



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PRISCILA SIQUEIRA ARANHA

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE FOCOS DE QUEIMADAS COM
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE MARABÁ**

DM: /2016

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

PRISCILA SIQUEIRA ARANHA

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE FOCOS DE QUEIMADAS COM
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE MARABÁ**

Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, com ênfase em Computação Aplicada.

**UFPA/ITEC/PPGEE
Campus Universitário do Guamá
Belém-Pará-Brasil
2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

**ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE FOCOS DE QUEIMADAS COM
VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE MARABÁ**

AUTORA: PRISCILA SIQUEIRA ARANHA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM ____/____/____

Professor. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês - UFPA

ORIENTADOR

Professor Dr. Diego Lisboa Cardoso - UFPA

MEMBRO PPGEE/ITEC/UFPA

Professor Dr. Marcelino Silva da Silva - Membro Externo - UFPA

MEMBRO-EXTERNO FCT/UFPA

Visto:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

COORDENADOR DO PPGEE/ITEC/UFPA

"Dedico especialmente à minha querida Mãe, que já não está mais entre nós, mas sei que onde quer que esteja está olhando por mim."

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom de viver e ter me concedido realizar este grande sonho e conquista profissional. Muito obrigada por seu verdadeiro e imutável amor. Agradeço também a Nossa Senhora de Nazaré, que nos momentos mais difíceis e de aflição, sempre me amparou com seu manto de amor e proteção.

Ao meu irmão Prisco Leonardo Siqueira Aranha, que depositou sua confiança e amor por mim. Carinhosamente agradeço à minha amada irmã Joyzane Dias Nabiça por apoio incondicional, ao meu amigo Breno Pantoja, à minha querida e exigente tia Noemia da Costa Siqueira, a minha vizinha Lucila da Costa Siqueira, ao meu pai Antônio Cosmo Rocha Aranha e especialmente a minha mãe Teotonia Siqueira Aranha por ser a minha base e inspiração na vida, por todo carinho, preocupação, doação e amor, uma mãe muito dedicada aos filhos, até em seu último instante de vida, e tenho pleno orgulho de ser sua filha. Eu amo muito você, mãe! Sempre se faz presente na minha vida! E também, por uma fiel, leal e inseparável companhia, meu amor de quatro patas a minha filha Jackie. Eu amo todos vocês. Sou muito grata com todos que de certa forma, foram um grande apoio ao longo desta caminhada.

Ao meu namorado e melhor amigo Jair Santos Ribeiro, por toda paciência, cumplicidade, grande parceria e amor dedicados a mim nos momentos de muita dificuldades e desânimo, principalmente pelos pensamentos positivos transmitidos, obrigada em ser um grande apoio nessa caminhada. Meu amorzaum!

Dedico meus agradecimentos especialmente, ao meu orientador Dr. Carlos Renato Lisboa Francês, por toda paciência inigualável, orientação, aprendizado e pela grande oportunidade em realizar este trabalho, ao ter me acolhido e guiado. E por todos os conselhos, puxões de orelha quando necessário e por toda amizade estabelecida nesta caminhada. Um grande exemplo de pesquisador e ser humano a ser seguido, muito obrigada por tudo professor.

A todos os meus amigos do laboratório, em especial, Eulália da Mata (mãezinha), Ketyllen Silva, Evelin Cardoso, Edinaldo La Roque, Igor Natal, Ulysses Weyl, José Jaílton, Tássio Carvalho, Jorge Cardoso, André Donza e o Delson Oliveira (bebê) pela amizade e cumplicidade diárias, essenciais (e muito especiais) nesta jornada. E também aos amigos do LEA (Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado) Cindy, Dércio e Albert

Richard e LINC (Laboratório de Inteligência Computacional e Pesquisa Operacional)
Márcia Fontes, Gilberto Nerino e Luiz Cortinhas.

Aos meus amigos da Ciência da Computação, Leonardo Sarraf, Leomário Machado, Adalberto Bosco, Fernando Nazareno, Airton Ishimori, Marri Peres, Jean Arouche, Lana Priscila, Ellton Sales e Mauro Larrat pelas palavras de incentivo, força e ânimo. E também ao meu querido amigo e irmão matemático Giovanni Marques, por todo apoio e amizade estabelecidas. São amigos conquistados, em minha iniciação científica em Redes de Sensores, que foi passo muito importante para o ingresso no meu mestrado em Engenharia Elétrica.

Agradeço também aos amigos e amigas ao longo da jornada de disciplinas realizadas no meu mestrado, em especial, Flávia Nascimento, Janaína Nascimento, Lorena Moraes, Walter Filho e Douglas Bechara, pelas horas de dedicação, parceria e estudos em grupo.

A todos os professores e integrantes do LPRAD (Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho) por cada dia de convivência. Em especial, aos professores Paulo André Pontes e Jorge Souza, por todo apoio, orientação, cooperação e amizade estabelecida e essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria de agradecer também, aos professores Dr. Solon Carvalho, Dr. Antônio Lorena, Dr. Antônio Chaves e principalmente ao Dr. Nandamudi Vijaykumar, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por todo acolhimento, conhecimento compartilhado durante minha estadia em São José dos Campos, e também pela cooperação essencial para a realização deste trabalho. Agradeço aos amigos Dr. Marlon da Silva e Vítor Machado pela acolhida, parceria e amizade estabelecidas.

Agradeço carinhosamente ao meteorologista Andre Oliveira por sua competente contribuição como especialista na área, para a realização deste trabalho.

De certa forma, todos que foram lembrados aqui, colaboraram na minha caminhada, amadurecimento e com o meu aprendizado no meio acadêmico. Carinhosamente, sou muito agradecida.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico por todo investimento e contribuição financeira nesta jornada.

À CAPES - Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/ Pró-Amazônia, pelo suporte financeiro.

À Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica pela oportunidade, aprendizado e todo apoio essenciais em realizar esta pesquisa.

Resumo

A Amazônia é composta por uma grande diversidade de ecossistemas e formas de ocupação, assumindo uma grande variedade de configurações, envolvendo fatores espaciais, sociais, econômicos, agrônômicos, que variam de região para região. Partindo dessa percepção do espaço amazônico, esta dissertação apresenta um estudo investigativo de cenários e suas correlações, com o intuito de quantificar e qualificar a força das relações e das dependências entre as diversas variáveis envolvidas, tais como fatores meteorológicos (umidade relativa, precipitação, velocidade do vento e temperatura) e o número de focos de queimadas, de forma a possibilitar a análise dos motivos que influenciam na degradação ambiental da área de estudo. Com a finalidade de validar a metodologia proposta, realizou-se um estudo no município de Marabá, área de projetos de assentamentos, cujo foco é analisar as correlações existentes entre as variáveis climáticas e os focos de queimadas nesta região, utilizando três cenários de estudo. Para tanto, utilizam-se alguns parâmetros estatísticos, a correlação de Pearson e as Redes Bayesianas a fim de estabelecer o grau de dependência entre as diferentes variáveis de interesse. A partir de tais estudos, é possível fazer-se um conjunto de inferências acerca do problema em estudo e possíveis alternativas, as quais equilibrem mais os cenários, em benefício da sustentabilidade do meio ambiente.

Palavras - Chave: Marabá, Queimadas, Variáveis Climáticas, Correlação de Pearson, Redes Bayesianas.

Abstract

The Amazon is composed of a wide variety of ecosystems and forms of occupation, taking a wide variety of settings, including spatial, social, economic, agronomic, which vary from region to region. From this perception of the Amazon region, this work presents an investigative study scenarios and their correlations, in order to quantify and qualify the strength of relationships and dependencies between the different variables involved, such as meteorological factors (relative humidity, rainfall, speed wind and temperature) and the number of fire outbreaks, in order to enable the analysis of the reasons that influence the environmental degradation of the study area. In order to validate the proposed methodology, we conducted a study in the city of Maraba area of settlement projects, whose focus is to analyze the correlation between climate variables and fire outbreaks in the region, using three study scenarios. Therefore, we use some statistical parameters, the Pearson correlation and Bayesian networks in order to establish the degree of dependency between the different variables of interest. From such studies, it is possible to make a set of inferences about the problem under study and possible alternatives, which more balance scenarios for the benefit of environmental sustainability.

Keywords: Marabá, Fires, Climate Variables, Pearson Correlation, Bayesian networks.

Lista de Figuras

- Figura 2.1** Geração de conhecimento em bancos de dados KDD
- Figura 2.2** Modelagem de uma Rede Bayesiana no GeNIe 2.0
- Figura 3.1** Relação entre Umidade Relativa e Temperatura
- Figura 5.1** Metodologia para Estratégia de Correlação das Variáveis Climáticas e de Focos de Queimadas
- Figura 5.2** Precipitação no Período Chuvoso em Marabá
- Figura 5.3** Precipitação no Período de Seca em Marabá
- Figura 5.4** Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário Chuvoso
- Figura 5.5** Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário de Seca
- Figura 5.6** Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário Anual
- Figura 5.7** Gráfico de Dispersão da Variável “Velocidade do Vento” no Cenário Seco
- Figura 5.8** Gráfico de Dispersão da Variável "Umidade Relativa" no Cenário Seco
- Figura 5.9** Gráfico de Dispersão da Variável "Precipitação" no Cenário Seco
- Figura 5.10** Gráfico de Dispersão da Variável "Temperatura" no Cenário Seco
- Figura 5.11** Gráfico de Dispersão da Variável “Temperatura” no Cenário Chuvoso
- Figura 5.12** Gráfico de Dispersão da Variável “Umidade Relativa” no Cenário Chuvoso
- Figura 5.13** Gráfico de Dispersão da Variável “Precipitação” no Cenário Chuvoso
- Figura 5.14** Gráfico de Dispersão da Variável “Velocidade do Vento” no Cenário Chuvoso
- Figura 5.15** Gráfico de Dispersão da Variável “Velocidade do Vento” no Cenário Anual
- Figura 5.16** Gráfico de Dispersão da Variável "Precipitação" Cenário Anual
- Figura 5.17** Gráfico de Dispersão da Variável "Temperatura" no Cenário Anual
- Figura 5.18** Gráfico de Dispersão da Variável "Velocidade do Vento" no Cenário Anual

Lista de Tabelas

- Tabela 5.1** Amostra da Base de Dados Anual do Município de Marabá-PA
- Tabela 5.2** Amostra da Base de Dados do Período Chuvoso em Marabá-PA
- Tabela 5.3** Descrição da Discretização das Variáveis Ambientais e Focos de Queimadas no Cenário Chuvoso
- Tabela 5.4** Matriz de Correlação do Cenário Chuvoso
- Tabela 5.5** Amostra da Base de Dados do Período de Seca em Marabá-PA
- Tabela 5.6** Descrição da Discretização das Variáveis Climáticas e Focos de Queimadas do Cenário Seca
- Tabela 5.7** Primeira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.8** Segunda Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.9** Terceira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.10** Quarta Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.11** Matriz de Correlação do Cenário de Seca
- Tabela 5.12** Amostra da Base de Dados Anual do Município de Marabá-PA
- Tabela 5.13** Descrição da Discretização das Variáveis Climáticas e Focos de Queimadas do Cenário Anual
- Tabela 5.14** Primeira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.15** Tabela Segunda Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.16** Tabela Terceira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas
- Tabela 5.17** Matriz de Correlação do Cenário Anual
- Tabela 5.18** Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas
- Tabela 5.19** Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas
- Tabela 5.20** Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas

Sumário

Lista de Figuras	X
Lista de Tabelas	XI
Sumário.....	XII
Capítulo 1 – Introdução	14
1.1. Contextualização.....	14
1.2. Objetivos.....	16
1.4 Organização da Dissertação.....	17
Capítulo 2 – Técnicas de Correlações	18
2.1. Considerações Iniciais	18
2.2. Knowledge Discovery in Databases (KDD).....	18
2.3. As etapas operacionais: pré-processamento, mineração de dados e pós- processamento.	20
2.4. Mineração de Dados e o Raciocínio Probabilístico	22
2.4.1. Estrutura de uma Rede Bayesiana e o Teorema de Bayes.....	23
2.5. Coeficiente de Correlação de Pearson	25
2.5.1. Conceitos e Princípios	26
2.6. Considerações Finais	28
Capítulo 3 – Variáveis Ambientais.....	29
3.1. Considerações Iniciais	29
3.2. Variáveis Ambientais: Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Índice Pluviométrico e Velocidade do Vento.....	29
3.2.1. Temperatura.....	29
3.2.2. Umidade Relativa do Ar	30
3.2.3. Índice Pluviométrico ou Precipitação.....	31
3.2.4. Velocidade do Vento	32
3.3. As Queimadas e o Cenário no Bioma Amazônico	32
3.4. Considerações Finais	35
Capítulo 4- Trabalhos Relacionados	36
4.1. Considerações Iniciais	36
4.2. Variáveis Climáticas, Focos de Queimadas e a Correlação.....	36
4.3. Considerações Finais	38
Capítulo 5 – Análise de Correlação de Focos de Queimadas com Variáveis Climáticas no Município de Marabá.....	39
5.1. Considerações Iniciais	39
5.2. Etapas do Estudo.....	40
5.2.1 Obtenção das Variáveis Ambientais.....	40
5.2.2 Pré-Processamento e Dados Consistentes	41
5.2.3 Técnicas de Correlação.....	43
5.2.4 Cenários	43
5.3. Estudos de Caso em Marabá	45
5.3.1 Estudo de Caso no Período Chuvoso.....	45
5.3.2 Estudo de Caso no Período de Seca.....	49
5.3.3 Cenário Anual.....	53
5.4. Análises dos Resultados Obtidos dos Estudos de Caso	57

5.4.1	Estudo de caso: Cenário de Seca	58
5.4.2	Estudo de Caso: Cenário Chuvoso	61
5.4.3	Estudo de Caso: Cenário Anual.....	64
5.5.	Considerações Finais	67
6.1.	Contribuições da Dissertação.....	69
6.2.	Trabalhos Futuros	69
6.3.	Dificuldades Encontradas	70
REFERÊNCIAS		71

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Contextualização

O desmatamento na Amazônia contabiliza um acúmulo de 762.979 km² em sua extensão florestal. Esse valor é maior que a soma das áreas de três estados de São Paulo, ou que as áreas somadas de duas Alemanhas ou de dois Japões. Uma unidade de área mais próxima do brasileiro, o campo de futebol (4.136 m²), dá uma noção da magnitude da devastação: 184 milhões de unidades – quase um campo de futebol desmatado na Amazônia para cada brasileiro. Colocado na perspectiva temporal, teriam sido, em média, 12.635 campos desmatados por dia; 526 campos por hora; 8,8 campos – ou 36.291 m² por minuto; 605 m² por segundo, ininterruptamente, nos últimos 40 anos. [INPE, 2015].

Segundo Claudia Azevedo Ramos afirma que “A Floresta Amazônica ou Amazônia abriga cerca de 20% da biodiversidade global e estima-se que armazene um quinto da água potável do mundo. É o maior bioma do Brasil: abriga 2.500 espécies de árvores e 30 mil espécies de plantas” [REVISTA PRE UNIVESP, 2015].

A Amazônia Legal é constantemente monitorada por satélites e suas imagens são utilizadas por três sistemas. O DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real) e o PRODES são (Projeto de Monitoramento por Satélites do Desmatamento por corte raso na Amazônia Legal) operados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). O SAD (Sistema de Alertas de Desmatamento) é operado pelo Imazon e conta com imagens de reflectância do sensor MODIS para gerar os alertas de desmatamento e degradação florestal [INPE, 2016].

De acordo com Fearnside, a prioridade atual na Amazônia é frear a perda de floresta primária e não a recuperação de áreas já desmatadas. Evitar a destruição, tanto quanto possível da floresta restante, deve ser a primeira prioridade, e as oportunidades para fazer isso por meio da criação de áreas protegidas são altamente dependentes do tempo, aumentando rapidamente a dificuldade de criar essas áreas na medida em que a ocupação avança. O custo financeiro da recuperação de um hectare de terra degradada é muito maior do que o custo de evitar o desmatamento de um hectare de floresta nativa e o benefício em termos de biodiversidade, água e carbono é muito menor. Por hectare, é

bem mais barato evitar o desmatamento do que recuperar e o benefício em termos de biodiversidade e de clima é muito maior [REVISTA PREUNIVESP, 2016].

Para caracterização ambiental de uma área, é necessário o conhecimento dos seus recursos naturais e o entendimento da interação e correlação entre eles [RESENDE et al, 1995]. Fiscalizar o cumprimento da legislação em locais de atividades que estão ligadas ao meio ambiente na Amazônia é uma tarefa difícil, dada às especificidades da região e à falta de material, principalmente humano, para os órgãos responsáveis realizarem tais fiscalizações. As ferramentas de geotecnologias têm ajudado os órgãos governamentais e outras instituições a terem um panorama da realidade ambiental na Amazônia.

Diversos estudos têm sido desenvolvidos para verificar o desmatamento acarretado por projetos de assentamento da reforma agrária na região amazônica, sobretudo após o MMA (Ministério do Meio Ambiente) anunciar em 2008 que os projetos de assentamento do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) figuravam dentre as seis primeiras posições na lista dos responsáveis pelo desmatamento da Amazônia. Sendo assim, existe um grande interesse em realizar estudos que permitam relacionar as diversas variáveis que influenciam a ação do homem sobre o Bioma Amazônico [CALANDINO et al, 2012].

De acordo com [RAZAFIMPANILO et al., 1995], a eficiência do monitoramento de incêndios por satélites depende de informações prévias do ambiente, tais como: características do material combustível, informações sobre regeneração natural e fenologia da vegetação, condições climáticas, etc.

Em [NUNES, 2006] se afirmou que não somente a ocorrência, mas também as propagações dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas ou fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança está diretamente ligada à umidade relativa, à temperatura do ar e à precipitação.

O estudo de correlações de variáveis climáticas com os focos de queimadas em Marabá torna-se este estudo importantíssimo para o cenário atualmente alarmante de queimadas no Bioma Amazônico.

1.2. Objetivos

Nesta dissertação, uma metodologia para a análise de fatores que influenciam na degradação ambiental do município de Marabá (região amazônica), por intermédio da busca de correlações entre as variáveis envolvidas é proposta.

A partir disso, estudos de caso são propostos para analisar o comportamento de cada cenário (anual, seco e chuvoso) utilizando as variáveis climáticas (umidade relativa do ar, precipitação, temperatura média e velocidade do vento) e os focos de queimadas na região de Marabá.

Em cada estudo, se aplicou métodos estatísticos, primeiramente as redes bayesianas onde se conseguiu obter uma matriz de correlação, em que esta apresenta a finalidade de expressar o grau de correlação das variáveis envolvidas em cada cenário proposto. E também, se aplicou os gráficos de dispersão linear, uma vez que auxiliam na visualização da correlação dos focos de queimadas com cada variável climática.

