

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

QUEIMADAS ACIDENTAIS EM CAMPO EM SANTA MARIA - RS

TESE DE DOUTORADO

Luciane Flores Jacobi

Santa Maria, RS, Brasil

2007

© 2007

Todos os direitos autorais reservados a Luciane Flores Jacobi. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização, por escrito, do autor.

Endereço: Rua Osório Quadros Sobrinho, n. 225, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97110-815

Fone (0xx)553225-3772; End. Eletr.: lfjacobi@yahoo.com.br

QUEIMADAS ACIDENTAIS EM CAMPO EM SANTA MARIA - RS

por

Luciane Flores Jacobi

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof.^o Dr. Alessandro Dal'Col Lúcio

Santa Maria, RS, Brasil

2007

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

QUEIMADAS ACIDENTAIS EM CAMPO EM SANTA MARIA - RS

Elaborada por
Luciane Flores Jacobi

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr.
(Presidente/Orientador)

Lindolfo Storck, Dr. (UFSM)

Sidinei José Lopes, Dr. (UFSM)

Alberto Cargnelutti Filho, Dr. (UFRGS)

Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 15 de junho de 2007.

Ao meu esposo Elton,
e aos meus filhos Otávio e Natália.

Obrigado por mais
uma vez compreenderem
minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Ao término desse trabalho, agradeço:

ao meu orientador, Prof^o Alessandro Dal'Col Lúcio, pelo acompanhamento, ensinamentos, paciência e dedicação durante este trabalho;

aos meus co-orientadores, Prof^s Lindolfo Storck e Sidinei José Lopes, pela atenção e dedicação para execução desta pesquisa;

aos membros da banca examinadora, pela contribuição e sugestões dadas a este trabalho;

aos bolsistas Lorena Vicini, Mara Rubia Machado Couto, Rodrigo Macedo de Campos e Murylo Wehner Flores, pela coleta e digitação dos dados, pela companhia, amizade e força transmitidas no decorrer dessa caminhada;

ao 4º Comando Regional de Bombeiros pela disponibilidade;

ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade;

a todos que, de alguma forma, compartilharam deste trabalho, o meu carinho.

RESUMO

Tese de doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

QUEIMADAS ACIDENTAIS EM CAMPO EM SANTA MARIA - RS

AUTOR: LUCIANE FLORES JACOBI

ORIENTADOR: ALESSANDRO DAL'COL LÚCIO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de junho de 2007

A vegetação campestre, predominante no Rio Grande do Sul, bem como todos os demais tipos de formações vegetais, pode ser considerada um sistema dinâmico sujeito a uma série de agentes de perturbações. O fogo costuma ser citado como um destes, podendo ser de causa natural ou provocado pelo homem. As queimadas casuais são resultantes, em especial, de descargas elétricas da atmosfera. Queimas provocadas podem apresentar-se controladas ou não e costumam estar vinculadas ao manejo de áreas utilizadas em fins agropecuários. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivos realizar um estudo de queimadas acidentais em campo para identificar, caracterizar e localizar os locais de maiores ocorrências dessas na cidade de Santa Maria - RS com intuito de auxiliar no planejamento e controle de incêndios, relacionar o número de queimadas com os elementos meteorológicos para identificar as condições mais propícias à ocorrência desse evento. A variável de interesse (resposta), neste estudo, foi o número de chamadas recebidas por dia pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria, obtidas dos seus fichários, no período de 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2004. Essa variável foi explicada por elementos meteorológicos, como: temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar coletada às 9 h, às 15 h e às 21 h, insolação, precipitação e velocidade média do vento do dia de sua ocorrência e pelo número de dias sem precipitação pluviométrica, anteriores ao da ocorrência da variável de interesse. Verificou-se que em média o Corpo de Bombeiros recebia 1,81 chamadas diárias. Antes da ocorrência de uma chamada, não chovia, em média, a quatro dias, e a grande maioria das chamadas eram no período da tarde e para as margens das rodovias que circundam a cidade, principalmente na RS 287, rodovia com margens pouco habitadas. O mês em que ocorreu o maior número de chamadas ao Corpo de Bombeiros foi agosto, sendo o ano de 1999 o que acumulou maior ocorrência de queimadas. Além disso, o número de chamadas distribuem-se equivalentemente nos dias de semana. A partir dos quartis, determinou-se os bairros do município com grande, média e poucas chances de ocorrência de queimadas, sendo que as margens das rodovias e os bairros Distrito Industrial, Medianeira, Itararé, Tomazzetti e Parque Pinheiro Machado foram as áreas com maiores chances de ocorrência de queimadas. Determinada a correlação entre a variável dependente e todas as variáveis independentes, verificou-se que a mais correlacionada com o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros foi a umidade relativa média. A avaliação dos pressupostos dos vinte e quatro modelos testados, revelou que em todos eles as pressuposições foram violadas, não sendo portanto, adequados à previsão da variável independente.

Palavras-chave: manejo agropastoril, fatores meteorológicos, regressão linear múltipla.

ABSTRACT

Doctorate thesis

Post-graduation Program in Agronomy
Santa Maria Federal University

ACCIDENTAL FIELD BURNS IN THE COUNTY OF SANTA MARIA – RS, BRAZIL

AUTHOR: LUCIANE FLORES JACOBI

ADVISOR: ALESSANDRO DAL'COL LÚCIO

Place and Date of defense: Santa Maria, June 15th 2007

The predominant campestrial vegetation in the state of Rio Grande do Sul, as well as all types of vegetal formations, may be considered as a dynamic system subject to several disturbance agents. Fire is frequently mentioned as one of them, and may present natural or anthropic causes. Occasional burns are mainly a result of electric discharges from the atmosphere. Intentional burns may be controlled or not and are usually associated to the management of areas aimed at agriculture and cattle raising activities. Thus, the objective of this research was to perform a study on accidental field burns in order to characterize and to identify places of higher burn incidence in the county of Santa Maria – RS, Brazil, and to aid in the planning and control of fires, correlating the number of burns with meteorological elements in order to identify the most propitious conditions for the occurrence of these events. The interest variable (response) in this study was the number of daily calls received by the Santa Maria Fire Brigade obtained from its records within the period from January 1st 1993 to December 31st 2004. This variable was explained by meteorological elements such as: maximum and minimum temperature; relative air humidity measured at 9:00am, 3:00pm and 9:00pm; insolation; rain precipitation and average wind velocity at the day of occurrence and by the number of days without any pluviometric precipitation before the occurrence of the interest variable. It was verified that the Fire Brigade received 1.81 daily calls, on average; that the call was preceded by a dry period of four days on average, and that most burns occurred in the afternoon and at the almost uninhabited RS 287 highway alongside region. The month in which the Fire Brigade received the highest number of calls was August, and the year of 1999 was the one presenting the highest occurrence of field burns. Moreover, the number of calls was equally distributed along the weekdays. Based on quartiles, city districts with high, intermediate and low chances for the occurrence of burns were determined, and regions alongside the highway and the following city districts: Distrito Industrial, Medianeira, Itararé, Tomazzetti and Parque Pinheiro Machado were those presenting the highest chances for the occurrence of burns. Based on the correlation between dependent variable and all independent variables, it was verified that the variable with the highest correlation with the number of calls received by the Fire Brigade was the relative air humidity. The evaluation of the twenty-four models tested revealed that in all of them, the presuppositions were violated, being therefore, inappropriate for the forecast of the independent variable.

Keywords: Agriculture and cattle raising management, meteorological factors, multiple linear regression.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Derivação da distribuição amostral D, a estatística de Durbin e Watson.....	26
FIGURA 2- Distribuição, por hora, do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros.	36
FIGURA 3 - Gráfico de resíduos contra os valores ajustados, para os dados coletados.....	40
FIGURA 4 - Gráfico de probabilidade normal para os resíduos dos dados estudados.....	42
FIGURA 5 - Mapa de Santa Maria com os bairros identificados conforme o risco da ocorrência de queimadas acidentais em campo.....	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Cobertura do solo e umidade volumétrica do solo em pastagem natural sob distintos manejos.....	17
TABELA 2 - Distribuição do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria, no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.....	34
TABELA 3 - Medidas descritivas para as variáveis queimadas, max, min, UR ₉ , UR ₁₅ , UR ₂₁ , Ia, prtol, velvent, NDPP, no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2004.....	35
TABELA 4 - Evolução do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria – RS no período de 1993 a 2004.....	37
TABELA 5 - Cruzamento da variável número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros com o dia da semana do ocorrido, entre 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2004, no município de Santa Maria – RS	37
TABELA 6 - Correlação linear de Pearson entre a variável número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros e elementos meteorológicos, avaliados de janeiro de 1993 a dezembro de 2004, no município de Santa Maria – RS	38
TABELA 7 - As estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 no município de Santa Maria-RS, para o primeiro conjunto de dados.....	41
TABELA 8 - As estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 no município de Santa Maria-RS, para o segundo conjunto de dados.....	44
TABELA 9 - As estimativas dos critérios utilizados para a comparação dos modelos ajustados, seus respectivos postos e a soma total dos postos.....	46
TABELA 10 - Locais e seus respectivos números de ocorrências de queimadas em campo em Santa Maria – RS, de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.....	47

LISTA DE SIGLAS

ARMA – modelo auto-regressivo e de médias móveis
CNM 7 - Melhorado há 7 anos
CNM 24 - Melhorado há 24 anos
CPETC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EMBRAPA – Empresa Brasileira da Pecuária e Agricultura.
Ia - Insolação
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET -Instituto Nacional de Meteorologia
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K – Potássio
max - Temperatura máxima
min – Temperatura mínima
MT – Mato Grosso
N – Nitrogênio
NDPP - Número de dias sem precipitação pluviométrica
PR – Paraná
PROARCO - Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal
prtol - Precipitação
QME – Quadrado médio do erro
RS – Rio Grande do Sul
S - Enxofre
SQE – Soma do quadrado do erro
SQSR - Sem queima e sem roçada
UR₉ - Umidade relativa do ar coletada às nove horas
UR₁₅ – Umidade relativa do ar coletada às quinze horas
UR₂₁ - Umidade relativa do ar coletada às vinte e uma horas
UFMS – Universidade Federal de Santa Maria
velvent - Velocidade média do vento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5 CONCLUSÕES	50
6 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas terrestres vêm sendo ameaçados pelo crescimento da população humana, da atividade econômica e dos avanços da tecnologia. Nos ecossistemas brasileiros, grandes faixas de terra estão sendo desmatadas todo ano para uso na agricultura, em pastagens e outras atividades de desenvolvimento. Neste contexto, a queimada é um dos métodos tradicionalmente usados para o desmatamento de áreas florestais, bem como para a manutenção de safras agrícolas e pastagens.

Há séculos o fogo acompanha o homem e, através dele, registra-se a história da humanidade. É um marco no processo evolutivo do homem, um elo entre o passado e o presente. Ao adquirirem o controle sobre o fogo, os ancestrais da espécie humana começaram a marcar profundamente a história da vida na Terra. Através do seu domínio, alcançaram novos espaços, alteraram ecossistemas, e sofreram suas conseqüências, decorrentes de suas próprias atividades.

Historicamente, a ação do homem sobre a natureza sempre foi muito intensa, especialmente nas zonas abertas, ilhas e litorais, extraíndo as riquezas florestais das savanas, pampas, e, em menor intensidade, das áreas montanhosas. As emergentes e intensas alterações dos ecossistemas florestais no mundo, nas últimas décadas, são um dos sérios problemas ambientais que se enfrenta atualmente.

O fogo afeta diretamente a característica físico-química e a biológica dos solos, deteriora a qualidade do ar, levando, às vezes, ao fechamento de aeroportos por falta de visibilidade, reduz a biodiversidade e prejudica a saúde humana. Ao escapar do controle atinge o patrimônio público e privado (florestas, cercas, linhas de transmissão e de telefonia, construções, entre outros). As queimadas alteram a química da atmosfera e influem negativamente nas mudanças globais, tanto no efeito estufa como no tema do ozônio (EMBRAPA, 2007).

No Brasil, as queimas ocorrem praticamente em todo o território, motivadas por fatores locais. A maioria das queimadas é provocada direta ou indiretamente pelo homem, quer para abrir novas fronteiras agrícolas, quer para obter pastagem para o gado (COUTINHO, 1990). A quase totalidade das queimadas é causada pelo homem, por razões muito variadas: limpeza de pastos, preparo de plantios, desmatamentos, colheita manual de

cana-de-açúcar, vandalismo, balões de São João, disputas fundiárias, protestos sociais, etc. Com mais de 300.000 queimadas e nuvens de fumaça cobrindo milhões de km² detectadas anualmente através de satélites, o país ocupa lugar de destaque como um grande poluidor e devastador (CPETC, 2007).

As queimadas de maior vulto reportam-se às regiões da Amazônia, dos Cerrados e aos campos do sul do país. A queima de campos do sul do país aparece como forma de manejo das pastagens, sendo amplamente difundida em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. O fogo vem sendo utilizado a tanto tempo nesta região que chega a ser uma questão cultural.

Elas provocam reações negativas em cadeia: o fogo destrói parte da matéria orgânica e os microorganismos, empobrece o solo, dificulta a infiltração e aumenta o escoamento da água que acelera os processos erosivos; a fumaça contribui para o efeito estufa e afeta as pessoas com distúrbios respiratórios, ou seja, todo o equilíbrio do Sistema Natureza é perturbado (Troppmair, 1992).

Em campo, as queimadas constituem uma das tradições mais arraigadas na Região Sul do Brasil com o intuito de limpeza de terrenos a serem cultivados ou para preparação de pastagens. Em campos nativos, a vegetação que renasce aparenta mais força e melhor aparência, só que, ao longo dos anos, as queimadas provocam a degradação gradativa das plantas e do solo. O estabelecimento de uma metodologia para acompanhamento, monitoramento e planejamento de queimadas, auxiliando os usuários dessa prática e os profissionais envolvidos em seu controle, com um sistema de alerta que identifique cada dia como tendo baixa, média ou alta probabilidade de ocorrência de incêndios, seria de extrema utilidade. Com isso, o controle das queimadas seria mais eficiente, evitando sérios problemas ao meio ambiente, às pessoas e em especial ao solo.

Desta forma o trabalho teve por objetivos realizar um estudo de queimadas acidentais em campo para identificar, caracterizar e localizar os locais de maiores ocorrências dessas na cidade de Santa Maria - RS com intuito de auxiliar no planejamento e controle de incêndios, e relacionar o número de queimadas com os elementos meteorológicos para identificar as condições do meio ambiente mais propícias à ocorrência desse evento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Queimadas

A sociedade mundial nunca demonstrou tanta preocupação com o meio ambiente, como nos últimos anos, embora os cientistas já vêm alertando para a sua destruição a pelo menos uns 30 anos. Várias forças naturais formaram e ainda formam a comunidade biótica. O fogo tem sido uma das mais dramáticas dessas forças naturais. Numa base global, o fogo e o homem juntos ou separadamente, têm causado grande impacto moldando e alterando a vegetação mundial (KOZLOWSKI; AHLGREN, 1974).

