



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIO EM  
ÁREAS COM PREDOMINÂNCIA DE GRAMÍNEAS  
CESPITOSAS NA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA,  
PANTANAL, MS**

**ABISOYE EMMANUEL ONIGEMO**

**CAMPO GRANDE**

**2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**AVALIAÇÃO DE ÍNDICES DE RISCO DE INCÊNDIO EM  
ÁREAS COM PREDOMINÂNCIA DE GRAMÍNEAS  
CESPITOSAS NA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA,  
PANTANAL, MS**

**ABISOYE EMMANUEL ONIGEMO**

**Tese apresentada ao Departamento de  
Ecologia da Universidade Federal de Mato  
Grosso do Sul como requisito parcial para  
a obtenção do título de Doutor em Ecologia**

**CAMPO GRANDE – MS**

**2006**

Trabalho realizado junto ao Departamento de Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação das Pesquisadoras Sandra Aparecida dos Santos e a Sandra Mara Crispim, com suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Centro de Pesquisa do Pantanal (CPP) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Aprovado por:

---

Prof. Dr. José Luiz Lani  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof. Dr. Jorge Luis Brito  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof. Dr. Luis Alfredo Rodrigues Pereira  
Universidade de Brasília

---

Profa. Dra. Luciana Graci Rodela  
Centro Universitário Nove de Julho

---

Prof. Dr. Rodiney de Arruda Mauro  
Universidade Federal do Mato Grosso do sul

Dedico a Deus e a todos que direta  
ou indiretamente torceram por mim  
nesta etapa de minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, porque sei que tudo pode, e nenhum de seus planos pode ser frustrado.

A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, pelo meu acolhimento.

Ao CNPq e ao CPP pelo auxílio financeiro.

A Embrapa Pantanal, nas pessoas de todos os pesquisadores e funcionários que contribuíram para o meu aprendizado.

A minha amada esposa, Rogéres, pela ajuda oferecida em todas as horas.

Aos que torceram por mim, especialmente os meus familiares e os da minha esposa.

A Sandra Aparecida Santos, minha orientadora esforçada, pela orientação entusiasmada e batalha para conseguir recursos para tornar este trabalho possível.

A Sandra Mara Crispim, pela co-orientação e pelas sugestões oferecidas.

A Balbina Soriano, que me ajudou com os dados da estação meteorológica da fazenda Nhumirim e pelas sugestões oferecidas.

Ao Alberto Pellegrini e Carlos Padovani, por ajudas muito úteis.

A Eristelma Silva, mestre em geoprocessamento, que muito me ensinou.

Ao Urbano, pesquisador, a Mariane, estagiária.

Ao João Batista, Joãozinho, pelo seu apoio no trabalho com as amostras, tanto no campo, quanto no Laboratório.

Aos funcionários da Fazenda Nhumirim, em especial o Aquino, que me ajudou na colheita das amostras.

Enfim, a todos esses diretamente envolvidos no trabalho, eu deixo o meu muito OBRIGADO, e sei que o mundo dá muitas voltas, e espero encontrá-los em algumas delas.

E, mesmo sem voltas, a internet está aí, para que não nos distanciemos.

Ao Prof. José Elias e a Profa. Eneida, da Unb.

Aos amigos de Brasília, Hugo Gueiros, Sadi Coutinho, José Gomes, Francisco Lopes, João Cidade, Raimundo, Ricardo Reis, Daniel Lopes, Marcelo Amaral, Marcos, José Conceição, Ivone, Iara Silva, Duarte Leopoldino, Lúcio, Wilson, Wendel, Serafim, Wayne, Roberto, Wanderson, e seus familiares, enfim, por todos meus amigos, verdadeiros irmãos, amigos da “QE-04” e da “QI-05” e da “26” que estiveram comigo nesta batalha, OBRIGADO.

Aos amigos que fiz em Corumbá, que amenizaram minha estada em terra estranha, Luiz Sena, Paulo Corrêa, Silviano Salazar, Leonardo Pascoal e Da. Maria da Luz Ibrahim, todos com seus familiares que foram os “nossos familiares” enquanto estivemos aqui; digo que se depender de mim e de minha esposa, essas amizades sempre serão conservadas.

A todos, que sejam recompensados por Deus.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DA TABELAS</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO GERAL</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivos específicos	4
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>6</b>
3.1. Descrição do Pantanal	6
3.2. Pastagens nativas	9
3.3. Manejo das pastagens com o uso de fogo	11
3.4. Características dos incêndios	16
3.5. Características dos combustíveis	17
3.6. Índices de risco de incêndio	23
3.7. Uso de Sistema de Informação geográfica	30
3.8. Índices de vegetação	35
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>46</b>
4.1. Descrição da área de estudo	46
4.2. Avaliação de Índice climático de previsão de risco de incêndio	48
4.3. Análises das características produtivas, de vigor e estruturais dos combustíveis	50
4.4. Avaliação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).	53
4.5. Análises estatísticas	55
4.6. Elaboração de mapas temáticos	56
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>58</b>
5.1. Aplicação de Índice climático para previsão de incêndio na sub-região da Nhecolândia, Pantanal	58
5.2. Características produtivas, de vigor e estruturais de campos de gramíneas cespitosas	71
5.2.1. Análise da variação das características das pastagens por meio de técnicas multivariadas	83
5.3. Utilização de Índice de Vegetação na Avaliação de Risco de Incêndio em Campos de Gramíneas Cespitosas do Pantanal	87
5.3.1. Análise de índice de vegetação por diferença normalizada em campos de gramíneas cespitosas durante o período de chuvas	95
5.3.2. Elaboração de mapas temáticos com o uso de índices de vegetação	98
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>102</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>103</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>104</b>