A partir do levantamento do estado da arte descrito nos próximos capítulo, se demonstrou as principais variáveis climáticas, sendo as mais utilizadas ou clássicas que se empregou o estudo investigativo de correlação com os focos de queimadas. Sendo assim, todas as variáveis climáticas se demonstraram com algum grau de correlação com os focos de queimadas, as redes bayesianas apresentam a relação direta e indireta, em seus respectivos cenários e as variáveis envolvidas.

1.3 Contribuições

A necessidade do uso de técnicas que possibilitem um estudo sistematizado dos fatores que influenciam a degradação ambiental em Marabá, com fins de proposição de políticas públicas mais efetivas para a mitigação desses problemas, é urgente e fundamental.

Despertar a conscientização de uma exploração sustentável na região de estudo, a fim de promover a sustentabilidade no uso da terra e seus recursos naturais.

Promover uma utilização melhor nas áreas desflorestadas também faz parte dos desafios para a Amazônia, pois, além de conter a expansão do desflorestamento, possibilitará uma melhor utilização das áreas com maior produtividade, através deste estudo.

Definir a correlação entre essas variáveis e o grau de dependência entre elas, é de grande valia, não só para o entendimento dos fenômenos envolvidos, como também para a elaboração de políticas públicas mais efetivas, já que será possível simular uma gama de cenários, que mostrarão, não apenas o comportamento do número de focos de queimadas, sob diferentes condições climáticas, de escolaridade e de renda, por exemplo, mas também a influência em nível global.

1.4 Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida conforme abaixo:

Capítulo 2: Neste capítulo são apresentadas as técnicas de correlações empregadas nesta dissertação, as principais definições sobre Mineração de Dados, demonstrando assim o referencial teórico existente nas discussões sobre as técnicas de correlação. Apresentando também as principais definições sobre coeficiente de correlação de Pearson e Redes Bayesianas, sendo, esta última, a técnica computacional aplicada na verificação de correlação entre as variáveis utilizadas neste trabalho.

Capítulo 3: Apresentação de conceitos sobre as variáveis ambientais e o número de focos de queimadas na região Amazônica. Neste capítulo é discutida a relação das Queimadas com o Bioma Amazônico. Discussão importante para os resultados desta proposta de trabalho.

Capítulo 4: Apresenta os estudos relacionados à proposta desta dissertação.

Capítulo 5: Este capítulo expõe a metodologia proposta e os estudos de caso realizados, detalhando a ferramenta e as técnicas de correlação, que foram utilizadas, além das configurações utilizadas, bem como os resultados obtidos e as análises acerca dos mesmos.

Capítulo 6: Neste capítulo, demonstram-se as contribuições deste trabalho, apresentando as dificuldades encontradas e os possíveis desdobramentos em trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Técnicas de Correlações

2.1. Considerações Iniciais

Apresentam-se, neste capítulo, as principais definições de Mineração de Dados, de Redes Bayesianas e do Coeficiente de Correlação de Pearson, sendo tais técnicas de representação de conhecimento e de correlação aplicadas nos estudos de caso desta dissertação.

2.2. Knowledge Discovery in Databases (KDD)

Data Mining ou Mineração de Dados (MD) é o processo de pesquisa em grandes quantidades de dados para extração de conhecimento, utilizando técnicas de inteligência computacional e estatísticas para procurar relações de similaridade ou discordância entre dados, com o objetivo de encontrar padrões, irregularidades e regras, com o intuito de transformar dados, aparentemente ocultos, em informações relevantes para a tomada de decisão e/ou avaliação de resultados [PINTO; SANTOS, 2005].

A cada dia, uma enorme quantidade de dados é gerada. Existe uma estimativa de que a cada 20 meses dobra a quantidade de dados armazenada nos bancos de dados do mundo [WITTEN et al., 2011]. Esses dados são gerados por transações financeiras, monitoramento ambiental, obtenção de dados clínicos e genéticos, captura de imagens, navegação na internet, entre outras [FACELLI et al., 2011].

Sendo assim, a mineração de dados está inserida em um processo maior denominado descoberta de conhecimento em banco de dados, Knowledge Discovery in Database (KDD). Rigorosamente o data mining se restringe à obtenção de modelos, ficando as etapas e o próprio DM como instâncias do KDD, conforme a Figura 2.1 [BRAGA, 2005].

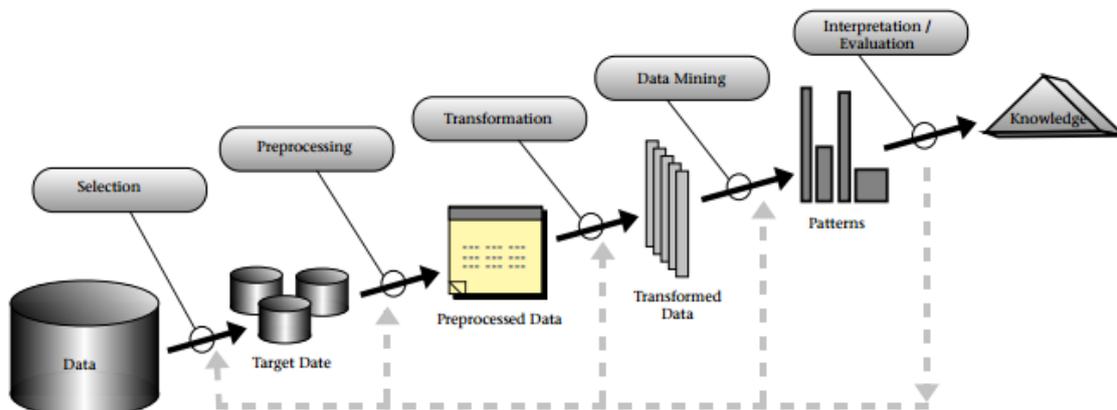


Figura 2.1. Geração de conhecimento em bancos de dados KDD [FAYYAD et al., 1996]

A Figura 2.1 apresenta o processo de busca de conhecimento através de uma série de passos: seleção, pré-processamento, transformação, mineração de dados (data mining) e interpretação/avaliação. Simplificando, pode-se dizer que o processo de KDD compreende, na verdade, todo o ciclo que o dado percorre a fim de se tornar informação.

O KDD é uma tecnologia capaz de cooperar amplamente na busca do conhecimento embutido nos dados. O KDD consiste da combinação de métodos e ferramentas de estatística, inteligência artificial, visualização e banco de dados para encontrar padrões e regularidades nos dados [MANILLA et al., 1997]. O KDD, na verdade, é um conjunto de atividades contínuas que geram um conhecimento a respeito da base de dados, sendo dividido em etapas: a de limpeza, a de enriquecimento, a de descoberta [FAYYAD; GREGORY; PADHRAIC, 1996].

De acordo com [CARDOSO, 2010], a mineração de dados surgiu da necessidade do emprego de técnicas e ferramentas que permitissem transformar, de maneira inteligente e automática, os dados disponíveis em informações úteis. Se classificam em duas categorias as tarefas básicas via processo de MD:

- Descritivas: concentram-se em encontrar padrões que descrevem os dados, caracterizando as propriedades gerais desses dados, de forma interpretável pelos seres humanos;
- Preditivas: realizam inferência nos dados correntes para construir modelos, que serão utilizados para reedições do comportamento de novos dados.

O data mining usa ferramentas de análise estatística, assim como técnicas da área de inteligência artificial, ou técnicas baseadas em regras e outras técnicas inteligentes. A mineração dos dados pode dar-se sobre um banco de dados operacional, ou sobre um data warehouse, constituindo um sistema de suporte à decisão [CARDOSO; MACHADO, 2008].

A etapa de descoberta de conhecimento possui várias etapas operacionais, composto pelas etapas de pré-processamento, mineração de dados e pós-processamento.

2.3. As etapas operacionais: pré-processamento, mineração de dados e pós-processamento.

A. Pré-Processamento

Nesta etapa é necessário efetuar a seleção de dados considerada importante para a organização, ou seja, selecionar um conjunto de dados, pertencentes a um domínio, para que, a partir de um critério definido pelo especialista do domínio, possa ser analisado. Após seleção de dados, é necessário aplicar métodos de tratamento, pois na maioria das vezes os dados disponíveis para análise encontram-se em um formato inadequado para realização do processo de KDD, denominado de limpeza dos dados [MACEDO; MATOS, 2010].

A seguir encontram-se as principais funções de pré-processamento dos dados segundo [BOENTE et al., 2007] seleção de dados, limpeza de dados, codificação dos dados e enriquecimento dos dados.

Segundo [GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005], é importante ressaltar que na etapa de limpeza de dados identifica as seguintes funções que podem ser aplicadas :

- Limpeza de informações ausentes: compreende a eliminação de valores ausentes em conjunto de dados;
- Limpeza de inconsistências: abrange a identificação e a eliminação de valores inconsistentes em conjunto de dados;

- Limpeza de valores não pertencentes ao domínio: compreende a identificação e a eliminação de valores que não pertençam ao domínio dos atributos do problema.

B. Mineração de Dados

Segundo [FAYYAD; GREGORY; PADHRAIC, 1996] as técnicas de mineração de dados são ferramentas poderosas para analisar o comportamento e a frequência de ocorrência de fenômenos, uma vez que estas permitem transformar informações embutidas em grandes volumes de dados em conhecimento útil, fundamentado na definição do processo da Descoberta do Conhecimento em Bases de Dados.

C. Pós-processamento

Esta etapa compreende o processo de tratamento do conhecimento adquirido por meio da Mineração de Dados, com o intuito de facilitar a interpretação e avaliação deste, para priorizar a utilidade do conhecimento descoberto. Segundo [BOENTE et al., 2007], dentre as principais funções da etapa de pós-processamento estão a elaboração e organização, podendo incluir a visualização através de gráficos, diagramas e outros tipos de relatórios, além da conversão da forma de representação do conhecimento extraído no processo de KDD. Os principais métodos e procedimentos utilizados na etapa de pós-processamento, de acordo com [NICOLAIO; PELINSKI, 2007] são: avaliação, interpretação e explanação, filtragem e interpretação.

De acordo com [NONATO; STANLEY, 2013], não existe a melhor técnica no processo da mineração de dados, já que cada uma possui vantagens e desvantagens. A escolha de uma técnica exige uma análise mais detalhada do problema em questão e a decisão de qual representação e estratégia de descoberta seja mais adequada.

Existem várias ferramentas computacionais, tanto comerciais quanto gratuitas, que contêm várias técnicas de Mineração de Dados, incluindo técnicas para pré-processamento de dados, algoritmos de Aprendizado de Máquina e técnicas de pós-processamento. Algumas dessas ferramentas possuem interface gráfica ou possuem um ambiente em linha de comando, ou ainda possuem as duas alternativas [FACELLI et al.,

2011]. Na Figura 2.2 se demonstra a modelagem de uma rede bayesiana utilizando o software GeNIe 2.0, sendo esta uma versão acadêmica e gratuita.

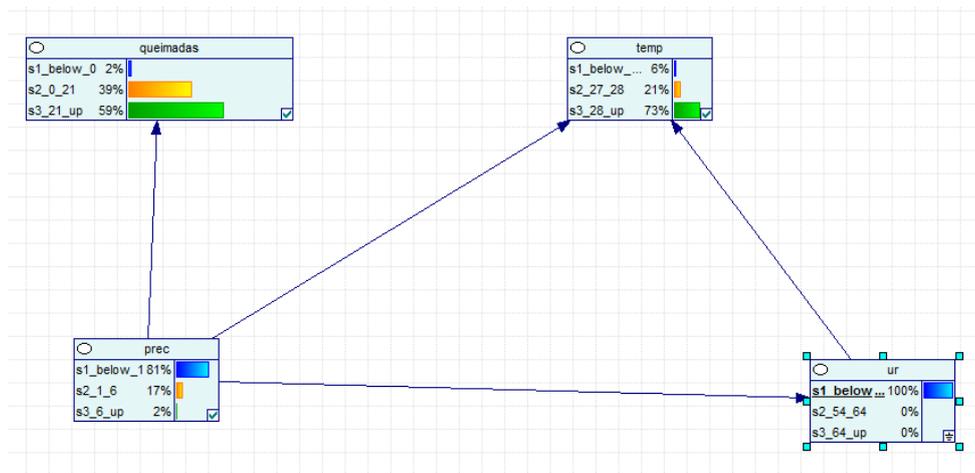


Figura 2.2. Modelagem de uma Rede Bayesiana no GeNIe 2.0

2.4. Mineração de Dados e o Raciocínio Probabilístico

Os Sistemas Especialistas Probabilísticos têm em sua base de conhecimentos fatos e regras que representam o conhecimento do especialista num domínio de aplicação. Aos fatos e às regras são associadas as incertezas presentes no domínio, e são explicitados as chances de sua ocorrência por meio de valores de probabilidade. O raciocínio realizado pelo sistema deve considerar estas probabilidades para a partir dos dados de entrada (input) associar um vetor de probabilidades ao conjunto de hipóteses diagnósticas ou categorias de classificação do sistema (output). A hipótese com maior probabilidade de ocorrência pode ser considerada a classificação ou conclusão do sistema, note que a esta conclusão está sempre associado o grau de certeza da resposta do sistema [NASSAR, 2012].

A principal vantagem de raciocínio probabilístico sobre raciocínio lógico é o fato de que agentes podem tomar decisões racionais mesmo quando não existe informação suficiente para se provar que uma ação funcionará [RUSSEL; NORVING, 1995].

As redes bayesianas são esquemas de representação de conhecimentos utilizadas para desenvolver a base de conhecimentos de um sistema especialista probabilístico [NASSAR, 2012].

2.4.1. Estrutura de uma Rede Bayesiana e o Teorema de Bayes

Uma rede bayesiana é estruturada através de um teorema conhecido por Teorema de Bayes, que foi formulado matematicamente para cálculo de probabilidades proposta por Thomas Bayes, em 1763 [ALMEIDA, 2006].

Teorema de Bayes é representado pela seguinte equação:

Para chegar ao teorema de Bayes, partimos de princípios básicos. Assim, a probabilidade de que observemos simultaneamente um evento A e um evento B é dada por [PENA, 2006]:

$$P(A \cap B) = P(A/B) \cdot P(B) \quad (1)$$

Por outro lado, a probabilidade de que observemos simultaneamente um evento A e um evento B também pode ser dada por:

$$P(B \cap A) = P(A \cap B) = P(B/A) \cdot P(A) \quad (2)$$

Combinando (1) e (2), temos:

$$P(A/B) \cdot P(B) = P(B/A) \cdot P(A) \quad (3)$$

Rearranjando, chegamos ao teorema de Bayes:

$$P(A/B) = P(B/A) \cdot P(A)/P(B) \quad (4)$$

Como geralmente não conhecemos P(B), precisamos usar uma formulação alternativa, que é baseada em:

$$P(B) = P(B \cap A) + P(B \cap A^c) \quad (5)$$

Onde A^c é o evento complementar de A, também chamado de não-A. Usando nosso conhecimento básico (equação 1 acima) e substituindo, obtemos:

$$P(B) = [P(B/A) \cdot P(A)] + [P(B/A^c) \cdot P(A^c)] \quad (6)$$

Substituindo 6 em 4 obtemos a formulação alternativa:

$$P(A/B) = P(B/A) \cdot P(A) / [P(B/A) \cdot P(A)] + [P(B/A^c) \cdot P(A^c)]$$

Segundo [GAAG, 1996], as redes bayesianas são compostas de duas partes complementares: uma parte qualitativa e a outra quantitativa.

A parte qualitativa consiste em um modelo gráfico (grafo acíclico direcionado) onde as variáveis são os nodos e as regras, que são as relações de dependência entre as variáveis, são os arcos direcionados. Sendo assim, quando um arco é ligado às variáveis A e B, na seguinte forma $A \rightarrow B$, indica-se que a variável B é a consequência e a variável A é a causa, e estas apresentam uma relação de dependência, resumidas através da regra “se A então B”. Caso contrário, quando não houver um arco ligando duas variáveis então assume-se que essas variáveis são independentes.

Segundo [ALMEIDA, 2006] a parte quantitativa de uma rede bayesiana é composta por três classes de probabilidade: o conjunto de probabilidades condicionais associadas aos arcos existentes no modelo gráfico da parte qualitativa; as probabilidades estimadas a priori das hipóteses diagnósticas ou categorias de classificação [nodo de saída] e as probabilidades de cada nodo de entrada.

De acordo com [HUANG et al., 2004], as redes Bayesianas se destacam como uma das melhores técnicas de inteligência computacional, tendo se tornado um dos principais métodos para se trabalhar com incerteza. Particularmente, esse fato é devido às suas propriedades analíticas excepcionais de representar domínios, correlacionar e estudar as dependências entre suas variáveis, o que permitem mais facilmente visualizar e compreender as relações entre as variáveis do ambiente, consistindo em um fator decisivo e de grande valia para a representação e análise do domínio pelos usuários. Essa particularidade é a grande vantagem desta técnica em possibilitar uma facilidade na interpretação dos dados gerados.

2.5. Coeficiente de Correlação de Pearson

A correlação é a medida padronizada da relação entre duas variáveis aleatórias e indica a força e a direção do relacionamento linear entre elas [SANTOS; SANTOS, 2009].

- A correlação nunca pode ser maior do que 1 ou menor do que menos 1.
- Uma correlação próxima à zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas.
- Uma correlação positiva indica que as duas variáveis movem juntas, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima 1.
- Uma correlação negativa indica que as duas variáveis movem-se em direções opostas,
- A relação fica mais forte quanto mais próxima a correlação de -1 ou + 1.
- Duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas positivamente ($r=1$) movem-se essencialmente em perfeita proporção na mesma direção,
- Dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em perfeita proporção em direções opostas.

A relação entre as variáveis é evidenciada pela formação de um padrão no diagrama de Dispersão.

Um dos métodos mais usados para a investigação de pares de dados é a utilização de diagramas de dispersão cartesianos (ou seja, os conhecidos diagramas x-y). Geometricamente, um diagrama de dispersão é simplesmente uma coleção de pontos num plano cujas duas coordenadas Cartesianas são os valores de cada membro do par de dados. Este é o melhor método para examinar os dados no que se refere à ocorrência de tendências (lineares ou não), agrupamentos de uma ou mais variáveis, mudanças de espalhamento de uma variável em relação à outra e verificar a ocorrência dos valores discrepantes [GUIMARÃES, 2013].

2.5.1. Conceitos e Princípios

Ao estudo do relacionamento entre duas ou mais variáveis denominamos de correlação e regressão. Se o estudo tratar apenas de duas variáveis tem-se a correlação e a regressão simples, se envolver mais do que duas variáveis, tem-se a correlação e a regressão múltiplas. A regressão e a correlação tratam apenas do relacionamento do tipo linear entre duas variáveis. A análise de correlação fornece um número que resume o grau de relacionamento linear entre as duas variáveis. Já a análise de regressão fornece uma equação que descreve o comportamento de uma das variáveis em função do comportamento da outra variável [VIALI, 2015].

