela 5. Valores de Referência para classificação da Assimetria.	37
Tabela 6. Estatística Descritiva para a Refletância da radiação PAR.	40
Tabela 7 Estatística Descritiva para a Refletância da radiação IV.....	42
Tabela 8. Correlação entre o parâmetro de alisamento (PA) e o nível de significância (P) da validação cruzada obtida pelo Método da Bissecção.	44

RESUMO

CUNHA, C. R. “**Análise da Semivariografia Temporal de Reflexões Ondulares no Cerrado Matogrossense**” 82f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

Nos últimos anos muito se tem pesquisado sobre as mudanças de caráter ambiental que o Planeta vem experimentando, dentre tais mudanças destacam-se as da temperatura que a cobertura do solo apresenta. Vale ressaltar que a energia proveniente do Sol que contribui para a elevação da temperatura de uma superfície precisa, antes de tudo, ser depurada em dois processos: o balanço de radiação e o balanço de energia. O primeiro está correlacionado com o albedo da superfície, um índice indicador do percentual de energia, que é devolvido ao espaço; o segundo, com o particionamento do saldo de energia da superfície. Compreender o padrão da reflexão dessas ondas ao longo do tempo é fundamental para prever as tendências futuras de seu comportamento. Os índices de reflexão estudados nessa pesquisa pertencem a uma região de cerrado campo sujo da baixada cuiabana. Com o uso da linguagem de programação Python, foi desenvolvido rotinas de modelagem geoestatística no tempo automatizadas por validação cruzada suportada por estatística não paramétrica. A fim de teste prático dos procedimentos desenvolvidos foram modeladas as semivariâncias do Albedo Global, Refletância da radiação PAR e IV. O ajuste do modelo utilizou uma validação cruzada *K-fold* com 10 particionamentos. A análise demonstrou uma dependência temporal em torno de 200 dias para a semivariância do albedo global e refletância IV, já para a radiação PAR, esse valor ficou em torno de 100 dias, além dos modelos semivariográfico necessários para a modelagem das séries, de modo a contribuir com a sua gestão e operação em trabalhos futuros.

Palavras-chave: Geoestatística, Albedo, Refletância PAR e IV

ABSTRACT

CUNHA, C.R. “**Analysis of Temporal Waveforms Semivariografia of Reflections in Mato Grosso Cerrado**” 82p. Thesis (PhD in Environmental Physics), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

In recent years much has been researched on the environmental nature of changes that the planet is experiencing, among these changes there are the temperature that the soil cover features. It is noteworthy that the energy from the sun contributes to raising the temperature of a surface must first of all be cleared in two cases: the radiation balance and energy balance. The first is correlated with the surface albedo, an energy percentage indicator index, which is returned to the space; the second, with the partitioning of the surface energy balance. Understanding the pattern of reflection of these waves over time is critical to predict future trends in their behavior. The reflection indices studied in this research belong to a dirty field cerrado region of cuiabana downloaded. Using the Python programming language, it was developed routines geostatistical modeling in automated time by cross-validation supported by nonparametric statistics. In order to practice test procedures developed were modeled the semivariances Global Albedo, Radiation Reflectance PAR and IV. The model adjustment used a cross-validation K-fold with 10 partitioning. The analysis demonstrated a time-dependent around 200 days for semi variance of global albedo and reflectance IR, as for the PAR radiation, this value was approximately 100 days beyond semivariográfico templates for modeling the series, so contribute to the management and operation in future work.

Keywords: Geostatistics, Albedo, PAR and IV reflectance.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O planeta Terra vem passando nos últimos tempos por várias mudanças, dentre as mais estudadas, pesquisadas e divulgadas, podemos citar as de origem ambiental. Em larga escala, existem os círculos polares, o derretimento das calotas, o aumento do nível dos oceanos, o incremento de gases de efeito estufa na atmosfera, as mudanças em termo de variação de temperatura, a quantidade e localidade das precipitações e a tendência de aumento da temperatura média do globo terrestre.

Muitas convenções, com intuito de debater os impactos que essas mudanças podem proporcionar, são realizadas com certa frequência. Um dos encontros mais prestigiados realizados pela comunidade científica, cujo objetivo é discutir impactos ambientais em escala global, é o realizado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, que publicou até hoje cinco relatórios, nos anos de: 1990, 1995, 2001, 2007 e 2014. Em todos os documentos relatados, há uma convergência de pesquisas. Segundo elas, a energia que o globo terrestre recebe do Sol, varia em sua intensidade durante o ano, mas, devido a mudanças na cobertura vegetal, isso proporciona, para algumas regiões, alterações nos componentes do balanço de radiação e do balanço de energia e, também, prováveis alterações no regime de precipitação.

Para a realização da partição da energia solar na superfície estudada faz-se necessário, primeiramente, o Balanço de Radiação. Esse procedimento tem como uma das principais variável dependente o albedo. Prever eventuais mudanças ou tendências desse índice é fundamental para se projetar cenários futuros do saldo de radiação.

O Estado de Mato Grosso possui uma grande biodiversidade animal e vegetal, quando se fala em biomas, é contemplado com cerrado, floresta amazônica e pantanal. O último possui uma importância mundial, por se tratar da maior planície alagada do Planeta.

Com relação à economia matogrossense, o maior destaque está na sua principal fonte de geração de riquezas: o agronegócio. Desta forma, imersos nesses dois importantes pilares (agronegócio e riquezas naturais), pesquisas ambientais são essenciais para geração de conhecimentos acerca da interação do homem com a superfície.

Tais séries de dados possuem, usualmente, patologias como falhas, heterocedasticidade e não-estacionariedade, exigindo um trabalho com procedimentos mais robustos. Neste sentido, este estudo visa colaborar para esse campo científico, contribuindo na compreensão de como se comporta a reflexão das radiações que incidem sobre um dado bioma, num certo intervalo de tempo, é essencial para dimensionar as alterações ou tendências que a cobertura vegetal estará sujeita. Tais modificações podem afetar o balanço de radiação, o de energia, ou até mesmo influenciar em alterações da temperatura média de uma superfície.

1.2. JUSTIFICATIVA

A fim de compreender, de uma forma mais efetiva, como o comportamento de uma grandeza física se dá ao longo do tempo, é necessária realização de um minucioso trabalho num conjunto de dados coletados sobre a informação que se deseja investigar.

O volume de informações que será investigado é fundamental. Quando esse montante de dados está ordenado no tempo, chamamos isso de série temporal. Esta pode carregar consigo informações valiosas, a saber: a forma como a grandeza em questão se comportou, se houve sazonalidade, se ela é determinística ou estocástica, e mais ainda, podem-se extrair informações sobre o seu provável comportamento no futuro.

Em Mato Grosso, muitas coberturas vegetais nativas foram substituídas para dar lugar a grandes monoculturas, especialmente soja, algodão, girassol, milho e outras. Desse modo, compreender como a cobertura original se comportava e como a nova se comportará, é de grande valia para o entendimento do presente e projeções futuras.

Várias são as técnicas usadas para se realizar a análise de uma série temporal de um conjunto de dados. Conforme levantamento feito para os últimos 10 anos no Portal de Periódicos da CAPES, as mais usadas são a Transformada de Fourier e Ondaletas, ou *wavelets*, que são modelos que pressupõe a estacionariedade da série.

Esse pressuposto não foi atendido na série de dados desse trabalho, logo, isso levaria a opção de correção por filtros de média e preenchimento de falhas e, consequentemente, haveria perda de informações, ou, a opção pela implementação de procedimentos de modelagem não sensíveis a esses condicionantes. No sentido da segunda alternativa este trabalho foi desenvolvido, propondo um modelo e o validando por um estudo de caso. Para este, selecionou-se três coeficientes de reflexão, sendo eles: o albedo global, a refletância da radiação PAR e da radiação IV, o que nos levou aos seguintes objetivos

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Ojetivo Geral

Desenvolver rotinas de modelagem por um modelo de séries temporais robusto a não-estacionariedade e a faltas de dados, no caso a semivariografia no tempo, e aplica-lo em estudo de caso de reflexões ondulares de um cerrado matogrossense.

1.3.2. Objetivos Específicos

Desenvolver as rotinas necessárias para a modelagem das séries temporais estudadas e disponibilizá-las; Realizar uma análise estatística descritiva do comportamento do albedo global, refletância PAR e refletância IV dos 4,5 anos de dados coletados, com o intuito de inferir sobre suas eventuais tendências; Estimar as dependências temporais do albedo global, refletância PAR e IV e construir o semivariograma dessas grandezas; Analisar os parâmetros dos semivariogramas temporais do albedo global, refletância PAR e IV; Ajustar modelo para as funções semivariograma com o suporte de procedimentos de validação cruzada *k-fold*.

Com o desenvolvimento e a obtenção dos resultados dessa pesquisa, espera-se mais informações sobre a técnica de semivariografia temporal e validação

cruzada, e dessa forma criar e disponibilizar uma nova ferramenta *open source* para análise dos dados, produzindo assim mais conhecimentos acerca do cerrado de Mato Grosso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Muito se tem falado, nos últimos anos, sobre impactos ambientais causados pelo aquecimento global. Algumas ocorrências extremas, ao longo do globo terrestre, foram investigadas com a intenção de verificar se existe correlação entre si ou se são apenas fatos isolados. Sobre esses eventos, podemos relembrar, de acordo com Marengo (2006), a seca que afetou a Amazônia, em 2005, e também o sul do Brasil, em 2004-2006; Espanha e Austrália, na mesma época, passaram por situações parecidas, com fortes ondas de calor e incêndios; invernos intensos na Ásia e na Europa; ondas de calor na Europa, em 2003; furacão Catarina no Sul do Brasil, em 2004; intensos furacões no Atlântico Norte, em 2005, e outros.

A ocorrência de eventos com extrema variação de grandezas meteorológicas causa prejuízos que vão desde danos materiais ao surgimento de doenças tropicais, como ressaltam Rudorff (2005) e Barcellos et al (2009). Diante da abrangência dos setores que esses eventos climáticos atingem, é de fundamental importância a modelagem desses processos, sejam eles determinísticos ou estocásticos. Quando são determinísticos, modelagens semelhantes ao que o IPCC atualmente faz, são imprescindíveis, pois norteiam as ações antrópicas no sentido de anular ou minimizar os impactos à natureza. Quando são estocásticos, a previsão se torna mais difícil e as técnicas não são tão eficientes.

Para modelar as tendências globais ou regionais que o clima de uma determinada área pode seguir, duas técnicas são utilizadas: Um primeiro conhecido como Modelos Globais Atmosférico ou (GCMs) e outro chamado Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). A nomenclatura de ambos já deixa clara a restrição que cada um tem. Esses modelos podem ser utilizados não só na análise de situações climáticas do passado, como também na modelagem de processos climáticos futuros. Sua abrangência vai desde previsões regionais, numa escala de 10 a 50 km, até uma global, com uma resolução de 300-400 km, conforme afirma Marengo (2006).

2.2. AS INFLUÊNCIAS DO *EL NIÑO* E *LA NIÑA* EM VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

O *El Niño* se caracteriza com um aumento da temperatura das águas do oceano Pacífico Tropical Central e do Leste, acima da média. Já a *La Niña* se traduz como o inverso, um resfriamento abaixo da média nessas águas, como nos ensina Pereira et al (2012).

Os eventos de aquecimento e o de resfriamento das águas do Pacífico se comportam de forma cíclica. Todavia, o reaparecimento destes se dá, em média, em intervalos de dois a sete anos (DA CUNHA et al., 2011). Vale ressaltar as contribuições que tais eventos fornecem, por exemplo, na variação da precipitação (MARCUIZZO et al., 2013); na variação das vazões de importantes rios brasileiros (GUEDES et al., 2013); na alteração dos padrões de ventos (OLIVEIRA & COSTA, 2011); na influência de frentes frias e quentes (FIRPO et al., 2012) e também em variações no balanço de energia e ciclos de aumento de temperatura do ar (VOURLITIS et al., 2014).

Entender todas as nuances que esses eventos trazem para possíveis variações climáticas se tornou, nos últimos tempos, objeto de estudo de muitos pesquisadores. Além disso, o IPCC, em seus relatórios, sempre trouxe trabalhos feitos sobre mudanças que são atribuídas ao *El Niño* Oscilação Sul (ENOS). Contudo, muito ainda se pretende descobrir, por exemplo, no caso da América do Sul, quais regiões de fato enfrentam alguma anomalia de grandezas meteorológicas relacionadas diretamente ao *El Niño* e *La Niña*.

O que se tem como fato, até o momento, é que esses eventos muito contribuíram para variações micrometeorológicas. Em destaque temos o ano de 2005, onde muitas situações anômalas, do ponto de vista climática, se deram no mundo, especificamente na América do Sul. No caso da Amazônia, uma seca extrema foi percebida neste ano, segundo Nobre et al. (2007), pode estar associada ao *El Niño*.

2.3. A INFLUÊNCIA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM ALGUNS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS

Talvez, uma das maiores consequências de uma possível mudança climática em um determinado bioma reporte à possibilidade de alterações nos padrões de diversidade/variedade de sua fauna e flora. No Brasil, muitas pesquisas são feitas na Amazônia, dada à singularidade dessa floresta nos contextos nacional e internacional. Nela, em um trabalho feito por Hutyrá et al. (2005), verificou-se que cerca de $6,0 \cdot 10^5 \text{ km}^2$ poderá se transformar em cerrado caso as tendências de avanço antrópico atuais e o padrão climático se mantenham. Isso porque essa área já possui uma precipitação semelhante a este bioma. Tal localidade é uma região extremamente sensível às secas, além de ser afetada por um intenso desmatamento que vem dando lugar a grandes monoculturas anuais nos últimos tempos.

Associado ao desmatamento, esse pedaço da Amazônia experimenta um aumento em sua temperatura média, como evidencia algumas simulações sobre esta região (NOBRE, 2011; SHUKLA et al., 1990; NOBRE et al., 1991). Esses aumentos de temperatura na Amazônia podem ter basicamente duas origens: natural ou antrópica.

Os efeitos de causa natural são diversos, como, por exemplo: os ENOS (*El Niño*), as emissões de gases de efeito estufa por parte de vulcões, as variações da intensidade de radiação solar, as mudanças na inclinação do eixo de rotação do Planeta, as alterações da excentricidade da órbita da Terra e outras (NOBRE et al., 2007).

Essas derivações não podem ser evitadas. Dessa forma, busca-se apenas compreendê-las e prevê-las. Porém, os eventos, cuja origem é de ação humana, devem ser investigados, e, conforme sua projeção de cenário futuro, ações podem ser tomadas a fim de minimizar suas consequências ou até mesmo evitá-las.

2.4. A RADIAÇÃO INCIDENTE NA SUPERFÍCIE TERRESTRE, SUAS VARIÁVEIS, PARÂMETROS E CONSTANTES

Sobre ações naturais e antropogênicas, sabe-se que o homem não pode alterar a quantidade de radiação proveniente do Sol, mas a quantidade de radiação líquida retida na superfície bem como seu particionamento podem sofrer alterações (MARTINS et al., 2015).

A radiação incidente na superfície, de acordo com Cunha et al., (2014), depende de uma série de variáveis, dentre elas podemos citar: a latitude do local, a distância entre a Terra e o Sol, as condições de cobertura do céu, os padrões de variação de intensidade de radiação solar, o fotoperíodo da localidade, a declinação solar e outras características típicas da cobertura vegetal que se estuda, como às inerentes ao bioma cerrado, pantanal e floresta amazônica, por exemplo.

Para contabilizar o que fica na superfície, ou seja, a radiação líquida, faz-se necessário conhecer o que nesta chega e sai. A radiação incidente pode ser medida de duas formas, uma direta, quando se utiliza sensores, como, por exemplo, piranômetros, e outra indireta, quando se utiliza equações que estimam a quantidade incidente.

O método direto é mais seguro, pois leva em consideração o que acontece com a radiação naquele momento, seja uma presença momentânea de nuvens, ou a declinação solar e até mesmo a duração do dia. O método indireto de se medir a radiação incidente, necessita de equações que possuem termos que precisam ser ajustados para o local de estudo, como, por exemplo, se verifica na Equação 1 abaixo.

$$\frac{Q_g}{Q_0} = a + b \cdot \frac{n}{N} \quad \text{Eq. (1)}$$

Nessa expressão, Q_g representa a radiação global incidente na superfície, Q_0 é a radiação global extraterrestre, ou incidente acima do topo da atmosfera. A divisão n/N é chamada de razão de insolação, que é a fração do número de horas de efetivo brilho solar que houve naquele dia. Os termos “a” e “b” são determinados

empiricamente através de regressão linear para o local de estudo, são específicos para cada latitude (PEREIRA et al., 2002).

2.5. COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO E SUAS MUDANÇAS E TENDÊNCIAS AO LONGO DO TEMPO

Balanço de radiação é o procedimento em que é feito a contabilidade da energia que, efetivamente, fica na superfície terrestre para ser particionada para o aquecimento do ar, evapotranspiração, aquecimento do solo, fotossíntese e o próprio armazenamento na cobertura.

Essa contabilidade é dada pela soma da radiação incidente na superfície, que são basicamente duas: a primeira é chamada de radiação global (Q_g); a segunda, de radiação infravermelha, que é emitida pela atmosfera (R_A). Em seguida, temos a parte devolvida, sendo a primeira a radiação global refletida (Q_R), e a outra a própria radiação infravermelha emitida pela superfície (Q_S). Sendo assim, podemos ter o saldo de radiação (R_N), de acordo com a Equação 2 (VAREJÃO-SILVA, 2006; PILAU & ANGELOCCI 2014; OLIVEIRA & MORAES 2013).

$$R_N = (Q_g - Q_R) + (R_A - Q_S) \quad \text{Eq. (2)}$$

Uma resumida representação é mostrada através da Figura 1.

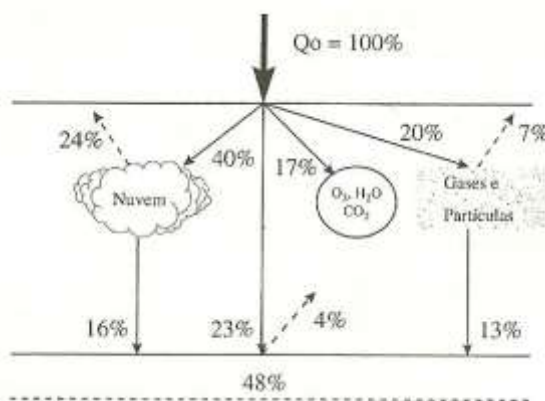


Figura 1. Representação esquemática do balanço médio de radiação de ondas curtas, na superfície terrestre (PEREIRA et. al., 2002).

R_N indica o saldo de radiação da superfície, geralmente expresso em Wm^{-2} . Entretanto, a reflexão da radiação global, que a superfície promove, depende de uma característica intrínseca da mesma, o albedo (α). Logo, a Equação do saldo de radiação também pode ser expressa da forma abaixo.

$$R_N = Qg(1 - \alpha) + (R_A - R_S) \quad \text{Eq. (3)}$$

As alterações no saldo de radiação de uma superfície, em função das mudanças no uso e ocupação do solo, é assunto tratado em muitos trabalhos, como relatam De Freitas et al. (2013), Da Silva Sallo et al. (2014) e Mataveli et al. (2013). Assim, compreender a dinâmica de alteração da radiação líquida, norteará ações futuras na ocupação ou mudança da cobertura do solo.