## RESUMO

No Pantanal, os produtores rurais fazem o uso anualmente de queimada controlada para limpeza e renovação de pastagem nativa, geralmente nos campos limpos, com predominância de gramíneas cespitosas, tais como capim-carona (*Elyonurus muticus*), capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*). Porém, anualmente são registrados focos de incêndios na região, causados por diversos fatores. Este estudo teve como objetivo avaliar a utilização de índices climáticos e de vegetação na previsão de risco de incêndio na sub-região da Nhecolândia, Pantanal. O trabalho foi desenvolvido na fazenda de Nhumirim, campo experimental da Embrapa Pantanal e em fazendas nos arredores, localizadas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul-Mato-Grossense, nos períodos secos (agosto de 2005 e julho de 2006) e no período chuvoso (abril de 2006). Foram selecionadas pastagens com predominância de capim-carona e capim-vermelho. Em cada uma das áreas, foram alocados casualmente cerca de 20 quadrados amostrais de parcelas de 1m<sup>2</sup>, nos quais foram feitas as seguintes avaliações: altura total, altura da lâmina foliar, cobertura total de plantas sobre o solo, cobertura total de gramíneas predominantes, cobertura de outras espécies e cobertura do solo (plantas + liteira). Após estas medidas e estimativas, o material combustível constituído de plantas em pé dentro de cada quadrado foi cortado rente ao solo, do qual foram feitas as seguintes avaliações: fitomassa fresca total, fitomassa fresca verde, fitomassa fresca morta, fitomassa seca verde, fitomassa seca morta, fitomassa seca total, densidade, teor de umidade da planta, teor de umidade da matéria morta e umidade da matéria verde. Para a avaliação do índice climático de previsão de risco incêndio, usou-se a fórmula de Monte Alegre (FMA)

para o período entre abril a setembro, considerado como crítico para a ocorrência de incêndios na região, nos anos de 2004 a 2006. Com o objetivo de avaliar a relação entre características do material combustível e valores de Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), foram adquiridas imagens CBERS adquiridas de dois anos consecutivos (2005 e 2006) durante o período seco e de imagem LANDSAT durante o período chuvoso (abril 2006). Faixas de NDVI foram estimadas para as diferentes fitofisionomias da sub-região da Nhecolândia. O efeito de ano e fitofisionomias (casuais) e o efeito aninhado (fito dentro de ano) sobre as características dos combustíveis foram avaliados por análise de variância. Equações de regressão foram ajustadas entre as características da vegetação com NDVI. Conforme fórmula de Monte Alegre, a média de dias críticos de incêndio, entre abril a setembro de 2004 a 2006 foi de 149 dias, que correspondeu a 81% dos dias computados, sendo 2005 o ano mais crítico. As características dos combustíveis avaliados foram variáveis em função das condições climáticas e da distribuição espacial destas pastagens. As características relacionadas com incêndio, tais como teor de umidade da matéria morta e umidade da planta mostram uma relação linear com teor de matéria morta, podendo ser usada como indicativo de probabilidade de risco de incêndio dos combustíveis. Das características relacionadas com NDVI durante o período seco, apenas teor de matéria de umidade da matéria morta e fitomassa seca verde foram significativos. A medida que o NDVI desta áreas de campo aumenta, o teor de umidade da matéria morta diminui enquanto que o teor de fitomassa fresca verde aumenta. No período chuvoso, as relações foram significativas entre NDVI e teor de umidade da planta, relação matéria verde/matéria morta e

fitomassa seca morta. Finalmente, elaborou-se um mapa com as faixas de NDVI estimada para as diferentes fitofisionomias em 2005, considerado crítico em termos de número de incêndios. Observou-se que grande parte da sub-região da Nhecolândia apresenta fitofisionomias susceptíveis à incêndios. Concluiu-se que os índices avaliados podem ser indicativos do risco de incêndio, porém, estudos complementares devem ser desenvolvidos para o desenvolvimento de um modelo/índice que integre os diferentes fatores (índices) para previsão de incêndio para toda a região do Pantanal.