Segundo Luís Faísca et al 2010, o coeficiente de correlação linear do Pearson (r) expressa a intensidade e o sentido da relação linear que existe entre duas variáveis numéricas. O seu valores entre -1 e + 1. Interpretando o coeficiente de correlação:

$$r_{xy} = + 0,5266$$

- O sinal do coeficiente indica o sentido da relação entre duas variáveis;
- A magnitude do coeficiente indica a intensidade da relação linear entre duas variáveis.

Analisando o coeficiente de correlação:

- Se o coeficiente de correlação entre duas variáveis for positivo então elas variam no mesmo sentido;
- Se o coeficiente for negativo as variáveis variam em sentido inverso;
- Se o coeficiente tiver valor nulo [zero], não existe correlação.

De acordo com [FAÍSCA, 2010], a correlação entre duas variáveis pode ser:

- Correlação Positiva: o aumento de uma variável corresponde, ao aumento da outra.
- Correlação Negativa: o aumento de uma variável corresponde à diminuição da outra.

- Correlação Linear: quando é possível ajustar uma reta. Será forte, quanto mais próximas da reta estiver, e fraca, quanto mais distantes da reta.
- Correlação Não-Linear: quando não é possível ajustar uma reta.

A classificação do coeficiente de correlação é imprescindível para a obtenção e no processo de interpretação, as secções seguintes descrevem exatamente, quais as classificações existentes, a fim de aprimorar o conhecimento sobre a magnitude dos coeficientes de correlação.

Para se calcular a correlação de Pearson:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}}$$

Interpretando r [FRANZBLAU, 1958]

- Se $r < 0,20$, a correlação é negligenciável.
- Se $0,20 < r < 0,40$, a correlação é fraca.
- Se $0,40 < r < 0,60$, a correlação é moderada.
- Se $0,60 < r < 0,80$, a correlação é forte.
- Se $r > 0,80$, a correlação é muito forte.

Interpretando r [COHEN, 1988]

- Se $0,10 < r < 0,29$, a correlação é pequena.
- Se $0,30 < r < 0,49$, a correlação é média.
- Se $0,50 < r > 1$, a correlação é grande.

Interpretando r [DANCEY; REIDY, 2005]

- Se $0,10 < r < 0,30$, a correlação é fraca.
- Se $0,40 < r < 0,60$, a correlação é moderada.

- Se $0,70 < r < 1$, a correlação é forte.

2.6. Considerações Finais

Neste capítulo foram discutidos os principais conceitos, de maneira sucinta, e essencial para o escopo desta dissertação. Foram abordadas definições elementares de mineração de dados, inteligência artificial (notadamente redes bayesianas) e o coeficiente de correlação de Pearson. Este capítulo não possui a pretensão de esgotar o assunto. Os referidos assuntos são melhor e amplamente discutidos em literatura especializada, e podem ser compreendidos em publicações, tais como:

- Classificação de Franzblau: A. Franzblau, "A primer of statistics for non-statisticians". Oxford, England: Harcourt, Brace, 1958.
- Classificação de Cohen: J. Cohen, "Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences". New York: Academic Press, 1988.
- Classificação de Dancey e Reidy: C. Dancey and J. Reidy, "Statistics Without Maths for Psychology". University of East London, 2014
- Mineração de Dados: B. Braga. et al. "Introdução à Mineração de Dados", E - Papers Serviços Editoriais, 2ª Edição Revista e Ampliada, 2005.
- Inteligência Computacional e Redes Bayesianas: K. Faceli et al. "Inteligência Artificial - Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina", LTC, 1a Edição, 2011.

Capítulo 3 – Variáveis Ambientais

3.1. Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados alguns dos principais conceitos sobre variáveis climáticas e de focos de queimadas. Discutindo, assim, as principais variáveis climáticas envolvidas neste estudo. Bem como o atual cenário no Bioma Amazônico e as deficiências existentes na detecção de focos de queimadas.

3.2. Variáveis Ambientais: Temperatura, Umidade Relativa do Ar, Índice Pluviométrico e Velocidade do Vento.

A temperatura e a umidade do ar são as causas iniciais de grande número de fenômenos meteorológicos, influenciando diretamente sobre as condições ambientais, principalmente a melhoria da qualidade do conforto ambiental e, indiretamente através de outros elementos, como o desmatamento e a expansão populacional, associada com o crescimento das edificações, intenso fluxo de veículos e a poluição atmosférica, que são fatores decisivos para a formação de ilhas de calor nas cidades [LOMBARDO, 1983].

3.2.1. Temperatura

A temperatura do ar é um dos efeitos mais importante da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares [SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009].

A escala Celsius foi nomeada após Anders Celsius, famoso cientista sueco. Astrônomo, ele estudou também meteorologia e geografia, ciências que não são inseridas na astronomia de hoje. A partir de suas observações meteorológicas ele construiu o termômetro de Celsius e estabeleceu as bases da escala Celsius de temperatura [UNICAMP, 2007].

3.2.2. Umidade Relativa do Ar

Na atmosfera observa-se água no seu estado gasoso, como vapor de água; no seu estado líquido, como gotículas de nuvens e gotas de chuvas; e no seu estado sólido, como cristais de gelo. Umidade é um termo geral que descreve o conteúdo de vapor de água existente no ar atmosférico [DIAZ et al., 2002].

O aquecimento ou o resfriamento da água causa sua mudança de um para outro de seus três estados: sólido, líquido e gasoso (vapor de água). A aplicação contínua de calor derrete o gelo, tornando-o líquido (água), que, por sua vez, evapora, transformando-se em vapor de água. A retirada contínua de calor do vapor de água causa sua condensação e a passagem para o estado líquido; a água, por seu turno, transforma-se em gelo, com o prosseguimento do processo de remoção de calor. Estas mudanças de estado são sempre acompanhadas de ganho ou perda de calor pelos ambientes próximos. O vapor de água existente na atmosfera provém da evaporação das superfícies líquidas da crosta terrestre (oceanos, rios, lagos, etc.) logo, normalmente, sua quantidade diminui com a altitude [DIAZ et al., 2002].

A capacidade do ar atmosférico de conter umidade é diretamente proporcional à sua temperatura. Esta é uma das principais propriedades do ar atmosférico. Quanto maior a temperatura do ar, maior a quantidade de vapor-d'água que poderá conter. Diz-se que o ar atmosférico está saturado quando contém a quantidade máxima de vapor-d'água, possível a uma dada temperatura (e pressão). Então, em temperaturas mais elevadas é necessária maior quantidade de vapor-d'água para tornar o ar saturado, ocorrendo o inverso em temperaturas mais baixas. Embora existam outros conceitos, como umidade absoluta, umidade específica e teor de mistura, o principal modo pelo qual é expressa a umidade do ar é a umidade relativa, definida como a relação, em percentagem, existente entre a quantidade de vapor-d'água presente no ar e a quantidade máxima de vapor-d'água que ele poderá conter, a uma determinada temperatura [MARINHA, 2009].

Numa situação em que a quantidade de vapor-d'água contido no ar permaneça constante, ou seja, sem acréscimo ou retirada de umidade, se a temperatura do ar aumenta, a sua capacidade de conter vapor-d'água até o ponto de saturação também aumenta; logo, a sua umidade relativa diminui. Se a temperatura do ar diminui, o seu limite de conter umidade até o ponto de saturação também diminui, logo, a sua umidade relativa aumenta. Assim, constata-se que a umidade relativa varia de modo inversamente

proporcional à variação da temperatura, conforme a Figura 3.1 abaixo [MARINHA, 2009]:

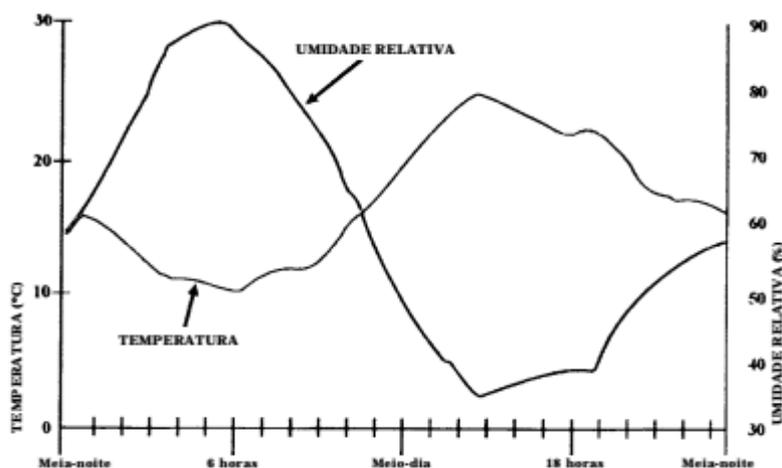


Figura 3.1. Relação entre Umidade Relativa e Temperatura [MARINHA, 2009]

3.2.3. Índice Pluviométrico ou Precipitação

Precipitação é a água proveniente do vapor d'água da atmosfera, que chega a superfície terrestre, sob a forma de: chuva, granizo, neve, orvalho, etc. Para as condições climáticas do Brasil, a chuva é a mais significativa em termos de volume [DIAZ et al., 2002].

Quantifica-se a chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana. A quantidade da chuva é avaliada por meio de aparelhos chamados pluviômetros ou pluviógrafos. São três as grandezas características das medidas pluviométricas:

- **Altura pluviométrica:** medida realizada nos pluviômetros/pluviógrafos e expressa habitualmente em milímetros (mm). Esta medida corresponde à altura da lâmina d'água que se formaria sobre o solo como resultado de certa chuva, caso não houvesse escoamento, infiltração ou evaporação da água precipitada.
- **Duração:** período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, expresso geralmente em horas ou minutos.

- Intensidade da precipitação: é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva expressa em mm/h ou mm/min. Uma chuva de 1mm/ min corresponde a uma vazão de 1 litro/min afluindo a uma área de 1 m².

3.2.4. Velocidade do Vento

Teoricamente a velocidade do vento é a distância horizontal percorrida por uma partícula de ar durante a unidade de tempo. O vento à superfície é medido normalmente a uma altura normal de 10 metros sobre a superfície terrestre, podendo também ser medido a 2 metros [CEFET, 2012].

Para traduzir a velocidade do vento utilizam-se duas unidades: o metro por segundo, m/s, de que se deduz a velocidade em quilometro por hora, km/h, ou o nó, que se abrevia por kt, e que corresponde a 51 cm/s. Tanto o cata-vento [para medir a direção do vento], como o anemômetro (intensidade do vento) é hoje em dia substituído, com vantagem, por anemógrafos, que registram a direção e velocidade do vento simultaneamente. São os ventos que transportam de um lado para as outras massas de ar diferentes, que podem deixar calor por onde passam ou frio. Quando duas massas de ar muito distintas confluem uma com a outra pode dar-se origem a um furacão ou tufão [MARINHA, 2009].

3.3. As Queimadas e o Cenário no Bioma Amazônico

O INPE mantém há mais de 20 anos um sistema operacional de monitoramento de queimadas por satélite para todo Brasil e boa parte da América do Sul. Ao longo destes anos foram desenvolvidas várias metodologias e sistemas de computadores que permitem identificar focos de calor em imagens de satélites de baixa resolução, tais como os satélites da série NOAA, GOES, TERRA, AQUA e METEOSAT [INPE, 2008].

As queimadas caracterizam-se como tragédias ecológicas que acontecem por várias regiões do território brasileiro, principalmente durante a época de estiagem, devido ao ressecamento da vegetação e à falta de chuva. Sendo assim, qualquer fagulha pode detonar áreas de vegetação e até matar grandes quantidades de animais. E esse prejuízo ainda pode se estender por áreas produtivas, como pastagens e lavouras [LÁZIA, 2014].

O desmatamento da Amazônia tem avançado em um ritmo alarmante, atingindo taxas anuais superiores a 20 mil km²/ano em três dos últimos cinco anos. Imagens do

satélite LANDSAT tem sido a principal fonte de dados para monitorar o avanço do desmatamento da região, por meio do Programa de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal [INPE, 2006].

As queimadas em áreas desmatadas eventualmente escapam e queimam extensas áreas de florestas adjacentes, aumentando ainda mais a degradação florestal. Queimadas ativas são detectadas em tempo real por sensores a bordo de satélites meteorológicos sensíveis à radiação termal. Cicatrizes de queimadas em florestas também podem ser detectadas por satélites. Dados de radares orbitais também têm grande potencial de aplicação no monitoramento ambiental da Amazônia por serem capazes de observação através de nuvens. A viabilidade de monitoramento da cobertura da terra foi demonstrada com dados de missões experimentais e com satélites operacionais. Há também o potencial para o monitoramento da biomassa de florestas secundárias a partir de dados de radar e mesmo de florestas primárias através de técnicas de polarimetria e interferometria de dados de radar [MARTINS et al., 2006].

Apesar do monitoramento de queimadas ser detectado, mas os incêndios florestais no Brasil ainda apresentam algumas problemáticas, devido às limitações técnicas inerentes ao sistema utilizado e também devido a falta de estudos básicos sobre o comportamento do fogo e as características ambientais associadas à ignição e propagação dos incêndios nos diversos ecossistemas brasileiros.

A comunidade científica, também, tem se concentrado no desenvolvimento de aplicações de sensoriamento remoto no controle, na fiscalização e conservação das florestas da Amazônia.

A ocorrência de queimadas e de incêndios florestais na Amazônia constitui-se uma das maiores preocupações do cenário Amazônico, ano a ano, se mobiliza esforços e recursos do setor público nas operações de prevenção e combate a degradação ambiental. A dimensão dessas ocorrências, além de estar aliada ao uso das queimadas como prática agrícola no processo de ocupação e limpeza de áreas, associa-se também às condições climáticas globais que vem ocasionando aumento da temperatura regional propiciando períodos de estiagem, que favorecem a disseminação dos incêndios [ALENCAR et al., 2004].

A prática nociva do uso do fogo na limpeza de áreas culmina por propiciar a concentração de focos de queimadas nos períodos mais secos do ano, coincidentes com o

momento de preparo do solo para fins agrícolas [ZAMPIVA, 2008]. Destacando-se sua influência principalmente em áreas já ocupadas, áreas de expansão da fronteira agrícola, e ao longo da faixa de influência de rodovias e vias de acesso local. Desta forma, torna-se imprescindível a implementação de ações do poder público que visem gerir de forma o potencial ambiental da região, quer seja através de medidas coercitivas, quer seja pela implementação dos instrumentos da política ambiental a nível de região.

De acordo com Artigo 225 da Constituição Federal de 1988, todos têm direito a um meio ambiente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Segundo [DIAZ et al., 2002] em “O Prejuízo Oculto do Fogo: Custos Econômicos das Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia”, o fogo, que é utilizado pelos agricultores na Amazônia a fim de converter florestas derrubadas em cinzas durante o processo de preparo da terra para o plantio, este, auxilia no combate às plantas invasoras de pastagens. Estes benefícios do fogo, contudo, são contrabalançados pelos prejuízos que podem causar às propriedades privadas e à sociedade como um todo. As queimadas e incêndios florestais na Amazônia têm como um dos principais efeitos a liberação de grandes quantidades de carbono para a atmosfera como resultado da queima de biomassa vegetal. Este carbono, liberado principalmente na forma de gás carbônico, contribui para ao aquecimento global através do efeito estufa.

Um estudo realizado pelo IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia), no período de 1996 e 1999 envolvendo entrevistas detalhadas com 202 proprietários da Amazônia, revelaram que as perdas econômicas resultantes da queima de pastagens e cercas variam entre US\$ 12 e 97 milhões por ano. Os incêndios florestais no ano El Niño 1998 atingiram uma área de aproximadamente 30.000 km², isto é, quase duas vezes a área desmatada anualmente na Amazônia, causando prejuízos pela queima de madeira que variam entre US\$ 1 a 13 milhões de dólares. Estas perdas impostas às propriedades rurais representam 0,1 e 0,2% do PIB da Amazônia, e 0,2 a 1,6% do PIB da produção agropecuária da região [DIAZ et al., 2002].

O estudo sobre o "Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica" do IPAM afirma: "É preciso, portanto, para que se alcance uma solução do problema, que haja uma integração das políticas ambientais com aquelas

socioeconômicas e desenvolvimentistas e que as diferenças regionais sejam consideradas. Somente assim será possível dar início a um processo de mudança de atitude em relação ao desmatamento”[ALENCAR, 2004].

De acordo com o "Pacto pelo Fim dos Desmatamentos e Queimadas Ilegais – que envolve governo, produtores rurais e o próprio Incra" em Marabá:

O fim dos desmatamentos e queimadas ilegais é uma forma de contribuir efetivamente para a conservação do planeta, especialmente frente às mudanças climáticas que vêm causando efeitos danosos em todo o mundo. O desenvolvimento sustentável [ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável] é condição básica para se garantir o direito ao meio ambiente equilibrado;

Como o município de Marabá é caracterizado por possuir clima equatorial, quente, úmido e de forte incidência solar, principalmente nos meses de junho a novembro e períodos de baixa incidência pluviométrica, os focos de queimadas começam a se intensificar causando problemas de grande relevância ambiental.

No estudo da "Análise da Relação dos Fatores Econômicos na Ocorrência de Queimadas no Município de Marabá - PA", a partir dos dados obtidos nos órgãos visitados como, IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais) e análises das imagens de satélite obtidas do site do INPE, se verificaram que cerca de (noventa por cento) 90% das queimadas são oriundas da manutenção ou criação de pastagem, as áreas de conservação sofrem com a forte influência das atividades agropecuárias e também dos projetos de assentamentos rurais, onde estes são responsáveis por cerca de (sessenta e um por cento) 61 % das queimadas e desmatamento na região [MAUAD et al., 2013].

3.4. Considerações Finais

A importância do estudo da relação de variáveis climáticas com as queimadas é de extrema contribuição para o entendimento dos principais fatores que contribuem para o desmatamento na Amazônia

Capítulo 4- Trabalhos Relacionados

4.1. Considerações Iniciais

O objetivo desta seção é apresentar alguns trabalhos que abordam o estudo de correlação de Pearson e de redes bayesianas, aplicadas no contexto deste estudo investigativo proposto.

O clima é um dos mais importantes e influentes componentes do meio ambiente, pois condiciona diversos processos naturais, influenciando no desenvolvimento de diversos organismos, inclusive o homem. Relativo às atividades humanas, estudar o clima, numa escalar menor, regional é fundamental. O clima sobre determinada região seria então “... a síntese de todos os elementos climáticos em uma combinação de certa forma singular, determinada pela interação dos controles e dos processos climáticos. (...) existe uma variabilidade de climas ou de tipos climáticos reinantes sobre a superfície terrestre” [AYOADE, 2010].