Ao apoderar-se do fogo, o homem, único ser do planeta com tal poder, utilizou-o tanto com ímpeto destruidor como de forma benevolente sobre a terra. O homem contemporâneo continua a utilizá-lo em suas atividades. O fogo, em si, não é bom nem ruim, é apenas um instrumento à disposição, e usá-lo corretamente é uma questão de inteligência (SILVA, 1998). De modo geral, o homem é o principal causador dos incêndios florestais, porque a maioria destes são iniciados em decorrência de algum tipo de atividade humana. Existem, também, os incêndios causados por fenômenos naturais, porém eles são mínimos, conforme relato de Silva (1998).

As causas mais frequentes dos incêndios florestais são: práticas agropastoris, pastoreio, fogueiras em áreas de visitação pública, incêndios intencionais, fumadores, linhas elétricas, estradas de ferro, descargas elétricas (causa natural), causas desconhecidas, carvoeiros e pescadores (SILVA, 1998).

O fogo é uma reação caracterizada pelo desprendimento de luz e calor, afetando diretamente a vegetação, o ar, o solo, a água, a vida silvestre, a saúde pública e a economia (SILVA, 1998). Constitui fator ecológico de significativa importância em diversos sistemas de pastagens; bastante comum naqueles localizados em regiões tropicais e subtropicais (SANTOS et al., 1992) com estacionalidade hídrica marcante, como, por exemplo, as savanas africanas e americanas.

As queimadas, no Brasil, têm sido objeto de preocupação e polêmica. Elas atingem os mais diversos sistemas ecológicos e tipos de agricultura, gerando impactos ambientais em escala local e regional.

A cidade de Santa Maria é o pólo de uma importante região agropecuária que ocupa a parte centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, com uma população de pouco mais de 270 mil habitantes (IBGE, 2007), dos quais cerca de 80% residem na área urbana. Possui uma área territorial de 1780 Km², onde são produzidos principalmente arroz, 52919 toneladas, e possuindo um rebanho bovino de 133584 animais, em 2004, conforme dados do IBGE (2007).

Entre as diversas razões apresentadas para justificar a utilização da queima como opção de manejo das savanas e campos naturais durante a época de seca, destaca-se a renovação de pastagens com a finalidade de aumentar a produção de forragem fresca e palatável para o gado, em períodos com escassez desse tipo de alimento. Esta prática, geralmente, é realizada no fim do período seco ou no início do período chuvoso o que proporciona um aumento da capacidade de pastejo e controla o rebrote de espécies indesejáveis (SANTOS et al., 1992 ; MULLER et al., 2001).

A ação indiscriminada do fogo diminui a quantidade de material orgânico, fonte energética dos microrganismos, que, assim, culmina na diminuição da população da mesofauna e conseqüentemente na perda da capacidade produtiva do solo (SPERA et al., 2000). No caso do fogo, sua ação no estrato herbáceo-subarbusivo do cerrado resulta na rápida mineralização e na acelerada ciclagem dos nutrientes. Já no tocante ao estrato arbóreo, o fogo influencia principalmente a redução do porte das árvores e o aumento da sua tortuosidade (SPERA et al., 2000).

A primeira reação, ao se referir ao uso do fogo como método de manejo de solo, é a sua condenação devido à sua possível ação na degradação e esterilização do solo (SANTOS et al., 1992). O fogo representa o meio mais rápido e econômico de que o produtor rural dispõe para limpar e “fertilizar” a área de cultivo. Sob a ação da queima, de ventos e de chuvas, movimento de partículas, lixiviação e escoamento superficial, os solos desprotegidos perdem nutrientes contidos nas cinzas (SAMPAIO et al., 2003).

Em áreas onde o uso da queima é sistemático, a quantidade e a composição dos nutrientes, que ciclam no solo, dependem do regime de queimadas. Seus efeitos são percebidos através da incorporação de cinzas, redução da cobertura e aquecimento do solo (HERINGER et al, 2002). Os principais efeitos do uso do fogo estão relacionados a alterações biológicas e químicas, tais como redução ou alteração da população microbiana, aumento temporário da disponibilidade de nutrientes, alteração no pH, aumento da fonte de carbono e oxidação da matéria orgânica (SANTOS et al., 1992; SPERA et al., 2000). Apesar disso, a queima pode alterar a umidade do solo, em razão de mudanças na taxa de infiltração, no volume de enxurrada, na taxa de transpiração, na porosidade e na repelência, do solo, à água.

A razão para a diminuição da umidade do solo é que ocorre o entupimento dos poros do solo pelas cinzas (SPERA et al., 2000).

O uso contínuo do fogo tem, como consequência, a exposição do solo ao impacto das gotas de chuva, aumentando a compactação e a erosão, além de interromper gradualmente o ciclo de retorno da matéria orgânica, diminuindo a capacidade de troca de cátions, a retenção de água, a perda de nutrientes do sistema, principalmente N, S e K, o que favorece o surgimento de plantas invasoras e acelera o processo de degradação das pastagens (ZANINE, DINIZ, 2006).

A queima impõe ao solo um regime de déficit hídrico o que, de certa forma, condiciona o uso do fogo a regiões onde haja abundância de precipitação e/ou, com muito critério, em locais de precipitações reduzidas, sob pena de obter-se resultados negativos (ALBA, 1958).

As características físicas de um latossolo vermelho-escuro submetido à queima, foram avaliadas por SPERA et al. (2000) e observaram que as curvas características de retenção de água, nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, mostraram, nas camadas do solo, pequenas variações (de até cerca de $0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ou 2 L de água) entre os tratamentos para as respectivas profundidades. Os autores relataram que, quando comparadas as curvas de retenção de água no solo nas profundidades estudadas, verificou-se que os teores de água retida diminuíram com a profundidade. Essas reduções acompanharam a diminuição, em profundidade, da densidade do solo, da mesoporosidade e da microporosidade.

Ao compararem pastagens naturais sujeitas à ação prolongada do fogo e práticas alternativas de manejo, Heringer et al. (2002) verificaram que os tratamentos sem queima apresentaram cobertura total do solo e diferenciaram-se da área queimada que sempre teve superfície de solo descoberto ($p < 0,05$) (Tabela 1). No período de avaliação, compreendendo o ano seguinte à queima, a área queimada apresentava 12% de superfície descoberta na primavera, que se reduziu a 8, 4 e 3%, respectivamente, no verão, outono e inverno. O aumento na cobertura do solo desta área, no decorrer do ano, foi devido ao aparecimento de espécies de primeira sucessão, isto é, de primeira brotação, e no outono e inverno, sobretudo, à maior quantidade de material morto, depositado na superfície da pastagem.

Com a incidência de uma nova queima no final do inverno (término do trabalho dos autores) houve regressão da cobertura para valores muito baixos, em função da pequena frequência de espécies prostradas e do desaparecimento generalizado do mantillo da superfície do solo. Portanto, não chega a ocorrer cobertura completa do solo entre uma

queima e outra (a cada dois anos), resultando que uma superfície considerável de solo permanece descoberta e à deriva de ventos, sol, chuva e pisoteio dos animais.

Tabela 1 – Cobertura do solo e umidade volumétrica do solo em pastagem natural sob distintos manejos.

Tratamentos	Cobertura do solo	Umidade volumétrica
	%	gKg ⁻¹
Sem queima e sem roçada (SQSR)	100 a*	277,1 a
Sem queima e roçado	100 a	257,9 b
Melhorado há 24 anos (CNM 24)	100 a	261,3 b
Melhorado há 7 anos (CNM 7)	100 a	262,4 b
Queima há mais de 100 anos	93 b	225,8 c

* Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Waller-Duncan a um nível de 5% de probabilidade

FONTE: Heringer, et al. (2002)

Os autores encontraram, também, que a umidade volumétrica média, na profundidade de 0 a 15cm, apontou para uma maior capacidade de retenção de água nas áreas sem queima, reflexo da maior cobertura do solo e da presença de restos vegetais mortos na superfície do solo (Tabela 1). Dentre os tratamentos sem queima, a umidade foi maior no SQSR, ao qual se seguiram o CNM 7 e 24 anos, o roçado e o queimado ($p < 0,05$). A disponibilidade de água às plantas é um dos fatores mais importantes para o crescimento, e poderia ter sido fundamental na definição do potencial de produção de forragem.

Além desses trabalhos, vários autores (CORRÊA; ARONOVICH, 1979; FONTANELLI; JACQUES, 1988; FONTANELLI et al., 1994; CARDOSO et al., 2003) concluíram que a cobertura do solo diminui com a queima, levando de três a sete meses para retornar às condições anteriores.

Um dos efeitos das queimadas, segundo Santos et al. (1992), é a imediata elevação da temperatura local. A intensidade desse efeito depende, em grande parte, tanto da quantidade de massa vegetal combustível que recobre o solo, quanto o tipo de massa vegetal. A variabilidade da temperatura do solo, durante a queima, depende da sua intensidade e duração. Os principais efeitos da elevação da temperatura do solo estão relacionados a alterações biológicas e químicas. A queima produz uma esterilização parcial do solo, seguida de um

aumento rápido da população de microorganismos que, por sua vez, atinge um nível de equilíbrio.

A camada superficial é a que demonstra maior sensibilidade à atuação do fogo. Segundo Rheinheimer et. al., (2003), a medição da temperatura do solo, realizada pelos autores, revelou que, depois de ateadado o fogo, houve uma demora de 4 minutos para atingir a temperatura máxima, de aproximadamente 70°C, voltando aos padrões normais em 3 minutos. De um modo geral, todos os atributos químicos do solo avaliados tenderam a valores originais a partir dos 90 dias após a queima.

Avaliando os efeitos do fogo em uma floresta de bracatinga, no município de Colombo, PR, Grodzki et al., (2004) verificaram que a temperatura que estava em torno de 23°C a 2,5cm de profundidade, permaneceu assim até a passagem do fogo, elevando-se gradualmente até pouco acima dos 24°C aos 445 segundos, permanecendo neste patamar até 500 segundos, resultado que mostrou não haver alteração da temperatura que afete a atividade biológica do solo nesta profundidade. Uma explicação dada pelos autores, para esse fato, seria a umidade da manta ou serrapilheira constituída, em boa parte, de folíolos de bracatinga, que formou uma massa densa e funcionou como isolante térmico entre o fogo e o solo.

Verificando os efeitos do fogo sobre a temperatura do solo, Damé et al., (1996), observaram que ela variou de 20° a 22°C na superfície, 15,3° a 15,9°C a 5 cm de profundidade e de 14,6° a 14,8°C a 10 cm de profundidade, respectivamente antes e após a queima. Os autores colocam que os efeitos não foram tão pronunciados, provavelmente, devido ao baixo resíduo na área.

Apesar de muitos estudos apontarem as queimadas como método de manejo condenável, não só por afetar o solo, mas também, por contribuírem com o efeito estufa, afetar as pessoas causando distúrbios respiratórios, atrapalhar a aviação etc., ainda é um manejo de solo muito usado em todo o país.

Já existe base científica para afirmar que a poluição do ar tem efeitos negativos para a saúde humana. Os impactos decorrentes dos gases emitidos pela combustão de biomassa ainda não foram bem avaliados, mas afetam um número significativo de pessoas, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde a queimada constitui uma prática agrícola bastante difundida. Além disso, incêndios em florestas ou em cerrado são constantes durante os meses de inverno, quando a reduzida precipitação leva à perda de umidade da massa vegetal, propiciando a ocorrência de queimadas involuntárias que fogem ao controle (RIBEIRO, ASSUNÇÃO, 2002).

Comparando o efeito dos manejos ceifa, queima, diferimento e adubação sobre uma pastagem natural, Fontaneli et al., (1994) concluíram que a disponibilidade de forragem diminui com a queima, em relação aos tratamentos diferimento com e sem adubação e à testemunha. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Henriger; Jacques (2002) que compararam cinco tratamentos – sem queima há 32 anos com e sem roçada, melhorado há 7 e 24 anos e queima bienal há mais de 100 anos. Concluíram que os sistemas de manejo sem queima, com ou sem roçada, são mais produtivos e preservam melhor o solo em função da cobertura por plantas e material morto, e reciclagem de nutrientes via material morto, além disso, são ecologicamente mais sustentáveis.

A degradação das pastagens tem afetado diretamente a sustentabilidade da pecuária nacional, além de diminuir o valor das terras e atrasar a idade de abate dos animais. Mesmo assim, existe um número reduzido de pecuaristas recuperando pastagens de suas propriedades, ou mesmo preocupados com esse problema. A adoção de medidas com o preparo correto do solo, a escolha da espécie forrageira adequada para o local, o uso de sementes qualificadas e na quantidade certa, o manejo correto das pastagens, observando a pressão de pastejo e um período de descanso adequado e também adubações de manutenção, seriam suficientes para resolver o problema. Persistindo o processo de degradação, com certeza haverá prejuízos irreversíveis para os recursos naturais (PERON; EVANGELISTA, 2004).

Existem várias alternativas para as queimadas, conforme Jacques (2003) - as de baixo custo e que, até certo ponto, estariam ao alcance dos produtores, em geral, como ajuste de carga, roçada, diferimento, sobressemeadura de espécies de estação fria, suplementação protéica/nitrogenada, “banco de proteína” e outras; e aquelas mais sofisticadas e mais onerosas que utilizam tecnologias modernas, como introdução de espécies cultivadas de estação fria com uso de máquinas apropriadas e até mesmo aviação agrícola. Entretanto, todas as alternativas exigem um mínimo de conhecimento a respeito do crescimento das espécies nativas e uma idéia clara sobre os períodos de carência e produção (sazonalidade). Ainda, é fundamental que o produtor exerça o controle da vegetação através do manejo - com períodos de utilização e períodos de descanso das pastagens - o que, em alguns casos, precisa de uma orientação técnica.

Como parte do esforço de monitorar e minimizar o fenômeno das queimadas, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 80 um sistema operacional de detecção de queimadas. A partir de 1998 o trabalho passou a ser feito juntamente com o IBAMA/PROARCO, dando ênfase particular à Amazônia. Os dados são obtidos nas imagens termais dos satélites meteorológicos NOAA

quatro vezes ao dia, GOES oito vezes ao dia, e Terra e Aqua duas vezes por dia, e em seguida integrados a dois sistemas geográficos de informações (SpringWeb-queimadas e TerraLib-queimadas) que podem ser utilizados pela Internet. As informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Todo o País e grande parte da América do Sul são cobertos pelas imagens, pois são utilizadas recepções das estações do INPE em Cachoeira Paulista, SP e de Cuiabá, MT (INPE, 2007).