## ABSTRACT

In the Pantanal, annually the rural producers make use of a controlled burning for cleaning and renewal of native pasture, usually in the open grassland areas, with predominance of cespituous grasses ("macegas"), such as capim-carona (*Elyonurus muticus*) and capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*). However, it is common register fire in the region caused by several factors. The purpose of this work is to evaluate the use of climatic and vegetation indices to determine the fire risk in the Nhecolândia sub-region, Pantanal. The work was developed in the Nhumirim farm, an experimental station of Embrapa Pantanal, as well in neighboring farms, during the dry period (August 2005 and July 2006) and rainy season (April 2006). Open grassland areas were selected with predominance of capim-carona and capim-vermelho. In each one of these areas, 20 samples of 1m<sup>2</sup>, were randomly designated and the following parameters were evaluated: pasture total height, pasture leaf height, percentage of ground covered by vegetation, percentage of ground covered by the predominant grass, percentage of ground covered by other grass species and soil cover percentage. Subsequently, the vegetation was cut close to the soil and made the following measures: 1) total fresh weight phytomass; 2) fresh weight green phytomass; 3) fresh weight dead phytomass; 4) dry weight green phytomass; 5) dry weight dead phytomass; 6) total dry weight phytomass; 7) density; 8) plant moisture; 9) dead plant moisture and 10) green plants moisture. Climatic index was estimated using the Monte Alegre formula (FMA) from April to September, which is the critical period for fire in the region. The normalized difference vegetation index (NDVI) was

estimated using images from CBERS acquired from two consecutive years (2005 and 2006) for the dry season, and for the rainy season LANDSAT images were used (April 2006). NDVI ranges were estimated for different physiognomies of the Nhecolândia sub-region. The effect of the year and physiognomies, as well as the nested effect (physiognomies within year) on fuel characteristics were evaluated by variance analyses. Regression equations were adjusted for vegetation characteristics and NDVI. According to Monte Alegre formula, the average number of critical days, from April to September of 2004 to 2006 was of 149 days, which corresponds to 81% of the days evaluated, and the year 2005 was the most critical. The fuel characteristics varied as a function of the climatic conditions and spatial distribution of the pastures. The fuel characteristics that most affected the fire were dead plant moisture and plant moisture, which showed a linear relation with dead matter content. These characteristics could be used as indicative of fire risk. From those characteristics associated with NDVI during the dry season, only fresh weight of green phytomass and dead plant moisture were significative. Therefore, as the NDVI of these field areas increases, the moisture levels of the dead fuel decrease and the level of green phytomass increases. In the rainy season, the association between NDVI and plant moisture content, as well as green dead matter and dead dry phytomass were significative. Finally, it was elaborated a map with the NDVI ranges for each physiognomy in 2005, year considered critical with respect the occurrence of fire. It was observed that the major part of the Nhecolândia sub-region has physiognomies susceptible to fire. It was conclude that the indices evaluated in this study can be indicatives of fire risk, however, complementary studies should be undertaken to construct a

model/indices that integrates the different factors (indices) for fire risk prediction for all region of the Pantanal.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Delimitação das sub-regiões do Pantanal brasileiro, Bacia do Alto Paraguai e Pantanal no Brasil.....6
<b>Figura 2</b>	Classificação dos combustíveis.....18
<b>Figura 3</b>	Seção transversal de uma folha mostrando possíveis trajetórias das radiações eletromagnéticas.....37
<b>Figura 4</b>	Refletividade, absorvidade e transmissividade numa folha verde para a radiação no infra-vermelho próximo (IVP) e na banda visível (V).....38
<b>Figura 5</b>	Resposta espectral de vegetação, água e solo em sete canais do Sensor M LANDSAT.....41
<b>Figura 6</b>	Área de estudo: áreas de campo limpo com dominância de gramíneas cespitosas, localizadas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil (imagem Landsat de abril de 2006.....46
<b>Figura 7</b>	Campo limpo com predominância de capim-carona, agosto de 2005, sub-região da Nhecolândia, Pantanal..... 50
<b>Figura 8</b>	Campo limpo com predominância de capim-vermelho, agosto de 2005, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....51
<b>Figura 9</b>	Valores mensais de precipitação (PP) e umidade relativa do ar (UR) nos anos hidrológicos de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 na fazenda Nhumirim, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS..... 58

<b>Figura 10</b>	Número anual de dias críticos, com grau de perigo alto e muito alto de incêndios na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.....62
<b>Figura 11</b>	Número de focos de calor detectados no Pantanal entre 2000 e 2006, no período seco, de julho a outubro.....63
<b>Figura 12</b>	Número de focos de calor no Pantanal de julho a outubro dos anos 2004, 2005 e 2006.....65
<b>Figura 13</b>	Focos de calor nas sub-regiões do Pantanal no período de julho ao outubro de 2006.....66
<b>Figura 14</b>	Focos de calor da sub-região da Nhecolândia em 2004.....68
<b>Figura 15</b>	Focos de calor da região de Nhecolândia em 2005.....69
<b>Figura 16</b>	Focos de calor da região de Nhecolândia em 2006.....70
<b>Figura 17</b>	Fitomassa seca total de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal....72
<b>Figura 18</b>	Fitomassa verde seca de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal...75
<b>Figura 19</b>	Fitomassa seca morta de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal...76
<b>Figura 20</b>	Teor de matéria morta da planta e umidade da matéria morta (A) e umidade da planta (B), de capim-carona, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal .....79
<b>Figura 21</b>	Teor de matéria morta da planta e umidade da matéria morta (A) e umidade da planta (B), de capim-vermelho, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....79