4.2. Variáveis Climáticas, Focos de Queimadas e a Correlação

O estudo realizado em [ROLDÃO et al, 2012] na microrregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais visou a caracterização do clima desta região, por intermédio da verificação da correlação entre as variáveis altitude, temperatura e precipitação. Foram utilizados dados de temperatura e precipitação coletados pelas estações climatológicas convencionais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), do período de 1980 a 2011. Foi utilizada a coeficiente de Pearson para o cálculo de correlação. A pluviosidade média anual na mesorregião foi 1591,8 mm e a temperatura média anual registrada foi 20,5 °C. Além disso, os dados analisados mostraram que há uma forte correlação entre altitude e temperatura, com um valor de 0,9, de maneira que a estação de maior altitude apresenta a menor temperatura média, cerca de 19 °C, e a estação com menor altitude apresenta a maior temperatura média, cerca de 21,6 °C. Os dados demonstraram que não há correlação entre altitude e precipitação na área de estudo. A partir dos resultados deste trabalho, os dados analisados mostraram que há uma forte correlação entre altitude e temperatura, pois a maioria das estações apresentou forte correlação.

Em relação à precipitação, foi possível observar que não há correlação entre altitude e precipitação, de maneira que o relevo não condiciona a precipitação na região. Essa característica da precipitação nos leva a crer que a variação da chuva está muito mais relacionada à atuação das massas de ar do que ao relevo, sendo que o mesmo só influencia a precipitação em áreas com maior gradiente topográfico, configurando as chuvas orográficas. Além disso, foi possível ratificar a caracterização do clima da Mesorregião Sul e Sudoeste de Minas Gerais segundo Koppen, com o tipo Cwa, com a precipitação concentrada no verão e temperaturas elevadas no verão, sendo o que mês mais frio a temperatura é superior a 18°C [AYOADE, 2010].

No trabalho elaborado por [TORRES et al, 2011], foi realizado um estudo comparativo do índice de correlação de Pearson entre fatores meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na região urbana de Juiz de Fora. Para a realização deste estudo, foi utilizada a série histórica de 1995 a 2004, estes dados foram obtidos no LabCAA (Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Os dados das ocorrências de incêndios, dentro da área urbana do município, foram fornecidos pelo 4º Batalhão de Bombeiros Militares (4º B.B.M.). Os resultados indicaram que a umidade relativa do ar foi o elemento que mais se correlacionou com as ocorrências.

A precipitação e a diferença entre precipitação e evaporação mostraram-se mais correlacionadas com os incêndios quando analisadas a sua acumulação dentro de um período de 10 dias antes de cada ocorrência. A utilização de elementos isolados apresentou baixa correlação com os incêndios, evidenciando a utilização de modelos que agrupem os elementos climáticos para a predição das ocorrências.

Em [MAUAD et al., 2013] se estudou relacionar a influência das atividades econômicas predominantes no município de Marabá com o avanço na supressão vegetal, principalmente no que diz respeito às queimadas ocasionadas pelo setor agropecuário. Utilizaram-se os dados referentes aos focos de queimadas ocorridas no município durante o período de 1999 a 2012 e foram obtidos dos satélites de órbita polar NOAA-12 e NOAA 15.

Optou-se levantar o número de focos de incêndios respectivos ao ano inteiro, com início em novembro de 1999 e término em novembro de 2012, em função de este mês mostrar-se o mais apto para início das atividades de limpeza e criação de novos pastos, por ainda ser considerado final do verão. Através de análises de imagens de satélite, se verificou que (noventa por cento) 90% das queimadas são oriundas da manutenção ou criação de pastagem, as áreas de conservação sofrem com a forte influência das atividades agropecuárias e também dos projetos de assentamentos rurais, onde estes são responsáveis por cerca de 61 % das queimadas e desmatamento na região. Este estudo não deixou claro qual técnica de correlação foi utilizada e quais os coeficientes de correlação alcançados. Empobrecendo o estudo da relação da influência econômica com a ocorrência de queimadas.

O diferencial na proposta desta dissertação é a análise de técnica estatística e também computacional, uma vez que se utilizou a Classificação de Cohen para os coeficientes de correlação obtidos a partir da matriz de correlação.

4.3. Considerações Finais

De acordo com o levantamento bibliográfico do estudo das correlações em cenários ambientais e até mesmo urbano, ficou evidenciado o grande interesse por parte de vários grupos de pesquisa, em se trabalhar com as modelagens estatísticas. Contudo, cada grupo adota técnicas estatísticas em comum, como a correlação de Pearson das variáveis meteorológicas com os incêndios ou queimadas das regiões em estudo. Nota-se que cada grupo ao abordar esta técnica, utilizam as variáveis clássicas temperatura, umidade relativa, precipitação sendo estas também utilizadas nesta dissertação. E além de utilizar a correlação de Pearson também se aplicou modelagem computacional, utilizando as redes bayesianas, o que se torna um diferencial em relação aos outros trabalhos que foram discutidos nesta seção.

Capítulo 5 – Análise de Correlação de Focos de Queimadas com Variáveis Climáticas no Município de Marabá

5.1. Considerações Iniciais

O objetivo deste capítulo é descrever a metodologia utilizada para analisar a correlação entre as principais variáveis climáticas e o número de focos de queimadas. É apresentada, em detalhes, todos os pontos norteadores da estratégia utilizada, a definição dos fluxos e principalmente os estudos de caso analisados nesta dissertação. A partir disso, discute-se a correlação dos focos de queimadas com as variáveis climáticas contemplando, assim o estudo no município de Marabá, por se tratar de uma região de relevância econômica para o estado do Pará e que apresenta uma quantidade acentuada de episódios de queimadas, o que gera inúmeros impactos ao meio ambiente. Em sequência, são apresentados os resultados obtidos para estudos de caso proposto (chuvoso, seco e anual), com uso de redes bayesianas e a aplicação da correlação de Pearson, além das análises acerca dos mesmos. A Figura 5.1 representa o fluxograma da metodologia proposta.

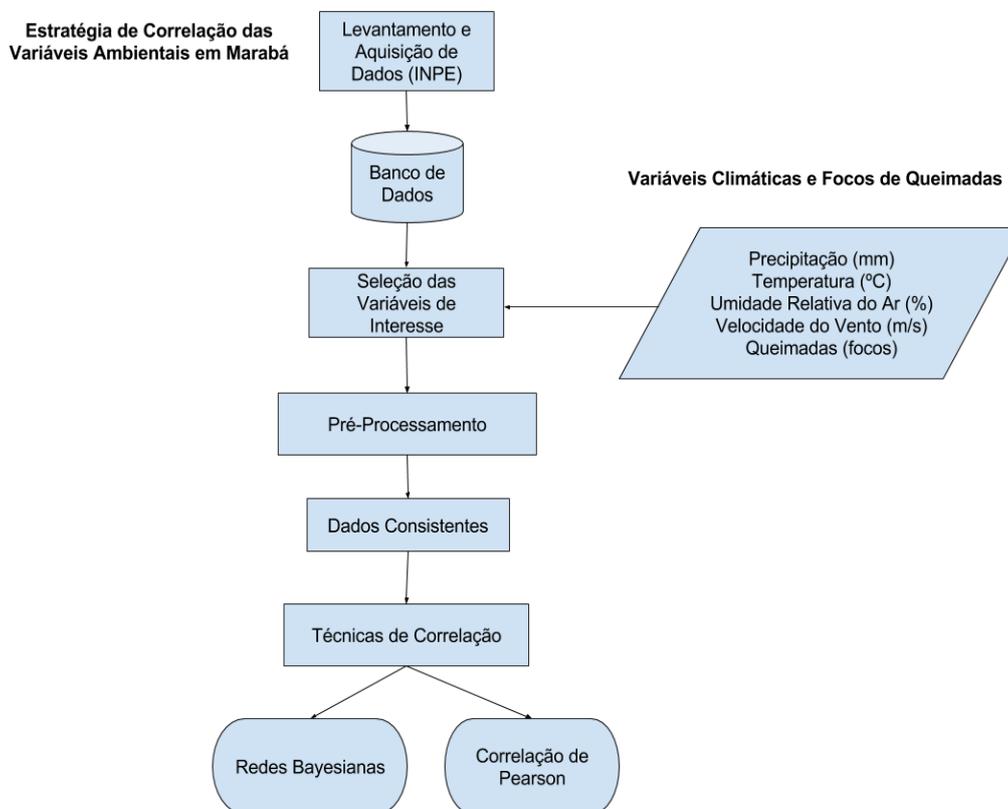


Figura 5.1. Metodologia para Estratégia de Correlação das Variáveis Climáticas e de Focos de Queimadas

É de grande relevância ressaltar, que os dados de focos de queimadas foram catalogados a partir do repositório do INPE e são de domínio público. Os dados das variáveis climáticas foram disponibilizados formalmente pelo INPE para o grupo de pesquisa no qual a autora desta dissertação faz parte.

O fluxograma apresentado na Figura 5.1, enfatiza a estratégia adotada para a correlação das variáveis ambientais (focos de queimadas e variáveis climáticas) em Marabá. A partir do "Levantamento e Aquisição de Dados (INPE)", se obteve a base de dados necessária para a "Seleção das Variáveis de Interesse" que foram precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m/s) e os focos de queimadas. Em seqüência, se realiza o pré-processamento da base, sendo que foi necessária a visão do especialista da área de meteorologia, a fim de melhor qualificar os dados gerados obtendo-se assim a consistência dos dados, e finalmente foi possível aplicar redes bayesianas e a correlação de Pearson, que se propõe este trabalho. A seção 5.2 a seguir, descreve detalhadamente todas as etapas desta estratégia.

5.2. Etapas do Estudo

Nesta seção serão discutidas todas as etapas para a estratégia utilizada no estudo investigativo da correlação dos focos de queimadas com as variáveis climáticas apresentadas e discutidas no capítulo 3. Dentre as etapas, destacam-se o pré-processamento das variáveis e técnicas aplicadas para os estudos de caso desta dissertação.

5.2.1 Obtenção das Variáveis Ambientais

A. Focos de Queimadas

A série histórica adotada para este trabalho, compreende o período de 2000 a 2010, onde foram catalogadas 12.978 (doze mil novecentas e setenta e oito) ocorrências de focos de queimadas no município de Marabá, de acordo com o repositório do INPE.

A interface do repositório eletrônico¹ para a aquisição dos dados referentes ao número de focos de queimadas, foi necessário um especialista na área para uma correta interpretação dos dados, isto porque a fase de coleta é fator preponderante para a obtenção de dados forma correta. Para evitar a ocorrência de dados duplicados, adotou-se a opção "satelite referencia". No repositório é possível informar uma data inicial e uma final, referentes ao período que se deseja os dados, além do estado, município e o satélite, a fim de compor a base de dados. Dessa forma se obteve as 12.978 ocorrências de queimadas.

B. Variáveis Climáticas

Para o estudo em discussão, foram selecionadas quatro variáveis climáticas, a temperatura, a precipitação, a humidade relativa do ar e velocidade do vento, por serem grandezas, normalmente, relacionadas às ocorrências de queimadas e também são variáveis clássicas muito empregadas na literatura ambiental ou florestal.

A série histórica disponibilizada pelo INPE, pois os dados foram coletados a partir do Município de Marabá, considerando as seguintes coordenadas: latitude - 5,37 e longitude -49,13. As estações meteorológicas foram as 82562 e 82563., de acordo com o período de tempo:

- 82563; -5.37; -49.13; *Marabá; 01/03/1952 a 30/06/1998;*

- 82562; -5.36; -49.13; *Marabá; 01/07/1995 a 13/03/2015.*

Nota-se que para esta dissertação como a série temporal proposta é de 2000 à 2010, logo foi imprescindível realizar o pré-processamento da base de dados disponibilizada, em razão disso, a etapa de pré-processamento a fim de tornar os dados consistentes, esta seção é discutida a seguir.

5.2.2 Pré-Processamento e Dados Consistentes

É sempre um desafio, após a fase de coleta de dados, tê-los em um formato capaz de ser utilizado adequadamente. Para tanto, faz-se necessário que as bases de dados sejam

¹ <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

tratadas a fim de retirar ruídos, dados ausentes, além de padronizar a série histórica em questão.

Para auxiliar na tarefa de eliminação de ruídos e inconsistências daa bases, foi utilizado um *script* desenvolvido na linguagem Python². As inconsistências e ruídos observados, foram:

- A base de dados se apresentava em uma escala temporal de 1998 á 2015, logo o *script* auxiliou na padronização para 2000 a 2010.

- Apresentava outras variáveis detalhadas (umidade relativa observada em diferentes horários, direção do vento observado em diferentes horários, temperatura máxima e temperatura mínima), no entanto, prolongaria ainda mais esta etapa, por isso optou-se em se utilizar apenas as variáveis clássicas climáticas de acordo com a literatura ambiental ou florestal presentes no capítulo 4 (precipitação, temperatura média, umidade relativa e velocidade do vento).

- Todas as variáveis climáticas se apresentavam com uma coleta diária, e a proposta desta dissertação é de se trabalhar com uma base mensal. Logo se fez necessário calcular a média de cada variável, a fim de compor uma base de dados com uma série histórica mensal, é importante ressaltar que a variável climática "Precipitação" se apresentava em três diferentes horários de coletas diárias, sendo necessária primeiramente uma soma diária desta coleta, para então se calcular a média mensal.

A Tabela 5.1 a seguir, que apresenta uma amostra dos dados devidamente tratados e consistentes:

Tabela 5.1. Amostra da Base de Dados Anual do Município de Marabá-PA

Ano	Mês	Queimadas (focos)	Ur (%)	Prec (mm)	Temp (%)	Vvento (m/s)
2000	Janeiro	0	67,48	3,36	26,62	2,40
2000	Fevereiro	0	69,61	12,66	25,92	2,10
2000	Março	0	68,68	11,76	26,31	2,30
2000	Abril	0	67,97	10,88	26,19	2,02
2000	Maiο	0	60,58	3,19	27,38	2,19
2000	Junho	0	57,47	1,88	27,48	2,25
2000	Julho	1	56,52	0,89	27,26	2,30
2000	Agosto	174	47,03	0,03	27,96	2,83
2000	Setembro	167	58,90	0,97	27,37	2,62
2000	Outubro	163	53,45	0,23	28,32	2,60
2000	Novembro	61	56,87	2,34	27,70	2,22
2000	Dezembro	3	64,19	6,30	27,22	3,84
2001	Janeiro	0	64,65	9,79	26,01	2,03
2001	Fevereiro	0	68,46	5,76	25,83	2,21
2001	Março	0	69,19	17,00	26,02	2,04
2001	Abril	0	65,23	9,90	26,60	2,06
2001	Maiο	0	61,13	2,51	27,47	2,02
2001	Junho	2	57,27	2,04	27,08	1,80
2001	Julho	9	52,32	0,20	27,62	2,32

5.2.3 Técnicas de Correlação

Para analisar a estratégia de correlação proposta, se utilizou a ferramenta GeNIe 2.0³ a fim de gerar as redes bayesianas.

Para auxiliar na validação dos dados, foi aplicado o coeficiente de Pearson, sempre considerando a variável focos de queimadas como variável dependente e as demais como independentes. Foi adotado para o índice de correlação de Pearson (r) a Classificação de Cohen a fim de medir o grau de correlação entre as variáveis independentes (temperatura, umidade do ar, precipitação e velocidade do vento) com a variável dependente..

A partir dos gráficos de dispersão analisados, também se realizou a conclusão das associações.

5.2.4 Cenários

Por conta do município de Marabá apresentar duas estações bem definidas ora secas ora chuvosas, optou-se por, além da avaliação anual, estudar o comportamento das variáveis no período chuvoso e de seca.

Para a definição desses períodos, utilizou-se como referência a base fornecida pelo INPE. De acordo com [OLIVEIRA, 2007] a precipitação é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre, a Figura 5.2 exibe o comportamento da variável "precipitação" ao longo da série temporal proposta, sendo assim definiu-se tais meses, janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro por apresentarem elevados índices de precipitação pluviométrica. Assim como a Figura 5.3 se definiu os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro por apresentarem baixos índices de precipitação pluviométrica ao longo dos anos que se propõe.

Para simplificar na visualização, foram gerados gráficos a partir desta base de dados, conforme apresentado as Figuras 5.2 e 5.3 a seguir:

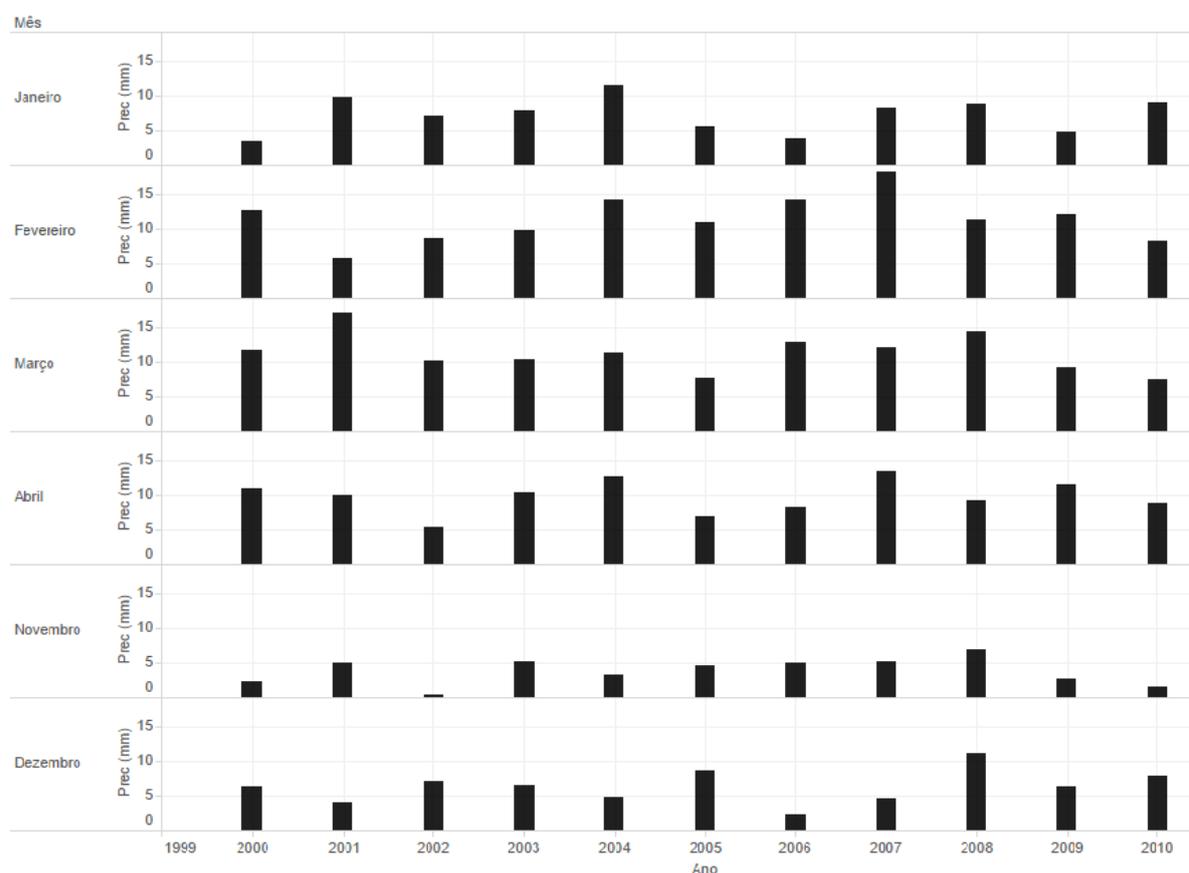


Figura 5.2. Precipitação no Período Chuvoso em Marabá

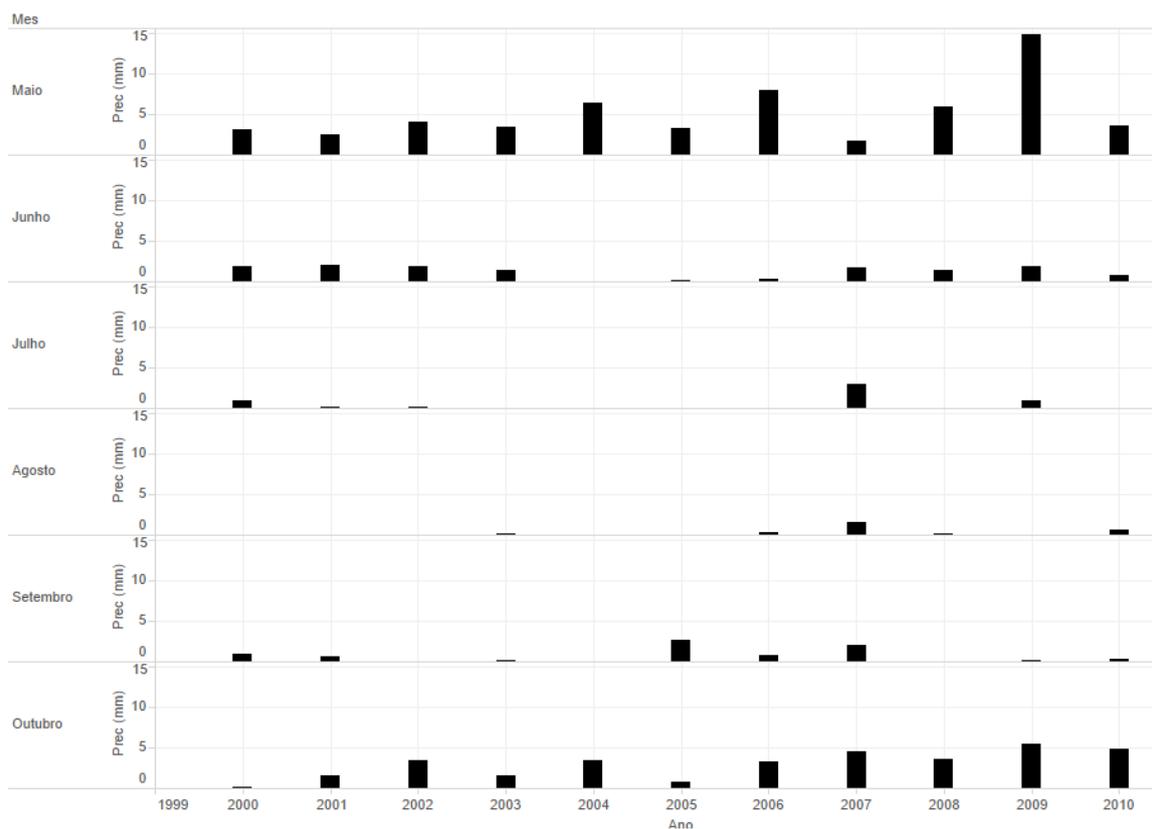


Figura 5.3. Precipitação no Período de Seca em Marabá

5.3. Estudos de Caso em Marabá

Nesta seção serão demonstrados todos os cenários, a metodologia adotada e também as técnicas estatísticas utilizadas para o estudo investigativo das correlações entre os focos de queimadas e as variáveis climáticas já discutidas no capítulo 3.

Para a modelagem e realizar os testes da Rede Bayesiana foi utilizada a ferramenta GeNIe, um software livre que dá suporte para criação, manipulação e avaliação de Redes Bayesianas, com o auxílio de uma interface gráfica. Para a correlação de Pearson se utilizou o software Action Stat, a fim de gerar as matrizes de correlação e obter o índice de correlação, ferramentas necessárias para a realização deste estudo.

5.3.1 Estudo de Caso no Período Chuvoso

Neste estudo de caso, foram definidos os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, para compor o cenário do período chuvoso em Marabá.

As variáveis neste cenário foram discretizadas de acordo com a disponibilidade do GeNIe 3.0 que se apresenta em três modos: hierarchical, uniform widths e uniform counts. Para as variáveis focos de queimadas, precipitação, temperatura e velocidade do vento foram utilizadas no modo uniform widths, enquanto que a umidade relativa do ar utilizou o modo uniform counts. Segundo [FERNANDES; ZAPELINI; COMUELLO, 2012] a interface gráfica do GeNIe também possibilita que a Rede Bayesiana modelada possa ser validada por um especialista da área de domínio

Após a discretização das bases de dados de cada cenário, o especialista em meteorologia afirmou que, o município de Marabá, não apresenta muitas alterações no seu comportamento climático, ou seja, a variação da temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação, não apresentam tão elevadas taxas ou tão baixas assim, e de acordo com a Classificação de Koppen², este município apresenta um clima tropical úmido. Logo, se justifica as poucas classes criadas, devido a ausência de grandes variações climáticas na região.

A partir da seleção de informações e após o pré-processamento e a discretização no software GeNIe 2.0, aplicou-se o método K2 a fim de gerar a Rede Bayesiana, conforme as Tabelas 5.2 e 5.3, contabilizando as 66 amostras na base de dados, referentes ao período em estudo e a descrição das variáveis após a discretização da base de dados.

² <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima>

Tabela 5.2. Amostra da Base de Dados do Período Chuvoso em Marabá-PA

Ano	Mês	Queimadas (focos)	Ur (%)	Prec (mm)	Temp (%)	Vento (m/s)
2000	Janeiro	0	67,48	3,36	26,62	2,40
2000	Fevereiro	0	69,61	12,66	25,92	2,10
2000	Março	0	68,68	11,76	26,31	2,30
2000	Abril	0	67,97	10,88	26,19	2,02
2000	Novembro	61	56,87	2,34	27,70	2,22
2000	Dezembro	3	64,19	6,30	27,22	3,84
2001	Janeiro	0	64,65	9,79	26,01	2,03
2001	Fevereiro	0	68,46	5,76	25,83	2,21
2001	Março	0	69,19	17,00	26,02	2,04
2001	Abril	0	65,23	9,90	26,60	2,06
2001	Novembro	60	59,37	4,96	27,58	2,37
2001	Dezembro	12	64,57	3,93	27,30	2,16
2002	Janeiro	3	70,94	7,17	26,38	2,44
2002	Fevereiro	8	63,64	8,71	27,34	2,26
2002	Março	1	64,68	10,14	26,82	2,26
2002	Abril	0	65,07	5,28	27,08	2,13
2002	Novembro	78	67,50	0,40	28,58	3,15
2002	Dezembro	5	65,00	7,01	28,09	2,71
2003	Janeiro	10	67,86	7,80	27,06	1,99
2003	Fevereiro	0	74,11	9,75	26,36	2,00
2003	Março	0	69,96	10,38	26,49	1,88
2003	Abril	0	66,30	10,35	27,69	2,21
2003	Novembro	22	64,43	5,19	27,77	2,13

Tabela 5.3. Descrição da Discretização das Variáveis Ambientais e Focos de Queimadas no Cenário Chuvoso

Variáveis Climáticas - Chuvoso	Classes	Descrição
Queimadas (focos)	S1_below_26	Abaixo de 26 focos
	S2_26_52	Entre 26 e 52 focos
	S3_52_up	Acima de 52 focos
Umidade Relativa do Ar (%)	S1_below_64	Abaixo de 64%
	S2_64_67	Entre 64% e 67%
	S3_67_up	Acima de 67%
Precipitação (mm)	S1_below_6	Abaixo de 6 mm
	S2_6_12	Entre 6 mm e 12 mm
	S3_12_up	Acima de 12 mm
Temperatura Média (°C)	S1_below_26	Abaixo de 26 °C
	S2_26_27	Entre 26°C e 27°C
	S3_27_up	Acima de 27°C
Velocidade Vento (m/s)	S1_below_1	Abaixo de 1m/s
	S2_1_up	Acima de 1 m/s

A rede é representada graficamente através de um diagrama, em que as variáveis são exibidas como nós e as dependências condicionais exibidas como arcos em forma de setas entre os nós. A cada nó é atribuída uma tabelas de probabilidades, que serão especificadas no decorrer da análise dos dados. Após a definição das probabilidades, podem ser definidas evidências na rede para que ocorram inferências a respeito das probabilidades condicionais a determinado fator de certeza. A interface gráfica do GeNIe também possibilita que a Rede Bayesiana modelada possa ser validada por um especialista da área de domínio [FERNANDES; ZAPELINI; COMUELLO, 2012].

A Figura 5.4 exhibe a rede bayesiana modelada a partir da base de dados do cenário chuvoso:

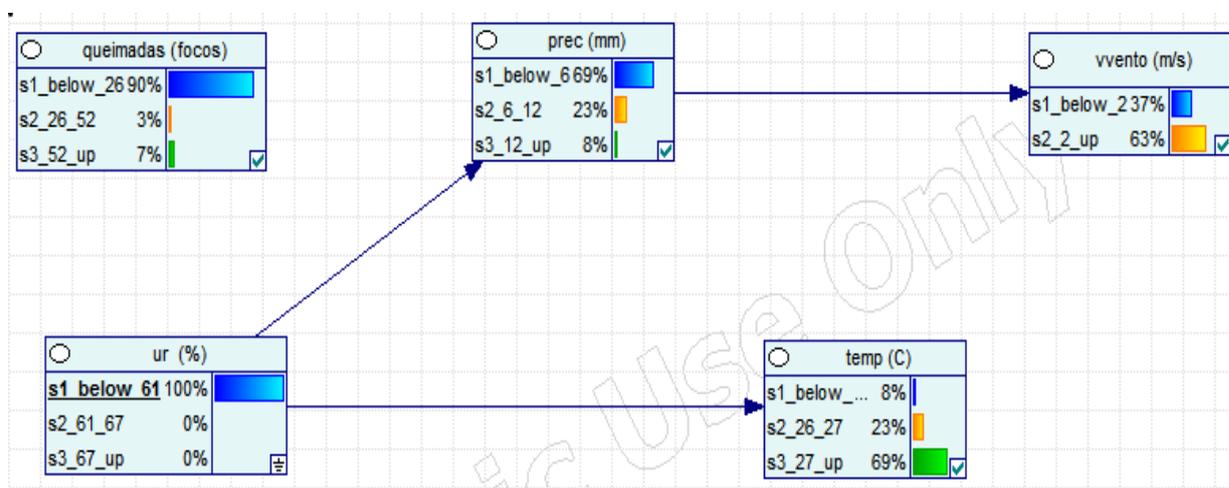


Figura 5.4. Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário Chuvoso

A Figura 5.4 exhibe a rede bayesiana modelada com os nós, o nó central queimadas não condicionou com nenhum outro nó das variáveis climáticas. No entanto, o nó ur (umidade relativa) ficou condicionado ao nó prec (precipitação) e ao nó temp (temperatura), e o nó prec se condicionou ao nó vvento (velocidade do vento).

Utilizando ainda a base de dados consistente deste cenário chuvoso, se aplicou a correlação de Pearson utilizando o software Action Stat 3.0, esta é necessária para se obter o índice de correlação da variável dependente "queimadas" com as variáveis independentes, as climáticas. Sendo assim a matriz de correlação é apresentada na Tabela 5.4 a seguir:

5.4. Tabela da Matriz de Correlação do Cenário Chuvoso

Matriz de Correlação					
	Ur	Prec	Temp	Vel. Vento	Queimadas
Ur	1	0,559706372	0,743225602	0,023520671	-0,401434064
Prec	0,559706372	1	0,627851799	0,102360698	-0,525131899
Temp	0,743225602	0,627851799	1	0,056843346	0,514297305
Vel. Vento	0,023520671	0,102360698	0,056843346	1	0,164117094
Queimadas	0,401434064	0,525131899	0,514297305	0,164117094	1

É de extrema importância ressaltar que as matrizes de correlação apresentadas, serão utilizadas somente para se extrair as informações necessárias para a proposta desta dissertação, por esse motivo se destacaram somente as quatro lacunas da Tabela 5.4 . A mesma se aplica aos outros cenários de estudo seca e anual.

5.3.2 Estudo de Caso no Período de Seca

Neste estudo de caso, definiram-se os meses de maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro para compor o cenário no período de seca. Assim como no cenário chuvoso, as variáveis neste cenários também foram discretizadas de acordo com as possibilidade da ferramenta GeNIe, já mencionadas. Para as variáveis temperatura, precipitação, umidade relativa e queimadas foram discretizadas no modo uniform count e a variável velocidade do vento em modo uniform widths. Esse cenário contém 66 amostras na base de dados, e se aplicou o mesmo método aplicado no cenário chuvoso.

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam uma amostra da base de dados e a descrição das discretizações, respectivamente.

Tabela 5.5. Amostra da Base de Dados do Período de Seca em Marabá-PA

Ano	Mês	Queimadas (focos)	Ur (%)	Prec (mm)	Temp (%)	Vvento (m/s)
2000	Maio	0	60,58	3,19	27,38	2,19
2000	Junho	0	57,47	1,88	27,48	2,25
2000	Julho	1	56,52	0,89	27,26	2,30
2000	Agosto	174	47,03	0,03	27,96	2,83
2000	Setembro	167	58,90	0,97	27,37	2,62
2000	Outubro	163	53,45	0,23	28,32	2,60
2001	Maio	0	61,13	2,51	27,47	2,02
2001	Junho	2	57,27	2,04	27,08	1,80
2001	Julho	9	52,32	0,20	27,62	2,32
2001	Agosto	655	38,81	0,00	28,22	2,78
2001	Setembro	756	50,90	0,63	28,34	2,60
2001	Outubro	143	54,94	1,56	27,96	2,50
2002	Maio	0	61,55	3,99	27,65	1,97
2002	Junho	1	56,90	1,80	27,56	2,14
2002	Julho	5	51,91	0,15	28,16	2,49
2002	Agosto	553	44,29	0,00	29,01	3,17
2002	Setembro	1055	53,00	0,00	29,90	3,03
2002	Outubro	470	73,00	3,36	28,01	2,68
2003	Maio	0	58,16	3,46	28,09	2,15
2003	Junho	0	53,80	1,35	28,18	2,09
2003	Julho	27	41,86	0,00	28,64	2,58
2003	Agosto	220	46,23	0,19	29,07	2,75
2003	Setembro	493	52,00	0,10	28,57	2,66
2003	Outubro	118	58,03	1,63	28,17	4,16

Tabela 5.6. Descrição da Discretização das Variáveis Climáticas e Focos de Queimadas do Cenário Seca

Variáveis Climáticas - Seca	Classes	Descrição
Queimadas (focos)	S1_below_1	Abaixo de 1 foco
	S2_1_67	Entre 1 e 67 focos
	S3_67_254	Entre 67 e 254 focos
	S4_254_up	Acima de 254 focos
Umidade Relativa do Ar (%)	S1_below_46	Abaixo de 46%
	S2_46_54	Entre 46% e 54%
	S3_54_up	Acima de 54%
Precipitação (mm)	S1_below_0	Abaixo de 0 mm (ausência)
	S2_0_up	Acima de 0
Temperatura Média (°C)	S1_below_28	Abaixo de 28 °C
	S2_28_up	Acima de 28°C
Velocidade Vento (m/s)	S1_below_2	Abaixo de 2m/s
	S2_2_up	Acima de 2m/s

Os valores dos nós da rede foram discretizados conforme a descrição Tabela 5.6 acima. A redes bayesiana modelada apresentada na Figuras 5.5:

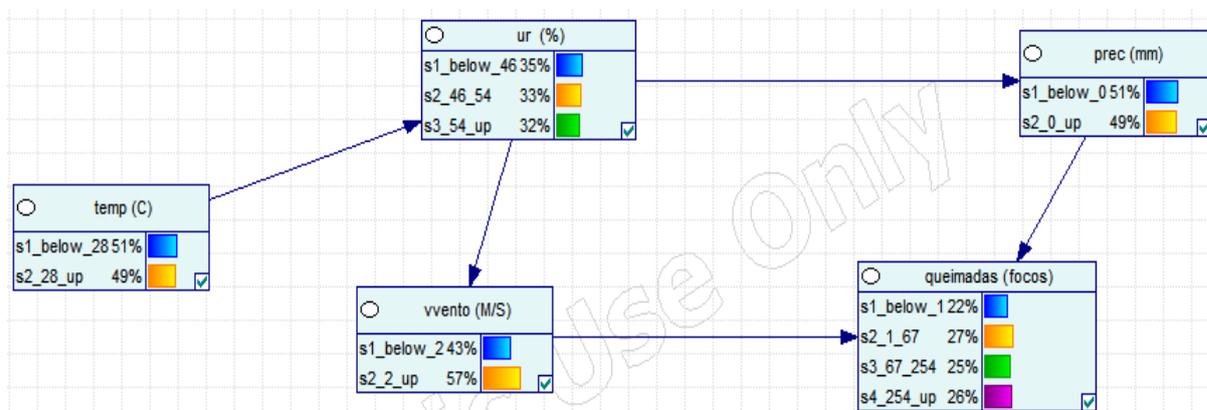


Figura 5.5. Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário de Seca

A Figura 5.5 exibe a rede bayesiana modelada com os nós, e suas classes para cada nó, bem como os relacionamentos condicionais. O nó ur (umidade relativa do ar) ficou condicionado ao prec (precipitação). E o nó prec e o nó vvento (velocidade do vento) ficaram condicionados ao nó queimadas. O nó tem (temperatura) ficou condicionado ao no ur. A variável “queimadas” foi escolhida para ser evidenciada, para observar, a partir disso, as condições favoráveis para a possível ocorrência de focos de queimadas. As Tabelas 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 representam as inferências de cada classe da variável queimadas, com cada classe das variáveis climáticas, demonstrando as suas respectivas P(E) probabilidade de evidência.