Quando se muda as características do bioma ou da própria cobertura, nitidamente, se observa mudança no saldo de radiação dessa superfície. Vale lembrar que esta grandeza possui sazonalidade. Seguem abaixo alguns valores de referência.

Tabela 1. Valores de referência de saldo de radiação para diferentes coberturas.

Local	P. Seco	P. Chuvoso	Referência
Reserva Biológica Jarú, Ji-Paraná – RO, Floresta Amazônica	$134 \pm 30(Wm^{-2})$	$112 \pm 23(Wm^{-2})$	Andrade et al. (2009)
Fazenda Maracáí, floresta tropical de transição entre Amazônia e Cerrado.	$121 \pm 26(Wm^{-2})$	$152 \pm 31(Wm^{-2})$	Andrade et al. (2009)
Cerrado do município de Assis – SP.	$102(Wm^{-2})$	$226(Wm^{-2})$	Fernandes & Neris (2013)
Pantanal Mato-grossense	$96,75(Wm^{-2})$	$136,57(Wm^{-2})$	Rodrigues et al. (2011)
Solo descoberto, Município de Mossoró – RN, campus experimental da (ESAM)	$221,6(Wm^{-2})$	$328,5(Wm^{-2})$	Leitão et al. (2000)

Dessa forma, analisando-se tais valores de referência, nitidamente se visualiza o quão dinâmico o saldo de radiação é, sendo este uma resposta intrínseca das características da cobertura vegetal. Sendo assim, com diferentes valores da radiação líquida, o processo do balanço de energia para estas coberturas também será diferente pois essa partição é feita com a radiação líquida.

2.6. O ALBEDO DE RADIAÇÃO GLOBAL E A REFLETÂNCIA DE ALGUMAS ONDAS

Quando se estuda uma superfície qualquer, sabe-se que a mesma possui suas particularidades quanto às espécies animal e vegetal. Neste trabalho, o interesse predominante é em uma característica do componente vegetal. Sabe-se que uma flora qualquer é composta de espécies vegetais com características diversas, que podem ser: espécie, tamanho, densidade populacional, decíduas ou *evergreen*, frutíferas ou não, entre outras (ARAÚJO et al., 2014; ROSA et al., 2015).

Cada superfície, com suas particularidades, possui uma capacidade de devolver parte da radiação que sobre ela incide (GIONGO & VERROTAZZI 2014). A grandeza responsável por isso é chamada de albedo. Esse termo é usado quando nos referimos à radiação de ondas curtas, ou seja, toda a radiação proveniente do Sol. Contudo, quando nos referimos à reflexão de apenas um tipo específico de radiação, como a radiação visível, radiação IV ou qualquer outra do tipo, a quantidade em percentual refletida é chamada de refletância.

O albedo da radiação global pode ser medido pela razão entre a radiação global refletida e incidente, como apresentado a seguir:

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q_G} \times 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Nesta equação, α representa o albedo de radiação global, isto é, um valor dado em % que indica a quantidade de radiação que é devolvida para o espaço. Q_R refere-se à parcela da radiação que é refletida, Q_G à parcela da radiação incidente,

após atravessar a atmosfera e sofrer os fenômenos de reflexão, transmissão e absorção, incide na superfície (CUNHA et al., 2014).

Como nos ensina Braga et al., (2009), Silva & Valeriano (2003), Souza et al., (2010), Filho et al., (2006), o albedo das superfícies é uma função de muitas variáveis, dentre as quais podemos citar: declinação solar, coloração e rugosidade da superfície, tipo de cobertura, umidade retida pela vegetação, IAF (índice de área foliar), cobertura do céu dentre outras.

2.7. REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO VISÍVEL OU PAR

A radiação visível também pode ser chamada de Radiação Fotossinteticamente Ativa ou simplesmente PAR, do inglês *Photosynthetically Active Radiation*. Ela é a responsável pelo processo de Fotossíntese, em que o vegetal transforma o CO₂, presente no ar, junto com a radiação solar, em energia, que é basicamente molécula de açúcar. Essa radiação possui comprimento que vai de 400 a 700 nm (MONTEITH, 1972).

A refletância da radiação PAR também é obtida da mesma forma que o albedo global. Ela pode ser encontrada com a expressão abaixo:

$$\alpha_{PAR} = \frac{PAR_r}{PAR_i} \times 100 \quad \text{Eq. (5)}$$

Nesta equação, PAR_i indica a radiação PAR incidente na cobertura. Já o termo PAR_r representa a parcela dessa radiação que é refletida. A refletância é uma grandeza adimensional, geralmente, representada em %. Para aferir a quantidade dessas ondas que incidem e refletem na superfície, usa-se um sensor semelhante ao da figura abaixo.



Figura 2. Sensor Quantum (LI-190SA da Licor Inc.).

2.8. REFLETÂNCIA DA RADIAÇÃO IV

O sol emite radiação em praticamente todos os comprimentos de onda. A abrangência do seu espectro vai de 0,15 até 4,0 μm . Dentro deste intervalo, cerca de 52% das ondas que chegam a superfície terrestre estão na faixa espectral do infravermelho, cujo comprimento de onda está limitado de 0,7 a 3,0 μm (VAREJÃO-SILVA, 2006; REBOITA et al., 2012).

Nesse trabalho, a radiação IV considerada então, é a proveniente do Sol, porém, vale apenas ressaltar que, de acordo com a **Lei de Wien**, pode-se qualificar a radiação emitida por um corpo em função de sua temperatura, dessa forma, a temperatura dos corpos terrestres estão dentro de um intervalo que qualifica a radiação emitida por estes também como infravermelho, ou, Ondas Longas. (MESQUITA et al., 2013; CURADO et al., 2011).

Nos trabalhos de Leitão et al. (2002) e Cunha et al. (2014) sobre a refletância da radiação infravermelha, quando comparada com as radiações global e PAR, as ondas IV obtiveram maior reflexão que as demais. Os primeiros autores realizam um estudo sobre estas radiações em três regiões distintas de florestas, em todas elas o valor da refletância IV foi maior que as demais; já os segundos autores, em trabalho

parecido, realizado em um cerrado, também encontrou maior valor para a refletância das ondas IV.

De acordo com Leitão et al. (2002), a variação experimentada por esta onda, no período da manhã para o período da tarde, apesar da declinação solar ser a mesma, pode estar relacionada com o grau de umidade na superfície das folhas. Tal umidade diminui no período da tarde. O mesmo foi observado também por Cunha et al. (2014), na área de cerrado.

Sendo assim, para o cálculo da refletância da radiação IV, basta dividir a radiação refletida pela incidente, como mostra a expressão seguinte.

$$\alpha_{IV} = \frac{IV_r}{IV_i} \times 100 \quad \text{Eq. (6)}$$

Nesta Equação, IV_r representa a radiação infravermelha refletida; IV_i , a incidente; α_{IV} , a refletância das ondas IV.

2.9. TÉCNICAS DE PREVISÃO

Quando se pretende estudar o comportamento de uma determinada variável ao longo do tempo, existem duas maneiras: a técnica quantitativa e a qualitativa. As técnicas qualitativas são mais onerosas, exigem maior trabalho e dedicação. Sua utilização ocorre em casos onde não existem disponibilidades de dados históricos consistentes (VILANI, 2011).

São exemplos de métodos qualitativos: técnica de Delphi, análise de cenário, opinião da força de vendas, pesquisa de mercado, analogia histórica.

A Técnica de Delphi, de acordo com Rossetto et al. (2011), é uma das técnicas de demanda qualitativa em que a previsão é estabelecida de acordo com a opinião de um grupo de especialistas. Já a técnica de análise consiste em projetar cenários futuros de demanda. Para Wanke & Julianelli (2006), quando existem muitas variáveis interferindo no resultado futuro de um evento, a elaboração de cenários, “situações hipotéticas futuras”, pode ser utilizada como forma de estruturar as análises e de facilitar o processo de planejamento.

A técnica de opinião de força de vendas é um método em que uma equipe de vendedores, por exemplo, que estão diariamente em contato com a realidade de uma dada situação, opina acerca de um produto ou perspectiva. Sobre a técnica pesquisa de mercado, segundo Moreira (2009), a demanda é determinada pelos consumidores. Assim, é lógico que a opinião deles é fundamental para a elaboração da previsão.

Finalmente, a analogia histórica é uma técnica usada quando se pretende lançar um produto, baseado na existência de outro similar que já existe no mercado.

Em relação aos modelos quantitativos, os mesmos podem ser chamados de séries temporais e modelos causais. A série temporal é um conjunto de dados de uma determinada grandeza variando ao longo do tempo. Conforme sua classificação, tal série pode ser chamada de determinística ou estocástica.

De acordo com Oliveira & Favero (2002), a série determinística é aquela que pode ser escrita através de uma função matemática, $y = f(\text{tempo})$, e será estocástica quando envolver, além de uma função matemática do tempo, um termo aleatório $y = f(\text{tempo}) + \varepsilon$.

Segue abaixo um fluxograma com as respectivas divisões dos modelos de previsões.

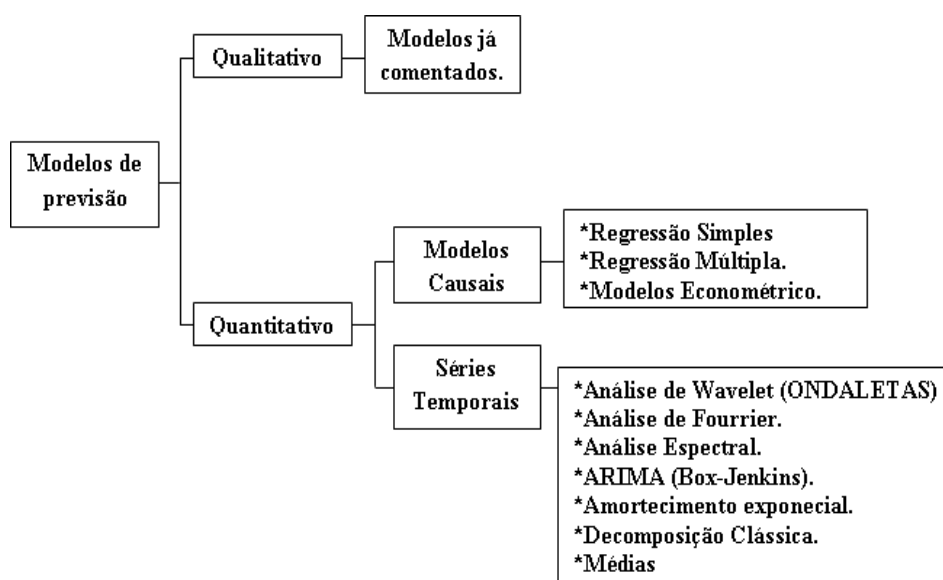


Figura 3. Fluxograma das técnicas de previsão de dados, adaptado de Rocha (2008)

2.9.1. Geoestatística

A geoestatística surgiu a partir de trabalhos do sul-africano Daniel G. Krige (1919 – 2013), no ano de 1950, quando ele publicou os resultados de estudos feitos sobre dados relativos às atividades desenvolvidas em minas de ouro, no Rand, África do Sul. Essa pesquisa deu origem ao termo Geoestatística que foi inicialmente introduzido por Georges Matheron (1920 – 2000), matemático e geólogo francês.

A estatística clássica, até então, admitia apenas a existência de variáveis independentes, sem nenhuma correlação com o tamanho de uma amostra e a distância entre estas. Foi assim que os pesquisadores africanos e, logo após, os franceses, com os estudos de Krige (1951) e Matheron (1971), criaram importantes conceitos que hoje norteiam a Geoestatística. (CAMARGO, 1998)

Os pressupostos desse novo ramo deixam claro que a variação de uma grandeza se dá pela soma de três componentes: um estrutural, associado a um valor médio constante; um outro associado ao espaço, variando aleatoriamente e, por último, um ruído aleatório (BURROUGH, 1987). Dessa forma, o foco da Geoestatística, baseia-se no segundo pressuposto, que recebeu o nome de variância ou, mais comumente, semivariância. É através do variograma, ou semivariograma, que se dá o comportamento dessa grandeza bem como de seus elementos.

2.9.1.1. O variograma

O variograma é uma função intrínseca que reflete a estrutura do fenômeno estudado. Este mede as relações estatísticas pelas covariâncias que existem entre as amostras espaçadas de sucessivos valores de h . A função dessa grandeza, geralmente, possui um comportamento crescente até uma certa distância h , conhecida como alcance (ANDRIOTTI, 2004).

Para a construção de um semivariograma, considera-se um certo atributo distribuído no espaço. Isso pode ser, por exemplo: a concentração de um dado elemento químico no solo; uma distribuição de precipitação ao longo de uma determinada área; um efluxo de CO_2 do solo de alguma área, enfim, alguma variável relacionada com o espaço. Através de uma amostra de qualquer um desses,

correlacionadas por: $z(x_i), i = 1, 2, \dots, n$, o variograma pode ser calculado pela Equação 7:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. (7)}$$

Nessa Equação temos:

$2\hat{\gamma}(h)$: Variograma calculado.

$N(h)$: Número de pares de valores coletados ou medidos, $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$, separados por um vetor distância h .

$z(x_i)$ e $z(x_i + h)$: valores das observações feitas, a primeira e a posterior, separadas pela distância h .

Na maioria da literatura de trabalhos sobre geoestatística, temos representado o semivariograma $\hat{\gamma}$ ao invés do variograma $2\hat{\gamma}$. Portanto, para o cálculo deste, temos a Equação 08:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad \text{Eq. (8)}$$

2.9.1.2. Os parâmetros de um semivariograma

A representação abaixo mostra um semivariograma experimental cujas características se aproximam do que se espera quando dados são tratados com a geoestatística.

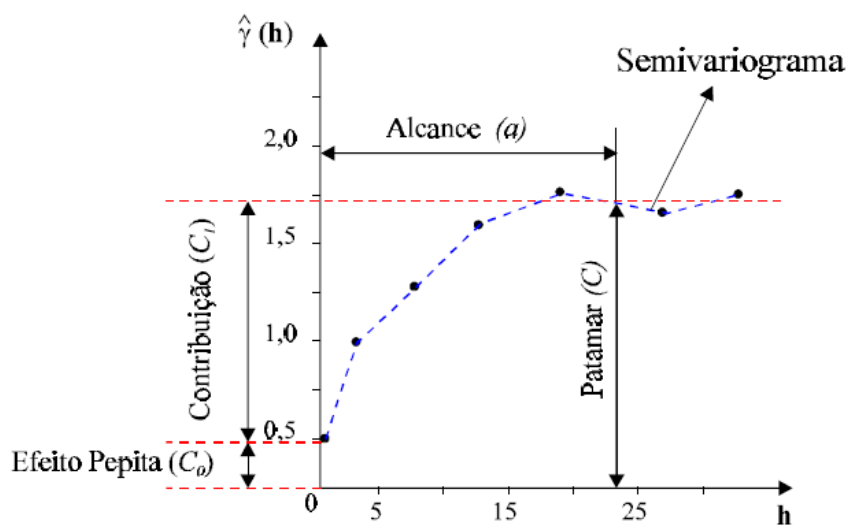


Figura 4. Exemplo teórico de um semivariograma. Adaptado de (CAMARGO, 1998).

No semivariograma teórico da figura 4, podemos visualizar seus principais elementos. O esperado é que a semivariância calculada, $\hat{\gamma}(h)$, diminua com o passar do tempo, na medida em que a distância h entre as amostras aumente. Seus outros elementos são:

- Alcance (a): representa a distância em que as amostras possuem uma dependência espacial. No semivariograma teórico da figura 4, o alcance é de 25m. Logo, isso indica que dentro dessa distância, existe variância da grandeza nesse domínio.
- Patamar (C): Corresponde à soma do efeito pepita (C_0) com a contribuição (C_1), ou seja, indica o ponto a partir do qual, não mais existe a dependência espacial das amostras.
- Efeito Pepita (C_0): Quando existe uma situação ideal, temos $\hat{\gamma}(0) = 0$, porém, na prática, quase nunca isso é evidenciado. O efeito pepita mostra a descontinuidade da semivariância, quando temos distâncias menores do que a distância entre as amostras. Isso pode estar associado a erros cometidos nas coletas dos dados (Chieregati et al. 2012) ou também a uma variabilidade de pequena escala dos dados. Se a variância dos dados não possui dependência espacial, o variograma, geralmente, tem uma

função constante e paralela às abscissas. Esse modelo é chamado Efeito Pepita Puro.

- Contribuição ($C1$): É a diferença entre o patamar e o Efeito Pepita.

2.10. MODELAGEM DO SEMIVARIOGRAMA

Após a construção do semivariograma experimental, cujo exemplo foi ilustrado na Figura 4, este precisa ser modelado para que se visualize o comportamento de “h” em função de $\hat{\gamma}(h)$. Vários modelos teóricos de semivariograma existem, sendo prevalentes os seguintes: Exponencial, Esférico e Gaussiano. A diferença desses modelos, quando se observa a interpolação que cada um gera, está, basicamente, no formato que a curva ajustada adquire.

Na figura abaixo, pode-se observar o comportamento esperado para cada ajuste.

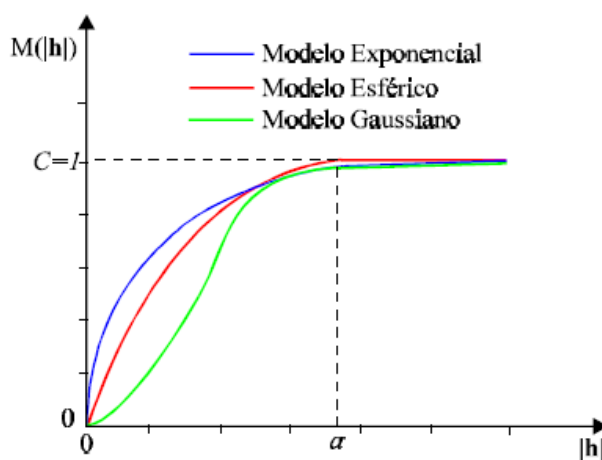


Figura 5. Principais modelos teóricos usados no ajuste do semivariograma experimental. Adaptado de (Isaaks & Srivastava 1989)

2.10.1. Modelo esférico

O modelo esférico, representado em vermelho, é normalizado conforme a Equação 09 a seguir:

$$Sph(|h|) = \begin{cases} 0, & |h| = 0 \\ 1,5 \left(\frac{|h|}{a}\right) - 0,5 \left(\frac{|h|}{a}\right)^3, & 0 < |h| \leq a \\ 1, & |h| > a \end{cases} \quad \text{Eq. (09)}$$

2.10.2. Modelo exponencial

O modelo exponencial, em azul, também é bastante utilizado. Sua normalização obedece ao seguinte modelo da Equação 10.

$$Exp(|h|) = \begin{cases} 0, & |h| = 0 \\ 1 - \exp\left(\frac{-|h|}{a}\right), & |h| \neq 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (10)}$$

Esse modelo, segundo Isaaks & Srivastava (1989), atinge o patamar assintoticamente, com alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar.