<b>Figura 22</b>	Altura da lâmina foliar de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....82
<b>Figura 23</b>	Recorte de imagem NDVI, obtidos de CCD/CYBERS, em agosto de 2006, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal. Cv = pastagem com predominância de capim-vermelho, onde o ponto amostral CV1 mais escuro indica maior umidade de solo, apresentando valor mais baixo de NDVI (0,23); CA= pastagem com predominância de capim-carona.....90
<b>Figura 24</b>	Relações entre NDVI e teor de umidade da matéria morta (a) e fitomassa seca verde (b) de áreas de campos com predominância de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....90
<b>Figura 25</b>	Relações entre NDVI e umidade da planta e teor de matéria morta da planta de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....92
<b>Figura 26</b>	Relações entre NDVI e fitomassa fresca total (a) e fitomassa seca total de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal..... 92
<b>Figura 27</b>	Relações entre NDVI e relação matéria verde/matéria morta e densidade de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....94
<b>Figura 28</b>	Relações entre NDVI e fitomassa seca com outlier (a) e sem outlier em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período

	chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....96
<b>Figura 29</b>	Relações entre NDVI e fitomassa seca morta (a) e teor de umidade da planta em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....97
<b>Figura 30</b>	Relações entre NDVI e relação matéria verde/matéria morta (a) e densidade em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....97
<b>Figura 31</b>	Relações entre NDVI e fitomassa seca verde e teor de umidade da matéria morta em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....98
<b>Figura 32</b>	Mapa temático de recorte de imagem da sub-região da Nhecolândia em função das faixas de NDVI obtidas em agosto de 2005.....100

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Tipos de vegetação em % de área, discriminados por sub-região, com a contribuição total de cada fitofisionomia na Pantanal Mato-Grossense, em setembro/outubro de 1991.....8
<b>Tabela 2</b>	Descrição das propriedades de diferentes combustíveis..... 22
<b>Tabela 3</b>	Estimativas de combustível fino (herbáceas) em diferentes fitofisionomias do cerrado no Distrito Federal.....23
<b>Tabela 4</b>	Escala de perigo do índice logarítmico de Telicyn.....27
<b>Tabela 5</b>	Restrições à somatória de Nesterov, de acordo com a quantidade de chuva do dia..... 28
<b>Tabela 6</b>	Escala de Perigo do índice de Nesterov.....29
<b>Tabela 7</b>	Restrições da Fórmula de Monte Alegre em relação da quantidade de chuva do dia .....29
<b>Tabela 8</b>	Escala de perigo de incêndio da Fórmula de Monte Alegre.....29
<b>Tabela 9</b>	Equações dos índices de vegetação de MVI 5 e o MVI7.....43
<b>Tabela 10</b>	Características das imagens utilizadas.....54
<b>Tabela 11</b>	Descrição das fitofisionomias e respectivos estratos e tamanho dos combustíveis existentes, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....57
<b>Tabela 12</b>	Valores médios e respectivos desvios–padrão das características

	das comunidades de campo limpo com predominância de capim-carona e capim-vermelho, no pico da seca de 2005 e 2006, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.....71
<b>Tabela 13</b>	Faixas de valores médios do teor de matéria morta (grau de maturidade) versus conteúdo de umidade da planta e conteúdo de umidade da matéria morta em capim-carona (CA) e capim-vermelho (CV), na sub-região da Nhecolândia, Pantanal..... 73
<b>Tabela 14</b>	Classes de perigo de incêndio para os campos de gramíneas cespitosas do Pantanal, em função da porcentagem de umidade da matéria morta (UMM).....81
<b>Tabela 15</b>	Coeficientes de correlação de Pearson entre as características relacionadas com a produtividade e estruturais de campos de “macega” no período seco e os dois componentes principais, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, no período de seca.....84
<b>Tabela 16</b>	Função linear discriminante das características produtivas de campos com predominância de capim-carona e capim-vermelho, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, segundo período de águas e de seca.....85
<b>Tabela 17</b>	Percentual de observações classificadas pelas características produtivas, em função da época.....85
<b>Tabela 18</b>	Função linear discriminante das características produtivas de gramíneas, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, em função do tipo de pastagem (comunidade).....86

<b>Tabela 19</b>	Percentual de observações classificadas pelas características produtivas, em função da pastagem..... 86
<b>Tabela 20</b>	Valores de índice de vegetação normalizado (NDVI) obtidos para diferentes áreas (pixel de amostragem) com dominância de capim-vermelho e capim-carona (tipo de pastagem), no pico da seca de agosto de 2005 e 2006, sub-região da Nhecolândia Pantanal...88
<b>Tabela 21</b>	Equações de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão (EP) e valor do teste de F para as características de campos com predominância de capim-vermelho e capim-carona no período seco de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, MS.....89
<b>Tabela 22</b>	Equações de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão (EP) e valor do teste de F para as características de campos com predominância de capim-vermelho e capim-carona no final do período chuvoso de 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.....96
<b>Tabela 23</b>	Faixas de índice de vegetação normalizado (NDVI) obtidos nas diferentes fitofisionomias da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, na seca de 2005 e 2006 e nas chuvas de 2006.....101