Tabela 5.7. Primeira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

	Classes das Var.	P(E)
	Climáticas	
S1_below_1	S1_below_46	0,20
	S2_46_54	0,24
	S3_54_up	0,55
	S1_below_0	0,27
	S2_0_up	0,72
	S1_below_28	0,65
	S2_28_up	0,34
	S1_below_2	0,78
	S2_2_up	0,22

Tabela 5.8. Segunda Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

S2_1_67	Classes das Var. Climáticas	P(E)
	S1_below_46	0,33
	S2_46_54	0,33
	S3_54_up	0,32
	S1_below_0	0,55
	S2_0_up	0,44
	S1_below_28	0,52
	S2_28_up	0,47
	S1_below_2	0,54
	S2_2_up	0,45

Tabela 5.9. Terceira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

S3_67_254	Classes das Var. Climáticas	P(E)
	S1_below_46	0,39
	S2_46_54	0,36
	S3_54_up	0,24
	S1_below_0	0,53
	S2_0_up	0,46
	S1_below_28	0,46
	S2_28_up	0,53
	S1_below_2	0,24
	S2_2_up	0,75

Tabela 5.10. Quarta Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

S4_254_up	Classes das Var. Climáticas	P(E)
	S1_below_46	0,43
	S2_46_54	0,38
	S3_54_up	0,18
	S1_below_0	0,65
	S2_0_up	0,35
	S1_below_28	0,42
	S2_28_up	0,57
	S1_below_2	0,19
	S2_2_up	0,80

A ferramenta GeNIe, disponibiliza em sua interface gráfica as probabilidades de evidência de cada classe da variável dependente queimadas pois se obteve 0,22%, 0,28%, 0,24% e 0,26%. Logo, a probabilidade de se ocorrer o cenário da primeira inferência

bayesiana é de 0,22%, assim como para a segunda inferência é de 0,27% e assim se aplica as demais casos.

É importante entender que variações climáticas podem provocar transformações no padrão do tempo, em escala global, afetando o regime dos principais parâmetros meteorológicos [FERREIRA, 2002]. A precipitação, dentro da região amazônica, é um parâmetro meteorológico de grande variabilidade no tempo e espaço, que está associada à influência de diferentes sistemas de mesoescala, escala sinótica e de grande escala [ROCHA, 2001].

De acordo o NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) o Índice Oceânico Niño (ONI) foi negativo em Marabá, nos anos de 2002-2003, 2004-2005 e 2006-2007 (início) confirmando, assim, a presença de um evento El Niño, já que perdurou por mais de 5 médias trimestrais consecutivas [COUTINHO, 2010].

O “El Niño” é um fenômeno oceânico-atmosférico que afeta o clima regional e global, mudando a circulação geral da atmosfera, também é um dos responsáveis por anos considerados secos ou muito secos. O El Niño também é caracterizado por variações na atmosfera sobre a região de águas aquecidas. O fenômeno El Niño ocorre em intervalos médios de 4 anos e persiste de 6 a 15 meses [USP, 2008].

A partir da rede bayesiana se aplicou a análise estatística utilizando a ferramenta Action Stat, gerando assim a matriz de correlação, conforme a Tabela 5.11 a seguir:

Tabela 5.11. Matriz de Correlação do Cenário de Seca

Matriz de Correlação					
	Ur	Prec	Temp	Vel. Vento	Queimadas
Ur	1	0,537172615	0,573524049	-0,427293282	-0,207004741
Prec	0,537172615	1	0,489558507	-0,298873871	-0,25429765
Temp	0,573524049	0,489558507	1	0,318908236	0,509052642
Vel. Vento	0,427293282	0,298873871	0,318908236	1	0,38406165
Queimadas	0,207004741	-0,25429765	0,509052642	0,38406165	1

5.3.3 Cenário Anual

Neste último estudo de caso, utilizou-se a base de dados seco e chuvoso em conjunto totalizando as 132 amostras, e empregando a mesma metodologia dos cenários anteriores, após o pré-processamento da base, se discretizou os dados e modelou a rede bayesiana a seguir, as Tabelas 5.12 e 5.13 e a Figura 5.6 respectivamente:

Tabela 5.12. Amostra da Base de Dados Anual do Município de Marabá-PA

Ano	Mês	Queimadas (focos)	Ur (%)	Prec (mm)	Temp (%)	Vento (m/s)
2000	Janeiro	0	67,48	3,36	26,62	2,40
2000	Fevereiro	0	69,61	12,66	25,92	2,10
2000	Março	0	68,68	11,76	26,31	2,30
2000	Abril	0	67,97	10,88	26,19	2,02
2000	Maiο	0	60,58	3,19	27,38	2,19
2000	Junho	0	57,47	1,88	27,48	2,25
2000	Julho	1	56,52	0,89	27,26	2,30
2000	Agosto	174	47,03	0,03	27,96	2,83
2000	Setembro	167	58,90	0,97	27,37	2,62
2000	Outubro	163	53,45	0,23	28,32	2,60
2000	Novembro	61	56,87	2,34	27,70	2,22
2000	Dezembro	3	64,19	6,30	27,22	3,84
2001	Janeiro	0	64,65	9,79	26,01	2,03
2001	Fevereiro	0	68,46	5,76	25,83	2,21
2001	Março	0	69,19	17,00	26,02	2,04
2001	Abril	0	65,23	9,90	26,60	2,06
2001	Maiο	0	61,13	2,51	27,47	2,02
2001	Junho	2	57,27	2,04	27,08	1,80
2001	Julho	9	52,32	0,20	27,62	2,32
2001	Agosto	655	38,81	0,00	28,22	2,78
2001	Setembro	756	50,90	0,63	28,34	2,60
2001	Outubro	143	54,94	1,56	0,00	2,50

Tabela 5.13. Descrição da Discretização das Variáveis Climáticas e Focos de Queimadas do Cenário Anual

Variáveis Climáticas - Anual	Classes	Descrição
Queimadas (focos)	S1_below_417	Abaixo de 417 focos
	S2_417_834	Entre 417 e 834 focos
	S3_834_up	Acima de 834
Umidade Relativa do Ar (%)	S1_below_54	Abaixo de 54%
	S2_54_64	Entre 54% e 64%
	S3_64_up	Acima de 64%
Precipitação (mm)	S1_below_1	Abaixo de 1 mm
	S2_1_6	Entre 1mm e 6mm
	S3_6_up	Acima de 6 mm
Temperatura Média (°C)	S1_below_27	Abaixo de 27°C
	S2_27_up	Acima de 27°C
Velocidade Vento (m/s)	S1_below_2	Abaixo de 2 m/s
	S2_2_up	Acima de 2 m/s

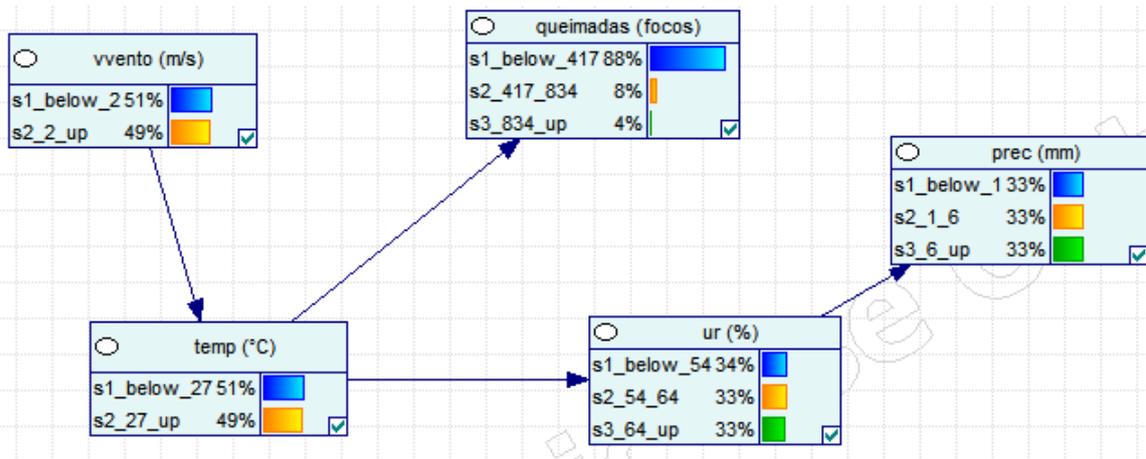


Figura 5.6. Modelagem da Rede Bayesiana do Cenário Anual

A Figura 5.6 exibe a rede bayesiana modelada com os nós, apresentando suas classes para cada nó, bem como os relacionamentos condicionados, o nó vvento (velocidade do vento) está condicionado ao nó temp (temperatura), e o nó ur (umidade relativa) está condicionado ao no prec (precipitação), assim como o nó temp ficou condicionado ao nó ur e ao nó queimadas.

As Tabelas 5.14, 5.15 e 5.16 representam as inferências de cada classe da variável queimadas, demonstrando as suas respectivas P(E).

5.14. Tabela Primeira Inferência Bayesianas da Variável Queimadas

	Classes das Var.	
	Climáticas	P(E)
S1_below_417	S1_below_54	0,31
	S2_54_64	0,33
	S3_64_up	0,35
	S1_below_1	0,31
	S2_1_6	0,33
	S3_6_up	0,35
	S1_below_27	0,55
	S2_27_up	0,44
	S1_below_2	0,53
	S2_2_up	0,46

Tabela 5.15. Tabela Segunda Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

	Classes das Var.	P(E)
	Climáticas	
S2_417_834	S1_below_54	0,59
	S2_54_64	0,30
	S3_64_up	0,10
	S1_below_1	0,51
	S2_1_6	0,32
	S3_6_up	0,16
	S1_below_27	0,09
	S2_27_up	0,90
	S1_below_2	0,32
	S2_2_up	0,67

Tabela 5.16. Tabela Terceira Inferência Bayesiana da Variável Queimadas

	Classes das Var.	P(E)
	Climáticas	
S3_834_up	S1_below_54	0,52
	S2_54_64	0,31
	S3_64_up	0,16
	S1_below_1	0,47
	S2_1_6	0,32
	S3_6_up	0,20
	S1_below_27	0,20
	S2_27_up	0,80
	S1_below_2	0,37
	S2_2_up	0,62

A probabilidade de evidência de cada classe da variável dependente queimadas foram 0,88%, 0,07% e 0,03%. Logo, a probabilidade de se ocorrer o cenário da primeira inferência bayesiana é de 0,88%, assim como para a segunda inferência é de 0,07% e para a terceira inferência é 0,03%.

Utilizando a mesma base de dados anual, se utilizou o software Action Stat para se obter a matriz de correlação, e seus respectivos índices de correlação de Pearson, a Tabela 5.17 a seguir:

Tabela 5.17. Matriz de Correlação do Cenário Anual

Matriz de Correlação					
	Ur	Prec	Temp	Vel. Vento	Queimadas
Ur	1	0,724726566	-0,136294758	-0,399275904	-0,430077669
Prec	0,724726566	1	-0,021256496	-0,283873425	-0,411500609
Temp	-0,136294758	-0,021256496	1	0,114346174	0,107946251
Vel. Vento	-0,399275904	-0,283873425	0,114346174	1	0,394190506
Queimadas	-0,430077669	-0,411500609	0,107946251	0,394190506	1

Nesta seção demonstrou-se a metodologia utilizada para a análise das técnicas de correlações selecionadas para esta pesquisa. As redes bayesianas modeladas e foram complementadas através da Matriz de Correlação, a seguir se discute as análises dos resultados obtidos neste estudo investigativo.

5.4. Análises dos Resultados Obtidos dos Estudos de Caso

Para a análise dos coeficientes de correlação de Pearson [r] apresentados, deve-se compreender que os valores de “r” quando negativos significam que, quanto menor for o valor da variável climática, maiores serão as chances de ocorrência de focos de incêndios, no entanto, se o valor de “r” for positivo, quanto maior o valor da variável climática, maior a probabilidade de ocorrências de focos de queimadas. Esta análise prevalece para os estudos de caso, discutidos nos itens 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

A correlação entre as variáveis climáticas com os focos de queimadas, foram alcançadas através do coeficiente de correlação de Pearson que foram extraídos da matriz de correlação.

A classificação de Cohen foi aplicada na interpretação dos coeficiente de correlação de Pearson de todos os estudos de caso. É importante ressaltar, que os gráficos de dispersão apresentados nesta dissertação, o eixo x corresponde a variável independente (velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) e o eixo y corresponde a variável dependente, neste caso os focos de queimadas. E foram plotados no software MatLab 2015.

5.4.1 Estudo de caso: Cenário de Seca

A Tabela 5.18 exibe os respectivos coeficientes de correlação obtidos a partir da matriz de correlação, segue abaixo a análise de acordo com coeficientes de correlação obtidos:

Tabela 5.18. Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas

Focos de Queimadas	Variáveis Climáticas	Coeficiente de Correlação (r)	Interpretação
QUEIMADAS	UMIDADE RELATIVA	-0,20	PEQUENA
QUEIMADAS	PRECIPITAÇÃO	-0,25	PEQUENA
QUEIMADAS	TEMPERATURA	-0,50	GRANDE
QUEIMADAS	VELOCIDADE DO VENTO	0,38	MÉDIA

O coeficiente de correlação (r), para a variável “temperatura”, apresentou uma “GRANDE” correlação, e com sinal negativo. Devido a esse valor negativo, existe uma relação de sentidos contrários, ou seja, quanto menor a possibilidade de ocorrência de aumento da “temperatura”, maior a possibilidade de ocorrência de focos de queimadas no município de Marabá.

O coeficiente de correlação de Pearson, para a variável “velocidade do vento” apresentou uma “MÉDIA” correlação e com sinal positivo, ou seja, quanto maior a possibilidade de ocorrência da “velocidade do vento” maior a possibilidade de ocorrência de focos de queimadas.

Observou-se também que as variáveis “umidade relativa” e “precipitação” apresentaram uma correlação “PEQUENA”, de acordo com a Classificação de Cohen:

- Quanto à variável “umidade relativa”, esta se apresentou com índice de correlação negativo, ou seja, quanto menor a possibilidade de ocorrência da umidade relativa do ar, maior a possibilidade de ocorrência de focos de queimadas.
- Quanto à variável “precipitação”, esta se apresentou com índice de correlação negativo, ou seja, quanto menor a ocorrência de “precipitação” maior a possibilidade de ocorrência de queimadas.

A ocorrência de queimadas está diretamente relacionada as variáveis climáticas “temperatura” e “precipitação”, em outras palavras, são condições bastante propícias para eventos com queimadas, e se aliam a proximidade das regiões de ocupação humana

(propriedades rurais, estradas, distritos, povoados, etc.) às altas temperaturas e os baixos valores de precipitação pluviométrica, analisando o cenário de seca em Marabá, onde se obteve que índice de correlação para “temperatura” igual á “- 0,50” e para “precipitação” igual á “-0,25”, respectivamente.

De acordo com [RIBEIRO e ASSUNÇÃO, 2002] a queimada é uma combustão incompleta ao ar livre, e depende do tipo de matéria vegetal que está sendo queimada, de sua densidade, umidade etc., além de condições ambientais, em especial a velocidade do vento. Logo, a variável “velocidade do vento” não é fator (único) preponderante para a ocorrência de foco de queimadas, pois existem outros elementos climáticos que também devem ser analisados. E este cenário de seca, demonstrou que de certa forma, todas as variáveis de correlacionaram com os focos de queimadas, o coeficiente de correlação de Pearson demonstrou o “grau” de influência de cada uma em relação aos focos.

O comportamento da variável “velocidade do vento” obteve um grau de correlação de Pearson “MÉDIO”, e índice de correlação igual à “0,38”, a Figura 5.7 expressa o grau de associação entre esta variável com os focos de queimadas, indicando uma correlação linear positiva.

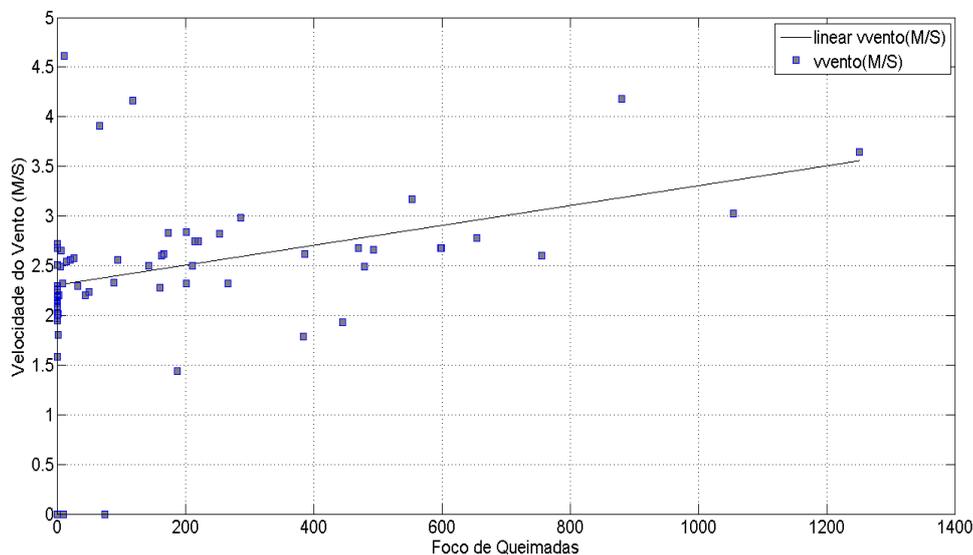


Figura 5.7 . Gráfico de Dispersão da Variável “Velocidade do Vento” no Cenário Seco

As variáveis "Umidade Relativa", "Precipitação" e "Temperatura" , apresentaram correlação linear negativa, em relação aos focos de queimadas de acordo com as Figuras

5.8 e 5.9 e 5.10, que expressam o grau de associação das variáveis em relação a variável "queimadas".