Conjugando sensoriamento remoto, cartografia digital e comunicação eletrônica, a equipe realiza, desde 1991, um monitoramento circunstanciado e efetivo das queimadas em todo o Brasil. Os mapas elaborados indicam que se trata de um fenômeno nacional, vinculado essencialmente à atividade agrícola, mas com importante variabilidade espacial e interanual. A Amazônia Legal, por exemplo, concentra mais de 85% das queimadas que ocorrem de forma constante no Brasil. Nas outras regiões, o padrão espacial também é descontínuo e mais difuso, com áreas de maior ou menor concentração. A região Centro-Oeste concentra mais de 35% das queimadas, seguida pelo Sudeste (29%) e Norte (24%). Os Estados que mais contribuíram nos últimos três anos (de 1999 a 2001) foram: Mato Grosso (38%), Pará (27%), Maranhão (10%) e Tocantins (7%) (MIRANDA, 2002).

2.2 Modelagem Estatística

Dentre as formas de monitoramento e prevenção de queimadas, há a técnica de modelagem que tem por objetivo permitir a previsão, com base em uma determinada probabilidade de ocorrência do fenômeno. Para tal, pode ser utilizado um modelo de regressão linear simples que é determinado quando uma variável independente ou explicativa X é utilizada para prever o valor de uma variável dependente ou de resposta Y . Mas, freqüentemente, acontece que um modelo melhor ajustado pode ser desenvolvido, se for considerada mais de uma variável explicativa. Neste caso, tem-se os modelos de regressão linear múltipla nos quais diversas variáveis explicativas possam ser utilizadas para prever o valor de uma variável dependente (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

Em geral, a variável dependente ou de resposta, Y , pode estar relacionada a k variáveis independentes. O modelo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

é chamado de regressão linear múltipla com k variáveis independentes. Os parâmetros β_j , $j = 0, 1, \dots, k$, são chamados de coeficientes de regressão.

onde:

β_0 = interseção de Y ;

β_1 = inclinação de Y em relação à variável X_1 , mantendo constantes as variáveis X_2, X_3, \dots, X_k ;

β_2 = inclinação de Y em relação à variável X_2 , mantendo constantes as variáveis X_1, X_3, \dots, X_k ;

\vdots

β_k = inclinação de Y em relação à variável X_k , mantendo constantes as variáveis $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{k-1}$;

ε_i = erro aleatório em Y , para a observação i .

O método dos mínimos quadrados pode ser usado para estimar os coeficientes de regressão no modelo múltiplo, mas, no ajuste de um modelo de regressão múltipla, é muito mais conveniente expressar as operações matemáticas usando a notação matricial. Suponha que haja k regressores e n observações $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}, y_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$, e que o modelo relacionando os regressores à resposta seja

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Esse modelo é um sistema de n equações, que pode ser expresso na notação matricial como $\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{b} + \mathbf{e}$ sendo:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \mathbf{M} \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \mathbf{L} & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \mathbf{L} & x_{2k} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \mathbf{L} & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \mathbf{M} \\ b_k \end{bmatrix} \quad \mathbf{e} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \mathbf{M} \\ e_n \end{bmatrix}$$

Em geral, \mathbf{y} é um vetor ($n \times 1$) das observações, \mathbf{X} é uma matriz ($n \times p$) dos níveis das variáveis independentes, com $p = k + 1$; $\mathbf{\beta}$ é um vetor ($p \times 1$) dos coeficientes de regressão e \mathbf{e} é um vetor ($n \times 1$) dos erros aleatórios.

Deseja-se encontrar o vetor dos estimadores de mínimos quadrados, $\hat{\mathbf{b}}$ que minimiza

$$L = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \mathbf{e}'\mathbf{e} = (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b})'(\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{b}). \quad (2.3)$$

O estimador de mínimos quadrados $\hat{\mathbf{b}}$ é a solução para β nas equações $\frac{\partial L}{\partial \mathbf{b}} = 0$, onde:

$$\hat{\mathbf{b}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y}$$

A matriz de variância e covariância estimada $\hat{\mathbf{V}}(\hat{\mathbf{b}})$:

$$\hat{\mathbf{V}}(\hat{\beta}) = \begin{bmatrix} s^2\{b_0\} & s\{b_0, b_1\} & \mathbf{L} & s\{b_0, b_k\} \\ s\{b_0, b_1\} & s^2\{b_1\} & \mathbf{L} & s\{b_1, b_k\} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & & \mathbf{M} \\ s\{b_k, b_0\} & s\{b_k, b_1\} & \mathbf{L} & s^2\{b_k\} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\text{é dado por: } s^2\{b\} = \text{QME}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \text{ onde } \text{QME} = \frac{\mathbf{y}'\mathbf{y} - \beta'\mathbf{X}'\mathbf{y}}{n-p}, \quad p = k + 1 \quad (2.5)$$

Nos problemas de regressão linear múltipla, os testes de hipóteses relativos aos parâmetros do modelo são úteis na medida da adequação destes. Como no caso da regressão linear simples, testes de hipóteses requerem que os termos do erro ε_i no modelo de regressão sejam normal e independentemente distribuídos com média zero e variância σ^2 (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Outros testes necessários são os para os coeficientes individuais de regressão que são úteis na determinação do valor potencial de cada um dos regressores no modelo de regressão.

A adição de uma variável ao modelo de regressão sempre aumenta a soma quadrática da regressão e sempre diminui a soma quadrática do erro. Tem-se, então, que decidir se o aumento na soma de quadrática da regressão é grande o suficiente para justificar o uso de uma variável adicional ao modelo. Além disso, a adição de uma variável não importante ao modelo pode, na verdade, aumentar a soma quadrática do erro, indicando que a adição de tal variável fez realmente o modelo apresentar um ajuste mais pobre dos dados (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

As hipóteses para testar a significância de qualquer coeficiente de regressão, como β_j , são:

$$\begin{aligned} H_0: \beta_k &= 0 \\ H_1: \beta_k &\neq 0 \end{aligned}$$

Se $H_0: \beta_j = 0$ não for rejeitada, então isso indica que o regressor x_j poderá ser retirado do modelo. A estatística de teste para essa hipótese é:

$$t_c = \frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_k)}} \quad \hat{V}(\hat{\beta}_k) = S^2(b_k) \quad (2.6)$$

Conclui-se com $(1-\alpha)\%$ de confiança que se $|t_c| \leq t_{(1-\alpha/2, n-p)}$, aceita-se H_0 .

Após a determinação de quais as variáveis que devem permanecer no modelo, deve-se proceder à análise de resíduos para avaliar se o modelo de regressão linear múltipla será apropriado para o conjunto de dados que está sendo estudado. Para se estabelecer essa análise é necessária a observação de alguns pressupostos. Os quatros principais pressupostos da regressão são: normalidade, homocedasticidade, independência dos erros e linearidade que serão descritos a seguir:

Normalidade: requer que os valores de Y sejam normalmente distribuídos para cada valor de x . Enquanto a distribuição dos valores de y_i em torno de cada nível de x não for extremamente diferente de uma distribuição normal, inferências sobre a linha de regressão e sobre coeficientes de regressão não serão seriamente afetadas (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

Os testes mais utilizados para verificar a normalidade de uma amostra de dados são o teste de aderência do Qui-quadrado e o teste de Lilliefors. A vantagem do teste de Lilliefors sobre o teste do Qui-quadrado é que pode ser aplicado sem restrição, para pequenas amostras. Além disto, considera os dados individualmente, não perdendo informação devido a agrupamentos, como ocorre no teste do Qui-quadrado, sendo, na maioria das vezes, mais poderoso que aquele (DEMÉTRIO, 1978).

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi introduzido por Kolgomorov em 1933 para verificar se uma série de dados pertence a uma determinada distribuição com média zero e variância conhecidas. Para se testar normalidade, Lilliefors, em 1967, introduziu uma modificação neste teste, ampliando o seu uso para os casos em que a média e a variância não são especificadas, mas sim, estimadas através dos dados da amostra (DEMÉTRIO, 1978).

Inicialmente, calculam-se a média \bar{X} , a variância S^2 dos dados e a variável

$$z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (2.7)$$

Em seguida, ordena-se os z_i e considera-se:

$F(z_i)$ = proporção de valores esperados $\leq z_i$, valor obtido a partir da tabela de distribuição normal reduzida;

$S(z_i) = k/n$ proporção de valores obtidos $\leq z_i$;

onde k é o número de valores obtidos a partir dos valores observados $\leq z_i$, e n é o número de observações da amostra.

A estatística de Lilliefors (D) é definida da seguinte maneira:

$$D = \sup_{z_i} |F(z_i) - S(z_i)|$$

onde: \sup = supremo em relação a z_i , isto é, a máxima distância vertical z_i entre $F(z_i)$ e $S(z_i)$.

Para a determinação de D , considera-se, em cada ponto z_i , as diferenças $|F(z_i) - S(z_i)|$ e $|F(z_i) - S(z_{i-1})|$ e toma-se apenas a maior delas.

O teste é bilateral onde se tem:

H_0 : É razoável estudar os dados através da distribuição normal;

H_1 : Não é razoável o estudo dos dados através da distribuição normal.

Rejeita-se a hipótese de nulidade, em nível α de probabilidade, quando $D \geq d$. O valor d é encontrado no anexo A.

Homocedasticidade: requer que as variações em torno da linha de regressão sejam constantes para todos os valores de X . Isto significa que Y varia na mesma proporção, quando X for um valor baixo e quando X for um valor elevado. O pressuposto da homocedasticidade é importante na utilização do método dos mínimos quadrados, para determinar os coeficientes de regressão. Se houver sérios afastamentos deste pressuposto, pode-se aplicar transformações de dados ou métodos dos mínimos quadrados ponderados (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

Detectando a heterocedasticidade: Uma forma de pesquisar a existência de heterocedasticidade consiste em estimar o modelo, utilizando mínimos quadrados e fazer o gráfico dos resíduos de mínimos quadrados. Se os erros são homocedásticos, não deve haver qualquer padrão nos resíduos. Se os erros são heterocedásticos, podem tender a exibir maior variação.

Os resíduos são a diferença entre os valores observados Y_i e os correspondentes valores ajustados de \hat{y} . São, geralmente, denotados por ε_i e, definidos por:

$$\varepsilon_i = (y_i - \hat{y}_i) \quad (2.8)$$

Para o modelo de regressão $Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \varepsilon_i$ os resíduos são:

$$\varepsilon_i = y_i - (b_0 + \sum \hat{b}_i x_i) = y_i - b_0 - \sum \hat{b}_i x_i \quad (2.9)$$

Na sua magnitude, os resíduos são representados por um desvio vertical dos y_i observados e os pontos correspondentes a partir da função de regressão estimada, isto é, para os correspondentes valores ajustados \hat{y}_i . A forma envolve os desvios verticais de y_i para a desconhecida regressão linear.

Sob outro modelo, os resíduos são desvios verticais de y_i para os valores ajustados \hat{y}_i em relação à regressão linear estimada e conhecida.

Os resíduos são muito utilizados para os estudos sobre a adequação do modelo de regressão aos dados e as suas principais propriedades são.

Média: a média dos resíduos ε_i para o modelo de regressão linear simples é:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n} = 0 \quad \text{onde } \bar{\varepsilon} \text{ é a média dos resíduos.}$$

A informação de que $\bar{\varepsilon}$ é sempre zero originou-se da informação que os erros verdadeiros ε_i , tem valor esperado $E(\varepsilon_i) = 0$.

Variância: a variância dos n resíduos ε_i é definida como:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}{n - p} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i)^2}{n - p} = \frac{SQE}{n - p} = QME, \quad \text{onde } p \text{ é o número de parâmetros estimados}$$

Se o modelo for apropriado, o QME, como denotado anteriormente, é um estimador não viesado da variância σ^2 dos termos dos erros.

Não dependência: os resíduos ε_i não são variáveis aleatórias independentes, porque envolvem valores ajustados \hat{y}_i , baseados na mesma função de regressão ajustada como resultado. Quando o tamanho da amostra é grande em relação ao número de parâmetros no modelo de regressão, o efeito da dependência sobre os resíduos ε_i não é muito importante e, para alguns fins, pode ser ignorado.

Independência de Erros: requer que o erro seja independente para cada valor de X . Este pressuposto, geralmente, se refere a dados que são coletados ao longo de um período de tempo. Quando os dados são coletados desta maneira, os resíduos para um determinado período de tempo são, freqüentemente, correlacionados com os do período de tempo anterior. Esta independência dos erros pode ser assegurada por um dos processos básicos da experimentação que é a casualização. Quando uma substancial correlação se encontra presente em um conjunto de dados, a validade de um modelo de regressão ajustado pode ficar seriamente comprometida (DEMÉTRIO, 1978 ; LEVINE; BERENSON; STEPHAN. 2000).

A autocorrelação pode ser detectada e medida pela utilização de estatística de Durbin-Watson. Esta estatística mede a correlação entre cada resíduo e o resíduo para o período de tempo imediatamente antecedente àquele de interesse. A estatística de Durbin-Watson (D_w) é definida da seguinte maneira:

$$D_w = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}$$

onde: ε_i corresponde aos valores dos resíduos estimados pelo modelo;
 n é o número de observações.

Durbin e Watson também derivaram a distribuição amostral de D_w , que está apresentada na Figura 1. Os critérios para realização do teste são os seguintes:

1. Se o valor da estatística D_w for menor que d_l , então, rejeita-se H_0 , portanto existe autocorrelação que é positiva;
2. Se o valor da estatística D_w for maior que $4-d_l$, então, rejeita-se H_0 , portanto existe autocorrelação que é negativa;
3. Se o valor da estatística D_w se encontrar entre d_u e $4-d_u$, então, aceita-se H_0 , portanto não existe autocorrelação;
4. Se o valor da estatística D_w se encontrar entre d_l e d_u ou entre $4-d_u$ e $4-d_l$, então, o teste é inconclusivo.

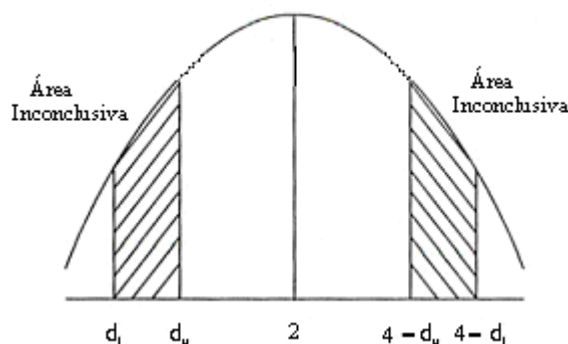


Figura 1 - Derivação da distribuição amostral D_w , a estatística de Durbin e Watson.
(Figura adaptada de Vasconcellos; Alves, 2000)

É importante destacar que o teste de Durbin e Watson apresenta algumas limitações: Não é apropriado quando, entre as variáveis explicativas, está a variável dependente defasada; Não é apropriado para testar a presença de autocorrelação decorrente de processos auto-

regressivos de ordem superior a 1. Também não é adequado para processos que seguem um modelo de médias móveis ou um modelo ARMA de qualquer ordem; É necessário que o modelo seja estimado com termo constante.