## 1. INTRODUÇÃO

O Pantanal Mato-Grossense possui extensas áreas de campos naturais que são favoráveis à atividade pastoril. A criação de bovinos de corte é a principal atividade econômica da região a cerca de dois séculos. A região é complexa e dinâmica, em razão da grande variedade de unidades de paisagem (fitofisionomias), que variam espacialmente e temporalmente, principalmente em função das condições climáticas (Santos, 2001). Na sub-região da Nhecolândia há uma diversidade de fitofisionomias dispostas em mosaico, tais como campo limpo, campo cerrado, cerrado e áreas baixas (bordas de lagoas, rios e vazantes). A composição florística de cada fitofisionomia é variável em razão de diversos fatores, entre os quais o manejo antrópico. Segundo Pott (1994), os bovinos podem ser considerados como bombeiros do Pantanal, pois consomem grande parte do material combustível. Porém, como o gado é seletivo, muitas áreas de campo, com predominância de gramíneas cespitosas, pouco preferidas pelo gado, acumulam biomassa aérea (fitomassa), formando áreas de 'macegas' (Santos et al., 2005), que constituem em grande quantidade de material combustível fibroso e altamente inflamável, especialmente no final do período seco (agosto a setembro).

Uma das estratégias usadas pelos fazendeiros para estimular o consumo destas áreas de 'macegas' é a queima controlada, geralmente realizada nos campos com predominância de capim-carona (*Elyonurus muticus*), capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*), fura-bucho (*Paspalum lineare*), entre outros. Esta prática de manejo pode auxiliar na diminuição de grandes incêndios quando feita dentro de critérios técnicos e condições climáticas adequadas, o que nem sempre acontece,

acarretando assim, o alastramento do fogo. Anualmente, são registrados incêndios na região do Pantanal, cuja intensidade varia anualmente. Embora haja na literatura vários índices de previsão de risco de incêndio, especialmente envolvendo variáveis climáticas, ainda não há estudos específicos de previsão para a região do Pantanal.

Os fatores determinantes de um incêndio são: o material combustível, as variáveis climáticas e o relevo. Há diversas técnicas disponíveis para avaliar as variáveis topográficas e meteorológicas em larga escala, no entanto, o mapeamento das propriedades dos combustíveis são mais difíceis por causa da alta variabilidade espacial e temporal, especialmente numa região dinâmica e complexa, como o Pantanal. As propriedades dos combustíveis envolvem o tipo de fitomassa, condição e umidade, dentre as quais o teor de umidade é a mais importante no controle de incêndio (Dennison et al., 2000). Uma tentativa que vem sendo implementada mundialmente é o desenvolvimento de sistemas de predição de risco de incêndio por meio de sensoriamento remoto, que estima o estado da vegetação em grandes áreas (Hardy e Burgan, 1999). Um dos índices mais conhecidos é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), expresso pela razão entre a diferença da medida de reflectância nos canais do infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V) e a soma desses canais, cujos valores para as áreas com vegetação dependem da sua arquitetura, densidade e umidade. De maneira geral, um alto valor de NDVI está associado com coberturas de vegetação densas e verdes, pois as folhas verdes têm alta reflectância na banda do IVP e baixa na banda do V (Deering, 1975).

O manejo sustentável dos recursos naturais do bioma Pantanal requer informações sobre a vulnerabilidade da vegetação a incêndios e ao provável comportamento do fogo, tais como: facilidade de ignição, razão de espalhamento,

dificuldade de controle e impacto do fogo, entre outros. Portanto, a elaboração de índices e/ou programas de avaliação de risco de incêndios para a definição de planos de manejo de prevenção é uma necessidade premente para a região pantaneira.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a utilização de índices climáticos e de vegetação na previsão de risco de incêndio na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

### **2.1. Objetivos específicos**

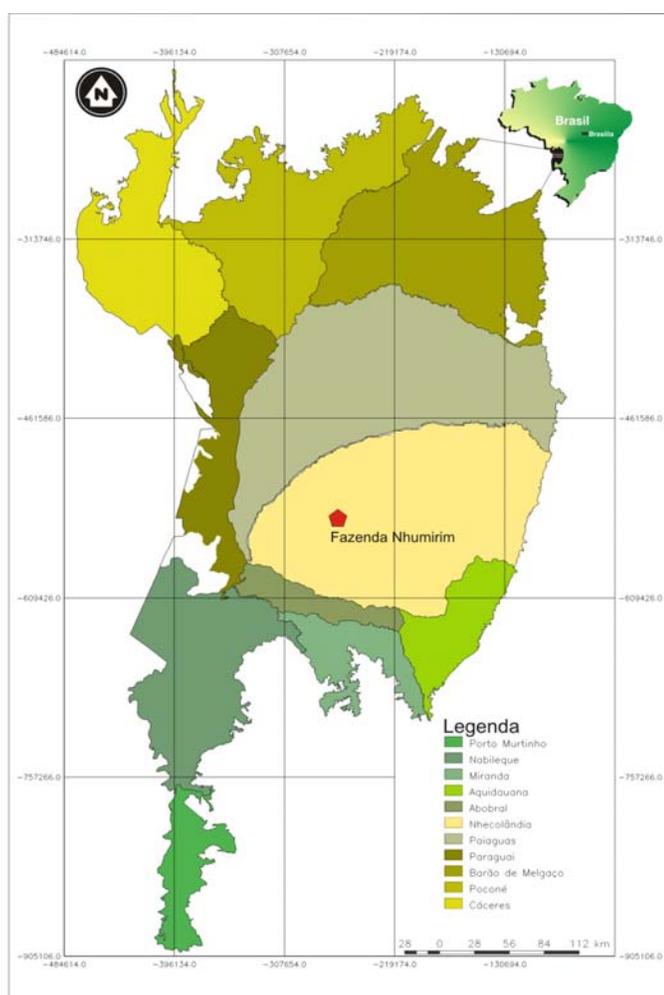
- Avaliar as características produtivas, vigor e estrutural de duas pastagens com predominância de gramíneas cespitosas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.
- Avaliar a utilização de um índice climático no grau de risco de incêndio durante o pico da seca e relacioná-los com as características dos combustíveis vegetais de campos com predominância de gramíneas cespitosas (“macega”) e com o número de focos de calor estimado pelo INPE, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.
- Avaliar a relação entre as características do material combustível de campos com predominância de gramíneas cespitosas e valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtidos de imagens CBERS durante períodos de pico de seca de dois anos consecutivos, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