2.10.3. Modelo gaussiano

O modelo gaussiano, representado em verde, é comumente usado em modelagem de fenômenos contínuos, como relatam Isaaks & Srivastava (1989). Sua formatação obedece à Equação 11:

$$Gau(|h|) = \begin{cases} 0 & , \quad |h| = 0 \\ 1 - \exp\left(\frac{-|h|}{a}\right)^2 & , \quad |h| \neq 0 \end{cases} \quad \text{Eq. (11)}$$

O modelo gaussiano é semelhante ao exponencial. Nesse último, o patamar é atingido assintoticamente, e o parâmetro a é definido como o próprio alcance do semivariograma experimental. Já o modelo gaussiano é caracterizado em função do seu comportamento em forma de parábola, próximo à origem do sistema.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo do presente trabalho é um sítio experimental, próximo da divisa da cidade de Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger. Trata-se de uma propriedade particular conhecida como Fazenda Miranda, estado de Mato Grosso - Brasil, situada a 15 km sul da capital (15°43' Sul e 56°04' Oeste), com altitude média de 157m em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, com vegetação característica de Cerrado.

O solo dessa área é caracterizado como plintossolo pétrico, sendo pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta, podendo existir locais com a presença de solos LITÓLICOS DISTRÓFICOS (EMBRAPA,2003). A Figura 6 mostra uma localização da área de estudo.

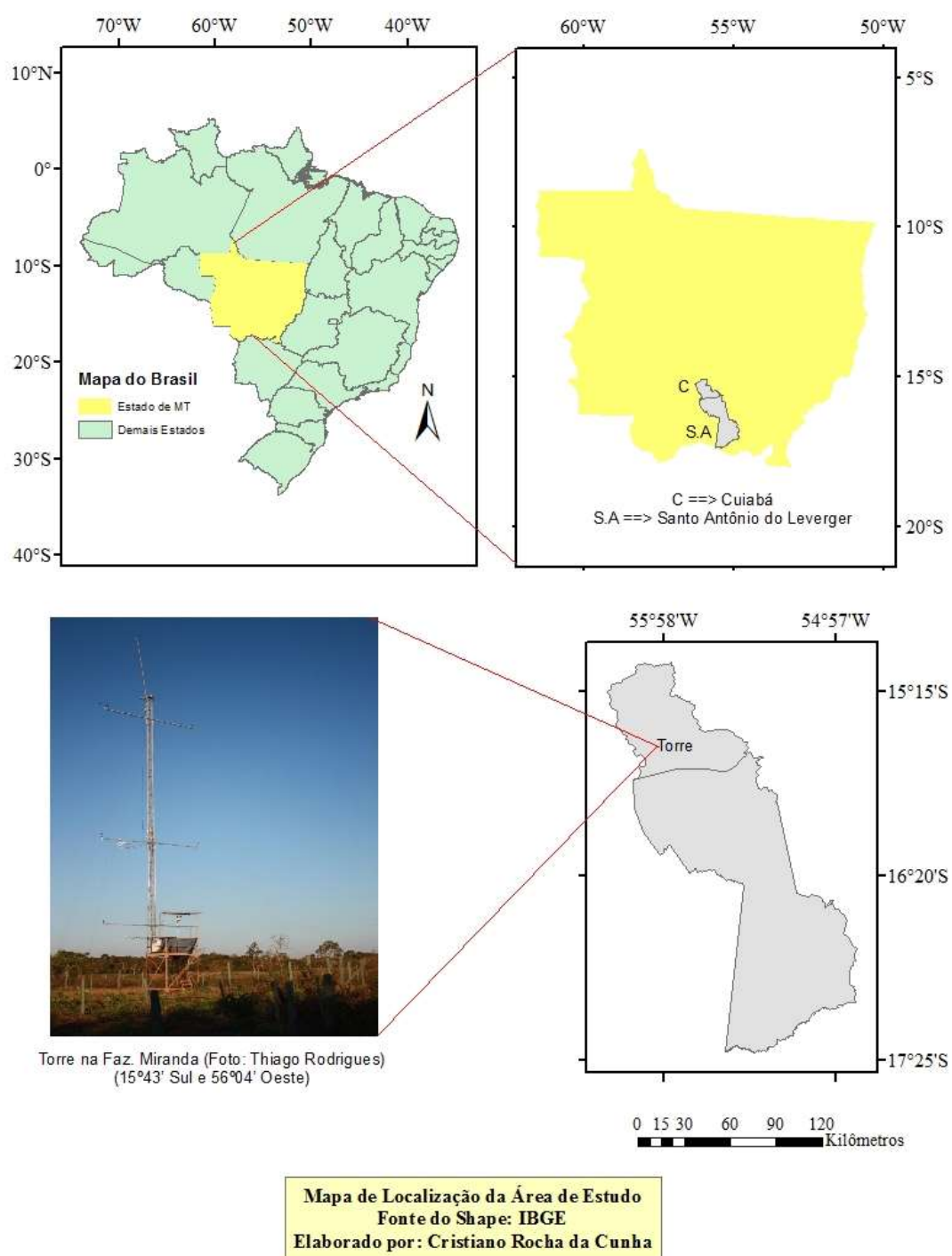


Figura 6. Localização da Fazenda Miranda.

3.2. EQUIPAMENTOS DE COLETA DE DADOS

No sítio experimental onde foi feito a coleta de dados, há uma torre instrumentada com a finalidade de coletar variáveis micrometeorológicas. Aqui serão descritos apenas os sensores cujas variáveis foram utilizadas, para tanto, fez-se necessário uma série temporal dos seguintes dados: precipitação acumulada mensalmente, radiações incidentes e refletidas, global, PAR e IV que foram armazenadas a cada 30 minutos.

Para se obter a precipitação acumulada (ppt) nesse sítio experimental, usou-se um pluviômetro de báscula modelo TR-525M (Texas Eletronics, Inc., Dallas, TX, USA) instalado a 5 m de altura do solo. Já a radiação global incidente e refletida, foi obtida com um Piranômetro LI-COR, também instalado a 5 m de altura. Representação do sensor na sequência.



Figura 7. Piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA)

Para a obtenção da radiação PAR, o sensor utilizado do modelo Quantum, sendo instalado a 5 m de altura. Para a coleta das radiações global e PAR, foram usados dois sensores, um voltado para cima, coletando a radiação incidente, e outro, voltado para o solo, coletando assim a radiação que este reflete. A ilustração a seguir mostra equipamento usado na coleta da radiação PAR.



Figura 8. Sensor de radiação PAR (LI-190SA da Licor Inc.).

3.3. TRATAMENTO DOS DADOS

A planilha de dados coletados pelo *datalogger* realizou a leitura das radiações a uma frequência de 10 Hz, calculando sua média a cada 30 segundos. Os valores encontrados foram armazenados num intervalo de 30 minutos.

As radiações global incidente e refletida foram coletadas em W.m^{-2} . A radiação PAR, no entanto, foi coletada em $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$. Para fazer a conversão desta unidade para W.m^{-2} , foi realizada a multiplicação dos valores por um fator que corresponde ao comprimento de onda médio entre 400 e 700 nm, que é 550 nm, como no exemplo abaixo:

$$\text{Radiação em } \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{seg}^{-1} \times (0,2177) = \text{Radiação em } \text{W.m}^{-2}$$

A radiação IV foi obtida pelo método indireto, isto é, seu valor foi dado pela diferença entre a radiação global e PAR, como nas Equações 12 e 13 abaixo:

$$IV_r = Q_R - PAR_r \quad \text{Eq. (12)}$$

$$IV_i = Q_G - PAR_i \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde IV_r , Q_R e PAR_r são as radiações infravermelha, global e PAR, respectivamente, refletidas; já, IV_i , Q_g e PAR_i são as radiações incidentes.

Já de posse dos espectros incidente e refletido, todas em uma mesma unidade, foi feito a razão entre a parte refletida e a parte incidente, obtendo assim o percentual de radiação que é devolvido ao espaço de cada intervalo, global, PAR e IV.

Na sequência, utilizou-se uma Workstation Dell com processados intel i7 Xeon com 16Gb de RAM, com a programação na linguagem *Python*, em anexo, utilizando a distribuição Anaconda (64bits), em que foram feitas a validação cruzada e o cômputo dos valores de semivariância de cada conjunto de dados. De posse dos valores, os semivariogramas foram construídos com o auxílio do software *Matlab 2014a*, na sequência, iniciou-se a análise dos resultados obtidos.

3.4. PLOTAGEM DOS SEMIVARIOGRAMAS

Os valores das semivariâncias foram calculados com o software *Python*. Após a elaboração do algoritmo da programação, planilhas do Excel com as semivariâncias e os passos associados a estes valores, foram geradas. De posse destes dados, a plotagem foi feita com o software MATLAB, versão 2011 b, com o uso da função *scatter*.

A dispersão gerada foi bastante extensa, logo, alguns gráficos foram analisados com a visualização de todo o semivariograma, ao passo que outros, foram analisados por partes, dessa forma, foi necessário a função *zoom* do MATLAB.

3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.5.1. As técnicas de Validação cruzada: Os Métodos *holdout*, *k-fold* e *leave-one-out*

O procedimento de Validação cruzada, geralmente, é utilizado quando um conjunto de dados quaisquer é tomado a fim de se criar um modelo de descrição de uma determinada variável, isto para compreender seu comportamento ou para realizar o preenchimento de eventuais falhas. Essa técnica permite a generalização do modelo que se estuda. Para a realização da validação cruzada, basicamente, adota-se uma das seguintes técnicas para divisão dos dados: *holdout*, *k-fold* e *leave-one-out*.

Todas essas maneiras partem essencialmente da mesma premissa, que é dividir o montante da série em grupos. Estes são retirados da amostra onde, então, se busca os parâmetros de descrição do modelo. Em seguida, a parte retirada é utilizada a fim de se comparar qual foi a diferença entre o estimado e o obtido.

Para todos os métodos de partição dos dados, ao final do processo, a Equação 14 é usada com a finalidade de, quantitativamente, avaliar a capacidade de generalização do modelo.

$$A_{cf} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \epsilon_{y_i, \hat{y}_i} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v (y_i - \hat{y}_i) \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde, nesta Equação, v representa o número de dados de validação, já $\epsilon_{y_i, \hat{y}_i}$ indica o resíduo dado pela diferença entre o valor real da saída, y_i , e o valor predito $\hat{y}_i$.

3.5.1.1. Método *holdout*

O método *holdout* é a maneira mais simples de particionamento dos dados. Tal técnica consiste em dividir o total dos dados em dois subconjuntos, em que um deles, usualmente, é uma fração de 1/3 do total. Essa parte será usada para o teste. O restante, 2/3 do total, será o conjunto de treino. O subconjunto maior é utilizado para induzir uma classificação, para modelar matematicamente o comportamento dos

dados. Já a outra parte menor, após a modelagem, é usada com a finalidade de se verificar a acurácia do modelo.

3.5.1.2. O método *K-fold*

O método *K-fold*, como relata Stone (1974), é uma generalização do método *houdout*. A técnica consiste em dividir o conjunto total de dados em K partes de igual tamanho. Em seguida, uma parte é retirada para a realização do teste, enquanto as K-1 partes restantes são usadas como conjunto de treino, modelando o comportamento do grupo. Esse processo é repetido K vezes. No final dessa etapa, a estimativa da taxa de erro de tal técnica é medida com a média dos erros de cada interação.

3.5.1.3. O método *leave-one-out*

Como relatado por Lunts (1967), o método *leave-one-out* é uma derivação do método de *k-fold*. No entanto, neste caso, assume-se que o valor de K é igual ao número de dados da amostra. Dessa forma, os sucessivos subconjuntos de teste são formados por um único exemplo. O conjunto de treino é todo o restante da amostra. As limitações ao uso dessa técnica se dão à condição de um intenso trabalho computacional. Todavia, essa técnica também é bastante eficiente na modelagem (LOPES, 2008).

3.5.2. O teste de Wilcoxon

O teste de *Wilcoxon* é um procedimento não-paramétrico¹ utilizado na comparação de dados pareados, como os derivados de processos de validação

¹ Como relata Callegari-Jacques (2003), em testes paramétricos os valores da variável estudada devem ter distribuição normal ou aproximadamente normal. Já em testes não-paramétricos, também chamados por testes de distribuição livre, não há exigência quanto ao tipo de distribuição da variável em questão.

cruzada. Neste trabalho, no par, uma amostra será a estimada, e a outra será o valor real, utilizando a técnica *K-fold*.

Desse modo, para a realização de tal teste, algumas medidas são tomadas como relatam (NETO & STEIN, 2003):

- a. Para cada par, determina-se a diferença (d) com sinal.
- b. Atribuir postos a essas diferenças independentemente de sinal. Em caso de empates, atribuir a média dos postos empatados.
- c. Para cada posto, atribuir o sinal + ou o sinal – da diferença “d” que ele representa.
- d. Obter um valor T que representa a menor das somas de postos de mesmo sinal.
- e. Determinar N que é o total das diferenças com sinal.
- f. Se $N \leq 25$, obter p através da Equação 15 abaixo:

$$p = P(x \leq k) = \sum_{x=0}^k \binom{N}{x} \cdot p^x \cdot q^{N-x} \quad \text{Eq. (15)}$$

- g. Se $N > 25$, determina-se a média e o desvio-padrão da soma dos *ranks* dos postos. Em seguida, obtém-se o valor de Z calculado e o mesmo valor tabelado. Para tanto, utiliza-se da aproximação da distribuição binomial pela distribuição normal.

$$\mu_T = \frac{N.(N+1)}{4} \quad \text{Eq. (16)}$$

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{N.(N+1).(2.N+1)}{24}} \quad \text{Eq. (17)}$$

$$Z_{tab} = Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad \text{Eq. (18)}$$

- h. Por último, comparar o valor real com o valor teórico de Z. Se Z calculado for menor que Z obtido, não se pode rejeitar a hipótese nula.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA DA ÁREA ESTUDADA

4.1.1. Precipitação

As séries temporais que deram origem a esta pesquisa somam um total de 1697 dias, aproximadamente 4,5 anos, como, detalhadamente descrito na Tabela 02 abaixo.

Tabela 2. Ano de coleta de dados bem como número de meses e dias.

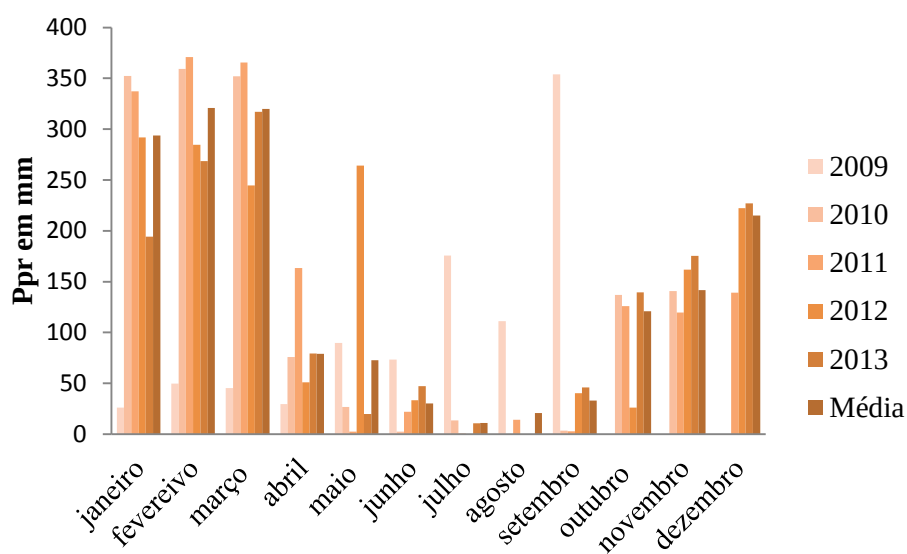
ANOS	MESES	DIAS
2009	Maio – Dez. (7 meses)	244 dias
2010	Jan. – Dez. (12 meses)	357 dias
2011	Jan. – Dez. (12 meses)	365 dias
2012	Jan. – Dez. (12 meses)	366 dias
2013	Jan. – Dez. (12 meses)	364 dias
Total: 4,5 anos	55 meses	1697 dias

A região estudada, de acordo com (RODRIGUES et al., 2013), se classifica como um tipo de Cerrado denominado campo sujo, com uma vegetação bem característica, composta de árvores de pequeno porte e pastagem. Assim, a precipitação pluvial, por exemplo, é uma variável microclimática convencional, pois o seu regime e quantidade se assemelha com outros biomas semelhantes a esse, como nos ensina (MARCUIZZO et al., 2012; MARTINS et al., 2010) que relata chover entre 1200 a 1800 mm no cerrado do Centro-Oeste. Para os anos de 2010, 2011, 2012 e 2013 houve uma precipitação anual de 3607, 1664, 1620 e 1524 mm respectivamente. Oscilações no total acumulado interanual são comuns, (LORENZO

et al., 2015) também observou situação parecida para regiões de Botucatu e Piracicaba, SP,

Na Figura 9 observa-se a precipitação acumulada mensalmente para o período dessa pesquisa. Nele, podemos observar nitidamente pequenas diferenças interanuais da precipitação acumulada, porém, estes gradientes não fogem ao comportamento da média para o período. Essa análise deixa evidente que o regime de chuvas muda durante os anos, porém, a sazonalidade dessa grandeza se mantém, dando indícios de uma estação seca e úmida bem definida, como relata (CUNHA et al., 2014) numa pesquisa feita neste mesmo local.

Figura 9. Precipitação mensal acumulada durante o período estudado (2009-2013).



4.1.2. Temperatura e umidade relativa (UR)

O cerrado mato-grossense, principalmente o da baixada cuiabana, possui de forma bem definida, duas estações, a quente seca e a quente úmida (NINCE et al., 2013; MACIEL et al., 2014). Dessa forma, quem sofre o maior range de variação, durante o ano, é a umidade relativa do ar, sendo que a temperatura, normalmente, possui valores quase sempre elevados.

A área estudada neste trabalho apresentou para os anos de 2009 a 2013 temperaturas médias de 25,6; 26; 27; 26,3 e 26 °C respectivamente. Como se percebe na figura 10, a função que descreve o comportamento da temperatura não oscila tanto quando o da UR. A temperatura média diária apresenta uma amplitude (diferença entre o máximo e o mínimo) de 20, 22, 17, 17 e 21 °C para os anos estudados, sendo os períodos de maiores temperaturas os meses de setembro, outubro e fevereiro. Já, os de menores temperatura junho e julho.

A maior oscilação encontrada no cerrado é a da umidade relativa, pois essa sofre grandes oscilações ao longo do ano. Na região deste trabalho, a amplitude dessa grandeza foi de 53, 70, 71, 66 e 58% entre 2009 e 2010. Os meses que registraram os maiores valores da UR foram fevereiro, maio, junho e julho. Já, os menores valores foram em agosto e setembro.