Multicolinearidade: refere-se à correlação entre duas variáveis explicativas ou entre uma delas e as demais, incluídas na equação de um modelo. Isso pressupõe que a multicolinearidade ocorre quando, por exemplo, duas variáveis X_1 e X_2 medem aproximadamente a mesma coisa, ou seja, a correlação entre elas é quase perfeita (MATOS, 2000).

Quando tal correlação é elevada, a eficiência dos parâmetros estimados é significativamente afetada, tornando-os instáveis, pois apresentam grandes variâncias e covariâncias. Em consequência disto, os intervalos de confiança tendem a ser maiores, resultando na aceitação da hipótese nula mais prontamente. Também, o valor da estatística t reduz-se e, às vezes, a hipótese de efeito nulo pode ser aceita quando deveria ser rejeitada (GUJARATI, 2000; MATOS, 2000).

A multicolinearidade, conforme Gujarati (2000), é essencialmente um fenômeno da amostra, não se tem um método único para detectá-la ou para medir sua intensidade. O que se tem são algumas regras práticas, sendo duas delas descritas a seguir:

1. **Alto R^2 , porém poucas razões t significativas.** Este é o clássico sintoma de multicolinearidade. Se R^2 é alto (acima de 0,8), o teste F , na maioria dos casos, rejeitará a hipótese de que os coeficientes de inclinação parcial são simultaneamente iguais a zero, mas os testes t individuais vão mostrar que nenhum ou muito poucos dos coeficientes de inclinação parcial são estatisticamente diferente de zero.
2. **Altas correlações dois a dois entre os regressores.** Uma outra regra prática sugerida é que, se o coeficiente de correlação dois a dois ou de ordem zero for alto (acima de 0,8), então a multicolinearidade se constitui em um sério problema. O problema com este critério é que, embora altas correlações de ordem zero podem sugerir colinearidade, não é necessário que elas sejam altas para haver colinearidade em qualquer caso específico. Portanto, em modelos que envolvam mais de duas variáveis explicativas, a correlação simples ou de ordem zero não nos dará um indício infalível da presença da multicolinearidade. Naturalmente, se houver somente duas variáveis explicativas, as correlações de ordem zero serão suficientes.

São raros os trabalhos na literatura que tentam modelar, em função dos elementos meteorológicos, as queimadas. Ray; Nespstad; Moutinho (2005) utilizaram a regressão linear múltipla para encontrar as variáveis mais correlacionadas com a propagação do fogo em três estruturas de floresta com história de distúrbios conhecidos no Pará. Determinaram que o déficit de pressão de vapor explicava 50% da variabilidade da taxa de propagação do fogo. Além disso, eles encontraram que o comportamento do fogo é explicado pela precipitação, índice de área foliar e altura média do canopi.

Para determinar o conteúdo de umidade em arbustos e desta forma predizer o risco de fogo, Castro; Tudela; Sebastiá (2003) determinaram um modelo de regressão linear múltiplo, onde a variável dependente era o percentual de combustível fino ativo, e as explicativas eram fatores meteorológicos. Eles determinaram que as variáveis mais correlacionadas com o percentual de umidade foram a soma diária da temperatura mínima de 15 dias antes da amostragem, a reserva de 150 mm de água no solo, a data e a umidade relativa do ar dos últimos sete dias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A variável de interesse (resposta) foi o número de chamadas diárias recebidas pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria, obtidas dos seus fichários, no período de 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2004, e o local de ocorrência da queimada. Além dessa variável, foram coletadas na estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) dados referentes aos elementos meteorológicos temperatura máxima (max) e mínima (min), umidade relativa do ar coletadas às 9 h (UR₉), às 15 h (UR₁₅) e às 21 h (UR₂₁), insolação (Ia), precipitação (prtl) e velocidade média do vento (velvent) do dia de sua ocorrência e pelo número de dias sem precipitação pluviométrica (NDPP) anteriores ao da ocorrência da variável de interesse, pois segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) esses fatores possuem alta correlação com a presença de queimadas no Brasil. Desta forma os elementos meteorológicos foram considerados variáveis importantes na identificação de áreas com potencial de serem queimadas.

As temperaturas máximas foram observadas em termômetro de máximos, as de mínimas em termômetros de mínimos, em graus Celsius (°C); a umidade relativa do ar é registrada em um psicrômetro em porcentagem (%); a insolação foi verificada por um heliógrafo e mede o número de horas de sol no dia; a precipitação foi medida pelo pluviômetro e registrada pelo pluviógrafo em milímetros (mm), e a velocidade do vento foi medida por meio de um anemômetro em metros por segundo (ms⁻¹).

Com base nas variáveis coletadas foram construídas as seguintes variáveis:

- temperatura média (tm) determinada pela equação:

$$tm = \frac{\max + \min}{2} \quad (3.1)$$

- média da temperatura média de dois (tm2), três (tm3), quatro (tm4) e cinco (tm5) dias anteriores à ocorrência do evento;
- temperatura máxima média de dois (max2), três (max3), quatro (max4) e cinco (max5) dias anteriores à ocorrência do evento;
- temperatura mínima média de dois (min2), três (min3), quatro (min4) e cinco (min5) dias anteriores à ocorrência do evento;
- insolação acumulada de dois (Ia2), três (Ia3), quatro (Ia4) e cinco (Ia5) dias anteriores à ocorrência do evento;
- umidade relativa média determinada pela equação:

$$UR_m = \frac{(UR_9 + UR_{15} + 2UR_{21})}{4} \quad (3.2)$$

- média da umidade relativa à média de dois (URm2), três (URm3), quatro (URm4) e cinco (URm5) dias anteriores à ocorrência do evento;
- precipitação acumulada de um (PA1), três (PA3), cinco (PA5), de sete (PA7), de dez (PA10) e quinze (PA15) dias anteriores à ocorrência do evento.

Após o estabelecimento das variáveis descritas acima e com base no modelo geral apresentado abaixo, construiu-se doze modelos com todas as variáveis explicativas, verificando-se as pressuposições associadas a ele. Esses doze modelos foram encontrados da seguinte forma: retirou-se do banco de dados todos os valores correspondentes a um ano para que servissem de validação. Após a determinação do modelo, esses dados eram acrescentados ao banco de dados e os valores referentes a outro ano eram retirados e um novo modelo encontrado e, assim, sucessivamente para todos os anos do período considerado. O modelo geral (\hat{Y}_{g1}) para o primeiro conjunto de variáveis é mostrado abaixo.

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{g1} = & \hat{b}_0 + \hat{\beta}_1 \max + \hat{\beta}_2 \min + \hat{\beta}_3 UR_9 + \hat{\beta}_4 UR_{15} + \hat{\beta}_5 UR_{21} + \hat{\beta}_6 Ia + \hat{\beta}_7 prt01 + \hat{\beta}_8 velvent + \\ & \hat{\beta}_9 NDPP + \hat{\beta}_{10} tm + \hat{\beta}_{11} tm2 + \hat{\beta}_{12} tm3 + \hat{\beta}_{13} tm4 + \hat{\beta}_{14} tm5 + \hat{\beta}_{15} max2 + \hat{\beta}_{16} max3 + \\ & \hat{b}_{17} max4 + \hat{b}_{18} max5 + \hat{b}_{19} min2 + \hat{b}_{20} min3 + \hat{b}_{21} min4 + \hat{b}_{22} min5 + \hat{b}_{23} Ia2 + \hat{b}_{24} Ia3 + \\ & \hat{b}_{25} Ia4 + \hat{b}_{26} Ia5 + \hat{b}_{27} UR_m + \hat{b}_{28} UR_{m2} + \hat{b}_{29} UR_{m3} + \hat{b}_{30} UR_{m4} + \hat{b}_{31} UR_{m5} + \hat{b}_{32} PA1 + \\ & \hat{b}_{33} PA3 + \hat{b}_{34} PA5 + \hat{b}_{35} PA7 + \hat{b}_{36} PA10 + \hat{b}_{37} PA15 \end{aligned}$$

Após, retirou-se os dados equivalentes aos anos de 2003 e 2004, para validação, encontrando dessa forma outro modelo e, também, dividiu-se o banco em duas partes: uma parte continha os anos de 1993 a 1998 onde se encontrou um modelo e sua validação foi realizada com os dados de 1999 a 2004; a outra parte continha os dados de 1999 a 2004 e a validação do modelo determinada, por ela, foi com os dados de 1993 a 1998.

Com a realização desta etapa foram construídas outras variáveis, com base nas variáveis explicativas iniciais coletadas na estação meteorológica da UFSM, que estão escritas abaixo:

- temperatura média de um dia (med(1)) e dois (med(2)) dias anteriores à ocorrência da variável de interesse;

- umidade relativa média de um dia (urmed(1)) e dois (urmed(2)) dias anteriores à ocorrência da variável de interesse;
- insolação de um dia (insol(1)) e dois (insol(2)) dias anteriores à ocorrência da variável de interesse;
- precipitação de um dia (prtol(1)), dois (prtol(2)), três (prtol(3)), quatro (prtol(4)) e cinco (prtol(5)) dias anteriores à ocorrência da variável de interesse.

Novamente construiu-se doze modelos com todas as variáveis explicativas, com base no modelo geral apresentado abaixo, verificando as pressuposições a ele associadas. Esses doze modelos foram encontrados da seguinte forma: retirou-se do banco de dados todos os valores correspondentes a um ano para que servissem de validação. Após a determinação do modelo, esses dados eram acrescentados ao banco de dados e os valores referentes a outro ano eram retirados e um novo modelo encontrado e assim sucessivamente para todos os anos do período considerado. O modelo geral (\hat{Y}_{g2}) para o segundo conjunto de variáveis é mostrado abaixo.

$$\hat{Y}_{g2} = \hat{b}_0 + \hat{\beta}_1 \text{max} + \hat{\beta}_2 \text{min} + \hat{\beta}_3 \text{UR}_9 + \hat{\beta}_4 \text{UR}_{15} + \hat{\beta}_5 \text{UR}_{21} + \hat{\beta}_6 \text{Ia} + \hat{\beta}_7 \text{prtol} + \hat{\beta}_8 \text{velvent} + \hat{\beta}_9 \text{NDPP} + \hat{\beta}_{10} \text{tm} + \hat{\beta}_{11} \text{med}(1) + \hat{\beta}_{12} \text{med}(2) + \hat{\beta}_{13} \text{urmed}(1) + \hat{\beta}_{14} \text{urmed}(2) + \hat{\beta}_{15} \text{insol}(1) + \hat{\beta}_{16} \text{insol}(2) + \hat{b}_{17} \text{prtol}(1) + \hat{b}_{18} \text{prtol}(2) + \hat{b}_{19} \text{prtol}(3) + \hat{b}_{20} \text{prtol}(4) + \hat{b}_{21} \text{prtol}(5).$$

Após, retirou-se os dados equivalentes aos anos de 2003 e 2004, para validação, encontrando dessa forma outro modelo e, também, dividiu-se o banco em duas partes: uma parte continha os anos de 1993 a 1998, onde se encontrou um modelo e sua validação foi realizada com os dados de 1999 a 2004; a outra parte continha os dados de 1999 a 2004 e a validação do modelo determinada, por ela, foi com os dados de 1993 a 1998.

Com isso foram avaliados um total de 30 modelos, 15 para o primeiro conjunto de variáveis e 15 para o segundo conjunto de variáveis. Para a verificação das pressuposições e avaliações das variáveis significativas foi adotado um nível de significância (α) de 5%.

Para selecionarmos o conjunto de variáveis independentes a serem consideradas no modelo entre todas as variáveis selecionadas, pode-se utilizar as seguintes técnicas: regressão por etapas que consiste na construção iterativamente de uma seqüência de modelos de regressão pela adição ou remoção de variáveis em cada etapa. O critério para adicionar ou

remover uma variável em qualquer etapa é geralmente expresso em termos de um teste parcial F; seleção progressiva (stepwise) que está baseada no princípio de que os regressores devem ser adicionados ao modelo, um de cada vez, até que não haja mais candidatos a regressor que produzam aumento significativo na soma quadrática da regressão.

A escolha entre os modelos estimados foi realizada tomando por base, juntamente, os seguintes critérios:

- Erro quadrado médio de previsão (EQMP): uma maneira de medir a capacidade preditiva atual do modelo de regressão selecionado é usar este modelo para prever cada caso dos dados novos e então calcular o quadrado médio dos erros de previsão, denotado pelo dado (NETER et al., 1996):

$$EQMP = \frac{\sum_{i=1}^{n^*} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n^*} \quad (3.3)$$

Em que: Y_i é o valor da variável resposta no i -ésimo caso de validação;

\hat{Y}_i é o valor predito para o i -ésimo caso de validação baseado no modelo construído para os dados;

n^* é o número de casos utilizados para a validação.

- O coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) para o número de parâmetros da regressão é dado por (Montgomery; Runger, 2003):

$$R_a^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p} (1 - R^2) \quad (3.4)$$

em que: n é o número de observações;

p é o número de parâmetros estimados

R^2 é o coeficiente de determinação múltipla.

- A estatística F_c dada por: $F_c = \frac{QMReg}{QMRes}$ (3.5)

- Erro padrão de estimativa (EPE): é a medida da variabilidade em torno da linha de regressão (seu desvio padrão) e é definido como:

$$EPE = \sqrt{QME}$$

em que: QME é o quadrado médio do erro.

- Coeficiente de correlação múltiplo (R): é a raiz quadrada positiva do coeficiente de determinação múltiplo, sendo útil na regressão linear múltipla para descrever o relacionamento entre as variáveis.
- Parcimoniosidade nos parâmetros (PP): deve-se escolher, preferencialmente, os modelos com um número menor de parâmetros.

Para cada um dos critérios descritos acima, foi determinado um posto em cada modelo ajustado, onde valor menor do posto foi dado ao melhor ajuste para aquele critério. Foi considerado o melhor modelo o que possui a menor soma de postos.

Com a informação do local de ocorrência da queimada foram verificados quais os de maior número de ocorrências, criando assim um mapa de maior incidência de queimadas acidentais. Esses dados foram agrupados por bairro, conforme a divisão vigente no município de Santa Maria – RS em 2005. Após foram obtidos os quartis dessa variável estabelecendo que os bairros abaixo do 1º quartil estavam na faixa de pouca chance de ocorrência de queimadas acidentais, os bairros entre o 1º e o 3º quartil numa faixa média e acima do 3º quartil estavam em uma faixa com grandes chances de ocorrência de queimadas em campo. Essas faixas foram representadas no mapa do município, sendo que os bairros com poucas chances de ocorrência de queimadas foram marcados pela cor verde, os de médias chances de ocorrência de queimadas, marcados de amarelo e os bairros com grandes chances de ocorrência de queimadas acidentais foram coloridos de vermelho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 o Corpo de Bombeiros recebeu um total de 1765 chamadas distribuídas em 973 dias num total de 4383 dias. Esse valor não está de acordo com o número de focos de calor observados pelos satélites que fazem essa investigação no país, pois para o mesmo período registraram-se em Santa Maria apenas 13 focos de calor.