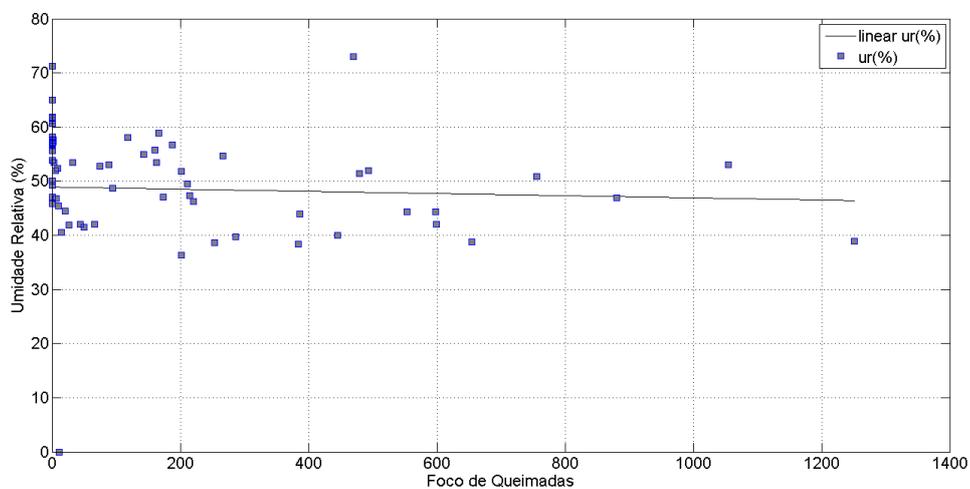


Figura 5.8. Gráfico de Dispersão da Variável "Umidade Relativa" no Cenário Seco

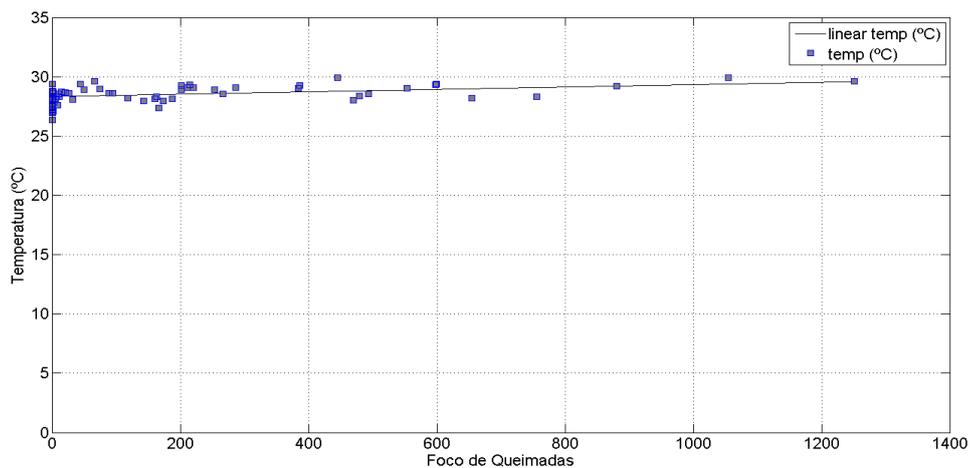


Figura 5.9. Gráfico de Dispersão da Variável "Precipitação" no Cenário Seco

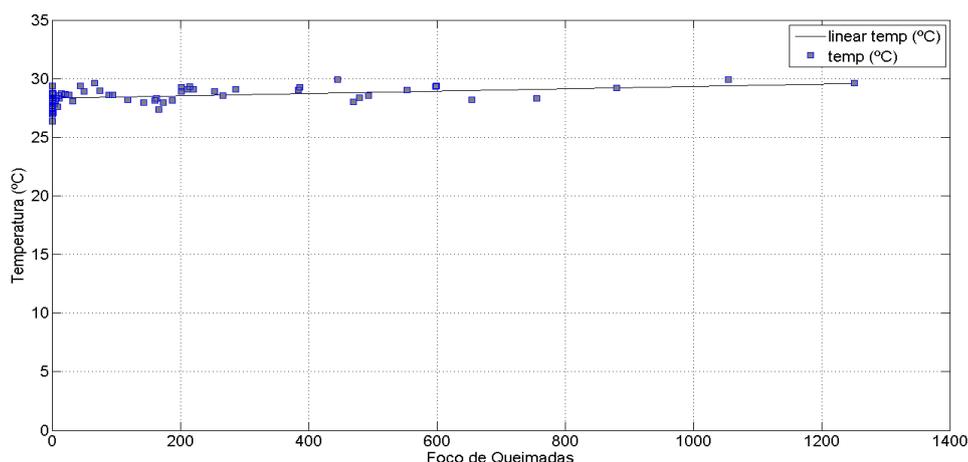


Figura 5.10. Gráfico de Dispersão da Variável "Temperatura" no Cenário Seco

5.4.2 Estudo de Caso: Cenário Chuvoso

A Tabela 5.19 exibe os respectivos coeficientes de correlação obtidos a partir da matriz de correlação, segue abaixo as análises de acordo com coeficientes de correlação:

Tabela 5.19. Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas

Focos Queimadas	Variáveis Climáticas	Coeficiente de Correlação (r)	Interpretação
QUEIMADAS	UMIDADE RELATIVA	-0,40	MÉDIA
QUEIMADAS	PRECIPITAÇÃO	-0,52	GRANDE
QUEIMADAS	TEMPERATURA	0,51	GRANDE
QUEIMADAS	VELOCIDADE DO VENTO	0,16	PEQUENA

O coeficiente de correlação de Pearson para a variável “Umidade Relativa”, de acordo com a magnitude do coeficiente de correlação, considerando a Classificação de Cohen a variável se apresentou como “MÉDIA” e negativa, ou seja, quanto menor a “Umidade Relativa” maior é a possibilidade de ocorrência de queimadas.

O coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis “Precipitação” e “Temperatura” se apresentaram como “GRANDE” e negativa e positiva, respectivamente. Devido a esse valor positivo, existe uma relação de em sentido iguais, ou seja, quanto maior a “temperatura”, maior é a possibilidade de ocorrência de queimadas. No entanto, quanto menor a "precipitação", maior a possibilidade de

ocorrência de queimadas. A variável "Velocidade do Vento" obteve uma pequena correlação, de relação linear positiva.

O gráfico de dispersão informa o quanto às duas variáveis estão associadas, indicando uma correlação linear positiva na Figura 5.11 que expressa a variável "Temperatura", ou seja, informa o quanto esta variável se associa com os focos de queimadas, indicando uma correlação linear positiva, com índice de correlação igual a "0,51" e com grau de correlação "GRANDE".

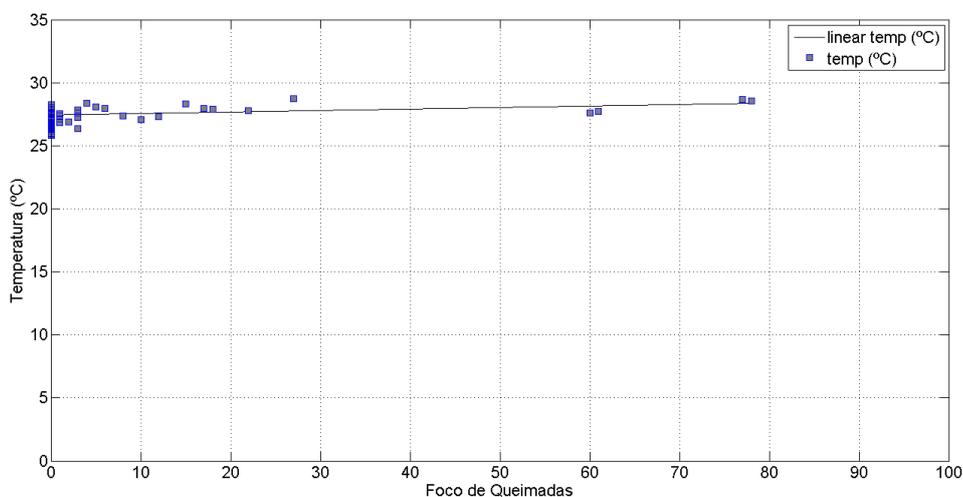


Figura 5.11. Gráfico de Dispersão da Variável "Temperatura" no Cenário Chuvoso

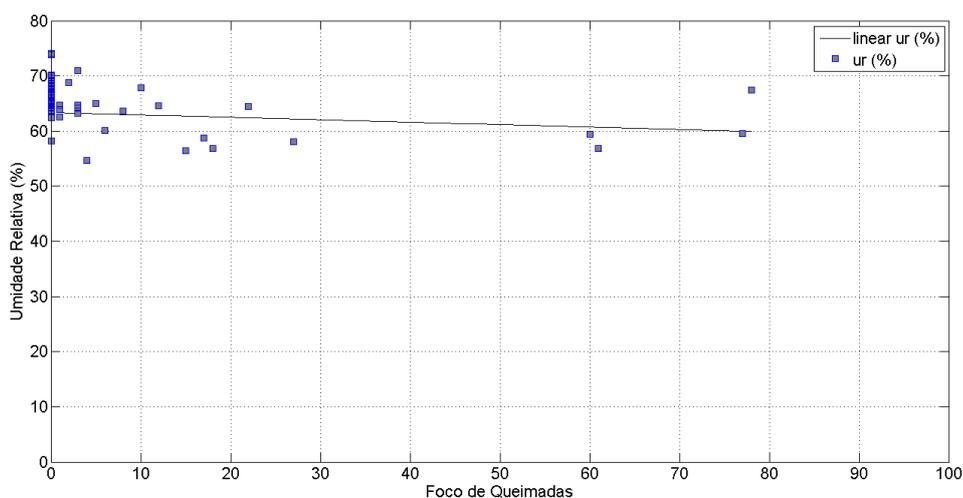
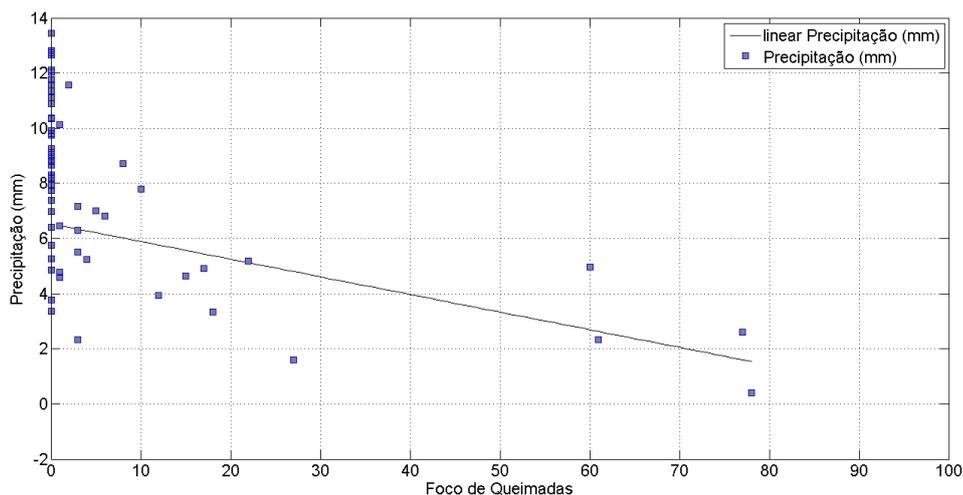


Figura 5.12. Gráfico de Dispersão da Variável "Umidade Relativa" no Cenário Chuvoso

A variável “umidade relativa do ar”, no cenário chuvoso se apresentou com grau de correlação “-0,40”, segundo a Classificação de Cohen corresponde à uma “MÉDIA” correlação, a Figura 5.12 expressa a associação entre esta variável e os focos de queimadas, com o Gráfico de Dispersão apresentou uma correlação linear negativa. A variável "precipitação" apresentou uma correlação linear negativa.



Os coeficientes de correlação alcançados, “-0,40”, “-0,52”, “0,51” e “0,16” respectivamente, se apresentaram em modo médio, grande, grande e pequeno, alcançando assim o grau que se correlacionam com os focos de queimadas.

5.4.3 Estudo de Caso: Cenário Anual

A Correlação de Pearson da Tabela 5.20 exhibe os respectivos coeficientes de correlação obtidos a partir da matriz de correlação, segue abaixo:

Tabela 5.20. Coeficiente de Correlação das Variáveis Climáticas

Focos de Queimadas	Variáveis Climáticas	Coeficiente de Correlação (r)	Interpretação
QUEIMADAS	UMIDADE RELATIVA	- 0,43	MÉDIA
QUEIMADAS	PRECIPITAÇÃO	- 0,41	MÉDIA
QUEIMADAS	TEMPERATURA	- 0,10	PEQUENA
QUEIMADAS	VELOCIDADE DO VENTO	0,39	MÉDIA

O coeficiente de correlação de Pearson para a variável “umidade relativa do ar”, de acordo com a magnitude do coeficiente de correlação, considerando a Classificação de Cohen, a variável se apresentou com uma “MÉDIA” correlação, e com sinal negativo, devido a essas características, logo quanto menor a “umidade relativa do ar” maior a possibilidade de ocorrência de foco de queimadas.

O coeficiente de correlação de Pearson para “precipitação” se apresentou com índice de correlação, de acordo com Cohen “MÉDIO” e sinal negativo, pois quanto menor a precipitação maior a possibilidade de ocorrência de foco de queimada.

O coeficiente de correlação de Pearson, para a variável “temperatura”, se apresentou com índice de correlação “PEQUENO” e com sinal negativo, logo quanto menor a temperatura maior a possibilidade de ocorrência de foco de queimada.

Observou-se também que a variável “velocidade do vento”, apresentou uma “MÉDIA” correlação com o foco de queimadas, e sinal positivo, logo quanto maior a velocidade do vento maior a possibilidade de foco de queimadas.

O comportamento da variável “Velocidade do Vento” para os focos de queimadas no cenário “Anual”, apresentou uma correlação linear positiva de acordo com a Figura 5.15 e gráfico de dispersão da “Velocidade do Vento”.

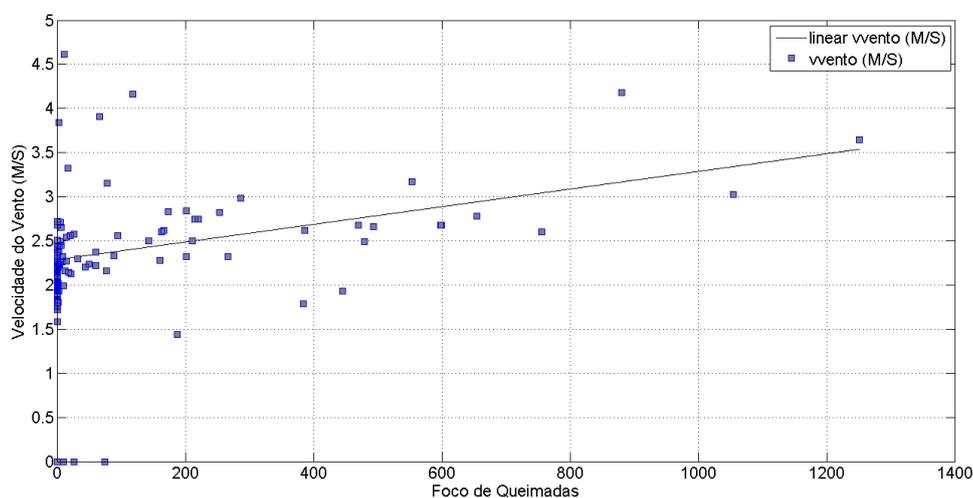


Figura 5.15. Gráfico de Dispersão da Variável “Velocidade do Vento” no Cenário Anual

A variável "Precipitação" apresentou uma correlação linear negativa, em relação com os focos de queimadas, como se observa o seu grau de associação na Figura 5.16.

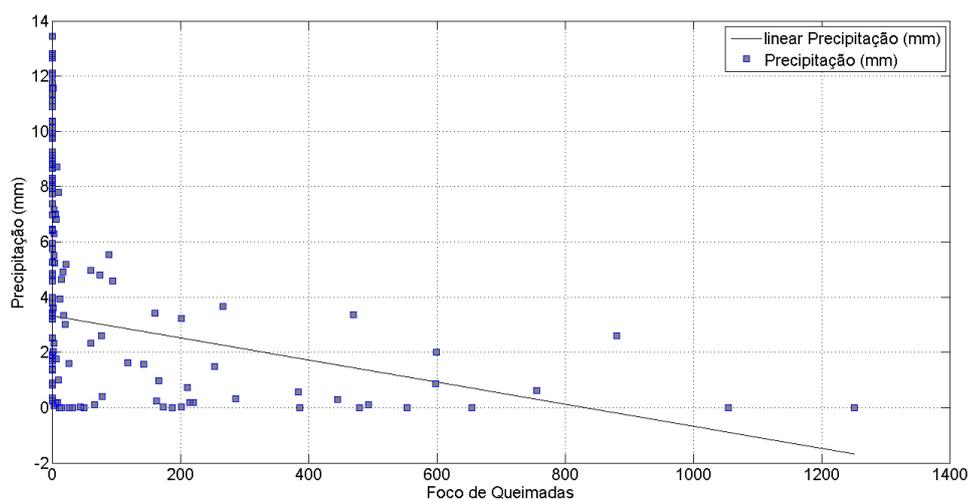


Figura 5.16. Gráfico de Dispersão da Variável "Precipitação" Cenário Anual

A variável "Temperatura" apresentou correlação linear negativa em relação aos focos de queimadas, conforme a Figura 5.17. E a varável "Temperatura" apresentou correlação linear positiva.

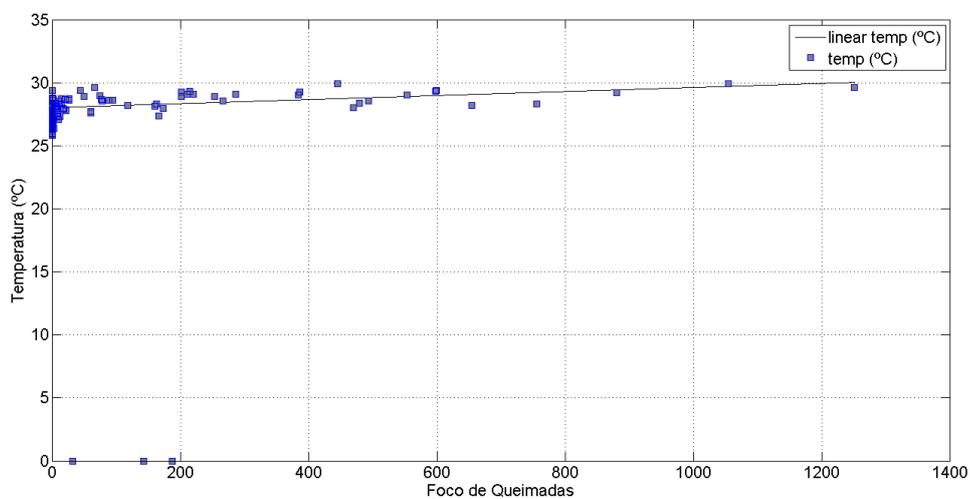


Figura 5.17. Gráfico de Dispersão da Variável "Temperatura" no Cenário Anual

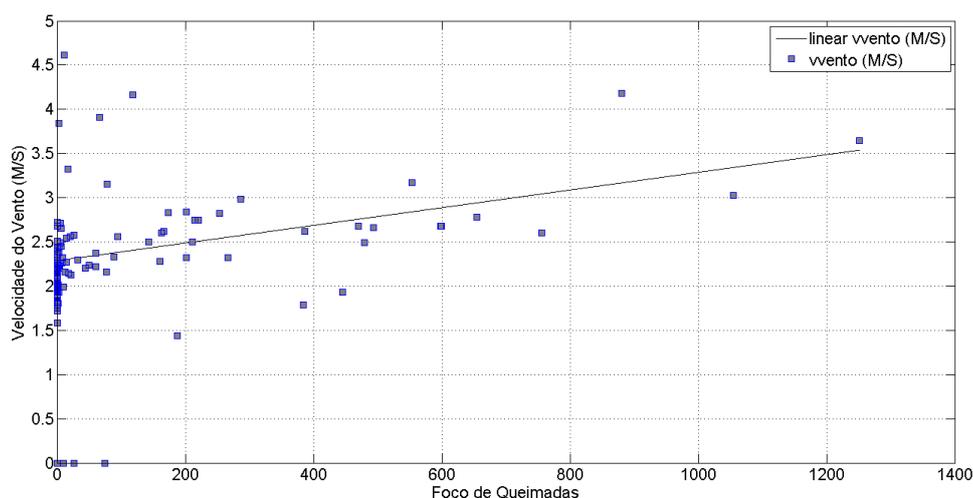


Figura 5.18. Gráfico de Dispersão da Variável "Velocidade do Vento" no Cenário Anual

Os coeficientes de correlação alcançados, “-0,43”, “-0,41”, “-0,10” e “0,39” respectivamente, se apresentaram em modo médio, médio, pequeno e médio, alcançando assim o grau que se correlacionam com os focos de queimadas.