A variação intensa na UR causa, na vegetação, mudanças que afetam o albedo e a refletância de outras radiações, isso dado a perda de folhas e mudança na coloração da vegetação frente a falta de água no ar, dessa forma, em trabalhos como o de Scoriza & Piña-Rodrigues (2014), relata-se a maior produção de serapilheira em períodos de déficit de umidade.

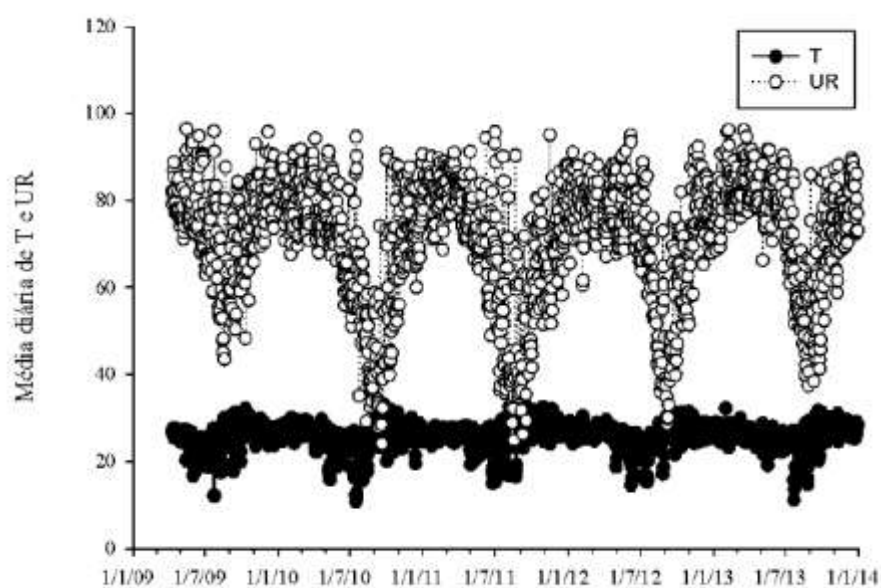


Figura 10. Valores da média diária da temperatura (T) e umidade relativa (UR) para o período estudado.

4.1.3. Vento

O vento é a variável que caracteriza o deslocamento de ar da atmosfera de um ponto para outro, ou simplesmente como um deslocamento do ar (COSTA & LYRA, 2012). Esse deslocamento se dá devido a diferença de pressão entre dois pontos, podendo variar devido a diferença de temperatura e/ou altitude dos locais estudados. Quando se caracteriza o vento, Marin et al. (2008) nos ensina que os principais fatores a serem abordados são a velocidade e a direção que este toma.

Neste trabalho, o cômputo da média da velocidade e orientação anual predominante, foram feitas para dados coletados numa altura de 5 metros. A média da velocidade do vento para os anos de 2009 até 2013, foram respectivamente: 1.167; 1.228; 1.263; 1.06 e 1.511 m/s. Já a direção predominante da maioria dos ventos em 2009, 2011 e 2012 foi Norte. Em 2010 e 2013 foi mais a Norte de Noroeste, como se observa na Figura 11.

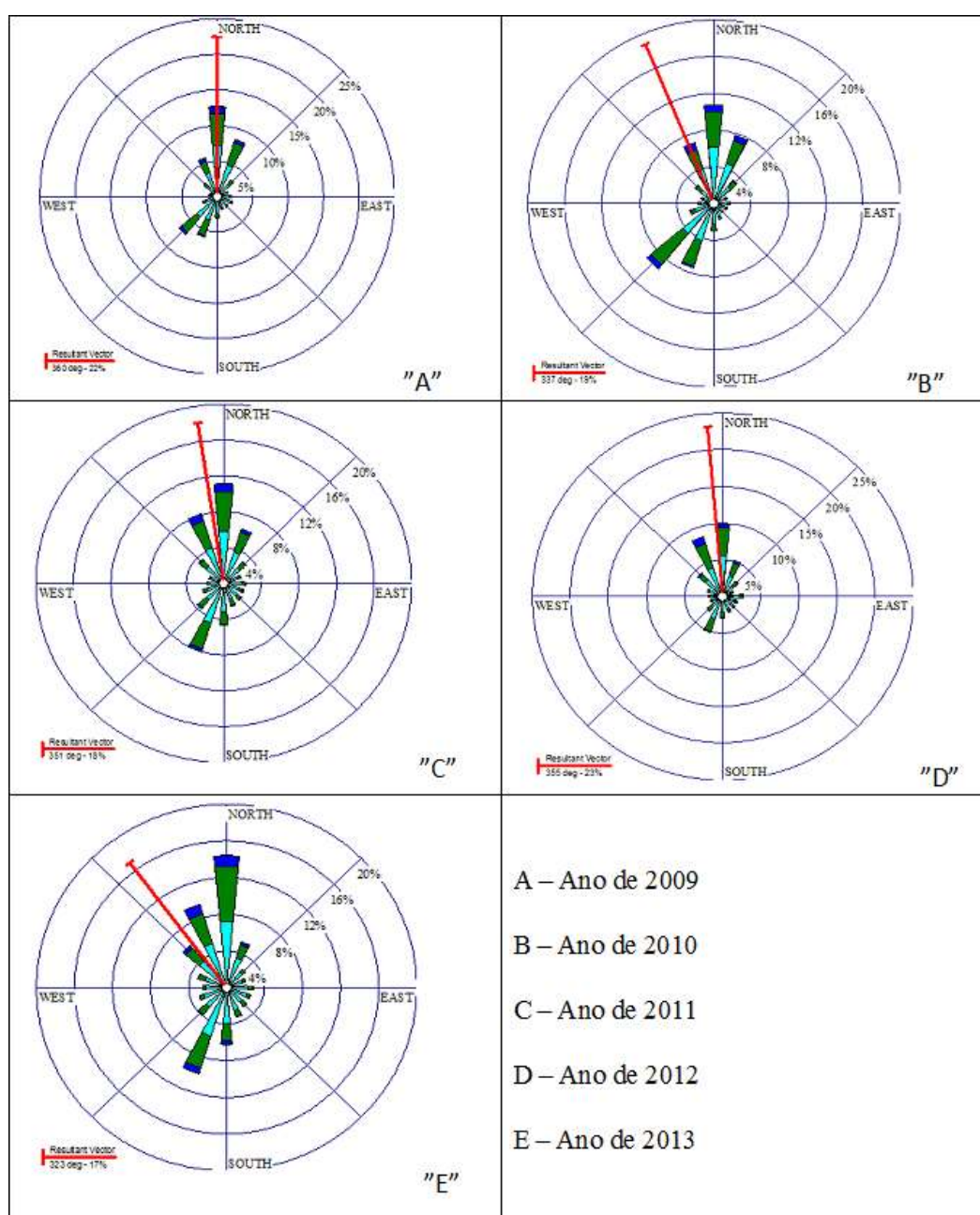


Figura 11. Rosa dos ventos das principais direções e da direção anual predominante (indica de onde o vento está vindo).

4.2. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS

4.3. ANÁLISE DO ALBEDO GLOBAL

Uma análise estatística exploratória foi desenvolvida após o conjunto total de informações ser dividido em anos, sendo um conjunto de dados para os anos de 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013. Para a descrição clássica dos dados, fez-se o cálculo da Média, Mediana, Desvio Padrão e Curtose, além da determinação dos valores máximo e mínimo contidos em cada amostra. A primeira análise foi feita com os valores do Albedo Global e as estatísticas encontram-se na Tabela 03.

Tabela 3. Estatística Descritiva para o Albedo Global.

Anos	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máx.	Mín.	Curtose	Assimetria
2009	19,25	19,12	2,31	28,33	3,57	0,60	0,01
2010	19,63	19,54	2,54	28,81	7,69	-0,15	0,08
2011	21,27	20,82	2,95	29,82	10,0	-0,39	0,41
2012	22,66	22,37	3,41	29,99	1,78	-0,12	-0,01
2013	20,06	19,01	3,38	29,99	7,14	0,42	0,971

Uma primeira análise nos valores da média do Albedo Global mostra que este coeficiente de reflexão apresentou um aumento gradativo de 2009 até 2012, sendo cerca de 2%, 8,3%, 6,5% respectivamente. Já de 2012 para 2013, houve uma redução de 11,4%. Contudo, dentro do período estudado, ou seja, de 2009 até 2013, o aumento foi de 4,2%.

Esse aumento, geralmente, vem sendo observado em áreas utilizadas para cultivo de monoculturas, como, por exemplo, cana de açúcar (MATAVELI et al., 2013), soja (MARTINS et al., 2015; SOUZA et al., 2013). Além disso, tal aumento foi observado em áreas urbanas em expansão (OLIVEIRA et al., 2012). Porém, este trabalho também deixa evidente que nesta região, com nenhuma das características como as citadas anteriormente, esse aumento se fez presente no período estudado.

Em um trabalho realizado por (GUSMÃO et al., 2013), feito na Ilha do Bananal, se percebeu que tanto em áreas antropizadas quanto em regiões preservadas, há uma correlação entre as variações do albedo e da temperatura. Também, para esta tese, a média da temperatura nos anos de 2009 a 2013 foram, respectivamente, 25.6, 26, 27, 26.4, e 26°C, esta pequena variação na temperatura média anual pode estar correlacionado, indiretamente, com a variação do albedo no mesmo período.

O desvio padrão do Albedo Global apresentou valores dentro do esperado. Isso porque essa grandeza possui uma variação horária com valores maiores próximo do início e final do dia. O fato que chamou a atenção foi que esses desvios aumentaram progressivamente, possivelmente, tal fato esteja associado ao aumento médio sofrido pela reflexão.

Com relação aos valores máximos e mínimos da reflexão, percebeu-se um aumento em ambos. Isso se justifica pelo aumento observado tanto na média como na mediana dos dados. Os valores da média e mediana são praticamente os mesmos, tal aspecto indica que o conjunto dos dados possui uma distribuição normal². Então, a análise da curtose informará apenas o *grau de achatamento*³ dessa distribuição. Para o Excel, temos a seguinte tabela de referência:

² Conforme a estatística descritiva, os dados possuem distribuição normal. O teste de Wilcoxon, como relata Callegari-Jacques (2003), é robusto ao tipo de distribuição dos dados, logo, não há exigência quanto ao tipo de distribuição da variável estudada.

³ Uma distribuição de frequência tida como referência (Distribuição Normal) é denominada **Mesocúrtica** (Meso=Meio). Quando a distribuição apresenta uma curva de frequência mais fechada (mais aguda na parte superior) é chamada de **Leptocúrtica**. Quando a curva é mais aberta (mais achatada em sua parte de cima) temos uma distribuição **Platicúrtica**.

Tabela 4. Referência de classificação da distribuição de um histograma “Curtose”.

Valor de Ref.	Classificação
CC = 0	<i>Dist. Mesocúrtica</i>
CC < 0	<i>Dist. Platicúrtica</i>
CC > 0	<i>Dist. Leptocúrtica</i>

Para a análise do Albedo Global, a amostra teve seu comportamento oscilando entre *platicúrtica* e *leptocúrtica*.

A estatística descritiva também contemplou a análise do Coeficiente de Assimetria⁴. Este coeficiente apenas estabelece uma comparação da distribuição em estudo com uma Distribuição Normal. Os valores de referência podem ser visualizados a seguir.

Tabela 5. Valores de Referência para classificação da Assimetria.

Valor de Ref.	Classificação
CI = 0	<i>Dist. Simétrica</i>
CI < 0	<i>Dist. Assimétrica negativa</i>
CC > 0	<i>Dist. Assimétrica Positiva</i>

Uma regressão linear também foi feita para uma melhor análise de como evolui essa grandeza ao longo dos anos estudados.

⁴ Na distribuição Simétrica, CI = 0, a distribuição é praticamente unimodal, implicando que a média, mediana e moda estão muito próximas. Já na distribuição Assimétrica negativa, CI < 0, observam-se maior frequência a maiores valores e a cauda mais longa à esquerda, já na distribuição Assimétrica positiva, CI > 0, temos o contrário da negativa.

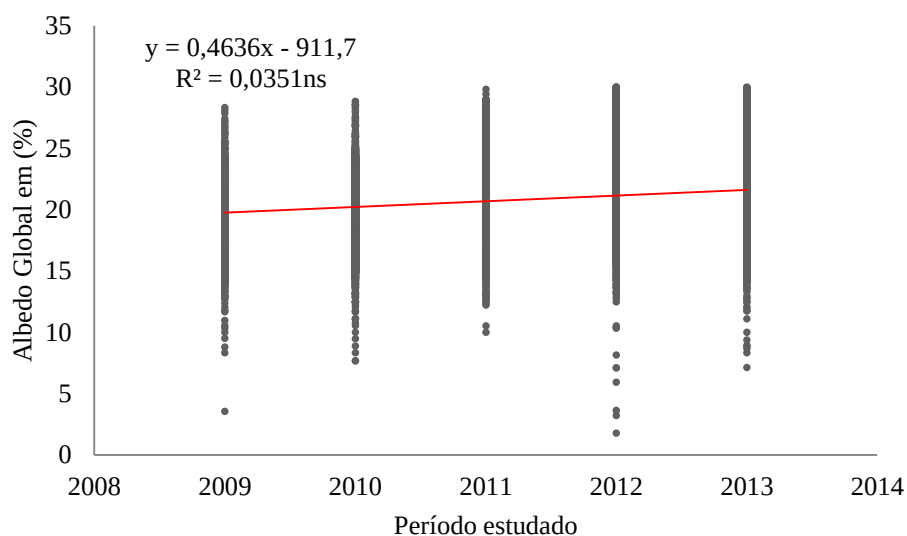


Figura 12. Regressão linear entre a média anual do albedo global no período estudado.

A Figura 12 evidencia que, dentro deste período, essa grandeza em média, aumentou. Embora a área estudada não esteja passando por uma substituição de sua cobertura original e nem é afetada por uma urbanização nas suas imediações, o comportamento deste intervalo de dados leva a crer que este parâmetro biofísico esteja alterando ao longo dos anos, podendo essa evolução estar associada ao aumento de temperatura, como evidenciam (GUSMÃO et al., 2013, TARTANI et al., 2015, SANTOS et al., 2013, SANTOS et al., 2011) em trabalhos feitos em áreas com outros tipos de cobertura.

4.4. ANÁLISE DA REFLETÂNCIA PAR

Após o cálculo das refletâncias da radiação PAR, uma breve análise da estatística descritiva desses dados foi feita com o intuito de também verificar: o comportamento das médias e medianas anuais das grandezas, bem como o comportamento dos valores máximos e mínimos; analisar o desvio padrão e a curtose. Esta última, apenas para entender o formato do histograma desses dados. Os dados encontrados estão na tabela 05.

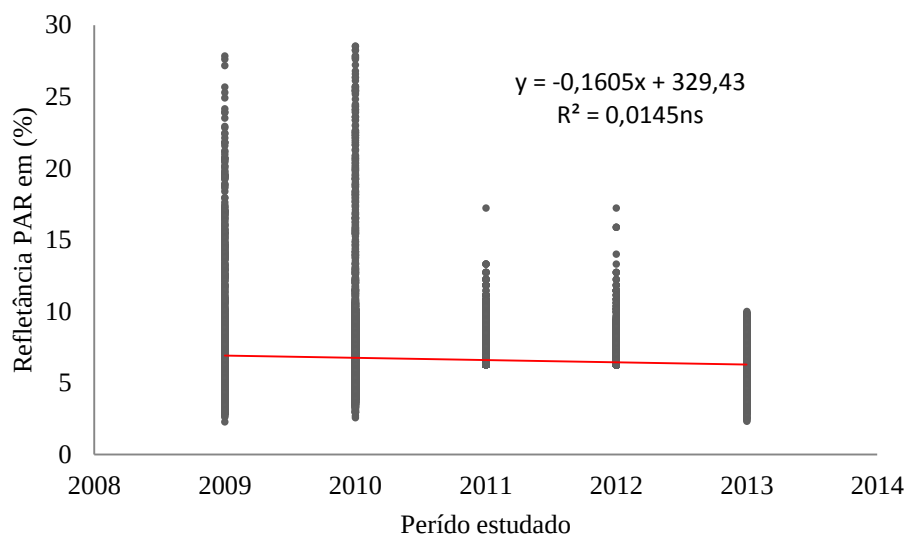
Analizando essa tabela, percebe-se que os valores médios da reflexão da radiação fotossinteticamente ativa, aparentemente, estão oscilando em torno de 6,5% ao longo do período estudado. Um comportamento parecido foi observado nos valores máximos registrados ao longo dos anos. Ademais, percebeu-se um decréscimo significativo nesses valores. Foi observado uma redução de aproximadamente 40% de 2010 para 2011. Já de 2012 para 2013 a redução foi de cerca de 42%, e para todo o período estudado, a redução total foi de cerca de 64%.

O trabalho de Reis (2014), comparando a refletância PAR em monocultura de eucalipto com cerrado, deixou evidente a correlação de alterações do IAF e da presença de cera nas folhagens como principal fator de causa nas alterações da refletância PAR, dessa forma, dado as variações da precipitação no local deste trabalho, é possível que a vegetal tenha mudado tais características e, consequentemente, contribuído para essas alterações.

Tabela 6. Estatística Descritiva para a Refletância da radiação PAR.

Anos	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máx.	Mín.	Curtose	Assimetria
2009	6,53	6,13	2,52	27,84	2,26	16,68	3,44
2010	7,15	6,42	2,82	28,52	2,55	2,68	2,22
2011	6,50	6,29	0,66	17,21	6,26	41,98	5,64
2012	6,50	6,30	0,62	17,21	6,26	57,22	6,20
2013	6,18	6,28	1,19	9,99	2,32	-0,14	-0,00

Já os valores mínimos da radiação PAR registrado no período estudado, sofreram um leve aumento. Mas os valores de 2009 e 2013 são próximos, mostrando, possivelmente, que não haveria tendências de mudanças nesse parâmetro. A análise da curtose foi positiva em quase todos os anos. Apenas em 2013 o comportamento deixou de ser *Leptocúrtico* para ser *Platicúrtico*.

**Figura 13.** Regressão linear entre a média anual da Refletância PAR no período estudado.

A regressão linear da figura 13 vem confirmar a tendência que a análise dos dados brutos indica: no período estudado esse parâmetro sofreu uma redução e, embora o R^2 (coeficiente de determinação) seja pequeno, porém, com o coeficiente angular negativo da reta, o indicativo é de tendência de redução da média dessa reflexão.

Estudiosos de fisiologia vegetal mostram que as estruturas intracelulares possuem estreita relação com a quantidade de radiação PAR refletida por uma determinada cobertura, por exemplo, Gates et al. (1965) afirma que a energia refletida é função das quantidades foliares de: pigmentos, espaços celulares ocupados por água, ar e outras estruturas. Já para Gausman (1985), o grau de maturação da folha e sua posição também influenciam este comportamento.

Enfim, das implicações que esta redução pode indicar, temos que a superfície possa estar utilizando uma fração maior dessa radiação para a fotossíntese, ou, em termos de coloração, em se tratando da radiação visível, que a cobertura possa estar ficando mais escura.