- Avaliar a relação entre características do material combustível de campos com predominância de gramíneas cespitosas e valores de índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtidos de imagens LANDSAT no final do período chuvoso de 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.
- Elaborar mapa de índices de vegetação para os diferentes tipos de combustíveis da sub-região da Nhecolândia, usando a faixa de valores obtidos no pico da seca de 2005, ano considerado com risco extremamente alto de incêndio.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Descrição do Pantanal

O Pantanal-Mato-Grossense é uma extensa planície que apresenta dinâmica de inundações e grande diversidade ecológica. Está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, com área de 139.111 km<sup>2</sup> (Brasil, 1978), situado entre 16 e 20<sup>o</sup> sul e 50<sup>o</sup> e 58<sup>o</sup> Oeste, dividido em onze sub-regiões (Silva e Abdon, 1998; Figura 1).



**Figura 1** - Delimitação das sub-regiões do Pantanal brasileiro, Bacia do Alto Paraguai e Pantanal no Brasil.

A flora do Pantanal recebe influência dos seguintes biomas: Cerrado, Chaco, Floresta Meridional e Floresta Amazônica. O Cerrado é o que tem mais influência, ocupando áreas arenosas; o Chaco penetra pelo Sul do Estado até Corumbá e Miranda, em solos argilosos e alcalinos. Algumas espécies amazônicas, em minoria, ocorrem pelas matas ciliares ou ciliares em galeria, do Norte, (Prance e Schaller, 1982). A influência da floresta meridional também é mínima e ocorre pelo Sudeste (Adamóli,1986). Muitas das espécies que ocorrem no Pantanal são de ampla distribuição geográfica. Algumas são comuns em outras savanas inundáveis da América do Sul, como as Lianas (González-Jimenez, 1979; Ramia, 1959).

Silva et al. (2000) avaliaram a distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal por levantamento aéreo, discriminando-os por sub-região (Tabela 1).

O clima do Pantanal é tropical sub-úmido (Aw, de Köppen), com temperaturas elevadas durante o ano todo e duas estações: seca, de abril a setembro, e úmida, de outubro a março, com aproximadamente 80% das chuvas. A média anual das precipitações pluviométricas é de 800 a 1200 mm. Aproximadamente, 30 % da superfície do Pantanal é inundada na estação chuvosa, quando o rio Paraguai sobe mais de 4 m acima do nível da estação seca (Santos et al. 1977).

Segundo Cunha (1981), os sedimentos da superfície do Pantanal são de dois tipos, arenoso e argiloso. Os arenosos dominam o grande leque aluvial do rio Taquari, onde foram formadas as sub-regiões da Nhecolândia e Paiaguás. Os argilosos predominam nas sub-regiões de Poconé, Miranda e Nabileque. As sub-regiões de Cáceres, Barão de Melgaço, Aquidauana e Abobral têm ambas as

**Tabela 1** - Tipos de vegetação, discriminados por sub-região, com a contribuição total de cada fitofisionomia<sup>1</sup> no Pantanal Mato-Grossense, em setembro/outubro de 1991.

Sub-região	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Percentagem de cobertura																	
Cáceres	36,8	11,1	0,5	1,2	12,9	14,8	2,8	0,6	4,5	0,2	10,3	1,4	0	0	0,8	0	2,1
Poconé	12,9	7,9	12,6	4,3	16,8	9,9	1,3	6,4	14,8	2,2	3,4	0,06	0	0	0,8	0,3	6,3
Barão de Melgaço	22,3	35,8	4,8	5,2	3,5	4,6	0,6	9,3	5,3	0,8	0,3	0,4	1,2	0	0	0	5,9
Paiguás	23,7	17,4	2,3	2,4	12,5	25,6	1,4	3,2	5,8	0,7	1,6	0,03	0,03	0	0,03	0	3,3
Nhecolândia	33,5	11,9	1,1	0	2,0	42,2	0,3	0,2	0,3	0	0,1	0,4	0,1	0	0	0	7,9
Aquidauana	31,2	20,2	2,9	3,9	3,5	24,9	2,5	0	3,5	1,5	1,9	0	0,4	0	0	0,4	3,2
Miranda	30,8	14,7	14,4	2,3	2,3	10,3	0	0	9,5	1,1	0	0	0	0	3,5	6,4	4,7
Abobral	15,4	1,2	3,3	0,9	15,7	22,9	2,1	0,9	16,5	2,7	7,8	0	0	0	1,8	3,6	5,2
Nabileque	0,3	0	0,7	0,7	21,4	15,8	1,3	0	8,5	3,8	2,3	0	0	6,7	19,1	14,0	5,4
Paraguai	0	0	2,7	6,7	22,0	2,0	0	5,7	35,5	0	1,7	0	0	0	0,6	0,7	22,4
Pantanal	22,1	14,3	3,9	2,4	10,8	20,3	1,2	3,1	7,4	1,2	2,4	0,3	0,2	0,5	2,3	1,7	5,9