5.5. Considerações Finais

No decorrer deste capítulo, apresentou-se a metodologia aplicada ao estudo investigativo de correlação entre variáveis climáticas e o número de focos de queimadas, em três cenários: seca, chuvoso e anual. Para os cenários propostos, foram utilizadas redes bayesianas e o coeficiente de correlação de Pearson. Para a classificação do coeficiente de Pearson, foi adotada a classificação de Cohen (1988).

Pelos valores dos coeficientes de correlação obtidos, pode-se dizer que os fatores climáticos não são os únicos que contribuem para a ocorrência de focos de queimadas no município de Marabá. Os mesmos devem ser influenciados por outros fatores externos como, técnica de corte e queima utilizada na plantação de pasto e de outras culturas.

Logo, é necessário considerar variáveis de natureza diferente das climáticas, a fim de investigar quais outros fatores contribuem para as ocorrências de focos de queimadas.

Capítulo 6 – Conclusões

Pesquisas apontam que a análise de correlação é um método estatístico amplamente utilizado para estudar o grau de relacionamento entre variáveis. A Análise de Correlação fornece um número, indicando como duas variáveis variam conjuntamente. Mede a intensidade e a direção da relação linear ou não-linear entre duas variáveis [LIRA, 2004].

Diversas são as variáveis intrinsecamente ligadas à uma região ou à um município (Marabá), como variáveis climáticas, sociais e econômicas, contudo este estudo se propôs investigar a correlação do número de focos de queimadas com as variáveis climáticas precipitação, umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do vento.

Esta dissertação apresentou uma metodologia para auxiliar no estudo das causas de ocorrência de queimadas, por intermédio da verificação da existência de correlação entre variáveis climáticas e o número de focos de queimadas.

Os cenários criados a partir das redes bayesianas geradas, e os coeficientes de correlação de Pearson, adotando a classificação de Cohen demonstram, de forma clara, a influência de variáveis climáticas no número de focos de queimadas, e vice-versa, como o caso da influência da cobertura florestal no clima.

A rede bayesiana no cenário chuvoso, a variável "queimada" não apresentou inferência com as outras variáveis climáticas, no entanto, com aplicação da correlação de Pearson se visualizou com os gráficos de dispersão que existe um grau de associação entre elas. As análises estatísticas foram fundamentais para a metodologia adotada nesta dissertação. Logo a rede bayesiana, não foi favorável para o cenário chuvoso, assim como foi favorável para o cenário seco e cenário anual, pois se obteve as probabilidades de evidência.

O trabalho conclui com um questionamento em aberto: as redes bayesianas aplicadas isoladamente neste contexto ambiental seria realmente viável? A matriz de correlação, os gráficos de dispersão resultaram em um importante complemento para o estudo em questão. Afinal todas as variáveis climáticas se correlacionaram com os focos de queimadas, ora positivamente ora negativamente.

6.1. Contribuições da Dissertação

Como principais contribuições desta dissertação, destacam-se:

- Proposta de uma metodologia para auxiliar no estudo de correlações entre variáveis características da área de estudo;
- Criação de cenários capazes de mostrar o comportamento do número de focos de queimadas, em diferentes condições climáticas;
- A metodologia proposta se comporta de forma ágil e flexível, podendo ser aplicada a outras áreas de domínio;
- Caracterização da problemática que envolve uma área na região da Amazônia Legal;
- A divulgação do trabalho por meio de publicação de artigos em conferências internacionais, nos quais foram apresentados a proposta e os resultados do estudo de caso desta dissertação. Estes artigos foram aceitos e publicados no primeiro semestre de 2015. Foram:
 - ARANHA, P. S.; MONTEIRO, F. P.; PONTES, P. A.; SOUZA, A. M. De.; VIJAYKUMAR, N. L.; MONTEIRO, M. A; FRÂNCES, C. R. L. Supervised Classification of Satellite Images to Analyze Multi-Temporal Land Use and Coverage: A Case Study for the town of Marabá, State of Pará, Brazil. Aceito para publicação no COSIT-2015: Second International Conference on Computer Science and Information Technology. Geneva [Switzerland], 2015.
 - MONTEIRO, F. P.; ARANHA, P. S.; PONTES, P. A.; SOUZA, A. M. De.; VIJAYKUMAR, N. L.; MONTEIRO, M. A; FRÂNCES, C. R. L. A comparative study of supervised classification techniques for dynamics assessment of land use and land cover in the Brazilian Amazon. Aceito para publicação no ASET 2015: International Conference On Advances in Applied science and Environmental Technology. Thailand [Bangkok], 2015.

6.2. Trabalhos Futuros

Como possíveis desdobramentos deste trabalho, podem ser destacados os seguintes aspectos:

- Realizar estudos envolvendo variáveis sociais e econômicas, como tempo de ocupação no assentamento, histórico dos agricultores, aptidão agrícola, sistemas de

produção, e de características do solo, tais como cor, textura, estrutura, pegajosidade, plasticidade, cerosidade, taxas de infiltração e retenção de água no solo, teores de nutrientes - macro e micronutrientes;

- Realizar novos estudos com diferentes técnicas de correlação e de composição de cenários, como regressão linear múltipla.
- Automatizar, dentro do limite máximo possível, o processo de pré-processamento das bases, do qual despenderá grande parte do esforço de todo o processo fim a fim.
- Compilar o *framework* computacional para realização de estudos de LULC e correlações com variáveis exógenas [tais como: sociais, econômicas, e agronômicas]

6.3. Dificuldades Encontradas

Durante o desenvolvimento desta dissertação foram encontradas diversas dificuldades, que serão relatadas com o objetivo de auxiliar novos estudos nesta mesma linha de pesquisa, que venham utilizar este trabalho como ponto de partida.

Entre as principais dificuldades podem ser destacadas:

- A grande interdisciplinaridade do tema, envolvendo diferentes e complexas áreas de conhecimento.
- A dissertação necessitou de um levantamento bibliográfico detalhado sobre conceitos que são comuns para área de meteorologia, conhecimentos não contemplados pela formação da autora.
- Para certas variáveis, a ausência de dados no processo de coleta dos dados, dificultou a preparação da base de dados que foi utilizada.
- Dados com séries temporais com poucas ocorrências, o que dificulta a utilização de técnicas de mineração de dados.
- O pré-processamento dos dados utilizados para a geração das redes bayesianas.

REFERÊNCIAS

INPE. Disponível em: <<http://www.ccst.inpe.br/o-futuro-climatico-da-amazonia-relatorio-de-avaliacao-cientifica-antonio-donato-nobre/>>, acesso em 04 Mar 2016.

REVISTA PRE UNIVESP. Disponível em <<http://pre.univesp.br/um-tesouro-chamado-amazonia#.VwMa6vkrLIU>>, acesso em 20 Mar 2016.

INPE. Disponível em: <<http://amazonia.org.br/tag/inpe/>>, acesso em 16 Mar 2016.

REVISTA PREUNIVESP. Disponível em: < http://pre.univesp.br/desmatamento-da-amazonia#.VwMO5_krLIU >, acesso em 20 mar 2016.

RESENDE, M. et al. "Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, MG: NEPUT, 1995. 304 p, 1995.

GOODCHILD. M. F., PARKS. B. O."The state of GIS for enviromental problem-solving", Ed. Environmental modeling with GIS, New York: Oxford University Press, 1993.p.8-15.

CALANDINO. D; WEHREHRMANN. M; KOBLITZ. R. "Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. Desenvolvimento e Meio Ambiente", v. 26, p. 161-170, jul./dez. 2012. Editora UFPR. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/made/article/viewFile/26017/19677>>, acesso em 12 Fev 16.

RAZAFIMPANILO, H.; FROIN, R.; IACOBELLIS, S. F.; SOMERVILLE, R. C. J. "Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data". Remote Sens. Environ. 54:273-289. 1995.

NUNES, J. R.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. "Especificação de um Sistema Computação Integrado de Controle de Incêndios Florestais", Revista Floresta. v.36. Curitiba, 2006

PINTO, F., SANTOS, M.F. "Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados em Atividades de CRM", Datagadgets 2005; 1º Congresso Espanhol de Informática CEDI 2005; Granada.

WITTEN, I. H.; FRANK. E.; HAL, M. A." Data Mining: Practical machine learning tools and techniques". 3ª. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2011. Disponível em: <<ftp://ftp.ingv.it/pub/manuela.sbarra/Data%20Mining%20Practical%20Machine%20Learning%20Tools%20and%20Techniques%20-%20WEKA.pdf>>, acesso em 10 Fev 2016.

FACELLI, K.; LORENA, A. C.; CARVALHO, C. P. I. F de. "Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina". Rio de Janeiro, Brasil: LTC, 2011.

BRAGA, L. P. V. "Introdução à Mineração de Dados", E - Papers Serviços Editoriais, 2ª Edição Revista e Ampliada, 2005.1

MANILLA, H. "Data Mining: Machine Learning, Statistic and Databases", Department of Computer Science, Univesity of Helsinki, 1997.

FAYYAD, U.; GREGORY, P.S. ; PADHRAIC, S. "From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases". American Association for Artificial Intelligence, 1996. Acesso em 18/02/2016. Disponível em: <<http://www.csd.uwo.ca/faculty/ling/cs435/fayyad.pdf>>.

CARDOSO, C. L. "Estratégia de Planejamento de Redes de Acesso de Alta Capilaridade baseadas em Tecnologia DSL: uma abordagem híbrida empírica e probabilística". Tese de Doutorado. PPGEE. Universidade Federal do Pará. Acesso: 10/01/2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2036>>.

CARDOSO, O. N. P.; MACHADO, R. T. M. "Gestão do conhecimento usando data mining: estudo de caso na Universidade Federal de Lavras". Revista de Administração Pública. vol. 42, no.3, Rio de Janeiro, Maio/Junho 2008.

MACEDO, D. C.; MATOS, S. N. "Extração de Conhecimento através da Mineração de Dados". Revista de Engenharia e Tecnologia. UTFPR, Agosto 2010.

BOENTE, A. N. P.; OLIVEIRA, F. S. G.; ROSA, J. L. A. "Utilização de Ferramenta de KDD para Integração de Aprendizagem e Tecnologia em Busca da Gestão Estratégica do Conhecimento na Empresa". Anais do Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, v. 1, p. 123-132, 2007.

GOLDSCHMIDT, R.; PASSOS, E. "Data Mining: Um guia prático". Rio de Janeiro: Campus, 2005.

NICOLAIO, R. A.; PELINSKI R." Estudo e aplicação da tarefa de associação de Data Mining em uma base de dados real". Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Superior de Tecnologia em Sistemas de Informação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

NONATO, R. T.; STANLEY, R. de M. O. "Técnicas de Mineração de Dados para Identificação de Áreas com Cana-de-açúcar". Engenharia Agrícola, vol. 33. no. 6 Jaboticabal. Campinas, Nov./Dec. 2013.

NASSAR, S. M. "Tratamento de Incerteza: Sistemas Especialistas Probabilísticos". Pós-Graduação em Ciências da Computação: Centro Tecnológico. Departamento de Informática e Estatística. Universidade Federal de Catarina, 2012. Disponível em : <http://www.inf.ufsc.br/~silvia/disciplinas/sep/material_didatico/MaterialDidatico.pdf>, acesso em 15 Fev 2016.

RUSSEL, S. J.; NORVING, P. "Artificial Intelligence: A Modern Approach", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.

ALMEIDA, R. I. M. "Redes Bayesianas e sua Aplicação em um Modelo de Interface Adaptativa para uma loja virtual." Monografia do Curso em sistema de Informação. Centro Universitário Luterano de Palma, 2006.

PENA, S.D. "Thomas Bayes - Ciência Hoje" Departamento de Bioquímica e Imunologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Vol.38, nº228, pág. 28, 2006.

GAAG, L. C. "Bayesian Belief Networks: Odds and Ends". Utrecht University, Department of Computer Science. The Computer Journal, vol 39, nº 2, 1996, p 97-113.

HUANG, H.; SONG, H.; TIAN, F. ; LU, Y. Lu, WANG,Q. "A comparatively research in incremental learning of Bayesian networks", Intelligent Control and Automation. Fifth World Congress on, Volume 5, 4260-4264, 2004.

SANTOS, A. S.; SANTOS, E. S. "Correlação e Regressão Estatística". Universidade Federal da Bahia. 2009

GUIMARÃES, P. R "Análise de Correlação e medidas de associação". Relatório Técnico do Departamento de Estatística da Universidade Federal de Pernambuco, 2013. Disponível em: < <http://people.ufpr.br/~jomarc/correlacao.pdf>>, acesso em 15 Jan 2016.

VIALI, L. Página acadêmica/didática. Departamento de Estatística, Instituto de Matemática da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015. Disponível em<<http://www.mat.ufrgs.br/~viali/>>, acesso em 12 Mar 2016.

FAÍSCA, L. "Modelar relações entre variáveis quantitativas: seminários de métodos e análise de dados". Doutorado em Psicologia, 2010.

FILHO, D. B. F.; SILVA, J. A. "Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson". Revista Política Hoje, Vol.18, n.1, 2009.

FRANZBLAU, A. "A primer of statistics for non-statisticians". Oxford, England: Harcourt, Brace, Cap. 7, 1958.

COHEN, J. "Statistical power analysis for the behavioral sciences". Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. "Análise de correlação: o r de Pearson". Estatística sem matemática para psicologia. Porto Alegre: Artemed; 2006. Cap. 5, p. 178-216.

LOMBARDO, M.A. "A Ilha de Calor nas Metrôpoles". O exemplo de São Paulo. SP, Ed. Hucitic, 1985.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. "Meteorologia Agrícola: Temperatura do solo e do ar", Universidade de São Paulo, 2009.

UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, "Temperatura - Unidades de Temperatura", Faculdade de Engenharia Mecânica, 2007.

DIAZ, M. C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. "O Prejuízo Oculto do Fogo: Custos Econômicos das Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia". Relatório do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2002. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/Preju_fogo.pdf>, acesso em 10 Fev 2016.

MARINHA. Noções de Meteorologia para Navegantes. 2009. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/cap-45.pdf>>, acesso em 10 Jan 2016..

CEFET, Centro Federal de Educação Tecnológica, "Meteorologia Observacional I: Vento - Direção e Intensidade". 2012. Disponível em: <http://meteoro.cefet-rj.br/almir/observacional/observacional_vento_1_12.pdf>, acesso em 10 Fev 2016.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, "Relatório PRODES 2008". Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>, acesso em 16 Fev 2016

LÁZIA, B. “A diferença entre incêndio florestal e queimadas”, Editora Aprenda Fácil, 2014. Disponível em: <<http://www.afe.com.br/noticia/11141/conheca-a-diferenca-entre-incendio-florestal-e-queimadas-florestais>>, acesso em 16 Fev 2016.

INPE, Projeto PRODES, Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, 2006. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>, acesso em 14 Fev 2016.

MARTINS, P. W.; PARADELLA, W.R.; JÚNIOR, C. S.; VALERIANO, D. M.; MIRANDA, F. P. “Sensoriamento Remoto e Recursos Naturais da Amazônia”. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Amazônia Artigos, 2006. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v58n3/a16v58n3.pdf>>, acesso em 10 Fev 2016.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; FILHO, B. S. "Desmatamento na Amazônia. indo além da Emergência ". 2004

ZAMPIVA, T. R. F. "Análise Quantitativa do Balanço de Queimadas na Microrregião de Marabá e sua Importância para a Implementação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia". Monografia. Curso Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Pará - Núcleo de Marabá, 2008.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, "Relatório de Ocorrências de Incêndios em Unidades de Conservação Federais". Brasília-DF, 2008. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2009_Ibama_Relatorio_FogoUCs_2005_08_DE3os.pdf>, acesso em 10 Fev 2016.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, "Constituição da República Federativa do Brasil. Capítulo VI. Do Meio Ambiente. Art.225."Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm>, acesso em 10 Fev 2016.

MAUAD, S. S. M.; GOUVEIA, A.P. R.; SOUZA, I. C.; OLIVEIRA, H. P.; CALDAS, T. "Análise da Relação dos Fatores Econômicos na Ocorrência de Queimadas no Município de Marabá-PA". X Congresso de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2013

AYOADE, J. O. "Introdução a Climatologia para os trópicos". 13ªed. Rio de Janeiro: Bertrand, 332p, 2010.

ROLDÃO, A. F.; SANTOS, J. G.; OLIVEIRA, L. A."Correlação entre as Variáveis Climáticas (Altitude, Temperatura e Precipitação) na Mesorregião Sul e Sudeste de Minas Gerais - MG". Revista Geonorte, 2012.

TORRES, F. T. "Análise da Ocorrência de Incêndios em Vegetação da Área Urbana de Juiz de Fora, MG". Dissertação de Mestrado. Universidade de Viçosa, 2008.

OLIVEIRA, A. S. de. "Fundamentos de Meteorologia e Climatologia - Precipitação Pluviométrica, Capítulo XI". Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB , 2009.

FERNANDES, A. M. R; ZAPELINI, C.; COMUELLO, E. "Rede Bayesiana para detecção da intensidade da dor", Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Tema: Gestão, Inovação e Tecnologia para a Sustentabilidade. IX SEGeT 2012. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/4416644.pdf>>, acesso em 18 Mar 2016.

FERREIRA, A. G." Interpretação de Imagens de Satélites Meteorológicos: uma visão prática e operacional do hemisfério sul". 1. ed Brasília: Stilo Gráfica e Editora, 2002.

ROCHA, E. J. P. Balanço de Umidade e Influências de Condições de Contorno Superficiais Sobre a Precipitação da Amazônia. 2001. 210 f.; Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo, 2001.

COUTINHO, E. C.; GUTIERREZ, L. A. C.; BARBOSA, A. J. S. "Influência dos Fenômenos El Niño e La Niña na Variabilidade da Precipitação no Município de Marabá-Pa no período de 2001 - 2010", Universidade Federal do Pará, Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

LIRA, S. A. "Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com aplicações". Universidade Federal do Paraná. Curitiba. Dissertação de Mestrado - Métodos Numéricos em Engenharias e dos Setores de Ciências Exatas, 2004.

USP, 2008. "El Niño e La Niña". LabMet.. Acesso em: 10/02/2016. Disponível em:<http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Felicio/climaII/05-B-ElNino-LaNina.pdf>.

RIBEIRO, H. ; ASSUNÇÃO, J. V. "Efeitos das queimadas na saúde humana". Acesso em: 28/02/2016. Disponível em: “<http://www.scielo.br/pdf/ea/v16n44/v16n44a08.pdf>>.2002.