Tabela 2 - Distribuição do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria, no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.

Número de chamadas	Número de dias	Número de dias acumulados	Percentual	Percentual Acumulado
0	3410	3410	77,80	77,80
1	607	4017	13,84	91,64
2	184	4201	4,20	95,84
3	84	4285	1,92	97,76
4	38	4323	0,87	98,63
5	19	4342	0,43	99,06
6	21	4363	0,48	99,54
7	9	4372	0,20	99,74
8	3	4375	0,07	99,81
9	4	4379	0,09	99,90
10	2	4381	0,05	99,95
11	2	4383	0,05	100,00

Observa-se na Tabela 2 que em 77,80% do período avaliado, o Corpo de Bombeiros não recebeu chamadas para combater queimadas em campo, no município de Santa Maria, RS. Na Tabela 3 estão apresentadas as principais medidas descritivas dos fatores meteorológicos, considerados nesse estudo, para os dias em que o Corpo de Bombeiros foram requisitados para combater fogo em campo no município.

Pode-se observar, na Tabela 3, que o Corpo de Bombeiros, no período avaliado não recebeu muitas chamadas diárias para combater queimadas, pois 25% dessas chamadas foram superiores a dois (3º quartil) chegando ao máximo de 11, sendo que dos 973 dias que ocorreram chamadas ao Corpo de Bombeiros em 607 deles, eles receberam apenas uma chamada para combater fogo em campo. O que se verifica, também, é que em 79% (771/973)

dos dias em que houve chamadas, não foi registrada precipitação pluviométrica, sendo que destes 13,7% faziam dois dias que não choviam.

Pode-se verificar, também, que entre os dias em que não ocorreram chamadas, em 60% (2042/3410) deles não ocorreu precipitação, e em 43% (1462/3410) havia chovido no dia anterior e em 25% dos dias choveu mais de 3mm (3º quartil).

Tabela 3 – Medidas descritivas para as variáveis queimadas, max, min, UR₉, UR₁₅, UR₂₁, Ia, prtol, velvent, NDPP, no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.

Para os dias em que ocorreram chamadas ao Corpo de Bombeiros										
	n	Média	Mediana	Moda	Frequência Modal	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil	Dev. padrão
queimadas	973	1,81	1,00	1,00	607	1,00	11,00	1,00	2,00	1,48
max	973	27,52	28,40	30,60	29	8,40	39,00	24,20	31,40	5,54
min	973	14,82	15,70	14,2 e 20,4	16	0,10	28,20	10,70	19,20	5,70
UR9	973	77,17	79,00	98,00	55	30,00	100,00	68,00	90,00	15,31
UR15	973	52,51	51,00	48,00	43	19,00	98,00	44,00	60,00	13,53
UR21	973	76,10	78,00	81,00	38	35,00	99,00	68,00	86,00	13,27
Ia	973	8,05	8,90	0,00	33	0,00	12,60	6,40	10,30	3,23
prtol	973	2,97	0,00	0,00	771	0,00	136,60	0,00	0,00	10,30
velvent	973	70,98	61,80	54,60	5	8,00	783,60	42,50	88,00	47,23
NDPP	973	4,39	4,00	2,00	133	0,00	21,00	2,00	6,00	3,73
Para os dias em que não ocorreram chamadas ao Corpo de Bombeiros										
max	3410	24,50	25,00	29,00	64	6,80	40,20	20,40	29,00	5,89
min	3410	14,82	15,60	20,00	57	-2,90	26,60	11,40	19,20	5,38
UR9	3410	86,11	89,00	98,00	462	10,00	100,00	79,00	96,00	11,51
UR15	3410	66,30	64,00	98,00	114	17,00	100,00	54,00	79,00	16,69
UR21	3410	85,25	88,00	98,00	275	29,00	100,00	79,00	94,00	10,53
Ia	3410	5,44	5,80	0,00	613	0,00	13,30	1,00	9,00	4,10
prtol	3410	5,87	0,00	0,00	2042	0,00	136,50	0,00	3,20	14,05
velvent	3410	59,55	52,75	34,00	15	0,60	781,50	35,00	76,20	37,58
NDPP	3410	1,89	1,00	0,00	1462	0,00	23,00	0,00	3,00	2,76

Comparou-se por meio do Teste U de Mann-Whitney as variáveis para as duas subdivisões apresentadas na Tabela 3, a primeira considerou-se apenas os dias em que ocorreram chamadas ao Corpo de Bombeiros e a segunda com os dias em que não ocorreram chamadas.

Observou-se, que a única variável que não diferiu significativamente, a nível de 5% de probabilidade de erro foi a temperatura mínima (min). Assim, nos dias em que ocorreram chamadas ao Corpo de Bombeiros a temperatura máxima, a insolação, a velocidade do vento e o número de dias sem precipitação foram, significativamente superiores, e a umidade relativa das 9 h, 15 h e 21 h e a precipitação significativamente inferiores aos dias em que não

ocorreram chamadas para que o Corpo de Bombeiros combatesses fogo em campo no município.

Como pode ser verificado na Figura 2 as chamadas se concentram principalmente à tarde, entre 13 h e 20 horas, com 70% das chamadas, o que pode ser explicado pelo fato de que pela manhã o campo está úmido devido ao sereno.

Foi averiguada a distribuição do número de queimadas ao longo dos meses em todos os anos e quanto ao dia da semana. Na Tabela 4, verifica-se quais os meses do ano e quais os anos em que houve mais chamadas ao Corpo de Bombeiros.

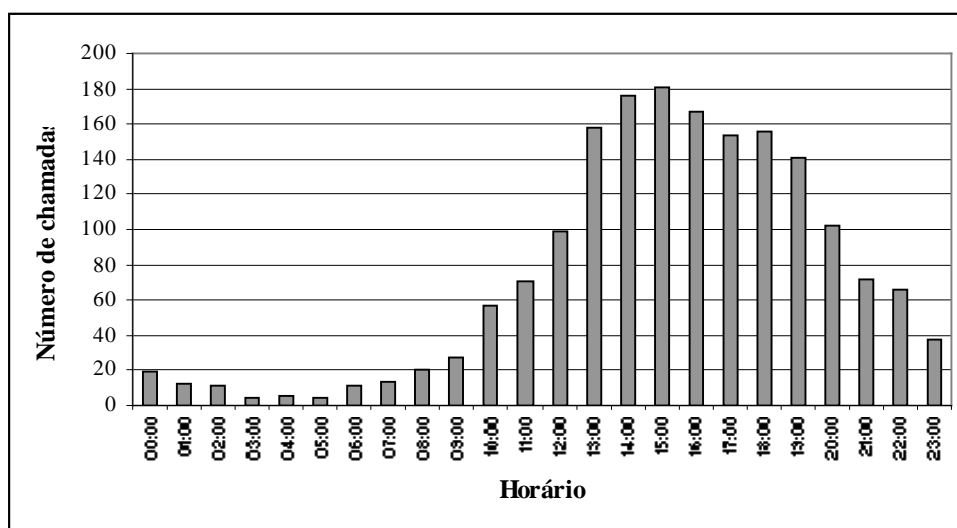


Figura 2 – Distribuição, por hora, do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros.

Observa-se que o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combate a queimadas oscila muito de ano para ano, e suas maiores ocorrências foram nos anos de 1999 e 2004.

Os meses de janeiro, julho, dezembro e principalmente agosto foram os que apresentaram um maior número de chamadas, de acordo com dados do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que observou, durante o período de junho a novembro, que grande parte do país é acometido por queimadas, praticamente em todas as regiões, com maior ou menor intensidade. E, além disso, conforme Fernandes, Rosa e Coelho Netto (1998) os meses de janeiro a abril também possuem alta concentração destes eventos, ocorridas nos períodos de estiagem do verão.

Tabela 4 – Evolução do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de Santa Maria – RS no período de 1993 a 2004.

Meses	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Total
Janeiro	6	22	8	9	18	6	29	45	4	59	9	20	235
Fevereiro	5	3	7	1	0	4	8	7	3	16	7	30	91
Março	7	7	9	2	10	3	47	4	5	3	2	43	142
Abril	2	6	12	2	15	11	6	6	4	7	8	9	88
Mai	1	4	5	6	12	4	6	3	9	6	14	2	72
Junho	1	1	10	16	3	4	1	14	12	17	1	9	89
Julho	3	24	27	26	23	3	9	10	15	7	22	27	196
Agosto	46	25	38	38	18	8	41	44	35	18	56	4	371
Setembro	9	6	3	16	8	5	7	25	0	11	26	16	132
Outubro	4	0	6	0	1	4	4	1	5	1	9	8	43
Novembro	8	9	27	8	4	8	14	4	11	3	1	18	115
Dezembro	9	11	36	7	9	17	45	3	17	7	3	27	191
Total	101	118	188	131	121	77	217	166	120	155	158	213	1765

Cruzando o número de chamadas com o dia da semana, Tabela 5, observa-se que se distribuem equivalentemente durante a semana.

Tabela 5 – Cruzamento da variável número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros com o dia da semana do ocorrido, entre 1º de Janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2004, no município de Santa Maria – RS.

Dia da semana	Número de queimadas					Total
	0	1	2	3	> 4	
segunda-feira	492	87	22	13	12	626
terça-feira	485	87	27	14	13	626
quarta-feira	486	85	28	12	15	626
quinta-feira	505	74	27	8	12	626
sexta-feira	481	93	31	10	12	627
sábado	481	88	26	14	17	626
domingo	480	93	23	13	17	626
Total	3410	607	184	84	98	4383

Mas, para observar se existe adequação de ajustamento entre o observado e o esperado realizou-se o teste do Qui-quadrado ($\chi_c^2 = 10,71$; $p < 0,999$), que veio confirmar que a variável número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros não são diferentes para os dias da semana.

Como o interesse está em conhecer o tipo de relacionamento existente entre o número de chamadas telefônicas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combater queimadas em

campo e os fatores meteorológicos, foi determinado o coeficiente de correlação entre as variáveis.

Observa-se, na Tabela 6, que a correlação entre a variável resposta e suas preditoras é fraca. A variável explicativa que mais se correlaciona com o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros do município é a umidade relativa média (URm), onde se obteve uma correlação $r = -0,41$, ou seja quanto menor a umidade relativa maiores serão as chances de haver uma queimada. Seguida por essa variável estão UR₂₁, UR₉, UR₁₅, NDPP e URm2, sendo que para todas as outras variáveis testadas a correlação foi inferior a 0,3.

Tabela 6 – Correlação linear de Pearson (r) entre a variável número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros e elementos meteorológicos, avaliados de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 no município de Santa Maria – RS.

Fatores Meteorológicos	r*	Fatores Meteorológicos	r*	Fatores Meteorológicos	r*
max.	0,21	tm4	-0,01 ^{ns}	med(1)	0,06
min	0,05	tm5	-0,02 ^{ns}	med(2)	-0,00 ^{ns}
UR ₉	-0,35	URm	-0,41	urmed(1)	-0,32
UR ₁₅	-0,32	URm2	-0,31	urmed(2)	-0,22
UR ₂₁	-0,37	URm3	-0,29	insol(1)	0,21
Ia	0,20	URm4	-0,28	insol(2)	0,17
prtol	-0,07	URm5	-0,26	prtol(1)	-0,13
velvent	0,17	Ia2	0,22	prtol(2)	-0,12
max2	0,10	Ia3	0,24	prtol(3)	-0,10
max3	0,08	Ia4	0,24	prtol(4)	-0,09
max4	0,06	Ia5	0,23	prtol(5)	-0,08
max5	0,04	PA1	-0,13		
min2	-0,05	PA3	-0,20		
min3	-0,07	PA5	-0,22		
min4	-0,08	PA7	-0,23		
min5	-0,09	PA10	-0,23		
tm	0,14	PA15	-0,22		
tm2	0,03 ^{ns**}	NDPP	0,32		
tm3	0,01 ^{ns}				

* Coeficiente de Correlação de Pearson baseado em 4383 dias e nível de significância adotado de 5%

** ns = não significativo

Para o segundo conjunto de variáveis estabelecidas com base nas variáveis meteorológicas coletadas, observa-se que a correlação foi ainda menor, e a única variável explicativa com correlação acima de 0,3 foi urmed(1).

Mesmo percebendo que as variáveis explicativas não eram correlacionadas com a variável resposta, modelou-se os dados, para verificar se, quando tomadas juntas, elas

produziriam um modelo capaz de prever o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros, satisfatoriamente.

As estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para os quinze modelos estabelecidos para o primeiro conjunto de variáveis estabelecidas, estão apresentadas na Tabela 7.

Sendo assim, na Tabela 7, verifica-se, por exemplo, que retirando o ano de 2000 para validação, o modelo apresentou as variáveis URm, NDPP, min5, Ia, tm e a constante como significativas. O modelo (sem 04) com onze coeficientes estimados, mais a constante foi o que apresentou o maior número de variáveis selecionadas.

Observa-se que as variáveis selecionadas em cada modelo diferiram, pois as variáveis URm, NDPP e min5 aparecem em todos os modelos. As variáveis URm e min5 possuem coeficientes negativos, refletindo que, quanto menor a umidade relativa média do dia e a temperatura mínima médias de cinco dias anteriores ao evento, há mais chances de ocorrerem chamadas.

Para avaliar se os modelos ajustados, na Tabela 7, podem ser empregados como base para futuras análises, foi conduzido um estudo de sua adequação aos dados coletados, por meio da análise de resíduos.

Para a verificação da homocedasticidade da variância, foi construído o gráfico dos resíduos contra os valores observados, sem o ano de 2000, apresentado na Figura 4, e analisando-se seu comportamento, são percebidas indicações de que os pressupostos de linearidade e homocedasticidade tenham sido violados.

Outro pressuposto do modelo de regressão que deve ser considerado é a independência dos resíduos. Este pressuposto é geralmente violado, quando os dados são coletados ao longo de períodos sequenciais de tempo.

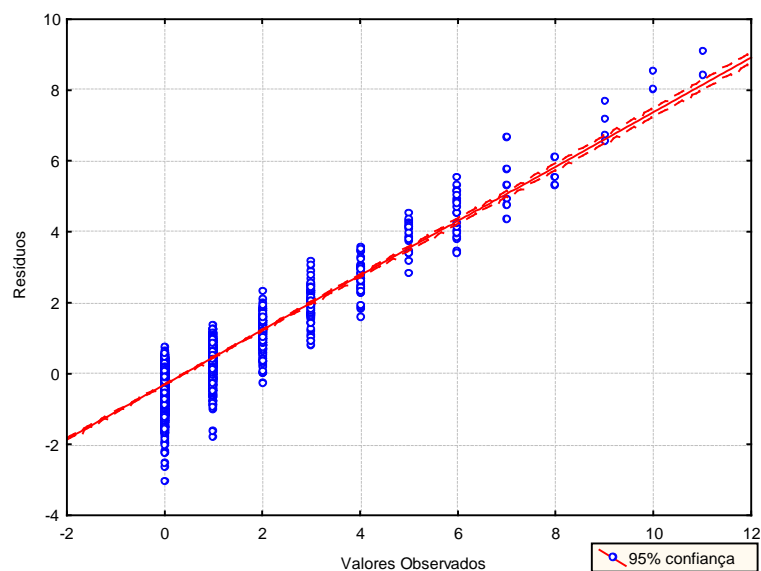


Figura 3 – Gráfico de resíduos contra os valores observados, para os dados coletados, retirando para validação o ano de 2000.