11= cerradão; 2=cerrado; 3= mata semi-decídua; 4= mata de galeria; 5= campo inundado; 6= campo seco; 7= canjiqueiral; 8= cambarazal; 9= brejo; 10= pirizal/caetezal; 11= baceiro ou batume; 12= babaçual; 13= buritizal; 14= chaco; 15= carandazal; 16= paratudal; 17 = outros (Silva et al., 2000).

texturas, mais argilosa próxima aos rios e mais arenosa longe dos cursos fluviais (Amaral Filho, 1984).

Os solos do Pantanal da sub-região da Nhecolândia são arenosos, com textura fina. Eventualmente, podem ser encontradas manchas do solo siltoso ou argiloso. As savanas e campos da Nhecolândia assentam-se fundamentalmente sobre uma camada aflorante de areia muito fina (Allem e Valls, 1987).

A pecuária de corte é a principal atividade econômica da região do Pantanal, cuja origem remonta ao século XVIII. Desde a sua implantação, a pecuária pantaneira já passou por vários ciclos econômicos ao longo do tempo (Abreu, 2000). Segundo o mesmo autor, o Pantanal é composto por grandes propriedades rurais, que criam o gado de corte de forma extensiva, onde predominam as fases de cria e recria, com engorda em algumas regiões com pastagens de melhor qualidade.

### **3.2. Pastagens nativas**

As pastagens nativas constituem quase que exclusivamente a base alimentar dos herbívoros silvestres e domésticos (Santos et al., 2005). De acordo com Pott e Pott (1994) a flora do Pantanal apresentou 1.863 espécies, pertencentes a 774 gêneros e 136 famílias. As famílias gramíneas, leguminosas e ciperáceas são as mais representativas. Segundo Allem e Valls (1987), dentre as gramíneas as principais espécies são *Axonopus purpusii* (capim-mimoso), *Mesosetum chaseae* (grama-do-cerrado), *Panicum laxum* (grama-do-carandazal) e *Reimarochloa brasiliensis* (mimosinho, mimoso-peludo). As espécies *Andropogon bicornis* (capim-rabo-de burro), *Andropogon hypogynus* (capim-vermelho), *Elyonurus muticus* (capim-

carona), *Paspalum lineare* (fura-bucho) e *Trachypogon spicatus*, são gramíneas cespitosas, que crescem em forma de touceiras, muito grosseiras, as quais só são consumidas após a queima ou em períodos críticos de estiagens (Pott, 1982).

Segundo Santos et al. (2002), cerca de 70% da composição em peso seco da dieta de bovinos é formada por apenas, cerca de 10 espécies forrageiras, e a maioria é constituída de gramíneas. As principais espécies presentes na composição da dieta dos bovinos na sub-região da Nhecolândia foram *Axonopus purpusii* (capim-mimoso), *Mesosetum chaseae* (grama-do-cerrado) e *Panicum laxum* (grama-do-carandazal).

Os animais em geral, exploram a variabilidade de recursos forrageiros da região pelo pastejo seletivo, ocasionando distribuição desigual das áreas de pastejo de caronal e capim vermelho por exemplo, favorecendo a formação de “macegas” (áreas não utilizadas para pastejo). Estas áreas geralmente são campos limpos com predominância de espécies indesejáveis, tais como o capim-carona, capim-vermelho e “capim fura-bucho”.

Segundo Allem e Valls (1987), o capim-carona é uma espécie que forma grandes touceiras avantajadas e muito próximas umas das outras, formando os famosos caronais, típicos da Nhecolândia, onde mostra seu apogeu de desenvolvimento. Ocorrem também em outros pantanais, como Paiaguás e Cáceres. Espécie estritamente psamófila, com densidade tão alta a ponto de permitir apenas a instalação de nesgas de pastagem entre suas touceiras. O capim-carona é controlado em sua dispersão pelo nível das águas, pois não resiste à inundação. O caronal é pouco ou não alagável, mas essa gramínea é de baixíssimo proveito, sendo consumida pelo gado e outros animais herbívoros somente no período de

brotação. Isto é, por curto período de tempo, até 15 dias, após a queima. Os animais não comem o capim-carona, devido a presença de óleos essenciais (presença de odor muito forte).

O “capim-vermelho” é uma espécie de importância nos pantanais de Nhecolândia, Paiaguás, Aquidauana e Miranda, pela alta frequência com que ocorre. Prefere solo friável e sua grande importância para a alimentação bovina vem da intensa brotação que sobrevém após a queimada, a qual é muito apreciada pelos bovinos. Posteriormente, a planta torna-se fibrosa, por isso menos procurada pelo gado. É uma espécie muito variável em altura (de 0,5 m a 2,0 m) (Allem e Valls, 1987).