Baseando-se no fato de que não se mudou a cobertura ao longo do período estudado e, as médias analisadas são anuais, logo, fatores como mudanças de coloração, posição de folhas, pigmentos intracelulares e todos os outros que afetam essa reflexão, dessa forma, estão sendo contemplados pela regressão linear.

4.5. ANÁLISE DA REFLETÂNCIA IV

Analisando o comportamento da média da refletância IV na Tabela 6, percebe-se que estes apresentaram um aumento médio de 12,41% dentro do período de 2009 até 2012. No entanto, já em 2013, o seu valor fica menor que a média registrada em 2009. Oscilações na reflexão da radiação IV podem estar associadas à precipitação (LEITÃO et al., 2002), uma vez que essa radiação muito interage com a umidade.

Tabela 7 Estatística Descritiva para a Refletância da radiação IV.

Anos	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máx.	Mín.	Curtose	Assimetria
2009	23,92	23,87	3,20	29,99	2,80	0,46	-0,31
2010	23,47	23,34	3,38	29,99	2,68	-0,15	0,266
2011	25,58	24,94	3,93	34,99	8,54	-0,48	0,38
2012	26,88	26,33	4,54	43,42	0,53	-0,19	0,16
2013	21,10	19,84	4,64	30,99	0,17	0,96	-0,00

Os dados de precipitação, registrados na figura 9, mostram que houve um declínio na precipitação anual acumulada dentro do período de 2011, 2012 e 2013 para a região estudada, onde os valores somam 1664, 1620 e 1524 mm respectivamente. Os dados de 2009 e 2010 apresentaram faltas. Logo, não se pôde quantificar a precipitação anual acumulada para este período. Uma provável explicação para essa variação na refletância pode ser em função desse declínio na precipitação ao longo desse período.

O desvio padrão diferente de zero, assim como para o Albedo Global e também na refletância PAR, apenas mostra que existe uma variação da reflexão IV durante o dia, evidenciando, assim, a dependência dessa grandeza com a variação da declinação solar. A curtose também mostra uma oscilação entre o formato do histograma. Todavia, essa oscilação também foi notada na distribuição das outras reflexões.

A Figura 14 logo abaixo mostra uma regressão entre a média da refletância IV no período estudado. O coeficiente angular negativo da reta é um indicativo que no período estudado houve uma tendência de redução desse parâmetro. Embora tal variação seja muito pequena, neste caso, há uma estreita correlação na tendência de comportamento entre esse índice e a refletância PAR, ou seja: ambas sofreram

redução e a regressão linear, a princípio, mostra uma continuidade desse comportamento.

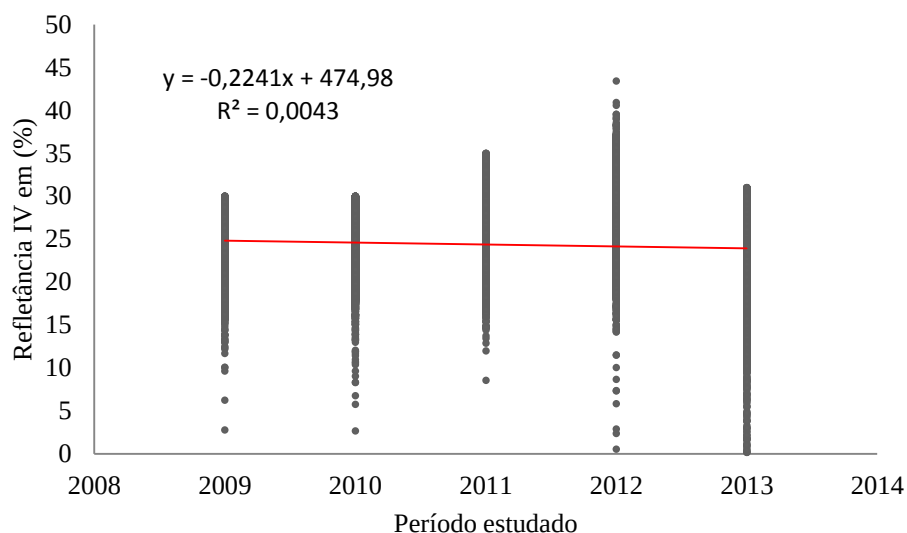


Figura 14. Regressão linear entre a média anual da Refletância IV no período estudado.

4.6. O RESULTADO DA VALIDAÇÃO CRUZADA

Em muitos trabalhos realizados com validação cruzada, como os de Lira et al., (2011), Salvador et al., (2014) e diversos outros, se dão através de uma regressão linear, onde, em um eixo se encontram os valores preditos e, no outro, os valores reais. Nesse contexto, quanto maior o R^2 obtido e, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente angular da reta da regressão, mais eficiente é a técnica de predição. Neste trabalho, posto a não aderência dos resíduos a distribuição normal, autocorrelação e heterocedasticidade, optou-se pelo teste de não-paramétrico Wilcoxon.

O resultado da validação cruzada neste trabalho teve seu resultado expresso pelo nível de significância mediano dos testes resultantes das iterações do procedimento de calibração e validação. O uso desse procedimento por força bruta excedeu a capacidade de processamento da Workstation disponível, o que levou ao

uso de uma pesquisa utilizando o *Método da Bissecção*. Os valores obtidos no procedimento estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Correlação entre o parâmetro de alisamento (PA) e o nível de significância (P) da validação cruzada obtida pelo Método da Bissecção.

PA	P
0,25	0,556455
0,5	0,566364
0,75	0,516
0,25	0,556455
0,375	0,571136
0,5	0,566364
0,375	0,571136
0,4375	0,570182
0,5	0,566364

Com a obtenção de diferentes valores crescentes de “P” em função de “PA”, foi realizada uma plotagem e uma regressão quadrática para o encontro de um valor ótimo. A Figura 15 logo abaixo mostra o resultado da regressão entre os valores correlatos.

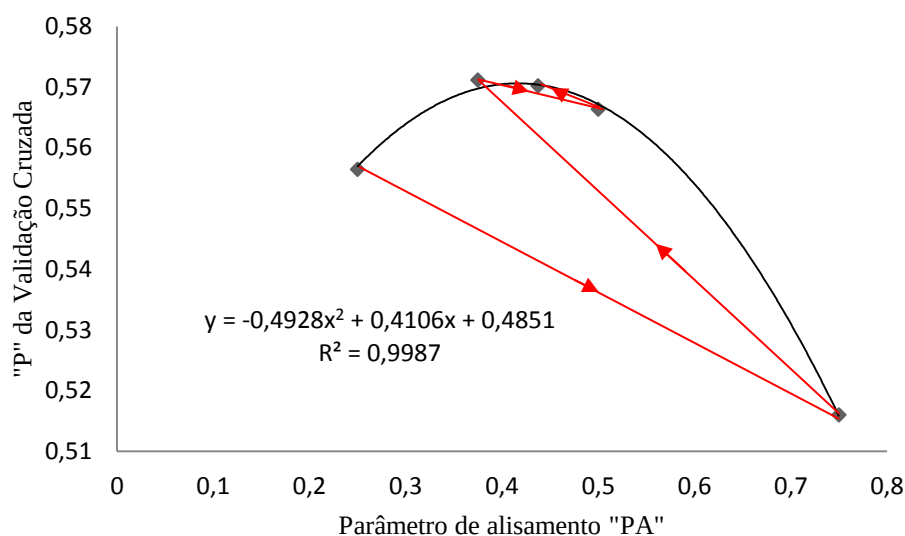


Figura 15. Relação entre o parâmetro de alisamento obtido pelo método da bissecção e o melhor "P" da validação.

A obtenção dos valores do parâmetro de alisamento "PA", com o método da bissecção, se deu na ordem das setas apresentadas na figura 15.

Como se observa, o vértice da parábola representa o melhor valor para a validação. A técnica apresentou uma elevada correlação entre o parâmetro de alisamento e o "P" da validação, representado na regressão por um R^2 bem elevado, próximo de 1.

4.7. ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DO ALBEDO GLOBAL

Após o processamento dos dados, calculou-se com o software PYTHON a semivariância do Albedo Global para o conjunto dos 1697 dias, aproximadamente 4,5 anos. O comportamento da semivariância ao longo de todo esse período pode ser observado na figura 16, logo a seguir.

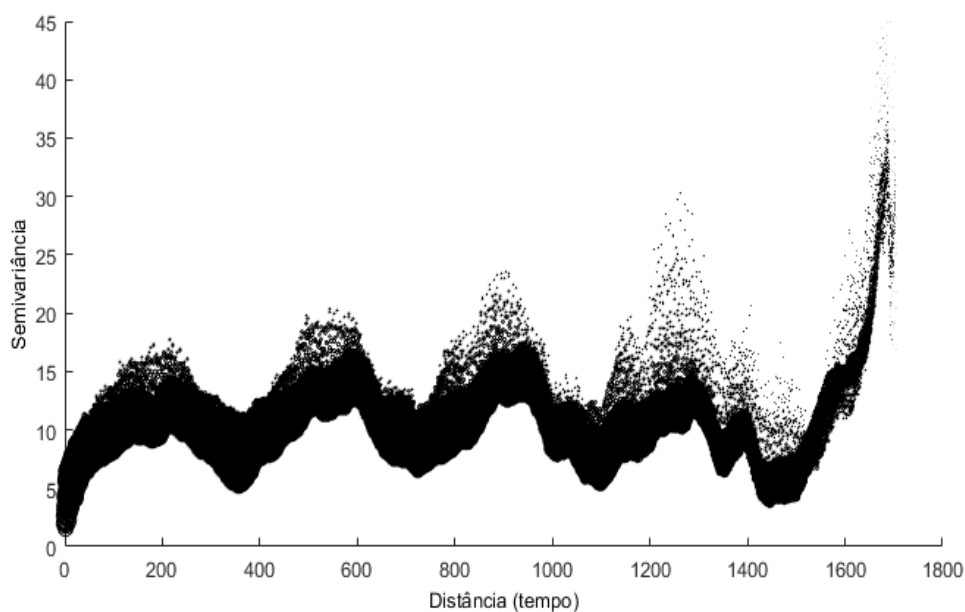


Figura 16. Semivariograma temporal do albedo global.

Analisando o comportamento da variância, ao longo de todo esse período, percebeu-se que o semivariograma não apresentou, aparentemente, o formato de um variograma clássico, como os modelos esférico, hiperbólico ou gaussiano. Entretanto, a forma de onda foi percebida na dispersão dessa figura, representando, assim, outro modelo, não tão usual, que é o de onda.

A abordagem deste modelo não é tão abundante em trabalhos de geoestatística. Numa pesquisa em que essa característica foi encontrada e discutida por Bettú & Soares (2013), encontrou-se a configuração senoidal no estudo de parâmetros geomorfométricos do relevo de uma determinada região em Curitiba; também Bartoszeck (2004), trabalhando com dados geológicos, encontrou modelo semelhante.

Especificamente, em um estudo de modelagem semivariográfica temporal, Almeida et al. (2011) e Mota et al. (2008), também encontraram um comportamento de onda semelhante a este trabalho, porém, para dados de precipitação e temperatura.

Nos modelos de onda, de acordo com Bettú & Soares (2013), o alcance é a distância que vai da origem do semivariograma até o ponto da primeira crista. A semivariância do albedo global começa sua depressão um pouco depois do dia 200,

como se observa a seguir. Sendo assim, esse marco pode ser considerado o alcance para esta grandeza.

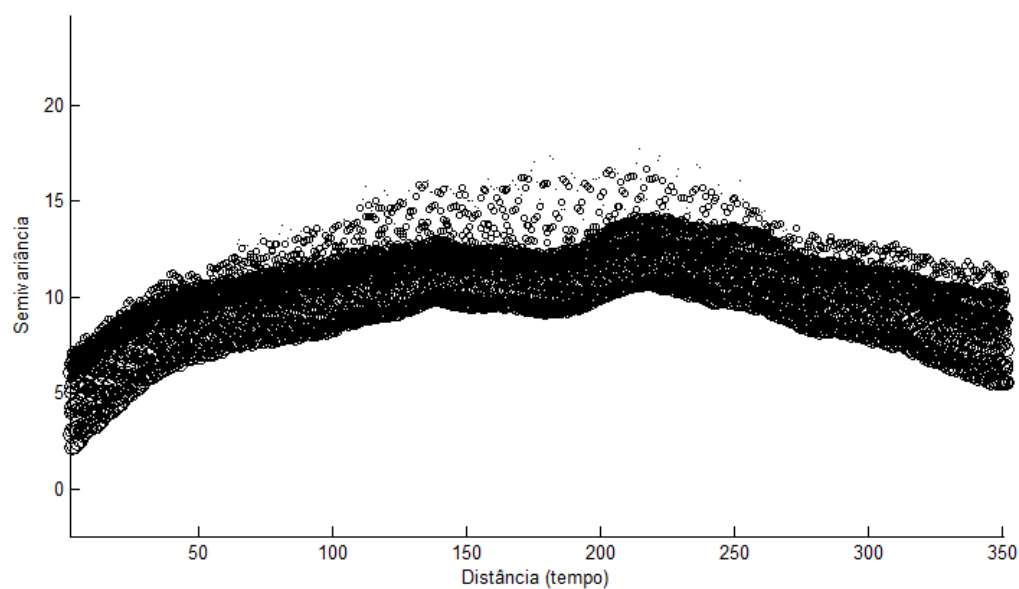


Figura 17. Comportamento crescente da semivariância global até o dia 200, em seguida, decrescimento de γ .

Esse valor indica a “distância temporal” em que se observa o crescimento de γ e sua chegada ao ponto máximo, que no semivariograma atinge seus picos em torno de 15 dias e os valores menores em torno de 9, como indica a Figura 18 a seguir.

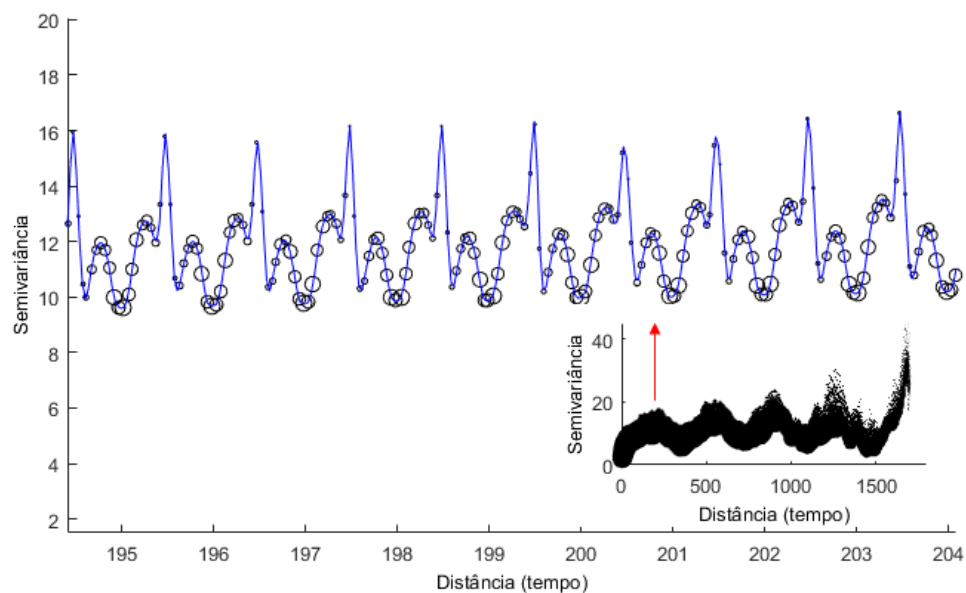


Figura 18. Semivariograma interpolado em *spline* nas imediações do dia 200 para o albedo global.

Portanto, para o período desse trabalho, a semivariância do albedo global obteve os valores de efeito pepita (C_0) com valores mínimos inicialmente em torno de 2 e máximo em torno de 6. Já a contribuição (C_1), considerando como 200 o alcance temporal, teve um valor médio em torno de 9, como se observa na Figura 19.

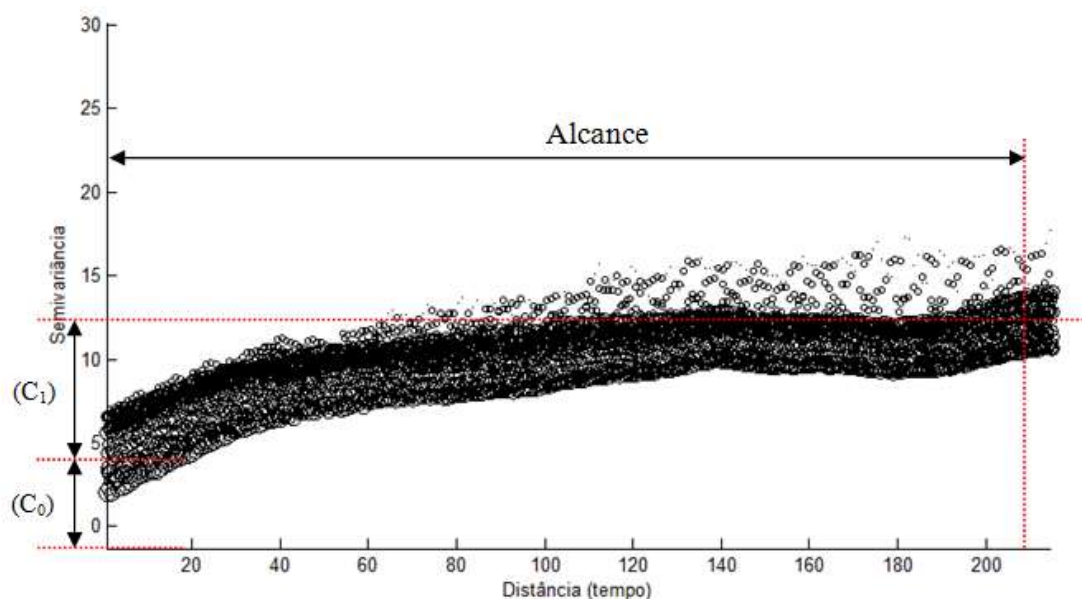


Figura 19. Representação dos parâmetros do semivariograma do albedo global.

Afim de se deixar mais evidente do que se trata os parâmetros do semivariograma aplicado ao tempo, temos que, o alcance temporal, como bem descrito por Góis (2004) e Góis et al. (2010), indica o grau de correlação temporal entre os registros, ou seja, qual o intervalo de tempo uma dada grandeza (variável) voltará a ter valores correlacionáveis.

No caso deste primeiro índice observado, o albedo global, o alcance temporal se deu em torno de 200 dias, em termos práticos, esse é o intervalo de duração de um determinado ciclo de valores desse coeficiente de reflexão, ou seja, os valores voltam a se repetir ou se correlacionar a cada 200 dias.

No caso de quão dependente ao tempo a variável em questão pode ser, existe um índice empírico utilizado em variogramas espaciais, trata-se do *Coefficiente de Efeito de Pepita*, o (CEP), definido como a razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$), onde, de acordo com Cambardella et al. (1994), se $CEP \leq 0.25$ a amostra apresenta alta dependência espacial, se $0.25 \leq CEP \leq 0.75$ a amostra possui moderada dependência espacial, já, se $CEP \geq 0.75$, a amostra possui baixa dependência espacial.