Como os dados foram coletados diariamente num período consecutivo de 12 anos, a autocorrelação foi verificada pela utilização da estatística de Durbin-Watson.

Deste modo, para os dados coletados a respeito do número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combater queimadas em campo, com cinco variáveis independentes e 4017 observações, obteve-se a estatística DW calculada igual a 1,51 que, se comparando ao valor da Tabela A do anexo ao nível de 5% de significância, tem-se para o limite inferior DW igual a 1,57, ou seja, como DW calculado é inferior a DW tabelado, revelando haver evidências de autocorrelação dos resíduos.

A análise de regressão pressupõe, também, que os erros seguem distribuição normal. O teste mais simples e rápido é o teste gráfico que compara a frequência acumulada dos resíduos padronizados com a curva normal, conforme mostra a Figura 5. A suposição de normalidade será válida se os pontos do gráfico estiverem localizados, aproximadamente, ao longo de uma linha reta. Na visualização da linha reta devem ser enfatizados os valores centrais do gráfico e não os extremos.

Tabela 7 - As estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 no município de Santa Maria – RS, e as pressuposições associadas aos modelos, para o primeiro conjunto de dados.

	Coeficientes dos modelos ajustados														
	sem 93	sem 94	sem 95	sem 96	sem 97	sem 98	sem 99	Sem 00	sem 01	sem 02	sem 03	sem 04	sem 03 e 04	sem 93 a 98	sem 99 a 04
Intercepto	3,5480	3,4702	3,3912	3,3103	3,4653	3,5713	3,8578	3,4580	3,8604	3,1450	3,2946	3,7953	3,3602	3,5148	3,5981
URm	-0,0297*	-0,0360	-0,0354	-0,0268	-0,0360	-0,0284	-0,0310	-0,0371	-0,0309	-0,0331	-0,0347	-0,0307	-0,0364	-0,0362	-0,0378
NDPP	0,0455	0,0412	0,0495	0,0441	0,0424	0,0439	0,0459	0,0469	0,0447	0,0422	0,0463	0,0360	0,0453	0,0389	0,0543
min5	-0,0382	-0,0389	-0,0362	-0,0395	-0,0392	-0,0455	-0,0429	-0,0410	-0,0423	-0,0371	-0,0342	-0,0312	-0,0398	-0,0391	-0,0353
Ia	-0,0208	-0,0257	-0,0259		-0,0265		-0,0177	-0,0307	-0,0169	-0,0232	-0,0259	-0,0177	-0,0293	-0,0398	-0,0182
max	0,0242														
PA15	-0,0014	-0,0016	-0,0015	-0,0017	-0,0016	-0,0016	-0,0011		-0,0013	-0,0014	-0,0013				-0,0027
velvent	0,0015			0,0015		0,0017	0,0012		0,0013	0,0014		0,0018			
URm2	-0,0153			-0,0161		-0,0174	-0,0091		-0,0099			-0,0172			
Ia2	-0,0145			-0,0160		-0,0161	-0,0122		-0,0122			-0,0179			
URm5	0,0071			0,0077		0,0078						0,0079			
tm		0,0260	0,0241	0,0284	0,0264	0,0300	0,0237	0,0266	0,0265	0,0225	0,0237	0,0352	0,0269	0,0189	0,0276
PA1						0,0025									
PA10												-0,0017			
min2												-0,0189			
Avaliação das pressuposições associadas aos modelos															
Normalidade**	Não***	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Homocedasticidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Independência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Linearidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Critérios utilizados para a comparação dos modelos ajustados															
EQMP	0,5822	0,6097	1,3374	0,7322	0,3952	0,3889	1,2124	0,9545	0,5262	0,9305	1,1318	0,9907	1,0608	0,9979	0,7241
R ² a	0,2416	0,2372	0,2328	0,2403	0,2329	0,2496	0,2429	0,2307	0,2416	0,2306	0,2366	0,2438	0,2312	0,2531	0,2385
Fc	128,98	209,15	204,16	142,14	204,23	134,65	144,2	241,85	143,18	172,99	208,46	118,74	220,58	124,72	138,2
EPE	0,9059	0,9087	0,8716	0,8993	0,9193	0,9163	0,8743	0,8949	0,9089	0,891	0,8823	0,8853	0,8745	0,9647	0,8078
PP	11	7	7	10	7	11	10	6	10	8	11	12	6	6	7
R	0,4935	0,4882	0,4837	0,4919	0,4837	0,5015	0,4946	0,4813	0,4932	0,4816	0,4875	0,4959	0,4819	0,5051	0,4902

* Critério para inclusão da variável pelo método stepwise é 5% de significância

Avaliações realizadas ao nível de 5% de probabilidade de erro. * Pressuposição não atendida.

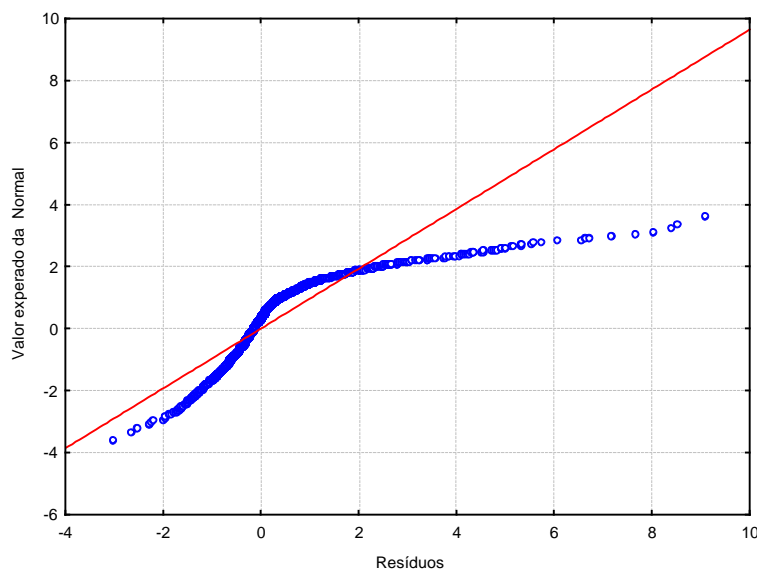


Figura 4 – Gráfico de probabilidade normal para os resíduos dos dados estudados, retirando para validação o ano de 2000.

A visualização da aproximação dos pontos à linha reta, na Figura 3, não demonstra que estes estejam em torno da linha, principalmente seus pontos centrais. Assim, para confirmar esta indicação, para $n = 4017$ observações, encontrou-se a probabilidade exata do teste, de Lilliefors, $p < 0,01$, obtendo-se, desta forma, indicações de violação de normalidade.

Na análise de resíduo efetuada para os dados em que o ano de 2000 foi separado para validação, foram encontradas falta de adequação do modelo de regressão e das suposições a ele associadas. Para os outros modelos da Tabela 7, também foi realizada a análise de resíduos, e os resultados obtidos foram bem próximos aos encontrados para o modelo sem 2000.

Na Tabela 8, são apresentadas as estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para os quinze modelos estabelecidos para o segundo conjunto de variáveis designadas.

Verifica-se que os modelos encontrados para esse conjunto de variáveis são mais parametrizados, ou seja, o modelo que encontrou menos variáveis significativas foi o que se deixou o ano de 99 para validação, no qual foram estimadas oito variáveis como significativas mais a constante. Além disso, quando se retira o ano de 2000 para validação, o modelo encontra treze variáveis como significativas, contrariando o primeiro grupo de variáveis, no qual retirando o ano de 2000, apenas cinco variáveis são significativas, obtendo-se um modelo mais parcimonioso.

Observa-se que as variáveis selecionadas, em cada modelo, quase não diferiram, pois as variáveis UR15, UR21, med(1), insol(2) e prtol não aparecem em nenhum dos modelos. A variável prtol representa a precipitação ocorrida no dia da ocorrência da chamada ao Corpo de Bombeiros e as variáveis UR15 e UR21 representam a umidade relativa, respectivamente da tarde e noite. O fato da umidade relativa da tarde não ser significativa, contraria as expectativas, pois é nesse período do dia que ocorre o maior número de chamadas.

Assim, como para o primeiro conjunto de variáveis, agora para o segundo foi realizada a análise de resíduos. Na análise de resíduos efetuada foram encontradas falta de adequação do modelo de regressão e das suposições a ele associadas, para todos os modelos apresentados na Tabela 8.

Apesar de todos os 30 modelos estimados não serem adequados para descrever o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combater queimadas em campo, estabeleceu-se todos os critérios de seleção, criando um rank para cada critério, considerando cada jogo de variável separadamente e em conjunto (rank colocado entre parênteses) e somando-se os postos que cada modelo recebeu em cada critério, pois o modelo que obteve a menor soma é o melhor.

Os valores dos critérios, bem como seu rank, para todos os modelos estão dispostos na Tabela 9. Observa-se que, tanto para o primeiro conjunto de variáveis como para o segundo conjunto de variáveis, o modelo com menor soma dos rank foi o modelo em que os anos de 1993 a 1998 foram retirados para validação.

Tabela 8 - As estimativas dos parâmetros betas (β) ajustados ao número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros de janeiro de 1993 a dezembro de 2004 no município de Santa Maria – RS, para o segundo conjunto de dados.

	Coeficientes dos modelos ajustados														
	sem 93	sem 94	sem 95	sem 96	sem 97	sem 98	sem 99	Sem 00	sem 01	sem 02	sem 03	sem 04	sem 03 e 04	sem 93 a 98	sem 99 a 04
Intercepto	4,2566*	4,1251	4,1822	4,2604	4,3105	4,6802	4,2335	4,3707	4,5100	4,2318	4,2939	4,4934	4,5024	4,4206	4,6026
URm	-0,0321	-0,0338	-0,0321	-0,0335	-0,0335	-0,0340	-0,0366	-0,0293	-0,0329	-0,0325	-0,0300	-0,0323	-0,0323	-0,0314	-0,0341
urmed(1)	-0,0079	-0,0105	-0,0127	-0,0120	-0,0121	-0,0115		-0,0086	-0,0110	-0,0124	-0,0120	-0,0113	-0,0086	-0,0098	-0,0141
med(2)	-0,0357	-0,0213	-0,0310	-0,0291	-0,0337	-0,0371	-0,0378	-0,0330	-0,0267	-0,0206	-0,0243	-0,0389	-0,0369	-0,0252	-0,0301
Ia	-0,0260	-0,0318	-0,0257	-0,0249	-0,0257	-0,0263	-0,0316	-0,0244	-0,0301	-0,0296	-0,0242	-0,0265	-0,0186	-0,0360	
max	0,0221	0,0284		0,0209	0,0231	0,0238	0,0222	0,0211	0,0302	0,0302	0,0295	0,0243		0,0273	
prtol(4)	-0,0040	-0,0039	-0,0035	-0,0036	-0,0038	-0,0041	-0,0040	-0,0036	-0,0037	-0,0038	-0,0034	-0,0036	-0,0037	-0,0034	-0,0052
urmed(2)	-0,0055					-0,0045	-0,0079	-0,0033	-0,0043		-0,0046	-0,0043	-0,0064	-0,0052	
velvent	0,0015	0,0013	0,0014	0,0014	0,0013	0,0015	0,0013	0,0014	0,0013	0,0014	0,0016	0,0018	0,0022	0,0019	0,0012
prtol(5)	-0,0040	-0,0046	-0,0040	-0,0043	-0,0042	-0,0042	-0,0038	-0,0037	-0,0039	-0,0038	-0,0042	-0,0038	-0,0039		-0,0060
prtol(3)	-0,0027	-0,0039	-0,0033	-0,0033	-0,0033	-0,0029		-0,0029	-0,0031	-0,0035	-0,0028	-0,0025			-0,0046
med(1)		-0,0179							-0,0162	-0,0199	-0,0161		0,0172	-0,0198	
min			-0,0327												0,0198
insol(1)			-0,0141	-0,0137	-0,0133	-0,0135		-0,0127	-0,0124	-0,0168	-0,0128	-0,0143		-0,0193	
prtol(2)			-0,0027	-0,0032	-0,0027			-0,0030		-0,0029					-0,0045
tm			0,0534												
UR9								-0,0049							
Avaliação das pressuposições associadas aos modelos															
Normalidade**	Não***	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Homocedasticidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Independência	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Linearidade	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Critérios utilizados para a comparação dos modelos ajustados															
EQMP	0,5869	0,6106	1,3349	0,861	0,3913	0,4084	1,2338	0,984	0,5269	0,9804	1,1728	1,065	1,1291	1,023	0,7293
R ² a	0,2133	0,2148	0,21	0,2173	0,2118	0,2252	0,2092	0,2184	0,215	0,2111	0,2187	0,2213	0,2165	0,2201	0,2248
Fc	109,91	110,88	89,972	102,33	99,155	107,12	133,82	87,319	92,684	90,585	94,711	104,77	113,12	69,688	64,507
EPE	0,9227	0,9219	0,8845	0,9129	0,9318	0,9311	0,8935	0,902	0,9247	0,9022	0,8926	0,8984	0,8828	0,9858	0,8151
PP	11	11	13	12	12	12	9	14	13	13	13	12	10	11	10
R	0,47	0,4662	0,462	0,4702	0,4674	0,4727	0,4639	0,4725	0,4656	0,4608	0,4684	0,4626	0,4767	0,4591	0,4778

* Critério para inclusão da variável pelo método stepwise é 5% de significância

**Avaliações realizadas ao nível de 5% de probabilidade de erro.

*** Pressuposição não atendida.

Avaliando os 30 modelos juntos, observa-se que o melhor modelo foi o do primeiro conjunto de variáveis com os anos de 1993 a 1998 para validação. Além disso, percebe-se que os modelos com o segundo jogo de variáveis obtiveram soma superior aos do primeiro conjunto, isto é, o modelo com menor soma no segundo conjunto possui soma superior à maior soma do primeiro jogo de variáveis.

No modelo sem 1996, para validação as variáveis umidade relativa média, insolação e temperatura média do dia da ocorrência do evento, números de dias sem precipitação antes da chamada, temperatura mínima média de 5 dias anteriores ao evento e precipitação acumulada de 15 dias anteriores a chamada, foram as significativas ao modelo.