Alguns trabalhos recentes como os de Santos et al. (2011, 2015) tiveram diferentes atributos correlacionados ao espaço medidos com o CEP. No caso dessa

tese, o albedo global teve o CEP vale 44.4%. Logo, uma moderada dependência temporal.

4.8. ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DA REFLETÂNCIA IV

Na Figura 20 abaixo, pode-se observar a dispersão da semivariância da refletância IV. Mais uma vez o comportamento de onda foi observado, semelhante ao encontrado na análise do albedo global. Outra característica em comum diz respeito ao alcance temporal, que para essa reflexão também ocorreu em torno do dia 200. No entanto, algumas diferenças também puderam ser notadas.

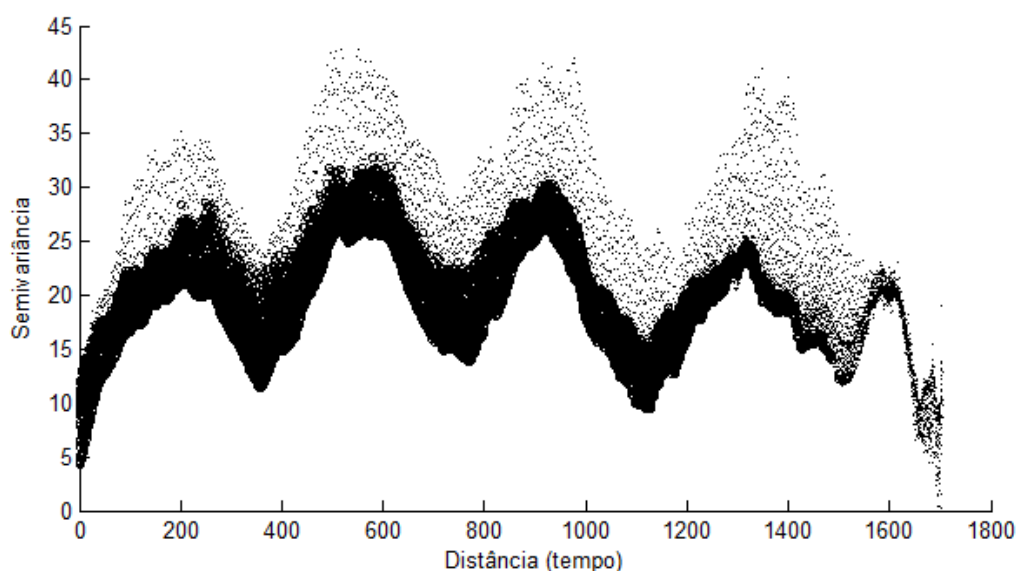


Figura 20. Semivariograma temporal da refletância da radiação IV.

O semivariograma da refletância IV possui uma amplitude maior. Isso garante uma maior contribuição (C1). O fato das variâncias para esta reflexão terem apresentado, em média, valores maiores do que a variância global não tem nenhuma correlação com o fato da média dos albedos e refletâncias IV terem sido diferentes, entretanto, no caso deste trabalho, foi observado que a média da refletância IV e

também a média da variância dessa grandeza foi maior que a média do albedo global e suas variâncias.

Ao se comparar a Figura 21 a seguir com a Figura 17, percebe-se a semelhança nos dois semivariograma com relação ao alcance, que em ambos se dá em torno do dia 200. Além disso, notam-se distinções, por exemplo, nas diferentes amplitudes, ou seja, valores de contribuições (C1) distintos.

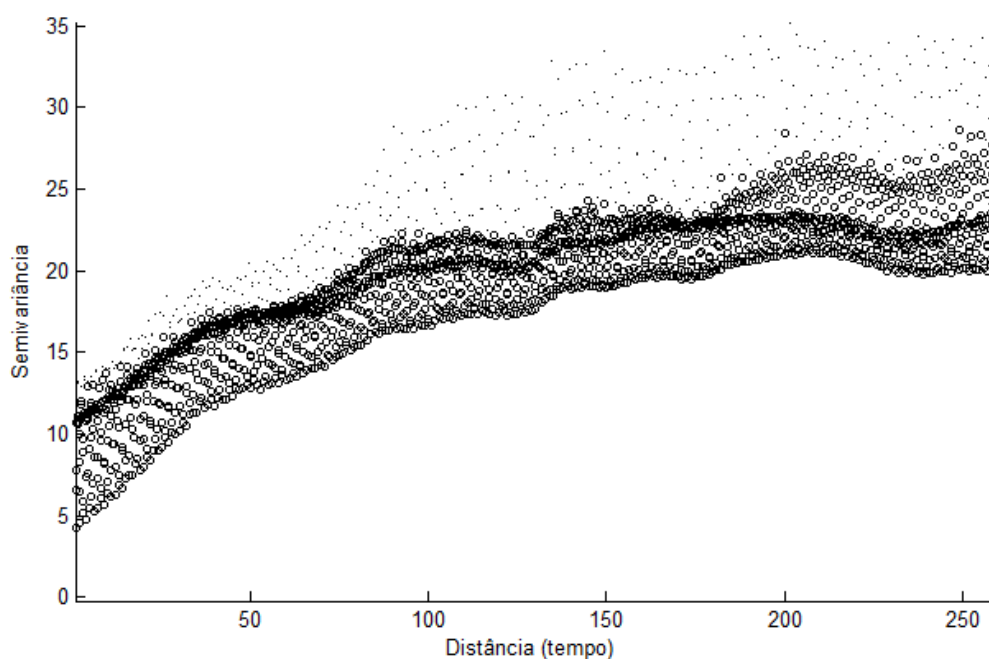


Figura 21. Comportamento crescente da semivariância IV até o dia 200, aproximadamente, em seguida, decrescimento de γ .

Outro fator que também distingue o comportamento das semivariâncias global e IV pode ser notado observando-se o comportamento da figura 22 com a figura 18, em que estes tiveram um patamar em suas interpolações *spline* entre os dias 194 e 206, aproximadamente, com o intuito de observar como a semivariância se comportou no transcorrer dos dias.

Na figura 15, percebe-se que no início do dia a variância cresce abruptamente. Contudo, num dado instante, a mesma sofre uma pequena queda. Depois um aumento volta a ser percebido, até que o pico do valor é alcançado. Em

seguida, após o meio dia, aproximadamente, este valor inicia um decréscimo abrupto que é, após certo tempo, interrompido, voltando a aumentar novamente e depois, reduz até o seu menor valor. Esta é a descrição da semivariância global. Já o comportamento IV para uma mesma interpolação pode ser visualizada na figura 22 a seguir.

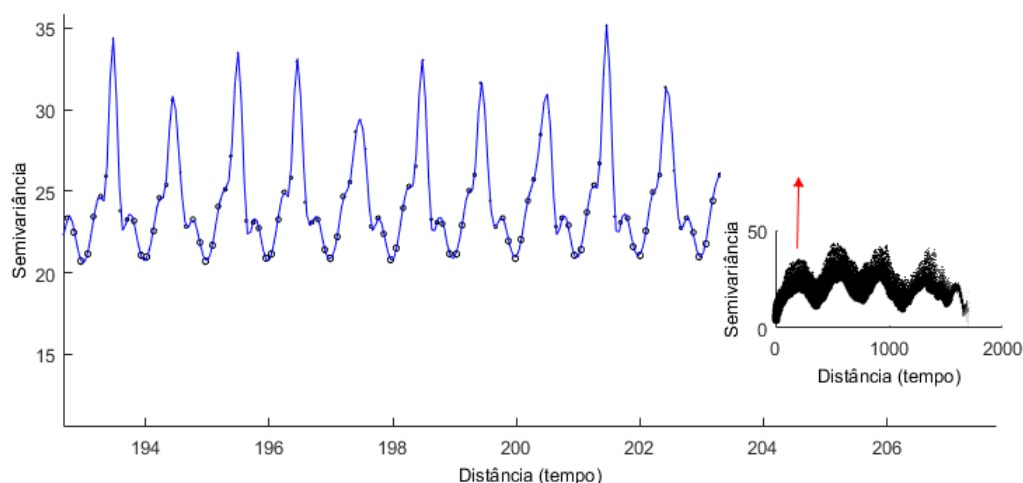


Figura 22. Semivariograma interpolado em *spline* nas imediações do dia 200 para a refletância IV.

Como se observa no comportamento dessa figura, a semivariância IV ao longo do dia apresentou um crescimento contínuo até meados do dia. Depois, verificou-se um decréscimo que é levemente suavizado por um pequeno aumento, seguindo novamente de decréscimo. Tudo isso demonstra que o comportamento distinto da semivariância do albedo global e da refletância IV pode estar relacionado a uma diferença no tipo de interação que estes dois realizam com a superfície.

A desigualdade no comportamento intermediário das interpolações representadas nas Figuras 18 e 22 podem estar relacionadas a dinâmica da reflexão dessas radiações. A maior sensibilidade do albedo global está relacionada a variação da declinação solar, fato presente no comportamento desta grandeza todos os dias e a todo o momento. Com relação à reflexão da radiação IV, espera-se que o fator que mais contribui para sua oscilação são eventuais alterações no grau de umidade da superfície e do ar, comportamento que não ocorre abruptamente ao longo do dia.

A maior amplitude observada na semivariância da refletância IV, pode estar associada à correlação mais intensa que essa radiação tem com o grau de umidade da

superfície foliar, uma vez que a variação da turgidez da vegetação, por conta da água retida que facilmente é perdida em momentos de baixa umidade relativa (UR), pode afetar diretamente dessa forma, a reflexão da radiação IV (LEITÃO et al., 2002).

O semivariograma da média diária da umidade relativa do ar também foi calculado. Após a construção do mesmo, observou-se para esta grandeza, um alcance temporal da ordem de 200 dias, fato este que aproxima o comportamento dos semivariogramas da UR e da refletância IV com relação a este parâmetro, como se observa na figura 23.

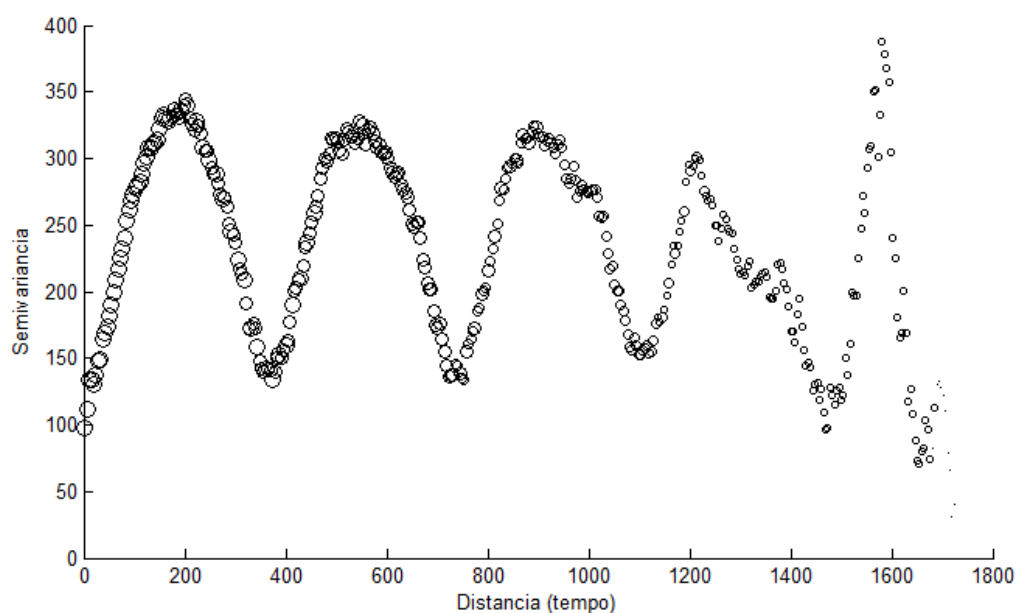


Figura 23. Semivariograma da média diária da UR do ar.

Referente aos parâmetros do semivariograma da radiação IV, os mesmos podem ser visualizados na Figura 24.

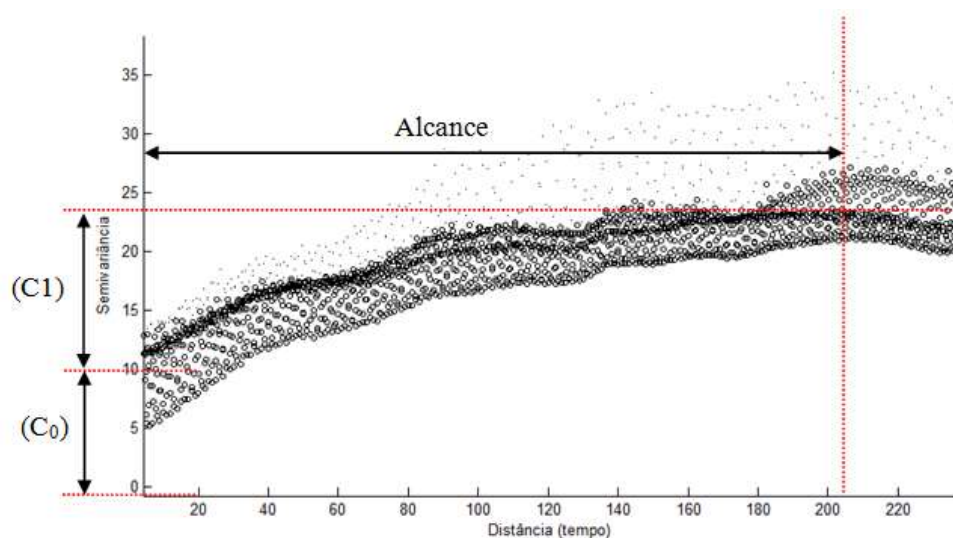


Figura 24. Representação dos parâmetros do semivariograma da refletância IV.

A refletância IV apresentou valores de efeito pepita (C_0) com valores mínimos em torno de 5 e máximo próximo de 14. Já a contribuição (C_1), considerando como 200 o alcance temporal, teve um valor médio de 14.

O valor de 200 dias indica a dependência temporal da reflexão da radiação IV, ou seja, esse é o tempo em que esses valores voltam a se correlacionar, é o intervalo em que tais valores voltam em média a se repetir.

A análise do CEP para a semivariância IV apresentou um valor de 46%, logo, de acordo com a referência de (CAMBARDELLA et al. 1994), a dependência temporal é moderada.

4.9. ANÁLISE DO SEMIVARIOGRAMA DA REFLETÂNCIA PAR

O semivariograma da refletância PAR, diferentemente do observado para as outras reflexões, não apresentou o modelo de onda. A forma encontrada na dispersão dá indícios que seu formato está entre os modelos esférico e exponencial, como se observa na figura 25.

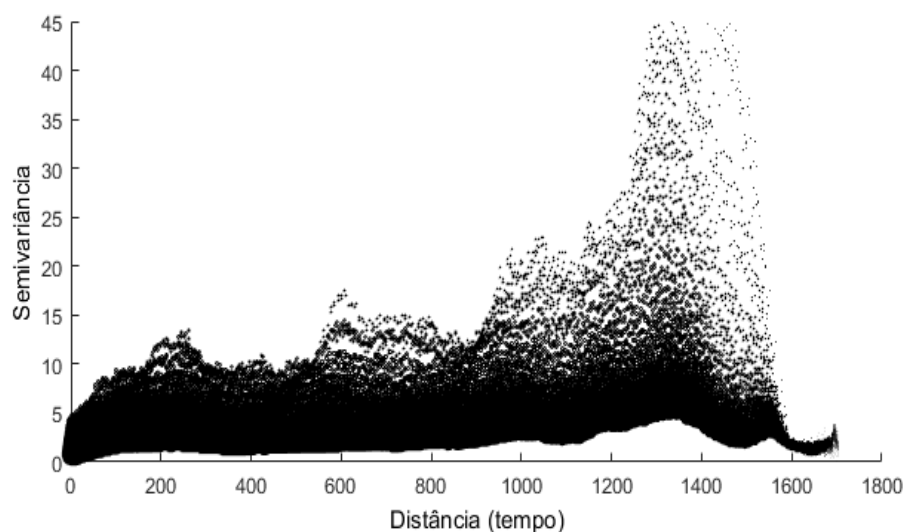


Figura 25. Semivariograma temporal da refletância PAR.

A diferença que este semivariograma possui, em relação aos já apresentados até então, é que neste a dispersão em torno da curvatura dos dados possui maior afastamento. Os valores da semivariância da refletância PAR assim como os próprios valores dessa reflexão não foram tão altos, como se pode comparar na Tabela 5 e na Figura 26.

A literatura não apresenta correlação entre a grandeza e a sua semivariância, mesmo porque esta é uma esperança matemática, ou seja, uma grandeza obtida por uma média de somatória de diferenças. Porém, no caso dessa tese, observou-se tal comportamento heterocedástico.

O alcance temporal deste semivariograma também encontrou um valor diferente dos até então abordados. A nova distância foi algo em torno do dia 100, como se pode verificar na Figura 26 a seguir.

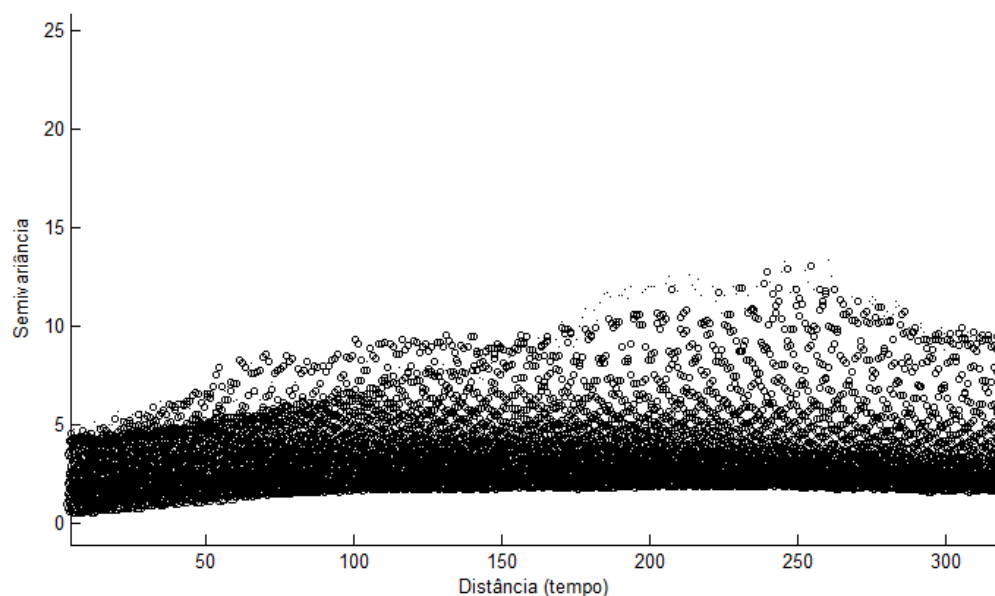


Figura 26. Comportamento crescente da semivariância PAR até meados do dia 100, em seguida, γ atinge o patamar.

O alcance em um semivariograma representa o marco em que a grandeza ainda possui dependência espacial com o atributo que se estuda. No caso deste trabalho, a dependência é com um determinado número de dias. O dia 100, para o semivariograma da radiação PAR, representa o marco temporal até onde esta grandeza sofreu variações consideráveis no seu valor.

Outra diferença bem distante das abordagens anteriores está no comportamento intermediário da semivariância, fato este que pode ser observado na interpolação em torno do dia 100 apresentado na figura 27.

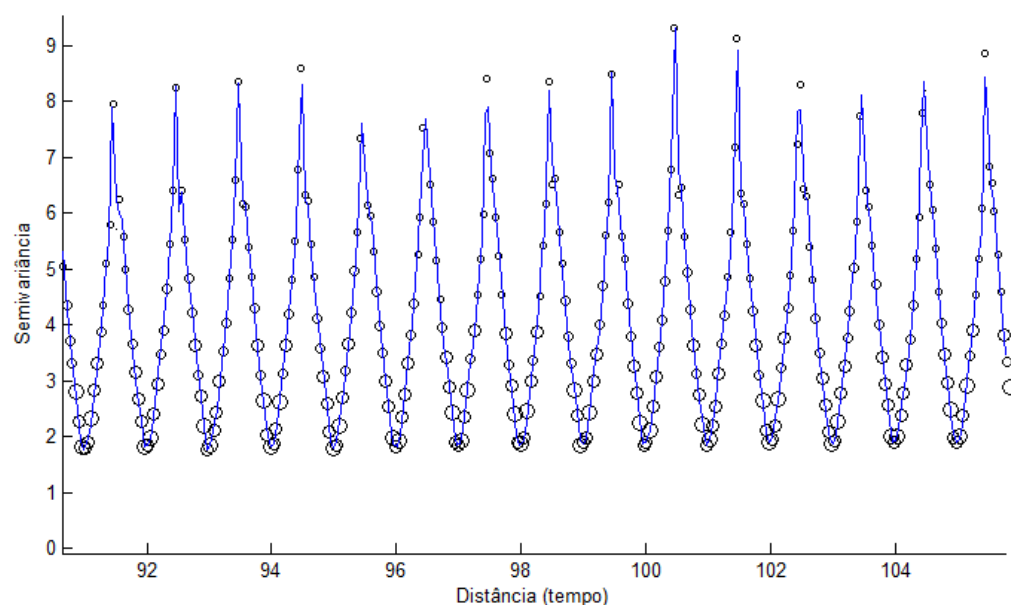


Figura 27. Semivariograma interpolado em *spline* nas imediações do dia 100 para a refletância PAR.

A variação de γ se dá de forma crescente sem nenhuma suavização até o meio do dia. Logo depois, de forma abrupta também se dá o decréscimo da mesma. Tal comportamento pode evidenciar, em primeira análise, que este comportamento pode estar relacionado apenas com a declinação solar.

Já com relação aos parâmetros do semivariograma apresentados na Figura 28 a seguir, temos um efeito pepita (C_0) com valores mínimos em torno de 1 e máximos em torno de 4. Já a contribuição (C_1), teve um valor aproximado de 2.

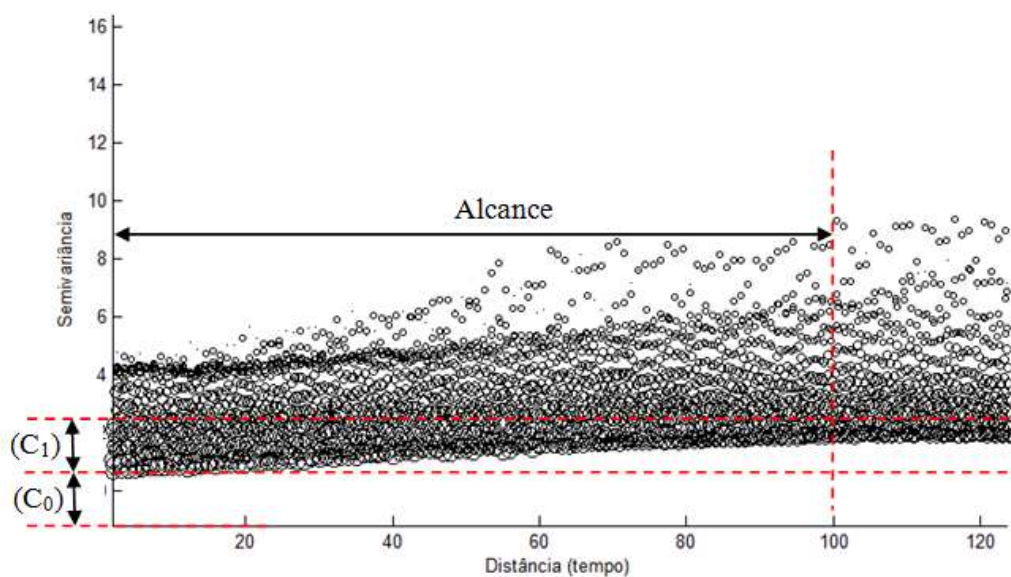


Figura 28. Representação dos parâmetros do semivariograma da refletância PAR.

O ciclo de dependência temporal para a reflectância PAR foi a metade das outras grandezas. Isso pode estar associado ao fato desta radiação possuir uma maior interação com a superfície dada a função que ela tem de realizar a fotossíntese na superfície. Sendo o cerrado constituído por espécies decíduas, quando esta vegetação está com menos folhas ou sem folhas, a taxa fotossintética sofre abruptas variações. De acordo com Fu et al. (2012), espécies decíduas possuem menor massa foliar e maior taxa fotossintética quando comparadas com as espécies sempre verdes.

Já a dependência temporal dessa reflexão ondular, medida pelo índice CEP, foi de 55%, mais uma vez uma dependência moderada.

5. CONCLUSÕES

As rotinas de modelagem de séries temporais desenvolvidas em Python para teve um desempenho estável, sendo disponibilizadas na íntegra no anexo a este trabalho. O modelo adotado, semivariografia temporal, mostrou-se robusto em relação a falhas e a não estacionariedade das séries.

O albedo da radiação global apresentou uma tendência de elevação de sua média anual, resultado este contemplado pela regressão linear. Já, para a refletância PAR e IV, houve uma leve tendência de redução, porém, tão pequena, que mais leva a crer numa continuidade dos valores médios anuais encontrados.

Os valores da semivariância apresentaram uma estreita correlação com os valores das respectivas reflexões, isto é, quanto maior a reflexão da radiação, maior foi o valor da esperança matemática obtida. Todavia, os semivariogramas das radiações global e IV apresentaram modelos de onda. Para a reflexão PAR, percebeu-se um modelo oscilando entre o esférico e o exponencial.

A obtenção de um semivariograma temporal para o albedo global, para a refletância PAR e IV demonstrou que essas grandezas também possuem uma dependência temporal na variância de suas intensidades. Para a radiação global e IV, essa dependência ficou em torno do dia 200 e para a reflexão da radiação PAR, em torno de 100 dias.

A validação cruzada se mostrou uma ótima técnica de predição para variáveis meteorológicas com comportamento sazonal semelhante ao dessa tese. No entanto, para o uso dessa técnica com grandezas distintas, um novo ajuste entre “P” e “PA” deve ser realizado.

5.1. RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- a) Realizar uma semivariografia temporal para o albedo global, refletância PAR e IV, agora, com um volume ainda maior de dados com o intuito de avaliar eventuais alterações em relação a este trabalho.
- b) Realizar um trabalho semelhante a este, com séries temporais das mesmas grandezas, porém, agora, comparando diferentes biomas afim de verificar se há distinção no comportamento da semivariografia temporal das grandezas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, N. L. R. D., Aguiar, R. G., Sanches, L., Alves, É. C. R. D. F., & Nogueira, J. D. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas de floresta Amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 3, p. 346-355, 2009.

ANDRIOTTI, J. L. S. . Fundamentos de Estatística e Geoestatística. 1. ed. São Leopoldo / RS: UNISINOS, 2004. v. 1. 168p .

A. Lunts e V. Brailovsky. Evaluation of attributes obtained in statistical decision rules. **Engineering Cybernetics**, 3, pp. 98-109, (1967).

ARAÚJO, Daniela. SEBBENN, Alexandre Magno. SANATTO, Antonio Carlos Scatena. ZANATA, Marcelo. MORAIS, Eurípedes. DE MORAES, Mário Luiz Teixeira. FREITAS, Miguel Luiz Menezes. Genetic variation for silvicultural traits in open-pollinated progenies of *Astronium graveolens* Jacq.(Anacardiaceae). **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 61-68, 2014.

BARTOSZECK, M.K; **Análise multitemática de dados geológicos e sísmica de reflexão: um ensaio metodológico - estudo de caso grupo Itararé**. Dissertação (Mestrado em Geologia Exploratória, Universidade Federal do Paraná) 2004. 118f.

BETTÚ, D.F., SOARES, P.C.; interpretação geomorfométrica de parâmetros variográficos do relevo. **Geociências (São Paulo)**, v. 32, n. 1, p. 118-136, 2013.

BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press, 1987. 193p.

BRAGA, C.C., SOARES, F.R., DANTAS, F.R.C., BARBIERI, L.F.P.,
Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM/LANDSAT 5.
Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30
abril 2009, INPE, p. 935-942.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto
Alegre: Artmed, 2003.

Camargo, E. C. G. (1998). Geoestatística: fundamentos e aplicações.
Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos: INPE.

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

CARTER, T., HULME, M. 2000: *Interim characterizations of Regional Climate
Related Changes up to 2100 Associated with the Provisional SRES Marker
Emissions Scenarios*. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

Costa, G. B.; Lyra, R. F.F. 2012. Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas.
Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 1, p. 31-38.

Chieregati, A. C., Frontini, B. B., Carvalho, D. B., Pitard, F. F., & Esbensen, K. H.
(2012). *Validation of a new blasthole sampler for reconciliation purposes*. Rem:
Revista Escola de Minas, 65(1), 135-140.

Cunha, C.R., Nogueira, J.S., Junior, O.B.P., De Musis, C.R., Sobrinha, F.J.C.
Variação da reflexão de diferentes ondas de uma região de cerrado da baixada
cuiabana sob diferentes coberturas do céu. **Revista Ciência e Natura**, V. 36, n. 3
(2014)

Curado, L. F. A., Rodrigues, T. R., Biudes, M. S., de Paulo, S. R., de Paulo, I. J. C., & de Souza Nogueira, J. (2011). Estimativa sazonal da emissividade atmosférica através da Equação de Brutsaert no norte do Pantanal Mato-grossense. **Ciencia & Natura**, 33(2), 167-180.

de Almeida¹, A. Q., Ribeiro¹, A., Paiva¹, Y. G., Nilton Jr, L. R., & Lima, E. P. (2011). Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 15(4), 354-358.

da CUNHA, G. R., Pires, J. L. F., Dalmago, G. A., Santi, A., Pasinato, A., da Silva, A. A. G., ... & da Rosa, C. M. (2011). El Niño/La Niña-Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**.

da Cunha, P. C., da Silveira, P. M., do Nascimento, J. L., & Júnior, J. A. (2013). Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 17(7), 735-742. v. 17, n. 7, p. 735-742, 2013.

da Silva Sallo, F., de França, M. S., de Moraes, D. M., Rodrigues, R., & Biudes, M. S. (2014). Estimativa de componentes do balanço de radiação em diferentes tipos de uso e cobertura do solo. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 9(2), v. 9, n. 2, p. 347-358, 2014.

de Freitas, A. F., de Melo, B. C. B., Cevada, C. M., dos Santos, J. S., & de Araújo, L. E. (2013). Avaliação microclimática em dois fragmentos urbanos situados no Campus I e IV da Universidade Federal da Paraíba (*Evaluation microclimate in two urban fragments located in Campus I and IV Federal University of Paraíba*). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6(4), v. 6, n. 4, p. 777-792, 2013.

DOS SANTOS, S. R. Q., DA SILVA, R. B. C., BARRETO, P. N., NUNES, H. G. G., RODRIGUES, R. D. S., & CAMPOS, T. L. D. O. B. (2011). Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de El Niño e La Niña,

Caxiuanã-PA: estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 26(3), 367-374. v. 26, n. 3, p. 367-374, 2011.

Fernandes, E. X., & Nery, J. T. (2013). Balanço de energia e fluxo de co₂: análise dos dados coletados no cerrado da floresta estadual de assis, estado de são paulo. **GEOUSP: espaço e tempo**, (35), 34-45.

Firpo, M. Â. F., Sansigolo, C. A., & Assis, S. V. D. (2012). Climatology and seasonal variability of the number of warm and cold waves in Rio Grande do Sul associated to ENOS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 1, p. 95-106, 2012.

FILHO, J.D.C.S., RIBEIRO, A., COSTA, M.H., COHEN, J.C.P., ROCHA, E.J.P. Variação Sazonal do Balanço de Radiação em uma floresta tropical do Nordeste da Amazônica. **Revista Brasileiro de Meteorologia**. v.21,n.3b, 318-330 – 2006

Fu, P.L.; Jiang, Y.J.; Wang, A.Y.; Brodribb, T.J.; Zhang, J.L.; Zhu, S.D. & Cao, K.F. 2012. *Stem hydraulic traits and leaf water-stress tolerance are co-ordinated with the leaf phenology of angiosperm trees in an Asian tropical dry karst forest*. **Annals of Botany** 110: 189-199.

GATES, D. M.; GATES, H. J.; GATES, J. C.; GATES, V. R. *Spectral properties of plants*. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11 - 20, 1965.

GAUSMAN, H. W. *Leaf reflectance of near-infrared*. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 51, n. 11, p. 1725 - 1734, 1985.

GIONGO, Pedro R.; VETTORAZZI, Carlos A. *Surface albedo through TM-Landsat 5 images and Digital Terrain Model*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 833-838, 2014.

Góis, J. (2004) Contribuição dos Modelos Estocásticos para o Estudo da Climatologia Urbana, **Tese de Doutorado**, FEUP, Porto, 670 pp.

Góis, J., Branco, P., Moreira, M. F., Vasconcelos, C., & Cardoso, C. (2010). Estudo, caracterização e modelação de regimes pluviométricos em ambientes urbanos. Os casos de estudo de algumas cidades portuguesas e estrangeiras. **Pluris 2010**.

Guedes, A. E. D. S., Cândido, L. A., & Santos, A. R. S. D. E. (2013). *Variability of continental water storage and its relationship to extreme hydrological events in the Amazon basin*. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p. 88-99, 2013

Gusmão, A. C. V. L., da Silva, B. B., Montenegro, S. M. G. L., Galvêncio, J. D., & de Oliveira, L. M. M. (2014). Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecótono ilha do bananal por sensoriamento remoto. **Revista de Geografia** (Recife), 30(3), 209-225.

Hutyra, L.R., Munger, J.W.; Nobre, C.A.; Saleska, S.R. and Vieira, S.A. “*Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazônia*”. **Geophysical Research Letters**, 32, L24712, doi:10.1029/2005GL024981.2005.

ISAACS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to applied geostatistics*. New York, Oxford University Press, 1989. 561p

Krige, Danie G. (1951). "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". **J. of the Chem., Metal. and Mining Soc. of South Africa** 52 (6): 119–139.

LEITÃO, M.V.B.R., SANTOS, J.M., OLIVEIRA, G.M., Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.256-261, 2002. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

Lira, M. A. T., SILVA, E. D., & Alves, J. M. B. (2011). Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 26(3), 349-366.

LOPES, S.M.O; **Técnicas Geométricas de Condensação para o Classificador K-NN**. Dissertação (Mestrado em Matemática, Universidade de Aveiro) 2008. 109f

Lorenzo, J. M. F., Teramoto, E. T., Sánchez-Roman, R. M., González, A. M. G. O., & Escobedo, J. F. (2015). Influência das queimadas no comportamento das chuvas nos municípios de Botucatu e Piracicaba, estado de São Paulo. **IRRIGA**, 1(2), 168.

de Rezende Maciel, C., de Souza Luz, V., de Moura Santos, F. M., Nogueira, M. C. D. J. A., & de Souza Nogueira, J. (2014). Interação das variáveis microclimáticas e cobertura do solo em região urbana e limítrofe-urbana na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia**, 15(51).

Marcuzzo, F. F. N., Murilo, R. D. C. & Thiago, G. F "Chuvas no Cerrado da região Centro-Oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura-DOI 10.5216/ag. v6i2. 15234." **Ateliê Geográfico** 6.2 (2012): 112-130.

Marin, F. R.; Assad, E. D.; Pilau, F. G. 2008. Clima e ambiente: Introdução à climatologia para ciências ambientais. Campinas-SP: Embrapa Informática Agropecuária.

M. Stone. *Cross-validators choice and assessment of statistical predictions*. **Journal of the Royal Statistical Society** 36 , pp. 111-147, (1974).

Mataveli, G. A. V., Pereira, G., Moraes, E. C., & Cardozo, F. D. S. (2013). Impactos da introdução da cana-de-açúcar sobre o albedo da superfície e a reflectância no estado de mato grosso. **Revista Geoaraguaia**.

Matheron, G. *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris, Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211p.

Marengo, J. A. (2006). **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA, Ministério do Meio Ambiente.

Marcuzzo, F. F. N., & Romero, V. (2013). *Effects of El Niño and La Niña in maximum daily precipitation of the State Goiás*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 429-440, 2013.

Mataveli, G. A. V., Pereira, G., Moraes, E. C., & Cardozo, F. D. S. (2013). Impactos da introdução da cana-de-açúcar sobre o albedo da superfície e a reflectância no estado de mato grosso. **Revista Geoaraguaia**.

Martins, A. L. ; Cunha, C. R. ; Rodrigues, V. M. ; Danelichen, V. H. M. ; Machado, N. G. ; Lobo, F. A. ; De Muis, C.R. ; BIUDES, M. S. . Mudanças em índices biofísicos devido à alteração da cobertura do solo em área nativa de Cerrado em Mato Grosso. **Ciência e Natura**, 2015.

Mesquita, F. L. L. D., Marques Filho, E. P., Karam, H. A., & Alvalá, R. C. D. S. (2013). *Budget radiation on Pantanal wetland in Mato Grosso do Sul State during the dry season*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 28(1), 65-74.

MOTA, V. C. ; Lima, R. R. ; ALVES, M. C. ; OLIVEIRA, M. S. ; CARVALHO, L. G. . Dependência temporal da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Juiz de

Fora, MG, por meio de análises geoestatísticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia - RBAGRO**, v. 16, p. 249-258, 2008.

do Couto Nince, P. C., de Musis, C. R., Biudes, M. S., de Souza Nogueira, J., & Nogueira, M. C. D. J. A. (2013). Usos dos Índices PET e UTCI na avaliação do conforto termal no campus da UFMT em Cuiabá-MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 9(9), 2026-2036.

NOBRE, Paulo. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. **MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA—MCT. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande, PB: Insa-PB**, 2011.

Nobre, C. A., Sampaio, G., & Salazar, L. (2007). Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, 59(3), v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

Nobre, C.A., Sellers,P.J. and Shukla,J. “*Amazonian deforestation and regional climate change*”. **J. Clim.**, 4, 957-988.1991.