Como não se estabeleceu um modelo adequado para a previsão do número de queimadas em campo para o município de Santa Maria, sugere-se para futuros trabalhos que seja usada a modelagem por meio de modelos lineares generalizados, inflacionados de zero, pois espera-se, dessa forma, estabelecer um modelo que possa prever adequadamente o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combater queimadas em campo.

Verificou-se junto, às fichas de registro, o local para onde os bombeiros eram chamados para combater essas queimadas. Esses locais foram agrupados, segundo a subdivisão do município, pela Prefeitura Municipal, obtendo-se a Tabela 9.

Observa-se, na Tabela 9 que os locais com maior ocorrência de queimas são as margens das rodovias RS 287, BR158, BR392 (35,18%) que contornam Santa Maria, principalmente a RS 287 (17,17%), que passa pelos bairros Camobi, Urlândia, Santa Marta e Tancredo Neves. Além das rodovias, em quarto lugar tem-se o Distrito Industrial, lugar que fica afastado do centro e, portanto, circundado por campos.

TABELA 9 - As estimativas dos critérios utilizados para a comparação dos modelos ajustados, seus respectivos postos e a soma total dos postos.

Modelos para o primeiro conjunto de dados													
	EQMP	posto	R ² a	posto	Fc	posto	EPE	posto	PP	posto	R	posto	Soma
1993	0,5822	4 (7)	0,2416	5 (6)	128,98	13 (14)	0,9059	10 (18)	11	13 (17,5)	0,4935	5 (5)	50 (67,5)
1994	0,6097	5 (9)	0,2372	9 (9)	209,15	3 (3)	0,9087	11 (19)	7	5,5 (5,5)	0,4882	9 (9)	42,5 (54,5)
1995	1,3374	15 (30)	0,2328	12 (12)	204,16	6 (6)	0,8716	2 (3)	7	5,5 (5,5)	0,4837	12 (12)	52,5 (68,5)
1996	0,7322	7 (13)	0,2403	7 (7)	142,14	10 (10)	0,8993	9 (15)	10	10 (12)	0,4919	7 (7)	50 (64)
1997	0,3952	2 (3)	0,2329	11 (11)	204,23	5 (5)	0,9193	14 (23)	7	5,5 (5,5)	0,4837	11 (11)	48,5 (58,5)
1998	0,3889	1 (1)	0,2496	2 (2)	134,65	12 (12)	0,9163	13 (22)	11	13 (17,5)	0,5015	2 (2)	43 (56,5)
1999	1,2124	14 (27)	0,2429	4 (4)	144,2	8 (8)	0,8743	3 (4)	10	10 (12)	0,4946	4 (4)	43 (59)
2000	0,9545	9 (16)	0,2307	14 (14)	241,85	1 (1)	0,8949	8 (13)	6	2 (2)	0,4813	15 (15)	49 (61)
2001	0,5262	3 (5)	0,2416	6 (5)	143,18	9 (9)	0,9089	12 (20)	10	10 (12)	0,4932	6 (6)	46 (57)
2002	0,9305	8 (15)	0,2306	15 (15)	172,99	7 (7)	0,8910	7 (10)	8	8 (8)	0,4816	14 (14)	59 (69)
2003	1,1318	13 (25)	0,2366	10 (10)	208,46	4 (4)	0,8823	5 (6)	11	13 (17,5)	0,4875	10 (10)	55 (72,5)
2004	0,9907	10 (19)	0,2438	3 (3)	118,74	15 (16)	0,8853	6 (9)	12	15 (23)	0,4959	3 (3)	52 (73)
2003 e 2004	1,0608	12 (22)	0,2312	13 (13)	220,58	2 (2)	0,8745	4 (5)	6	2 (2)	0,4819	13 (13)	46 (57)
1993 a 1998	0,9979	11 (20)	0,2531	1 (1)	124,72	14 (15)	0,9647	15 (29)	6	2 (2)	0,5051	1 (1)	44 (68)
1999 a 2004	0,7241	6 (11)	0,2385	8 (8)	138,2	11 (11)	0,8078	1 (1)	7	5,5 (5,5)	0,4902	8 (8)	39,5 (44,5)
Modelos para o segundo conjunto de dados													
1993	0,5869	4 (8)	0,2133	11 (26)	109,91	4 (19)	0,9227	11 (25)	11	5 (17,5)	0,4700	6 (21)	41 (116,5)
1994	0,6106	5 (10)	0,2148	10 (25)	110,88	3 (18)	0,9219	10 (24)	11	5 (17,5)	0,4662	9 (24)	42 (118,5)
1995	1,3349	15 (29)	0,2100	14 (29)	89,972	12 (27)	0,8845	3 (8)	13	12,5 (27,5)	0,4620	13 (28)	69,5 (148,5)
1996	0,8610	7 (14)	0,2173	7 (22)	102,33	7 (22)	0,9129	9 (21)	12	8,5 (23)	0,4702	5 (20)	43,5 (122)
1997	0,3913	1 (2)	0,2118	12 (27)	99,155	8 (23)	0,9318	14 (28)	12	8,5 (23)	0,4674	8 (23)	51,5 (126)
1998	0,4084	2 (4)	0,2252	1 (16)	107,12	5 (20)	0,9311	13 (27)	12	8,5 (23)	0,4727	3 (18)	32,5 (108)
1999	1,2338	14 (28)	0,2092	15 (30)	133,82	1 (13)	0,8935	5 (12)	9	1 (9)	0,4639	11 (26)	47 (118)
2000	0,9840	9 (18)	0,2184	6 (21)	87,319	13 (28)	0,9020	7 (16)	14	15 (30)	0,4725	4 (19)	54 (132)
2001	0,5269	3 (6)	0,2150	9 (24)	92,684	10 (25)	0,9247	12 (26)	13	12,5 (27,5)	0,4656	10 (25)	56,5 (133,5)
2002	0,9804	8 (17)	0,2111	13 (28)	90,585	11 (26)	0,9022	8 (17)	13	12,5 (27,5)	0,4608	14 (29)	66,5 (144,5)
2003	1,1728	13 (26)	0,2187	5 (20)	94,711	9 (24)	0,8926	4 (11)	13	12,5 (27,5)	0,4684	7 (22)	50,5 (130,5)
2004	1,0650	11 (23)	0,2213	3 (18)	104,77	6 (21)	0,8984	6 (14)	12	8,5 (23)	0,4626	12 (27)	46,5 (126)
2003 e 2004	1,1291	12 (24)	0,2165	8 (23)	113,12	2 (17)	0,8828	2 (7)	10	2,5 (12)	0,4767	2 (17)	28,5 (100)
1993 a 1998	1,0230	10 (21)	0,2201	4 (19)	69,688	14 (29)	0,9858	15 (30)	11	5 (17,5)	0,4591	15 (30)	63 (146,5)
1999 a 2004	0,7293	6 (12)	0,2248	2 (17)	64,507	15 (30)	0,8151	1 (2)	10	2,5 (12)	0,4778	1 (16)	27,5 (89)

Tabela 10 – Locais e seus respectivos números de ocorrências de queimadas em campo em Santa Maria – RS, de janeiro de 1993 a dezembro de 2004.

Local	Nº de queimadas	Local	Nº de queimadas
RS287	303	Distritos	29
BR158	187	Perpétuo Socorro	28
BR392	131	Chácara das Flores	26
Distrito Industrial	98	Patronato	26
Medianeira	80	Tancredo Neves	25
BR509	77	Passo D'Areia	24
Itararé	70	Jucelino	24
Tomazzetti	65	Kubitschek	24
Parque Pinheiro	65	Morro do Cerrito	20
Machado	57	Centro	19
Caturrita	51	Boi Morto	15
São José	49	Nossa Senhora das Dores	15
Não localizada	44	Cerrito	15
UFSM	43	Urlândia	15
Camobi	41	Pé de Plátano	13
Nossa Senhora de Lourdes	40	Rosário	12
ITAARA	34	KM 3	9
Passo das Tropas	30	Novo Horizonte	5
Presidente João Goulart	29	SC Dores	3

Com base na separação realizada na Tabela 10, identificou-se no mapa de Santa Maria, em cada uma das regiões, o risco de ocorrência de queimadas em campo, para que dessa forma fosse possível uma melhor visualização das áreas de maior incidência de queimadas acidentais em campo no Município.

Além das rodovias, pode-se observar na Figura 5, que a região oeste do município é mais afetada pelas queimadas. Isto ocorre por ser uma região que está em fase de crescimento, não muito populosa, com muito campo ou terrenos baldios que são limpos com a utilização do fogo.

A maior responsável pelas queimas nas margens das rodovias, segundo BERNA (2002) e TEBE (2004), são as pontas de cigarros jogadas pelos motoristas. Já no meio urbano, o que contribui para o aumento dos incêndios, é a falta ou pouca coleta de lixo obrigando os moradores sem alternativa de se livrarem do lixo, atearem fogo que facilmente se alastra pelo capim seco.

Na Figura 5, a região denotada por A é onde se localiza o Distrito Industrial do município, além de ser contornada por duas rodovias, a BR 158 na região está em fase de

construção, não possuindo ainda trânsito intenso, mas apesar disso o problema das queimadas na região é bem significativo, onde foi instalado nessa área um posto do Corpo de Bombeiros.

A região B é caracterizada pelo encontro de duas rodovias a BR 158 e a BR 392 esta a saída para os caminhões que se destinam ao Porto de Rio Grande, sendo o entroncamento um dos mais movimentados das saídas do município; e a região C apresentou grande ocorrência de chamadas por ser cortada por trilhos da rede ferroviária, por morros e por apresentar a antiga estrada que ligava o município ao Norte do Estado, ainda muito utilizada pelos motoristas.

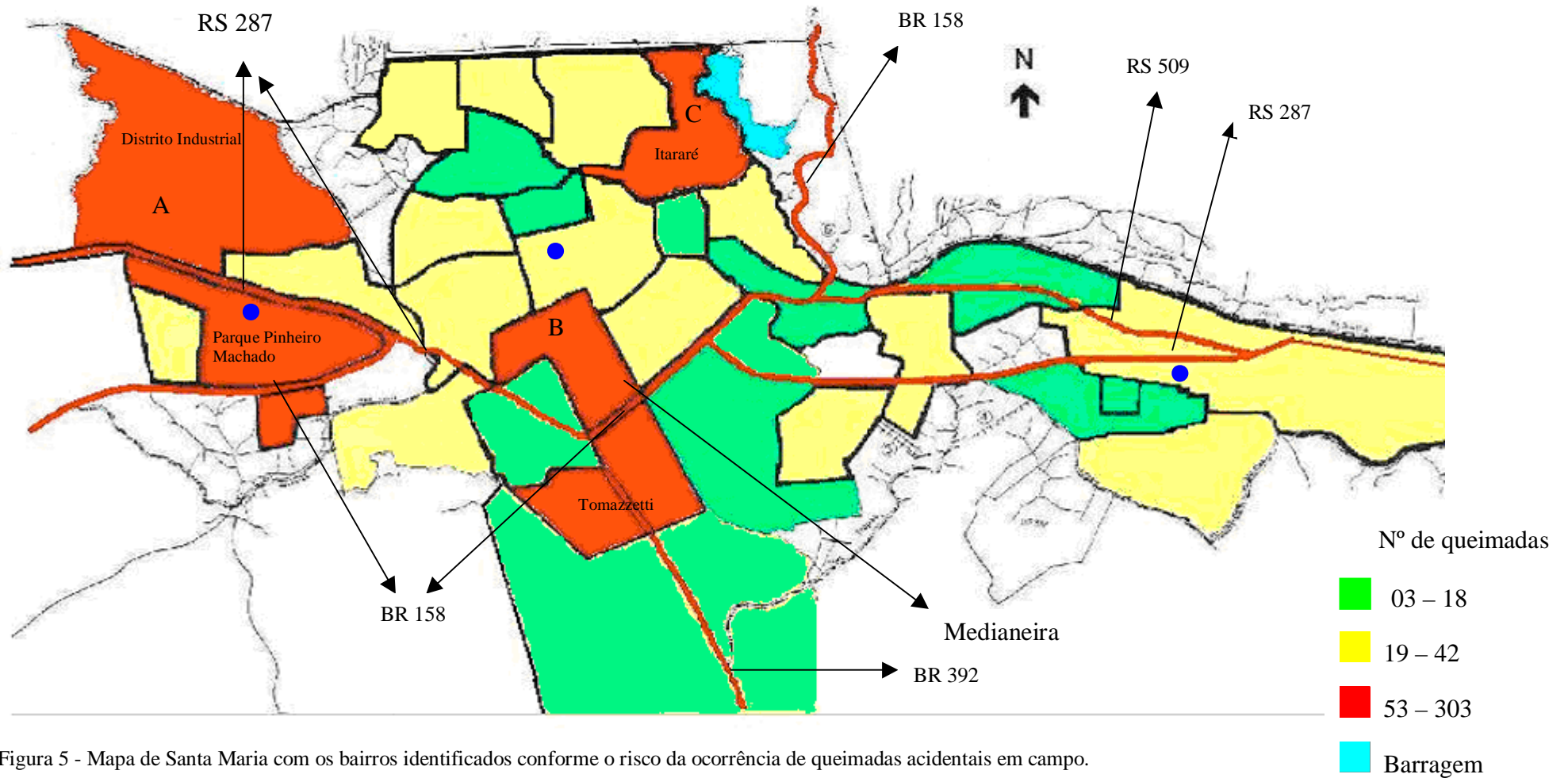


Figura 5 - Mapa de Santa Maria com os bairros identificados conforme o risco da ocorrência de queimadas acidentais em campo.

5 CONCLUSÕES

O número de chamadas diárias recebidas pelo Corpo de Bombeiros para combater queimadas em campo no município de Santa Maria não ocorre com muita frequência, pois apenas em vinte e cinco por cento dos dias avaliados houve mais de duas chamadas diárias.

O número de chamadas distribuiu-se equivalentemente nos dias de semana.

Em média, antes da ocorrência de uma chamada, não chovia a quatro dias, e a grande maioria ocorrida no período da tarde e para as margens das rodovias que circundam a cidade, principalmente a RS 287, rodovia com as margens pouco habitadas.

O mês em que ocorreu o maior número de chamadas ao Corpo de Bombeiros foi agosto, sendo o ano de 1999 o que acumulou maior ocorrência de queimadas.

A variável mais correlacionada com o número de chamadas recebidas pelo Corpo de Bombeiros foi a umidade relativa média do ar.

Em todos os trinta modelos de regressão testados as pressuposições foram violadas, não sendo portanto, adequados para a previsão da variável independente.

As margens das rodovias e os bairros Distrito Industrial, Medianeira, Itararé, Tomazzetti e Parque Pinheiro Machado foram as áreas classificadas como possuindo grandes chances de ocorrência de queimadas.

6 REFERÊNCIAS

ALBA, J. **Alimentación del ganado em la América Latina**. México: D. F. Prensa Médica Mexicana, 1958, p. 112-114.