Oliveira, L. D., Montenegro, S. M. G. L., Antonino, A. C. D., Silva, B. D., Machado, C. C. C., & Galvêncio, J. D. (2012). Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47(9), 1209-1217.

OLIVEIRA, Mauri A.; FÁVERO, Luiz P. Uma breve descrição de algumas técnicas para análise de séries temporais: séries de Fourier, Wavelets, Arima, modelos estruturais para séries de tempo e redes neurais. 2002.

Oliveira, J. L., & Costa, A. A. (2011). *Study of wind variability in seasonal scale over Northeast Brazil using RAMS: events of 1973-1974 and 1982-1983*. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 95-108, 2011.

Orlandi, M., Willers, E. M., Staduto, J. A. R., Eberhardt, P. H. C., & Piacenti, C. A. (2012). Caminhos da soja e o desenvolvimento rural no Paraná e em Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, 21(4), 75-90.

Pereira, N., Rodrigues, J., de Lima Ribeiro, A., & D'Incao, F. (2012). Análise climatológica dos ciclones extratropicais e sua influência no aumento da salinidade no estuário de Lagoa dos Patos, extremo sul do Brasil. **Atlântica (Rio Grande)**, 34(2), v. 34, n. 2, p. 173-187, 2012.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PILAU, Felipe Gustavo; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Balanço de radiação de copas de cafeeiros em renques e suas relações com radiação solar global e saldo de radiação de gramado. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 335-344, 2014.

REBOITA, Michelle Simões. KRUSCHE, Nisia. AMBRIZZI, Tércio. ROCHA, Rosmeri Porfírio. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

ROCHA, V. B. **Uma abordagem de Wavelets Aplicada à Combinação de previsões: Uma análise teórica e experimental**. 2008. 155f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Curitiba, 2008.

RODRIGUES¹, T. R., CURADO¹, L. F. A., NOVAIS¹, J. W. Z., DE OLIVEIRA¹, A. G., ROBERTO, S., DE PAULO¹, M. S. B. E., & NOGUEIRA, J. D. S. (2011). Distribuição dos componentes do balanço de energia do Pantanal Mato-grossense.

Rodrigues, T. R., Vourlitis, G. L., Lobo, F. D. A., Oliveira, R. G., & Nogueira, J. D. S. (2014). *Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south central Mato Grosso, Brazil*. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, 119(1), 1-13.

ROSA, Tania de Fátima de Deus; SCARAMUZZA, Walcylene Lacerda Matos Pereira; SILVA, Renata Gonçalves da. *Nutrients'concentration and accumulation in teak stands in the state of Mato Grosso, Brazil*. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 51-57, 2015.

ROSSETO, M.; DEIMLING, M.F.; ZANIN, A.; RODRIGUES, M.P.; NETO, A.R.; Técnicas qualitativas de previsão de demanda: Um estudo multicasos com empresas do ramo de alimentos. **VIII SIMPOSIO de Excelência em Gestão e Tecnologia 2011**.

Rudorff, F. D. M. (2005). Geoindicadores e análise espacial na avaliação de suscetibilidade costeira a perigos associados a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos.

Salvador, M. M. S., Libardi, P. L., & Neiverth, C. A. (2014). DEMANDA HÍDRICA DA AVEIA-PRETA: VARIABILIDADE ESPACIAL SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO. **IRRIGA**, 19(3), 500.

Santos, H. L., Júnior, J. M., Matias, S. S., Siqueira, D. S., & Pereira, G. T. (2011). Suscetibilidade magnética na identificação de compartimentos da paisagem em uma vertente. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, 710-716.

Santos, A. C., Lima, J. S., Oliveira, L. B. T., & Neto, S. S. (2015). Variabilidade espacial das características qualitativas e quantitativas da pastagem de capim Marandú em topossequência no Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 10(3), 83-89.

Santos, C. A. Costa Dos; Nascimento, R. L. Do; Rao, T. V. R. 2011. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Revista Atmosfera**, v.24, n.4, p.435-446.

Santos, F. A., dos Santos, C. A., Araújo, A. L., & Braga, A. C. (2013). Alterações no Balanço Radiativo em Áreas de Pastagem e Floresta Obtidas por Meio de Imagens Orbitais MODIS (Changes in the Radiative Balance in Pastures and Forest Areas Through Orbital MODIS Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6(5), 1023-1036.

Santos, F. A., da Silva, B. B., Araújo, A. L., Silva, M. T., & Braga, A. C. (2013). Comparação de Modelos de Estimativa da Radiação de Onda Curta a partir de dados MODIS/Terra (*Comparision Models for estimating the Shortwave Radiation from MODIS/Terra data*). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6(5), 1037-1049.

Scoriza, R. N., & Piña-Rodrigues, F. C. M. (2014). INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DO AR NA PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA EM TRECHO DE FLORESTA ESTACIONAL EM SOROCABA, SP. **FLORESTA**, 44(4), 687-696.

SILVA, B.S.G., VALERIANO, D.M., Georeferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando sensor LANDSAT ETM+. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05 – 10 abril 2003, INPE, p.2143 – 2150.

SOUZA, A.M.L., Albedo da Cultura da Soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.14, n.1, p.65-73, 2010. Campina Grande ,PB, UAEA/UFCG – [HTTP://www.agriambi.com.br](http://www.agriambi.com.br)

SOUZA, P. J. D. O. P. D., ROCHA, E. J. P. D., & RIBEIRO, A. (2013). Impactos do avanço da soja no balanço de radiação no leste da Amazônia. **ACTA AMAZONICA** VOL. 43(2) 2013: 169 - 178

Shukla, J.; Nobre, C.; Seller, P.J.“*Amazon deforestation na climate change*”, Science, 247, 1322-1325.1990.

STEIN, C. E. ; HACHBACK NETO, A. A. . Uma Abordagem dos Testes Não-Paramétricos com Utilização do Excel. In: **XVIII Semana da Matemática, 2003, Blumenau. Anais** - 22 a 25 de Setembro de 2003. Blumenau: Departamento de Matemática - FURB, 2003.

Tartari, R., Machado, N. G., dos Anjos, M. R., da Cunha, J. M., De Musis, C. R., de Souza Nogueira, J., & Biudes, M. S. (2015). Análise de índices biofísicos a partir de imagens TM Landsat 5 em paisagem heterogênea no Sudoeste da Amazônia/*Evaluation of biophysical indices from TM Landsat 5 images in heterogeneous landscape in Southwestern Amazon*. **Revista Ambiente & Água**, 10(4), 943.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital, Recife, 2006. 522p.

Barcellos, C. D. C., Monteiro, A. M. V., Corvalán, C., Gurgel, H. C., Carvalho, M. S., Artaxo, P., ... & Ragoni, V. (2009). Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil.

Leitão, M.M.V.R., Moura, M.S.B., Saldanha, T.R.F.C., Sobrinho, J.E., Oliveira, G.M. Balanço de Radiação Sobre um Solo Descoberto para quatro Períodos do Ano. **Revista de Ciência & Tecnologia**, PP. 59-66, junho 2000.

MOREIRA, Daniel Augusto. Administração da produção e operações. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MONTEITH, J.L. *Solar radiation and productivity in tropical ecosystems*. **Journal of Applied Ecology**, 9, 1972, 747-766.

Reis, Mariana Gonçalves dos. "**Partição da radiação fotossinteticamente ativa e trocas gasosas em cultivos de eucalipto e cerrado**." Dissertação (Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa) 2014. 56f

VILANI, MARICÉIA TATIANA. **Análise de Fourier e Wavelet em variáveis micrometeorológicas em diferentes tipologias de ocupação**. Tese, 135 f. Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2011.

VOURLITIS, George Louis ; NOGUEIRA, J. S. ; de Almeida Lobo, Francisco ; Pinto, Osvaldo Borges . *Variations in evapotranspiration and climate for an Amazonian semi-deciduous forest over seasonal, annual, and El Niño cycles*. **International Journal of Biometeorology** (Print), v. 1, p. 1-14, 2014.

WANKE, Peter; JULIANELLI, Leonardo. Previsão de vendas: processos organizacionais & métodos quantitativos e qualitativos. São Paulo: Atlas, 2006.

ANEXO SCRIPT PYTHON

```
"""
```

```
Criado em 2014
```

```
@autores: Carlo Ralph De Musis e Cristiano R. Cunha
```

```
"""
```

```
# import required modules
import numpy as np
from random import shuffle
import scipy
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.interpolate import splrep, splev
```

```
class OK:
```

```
    """
```

```
    Executa uma krigagem ordinária.
```

```
    Entrada:
```

```
        Localização: x, y
```

```
        Variável: z
```

```
    """
```

```
    def __init__(self,x,y,z):
```

```
        self.x = x.flatten()
```

```
        self.y = y.flatten()
```

```
        self.z = z.flatten()
```

```
        self.MinD = float("inf")
```

```
        self.MaxD = float("-inf")
```

```
        self.MinG = float("inf")
```

```
        self.MaxG = float("-inf")
```

```
    def k_fold(self, nf):
```



```

lt = []
lv = []
itens = range(self.x.size)
itens = list(itens)
shuffle(itens)
for j in xrange(nf):
    aux = [itens[i::nf] for i in xrange(nf)]
    validacao = aux[j]
    treino = [item
               for s in aux if s is not validacao
               for item in s]
    lt.append(treino)
    lv.append(validacao)
# Retorna diversos particionamentos
return lt, lv

def vc(self, nf, k, s, n_lag=13):
    mmes = []
    lt, lv = self.k_fold(nf)
    aux_x = self.x
    aux_y = self.y
    aux_z = self.z
    for i in range(nf):
        self.x = aux_x[lt[i]]
        self.y = aux_y[lt[i]]
        self.z = aux_z[lt[i]]
        self.aju_vario(var_type='averaged', k=k, s=s, n_lag=n_lag)
        self.krige(aux_x[lv[i]], aux_y[lv[i]], {}, 'ic')
        mmes.append(np.median(abs(self.Zg-aux_z[lv[i]])))
    self.x = aux_x
    self.y = aux_y
    self.z = aux_z
    return np.median(mmes)

def ic_bs_sl(self, lags, n_amostras, alfa, modelo='averaged', k=3, s=0.5,
n_lag=13):
    aux_x = self.x
    aux_y = self.y
    aux_z = self.z
    n = len(aux_x)
    for i in range(n_amostras):
        # Obtêm uma amostra bootstrap
        idx = np.random.randint(0, n, (n))

```

```

        self.x = aux_x[idx]
        self.y = aux_x[idx]
        self.z = aux_x[idx]
        aux = self.aj_ic(lags, modelo=modelo, k=k, s=s, n_lag=n_lag)
        # Guarda o resultado bootstrap (a primeira linha contém as
coordenadas)
        lags = np.vstack([lags, aux])
        # Volta para as variáveis originais
        self.x = aux_x
        self.y = aux_y
        self.z = aux_z

    return lags

def aj_ic(self, lags, modelo='averaged', k=3, s=0.5, n_lag=13):
    self.aju_vario(var_type=modelo, k=k, s=s, n_lag=n_lag)
    return self.vario_model(lags, model_par={}, model_type='ic')

def variogram(self, var_type='averaged', maxDI=float("inf"), n_lag=11):
    """
    var_type: averaged ou scattered
    """
    x = self.x
    y = self.y
    z = self.z

    # Grid
    X1,X2 = np.meshgrid(x,x)
    Y1,Y2 = np.meshgrid(y,y)
    Z1,Z2 = np.meshgrid(z,z)

    D = np.sqrt((X1 - X2)**2 + (Y1 - Y2)**2)

    G = 0.5*(Z1 - Z2)**2
    indx = range(len(z))
    C,R = np.meshgrid(indx,indx)

    # Para economizar memória -> reimplementar utilizando OO
    G = G[R>C]
    self.D = D
    DI = D[R>C]

    for i in range(G.size):

```

```

        if DI[i]<self.MinD: self.MinD = DI[i]
        if DI[i]>self.MaxD: self.MaxD = DI[i]
        if G[i] <self.MinG: self.MinG = G[i]
        if G[i] >self.MaxG: self.MaxG = G[i]

# Trunca o vetor para DI<=maxDI
G = G[DI<=maxDI]
DI = DI[DI<=maxDI]

# Agrupa o semivariograma
# Os grupos são calculados de modo a ter a mesma cardinalidade
total_n = len(DI)
group_n = int(total_n/n_lag)
sor_i = np.argsort(DI)[::-1] # Otimizar para n_lag

DE = np.empty(n_lag)
GE = np.empty(n_lag)
for i in range(n_lag):
    if i<n_lag-1:
        DE[i] = DI[sor_i[group_n*i:group_n*(i+1)]].mean()
        GE[i] = G[sor_i[group_n*i:group_n*(i+1)]].mean()

    else:
        DE[i] = DI[sor_i[group_n*i:]].mean()
        GE[i] = G[sor_i[group_n*i:]].mean()

if var_type == 'scattered':
    return DI,G
elif var_type == 'averaged':
    return DE,GE
else:
    raise ValueError('Erro de parametrização.')

# Aplica a função semivariograma
def vario_model(self, lags, model_par, model_type='linear'):
    """
    Entrada:
        lags: pontos para o cálculo
        model_type: Tipo de variograma
        model_par: Parâmetros do modelo (dicionário)
    Saída:
        G: variograma calculado

```

```

        nugget - efeito_pepita
        sill - patamar
        range - alcance
    """
    if model_type == 'spherical':
        n = model_par['nugget']
        r = model_par['range']
        s = model_par['sill']
        l = lags
        G = n + (s*(1.5*l/r - 0.5*(l/r)**3)*(l<=r) + s*(l>r))

    elif model_type == 'linear':
        n = model_par['nugget']
        s = model_par['slope']
        l = lags
        G = n + s*l

    elif model_type == 'exponential':
        n = model_par['nugget']
        r = model_par['range']
        s = model_par['sill']
        l = lags
        G = n + s*(1 - np.exp(-3*l/r))
    elif model_type == 'ic':
        lags[lags<self.MinD] = self.MinD
        lags[lags>self.MaxD] = self.MaxD

        G = splev(np.reshape(lags, lags.size), self.ic)
        G = np.reshape(G, lags.shape)
    else:
        raise ValueError('Modelo não definido.')
    G[G<0] = self.MinG # Caso a semivariância seja negativa, seta para a
menor observada
    return G

# Ajusta o semivariograma por uma spline padrão
defaju_vario(self, var_type='averaged', k=3, s=0.5, n_lag=13):
    DE, GE = self.variogram(var_type=var_type, n_lag=n_lag)
    self.ic = splrep(DE[:-1], GE[:-1], k=k, s=s)

defint_vario(self, Xg, Yg, model_par, model_type):
    """
    Calcula a área de uma função de variograma utilizando

```

o método de Monte Carlo.

Entrada:

Xg: Coordenada x

Yg: Coordenada y

model_par: parâmetros do modelo

model_type: tipo de modelo

"""

avg_vario = np.empty((len(self.x), (len(Xg)-1)*(len(Yg)-1)))

for k in range(len(self.x)):

avg_vario_ens = np.empty((len(Xg)-1, len(Yg)-1))

for i in range(len(Xg)-1):

for j in range(len(Yg)-1):

Xg_rand = Xg[i]+np.random.rand(10)*(Xg[i+1]-Xg[i])

Yg_rand = Yg[j]+np.random.rand(10)*(Yg[j+1]-Yg[j])

DOR = ((self.x[k] - Xg_rand)**2 + (self.y[k] - Yg_rand)**2)**0.5

avg_vario_ens[i,j] = self.vario_model(DOR, model_par, model_type).mean()

avg_vario[k,:] = avg_vario_ens.flatten()

return avg_vario

def krige(self, Xg, Yg, model_par, model_type):

"""

Entrada:

Xg, Yg: malha para interpolação

model_par: parâmetros do modelo

model_type: tipo de modelo

Atributos:

self.Zg : estimativas da média

self.s2_k : estimativas da variância

http://spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwisapp/kriging_algorithm.htm

"""

Calcula a matriz de distâncias incluindo 1 nas últimas linhas e colunas

n = len(self.x)

Gmod = np.empty((n+1,n+1))

```

Gmod[:,n] = self.vario_model(self.D, model_par, model_type)

Gmod[:,n] = 1
Gmod[n,:] = 1
Gmod[n,n] = 0

Gmod = np.matrix(Gmod)

# Inversa de Gmod
# Ginv = Gmod.I # Inversa convencional
# Ginv = np.linalg.pinv(Gmod) # Pseudo-inversa de Moore-Penrose

Xg = Xg.flatten()
Yg = Yg.flatten()
Zg = np.empty(Xg.shape)
s2_k = np.empty(Xg.shape)

for k in range(len(Xg)):
    # Calcula as distâncias de um dos pontos a ser interpolado até
    # os pontos originais
    DOR = ((self.x - Xg[k])**2 + (self.y - Yg[k])**2)**0.5
    GR = np.empty((n+1,1))

    # Calcula as semivariâncias para essas distâncias
    GR[:,0] = self.vario_model(DOR, model_par, model_type)
    GR[n,0] = 1

    # Obtêm os multiplicadores
    # Aqui, possivelmente, está ocorrendo instabilidade numérica
    # E = np.array(Ginv * GR )

    # E*Gmod = GR
    E = np.linalg.lstsq(Gmod, GR)[0]

    # Calcula as estimativas e as variâncias
    Zg[k] = np.sum(E[:,0]*self.z)
    s2_k[k] = np.sum(E[:,0]*GR[:,0]) + E[n, 0]

self.Zg = Zg
self.s2_k = s2_k

def block_krige(self, Xg, Yg, model_par, model_type):
    """

```

Entrada:

Xg, Yg: malha para interpolação
 model_par: parâmetros do modelo
 model_type: tipo de modelo

Atributos:

self.Zg : estimativas da média
 self.s2_k : estimativas da variância

http://spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwisapp/kriging_algorithm.htm
 """"

```
n = len(self.x)
Gmod = np.empty((n+1,n+1))
Gmod[:n, :n] = self.vario_model(self.D, model_par, model_type)
```

```
Gmod[:,n] = 1
Gmod[n,:] = 1
Gmod[n,n] = 0
```

```
Gmod = np.matrix(Gmod)
```

```
# Inversa - deve dar problema
Ginv = Gmod.I
```

```
Xg = Xg.flatten()
Yg = Yg.flatten()
```

```
avg_vario = self.int_vario(Xg, Yg, model_par, model_type)
Zg = np.empty(avg_vario.shape[1])
s2_k = np.empty(avg_vario.shape[1])
```

```
for k in range(avg_vario.shape[1]):
```

```
    GR = np.empty((n+1,1))
    GR[:n,0] = avg_vario[:,k]
    GR[n,0] = 1
    E = np.array(Ginv * GR )
    Zg[k] = np.sum(E[:n,0]*self.z)
    s2_k[k] = np.sum(E[:n,0]*GR[:n,0])+ E[n, 0]
```

```
self.Zg = Zg.reshape(len(Xg)-1, len(Yg)-1)
self.s2_k = s2_k.reshape(len(Xg)-1, len(Yg)-1)
```