BERNA, V. Problemas ambientais – III. **EngWhere - Por Dentro da Obra**. n. 14, dez 2002. Disponível em: <[http://www.engwhere.com.br/revista/obras de engenharia.htm](http://www.engwhere.com.br/revista/obras_de_engenharia.htm)>. Acesso em: 21 mai 2007.

CARDOSO, E. L. et al. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 747-752, jun. 2003.

CASTRO, F. X.; TUDELA, A.; SEBASTIÁ, M. T. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). **Agricultural and Forest Meteorology**. V. 116, n. 1, p. 49 – 59, abr 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=PublicationURL&_tockey=%23TOC%235881%232003%23998839998%23400935%23FLA%23&_cdi=5881&_pubType=J&view=c&_auth=y&_acct=C000037899&_version=1&_urlVersion=0&_userid=687358&md5=93a31216d5df62cf45f19c9cfcfac268>. Acesso em: 10 abr 2004.

CORRÊA, A. N. S.; ARONOVICH, S. Influência da queima periódica sobre a vegetação e sobre a fertilidade dos terrenos de pastagens. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 8, n. 2, p. 332-347, 1979.

COUTINHO, L. M. O cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, v.12, n. 68, p. 23 – 29, 1990.

CPTEC Centro de previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/apresentacao.htm>> . Acesso em: 22 jan. 2007.

DAMÉ, P. R. V. et al. Efeitos da queima seguida de pastejo ou diferimento sobre o resíduo, temperatura do solo e mesofauna de uma pastagem natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 391-396, 1996.

DEMÉTRIO, C. G. B. **Transformação de dados**: efeitos sobre a análise da variância. Piracicaba, 1978. 112 f. Dissertação (Mestrado em Experimentação e Estatística) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1978.

EMBRAPA – Empresa Brasileira da Pecuária e Agricultura. Disponível em: <<http://www.queimadas.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 22 jan. 2007

FERNANDES, M. do C.; ROSAS, R. O.; COELHO NETTO, A. L. potencialidade de ocorrência de queimadas no maciço da Tijuca/RJ: uma abordagem utilizando geoprocessamento, In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. **Anais eletrônicos...** Santos: INPE, 1998. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.11.22/doc/7_128o.pdf> Acesso em: 22 jan. 2007.

FONTANELI, R. S.; JACQUES, A. V. À. Melhoramento de pastagem natural: ceifa, queima, diferimento e adubação. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 17, n. 2, p. 180-194, 1988.

FONTANELI, R. S. et al. Efeito da ceifa, da queima, do diferimento e da adubação sobre uma pastagem natural. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 5, p. 719-729, 1994.

GRODZKI, L. et al. Efeito do fogo sobre algumas variáveis micrometeorológicas em uma floresta de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth.), no município de Colombo, PR. **Floresta**, Curitiba, v.34, n. 2, p. 151-156, mai/ago 2004.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. 846 p.

HERINGER, I. et al. Características de um latossolo vermelho sob pastagem natural sujeita à ação prolongada do fogo e de práticas alternativas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 309-314, 2002.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. Á. Acumulação de forragem e material morto em pastagem nativa sob distintas alternativas de manejo em relação às queimadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 599-604, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2007

JACQUES, A. V. Á. A queima das pastagens naturais – efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 177-181, jan/fev 2003.

KOZLOWSKI, T. T.; AHLGREN, C. E. **Fire and Ecosystems**. New York: Academic Press, 1974. 530p.

LEVINE, D. M. ; BERENSON, M. L. ; STEPHAN, D. **Estatística: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 811 p.

MATOS, O. C. de **Econometria Básica: teoria e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2000, p. 300

MIRANDA, J. R. Aplicações do monitoramento por satélite no controle de queimadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 4.,2002, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: 2002. Disponível em : <http://www.iac.sp.gov.br/Centros/cec/JNB/Eventos/4eneaa_3p6.PDF>. Acesso em : 19 out 2006.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. p. 463.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NETER, J. *et al.* **Applied linear regression models**. 3rd ed. São Paulo: Irwin, 1996. 720 p.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, maio/jun 2004.

RAY, D.; NESPSTAD, D.; MOUTINHO, P. Micrometeorological and canopy controls of fire susceptibility in a forested amazon landscape. **Ecological Applications**, v. 15, n. 5, p. 1664 – 1678, 2005. Disponível em: http://ftp.whrc.org/resources/published_literature/pdf/RayetAlEcolAppl.05.pdf>. Acesso em: 08 mai 2007.

RHEINHEIMER, D. dos S. et al. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 49-55, jan/fev 2003.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. de Efeitos das queimadas na saúde humana **Estudos Avançados**, v. 16, n. 44, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v16n44/v16n44a08.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2006

RIO GRANDE DO SUL. Lei Ordinária n. 11.498, de 04 de julho de 2000. Altera o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 4 jul. 2000. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/legis/>>. Acesso em: 21 de jun. 2004.

SAMPAIO, F. A. R. et al. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um argissolo amarelo sob floresta tropical amazônica após a queima e cultivo com arroz. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 1161-1170, 2003.

SANTOS, D.; BAHIA, V. G.; TEIXEIRA, W. G. Queimadas e erosão do solo. **Informe Agropecuário**, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992.

SILVA, R. G. da Manual de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, 1998. Disponível em: <[http://www.bombeirosdistritoguarda.com/formacao/Manual%20de%20Prevencao%20e%20Combate%20\(Brasil\).pdf](http://www.bombeirosdistritoguarda.com/formacao/Manual%20de%20Prevencao%20e%20Combate%20(Brasil).pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2006

SPERA, S. T. et al. Características físicas de um latossolo vermelho-escuro no Cerrado de Planaltina, DF, submetido à ação do fogo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1817-1824, set. 2000.

TEBE – Concessionária de Rodovias. **TEBE em revista**. n. 6, ago 2004. Disponível em: <http://www.tebe.com.br/fotos_arquivos/arquivos_revista/revista_tebe_2004_agosto.pdf> Acesso em: 21 mai 2007.

TROPPEMAIR, H. Queimadas: um crime contra a natureza e contra a população. **Nós e o meio ambiente**. V. II, Rio Claro, 1992.

VASCONCELLOS, M. A. S.; ALVES, D. **Manual de econometria**. São Paulo: Atlas, 2000. 308 p.

ZANINE, A. de M.; DINIZ, D. Efeito da queima sob teor de umidade, características físicas e químicas, matéria orgânica e temperatura no solo sob pastagem. **Revista Eletrônica da Veterinária REDVET**, v. VII, n. 04, abr. 2006. Disponível em: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redevet/n040406.html>>. Acesso em: 08 nov. 2006.

ANEXOS



ANEXO A - Valores críticos de d_l e d_u da estatística D_w de Durbin-Watson (os valores críticos unilaterais)*

$\alpha = 0,05$										
n	p = 1		p = 2		p = 3		p = 4		p = 5	
	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u
15	1.08	1.36	0.95	1.54	0.82	1.75	0.69	1.97	0.56	2.21
16	1.10	1.37	0.98	1.54	0.86	1.73	0.74	1.93	0.62	2.15
17	1.13	1.38	1.02	1.54	0.90	1.71	0.78	1.90	0.67	2.10
18	1.16	1.39	1.05	1.53	0.93	1.69	0.82	1.87	0.71	2.06
19	1.18	1.40	1.08	1.53	0.97	1.68	0.86	1.85	0.75	2.02
20	1.20	1.41	1.10	1.54	1.00	1.68	0.90	1.83	0.79	1.99
21	1.22	1.42	1.13	1.54	1.03	1.67	0.93	1.81	0.83	1.96
22	1.24	1.43	1.15	1.54	1.05	1.66	0.96	1.80	0.86	1.94
23	1.26	1.44	1.17	1.54	1.08	1.66	0.99	1.79	0.90	1.92
24	1.27	1.45	1.19	1.55	1.10	1.66	1.01	1.78	0.93	1.90
25	1.29	1.45	1.21	1.55	1.12	1.66	1.04	1.77	0.95	1.89
26	1.30	1.46	1.22	1.55	1.14	1.65	1.06	1.76	0.98	1.88
27	1.32	1.47	1.24	1.56	1.16	1.65	1.08	1.76	1.01	1.86
28	1.33	1.48	1.26	1.56	1.18	1.65	1.10	1.75	1.03	1.85
29	1.34	1.48	1.27	1.56	1.20	1.65	1.12	1.74	1.05	1.84
30	1.35	1.49	1.28	1.57	1.21	1.65	1.14	1.74	1.07	1.83
31	1.36	1.50	1.30	1.57	1.23	1.65	1.16	1.74	1.09	1.83
32	1.37	1.50	1.31	1.57	1.24	1.65	1.18	1.73	1.11	1.82
33	1.38	1.51	1.32	1.58	1.26	1.65	1.19	1.73	1.13	1.81
34	1.39	1.51	1.33	1.58	1.27	1.65	1.21	1.73	1.15	1.81
35	1.40	1.52	1.34	1.58	1.28	1.65	1.22	1.73	1.16	1.80
36	1.41	1.52	1.35	1.59	1.29	1.65	1.24	1.73	1.18	1.80
37	1.42	1.53	1.36	1.59	1.31	1.66	1.25	1.72	1.19	1.80
38	1.43	1.54	1.37	1.59	1.32	1.66	1.26	1.72	1.21	1.79
39	1.43	1.54	1.38	1.60	1.33	1.66	1.27	1.72	1.22	1.79
40	1.44	1.54	1.39	1.60	1.34	1.66	1.29	1.72	1.23	1.79
45	1.48	1.57	1.43	1.62	1.38	1.67	1.34	1.72	1.29	1.78
50	1.50	1.59	1.46	1.63	1.42	1.67	1.38	1.72	1.34	1.77
55	1.53	1.60	1.49	1.64	1.45	1.68	1.41	1.72	1.38	1.77
60	1.55	1.62	1.51	1.65	1.48	1.69	1.44	1.73	1.41	1.77
65	1.57	1.63	1.54	1.66	1.50	1.70	1.47	1.73	1.44	1.77
70	1.58	1.64	1.55	1.67	1.52	1.70	1.49	1.74	1.46	1.77
75	1.60	1.65	1.57	1.68	1.54	1.71	1.51	1.74	1.49	1.77
80	1.61	1.66	1.59	1.69	1.56	1.72	1.53	1.74	1.51	1.77
85	1.62	1.67	1.60	1.70	1.57	1.72	1.55	1.75	1.52	1.77
90	1.63	1.68	1.61	1.70	1.59	1.73	1.57	1.75	1.54	1.78
95	1.64	1.69	1.62	1.71	1.60	1.73	1.58	1.75	1.56	1.78
100	1.65	1.69	1.63	1.72	1.61	1.74	1.59	1.76	1.57	1.78

* n = número de observações; p = número de variáveis independentes

ANEXO A – Continuação

	$\alpha = 0,01$									
	p = 1		p = 2		p = 3		p = 4		p = 5	
	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u	d_l	d_u
15	0.81	1.07	0.70	1.25	0.59	1.46	0.49	1.70	0.39	1.96
16	0.84	1.09	0.74	1.25	0.63	1.44	0.53	1.66	0.44	1.90
17	0.87	1.10	0.77	1.25	0.67	1.43	0.57	1.63	0.48	1.85
18	0.90	1.12	0.80	1.26	0.71	1.42	0.61	1.60	0.52	1.80
19	0.93	1.13	0.83	1.26	0.74	1.41	0.65	1.58	0.56	1.77
20	0.95	1.15	0.86	1.27	0.77	1.41	0.68	1.57	0.60	1.74
21	0.97	1.16	0.89	1.27	0.80	1.41	0.72	1.55	0.63	1.71
22	1.00	1.17	0.91	1.28	0.83	1.40	0.75	1.54	0.66	1.69
23	1.02	1.19	0.94	1.29	0.86	1.40	0.77	1.53	0.70	1.67
24	1.04	1.20	0.96	1.30	0.88	1.41	0.80	1.53	0.72	1.66
25	1.05	1.21	0.98	1.30	0.90	1.41	0.83	1.52	0.75	1.65
26	1.07	1.22	1.00	1.31	0.93	1.41	0.85	1.52	0.78	1.64
27	1.09	1.23	1.02	1.32	0.95	1.41	0.88	1.51	0.81	1.63
28	1.10	1.24	1.04	1.32	0.97	1.41	0.90	1.51	0.83	1.62
29	1.12	1.25	1.05	1.33	0.99	1.42	0.92	1.51	0.85	1.61
30	1.13	1.26	1.07	1.34	1.01	1.42	0.94	1.51	0.88	1.61
31	1.15	1.27	1.08	1.34	1.02	1.42	0.96	1.51	0.90	1.60
32	1.16	1.28	1.10	1.35	1.04	1.43	0.98	1.51	0.92	1.60
33	1.17	1.29	1.11	1.36	1.05	1.43	1.00	1.51	0.94	1.59
34	1.18	1.30	1.13	1.36	1.07	1.43	1.01	1.51	0.95	1.59
35	1.19	1.31	1.14	1.37	1.08	1.44	1.03	1.51	0.97	1.59
36	1.21	1.32	1.15	1.38	1.10	1.44	1.04	1.51	0.99	1.59
37	1.22	1.32	1.16	1.38	1.11	1.45	1.06	1.51	1.00	1.59
38	1.23	1.33	1.18	1.39	1.12	1.45	1.07	1.52	1.02	1.58
39	1.24	1.34	1.19	1.39	1.14	1.45	1.09	1.52	1.03	1.58
40	1.25	1.34	1.20	1.40	1.15	1.46	1.10	1.52	1.05	1.58
45	1.29	1.38	1.24	1.42	1.20	1.48	1.16	1.53	1.11	1.58
50	1.32	1.40	1.28	1.45	1.24	1.49	1.20	1.54	1.16	1.59
55	1.36	1.43	1.32	1.47	1.28	1.51	1.25	1.55	1.21	1.59
60	1.38	1.45	1.35	1.48	1.32	1.52	1.28	1.56	1.25	1.60
65	1.41	1.47	1.38	1.50	1.35	1.53	1.31	1.57	1.28	1.61
70	1.43	1.49	1.40	1.52	1.37	1.55	1.34	1.58	1.31	1.61
75	1.45	1.50	1.42	1.53	1.39	1.56	1.37	1.59	1.34	1.62
80	1.47	1.52	1.44	1.54	1.42	1.57	1.39	1.60	1.36	1.62
85	1.48	1.53	1.46	1.55	1.43	1.58	1.41	1.60	1.39	1.63
90	1.50	1.54	1.47	1.56	1.45	1.59	1.43	1.61	1.41	1.64
95	1.51	1.55	1.49	1.57	1.47	1.60	1.45	1.62	1.42	1.64
100	1.52	1.56	1.50	1.58	1.48	1.60	1.46	1.63	1.44	1.65

Fonte : LEVINE, D. M. ; BERENSON, M. L. ; STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1998