### **3.3. Manejo das pastagens com o uso de fogo**

O manejo sustentável de uma pastagem deve envolver a aplicação de planos de manejo estratégicos adequados, de modo que a produtividade obtida seja economicamente viável sem influenciar a integridade ecológica, ou seja, a sobrevivência das pastagens a longo prazo (Santos et al., 2005).

A presença do fogo em pastagem está associada desde a ocupação das terras, com a introdução da pecuária extensiva. Na maioria das áreas de savanas e especialmente nos cerrados brasileiros, ao final da estação seca, queimam-se indiscriminadamente áreas de vegetação herbácea, arbustiva e arbórea. No Pantanal, provavelmente devido ao mosaico de tipos de vegetações, a queima é empregada anualmente e de forma controlada, diferente do que ocorre na maioria das áreas de savanas. Esta queima é feita de forma seletiva e localizada para eliminar a expansão de espécies indesejáveis e estimular a rebrota das forrageiras

de baixa palatabilidade. A rebrota promovida pelo fogo parece ser essencial no aproveitamento das forrageiras de baixa aceitabilidade. No entanto, perde-se em torno de 90% da fitomassa aérea pela queimada (Pott, 1982).

Segundo Rodrigues et al. (2002), a utilização desta prática é comum em regiões tropicais e subtropicais, especialmente naquelas caracterizadas por estações secas pronunciadas, justificadas pelo controle de plantas invasoras e maior oferta de forragem fresca e palatável para o gado, obtida pela emissão de brotações, proporcionada por remoção de macega.

Fernandez et al. (1997) mencionam que o uso do fogo programado é uma prática que faz reduzir a quantidade de material combustível em áreas sujeitas a longos períodos de estiagem, podendo diminuir o risco de incêndios de extensas proporções. Um incêndio não pode ser confundido com queima controlada, que é a utilização do fogo em uma área previamente demarcada, com autorização do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), sob determinadas condições de clima, umidade do solo e outras medidas necessárias, produzindo a intensidade de calor e a taxa de propagação, necessárias para alcançar certos objetivos de manejo. Incêndio florestal, por sua vez, é um fogo que está fora de controle e, se propaga livremente, consumindo diversos tipos de materiais combustíveis existentes (Soares, 1985).

Segundo Jacques (2002), a queima no Brasil é uma questão fundamental e necessita ser mais bem debatida. O fogo tem sido um agente modificador do ambiente há anos e seu uso no manejo da vegetação ainda é polêmico. O seu uso é

permitido em algumas regiões do mundo e proibido em outras, como na Europa Continental e Inglaterra.

No Pantanal, a utilização do fogo é feita de forma seletiva e localizada, procurando eliminar ou conter a expansão de espécies indesejáveis e promover a rebrota das forrageiras de baixa palatabilidade, sendo comumente queimadas as áreas de caronal (*Elyonurus muticus*), de capim-fura-bucho (*Paspalum lineare*), de capim rabo-de-burro (*Andropogon bicornis*) e de capim-vermelho (*Andropogon hypogynus*) e cerrados ralos (Cardoso et al., 2000), denominadas de “macegas”. A rebrota promovida parece essencial ao aproveitamento das forrageiras de baixa aceitabilidade, embora, talvez, 90% da fitomassa aérea seja perdida pelo fogo (Valverde, 1972).

Santos et al. (2003), afirmam que no tempo da seca no Pantanal, como proteção contra a dessecação, as árvores entram em estado de dormência, quando muitas perdem ramos e folhas e outras somente folhas. Nessa época é comum a prática de queimadas nas fazendas, para limpar áreas de campo com domínio de gramíneas secas. Esses mesmos autores, afirmam, que a queimada realizada de forma controlada não é de todo prejudicial, pois estimula o rebrotamento de muitas plantas do cerrado. No entanto, se o fogo ultrapassar o ambiente programado, dependendo da área alcançada e da intensidade, poderá causar prejuízo à biodiversidade da região.

O fogo quando repetidos todos os anos, como acontece na maioria das fazendas do Pantanal, atua como um potente herbicida e fungicida seletivo. Algumas espécies, como as gramíneas resilientes, são favorecidas pelo fogo, embora tenham

gramíneas pouco resistentes ao fogo, outras que sobrevivem com mais ou menos dificuldade, e outras que desaparecem completamente (Lutzenberger, 1988).

Jacques (1997; 2002) determinou que existem, de fato, dois tipos de queima. Uma é a queima do material seco ainda preso à parte aérea da planta e a outra é a queima do material morto já desprendido da planta e depositado sobre a superfície do solo. No primeiro caso, a remoção da parte seca pela ação do fogo representa uma situação semelhante ao que é feito, em grande parte, com a roçadeira. No segundo caso o fogo elimina total ou parcialmente a biomassa sobre a superfície do solo trazendo maiores prejuízos ao solo e à vegetação.

O argumento de que a queima renova totalmente a pastagem, possibilitando uma dieta de maior valor nutritivo para os animais, não tem base científica. Brâncio et al. (1997) verificaram que não havia diferença entre as dietas de animais mantidos em áreas de pastagens queimadas e áreas não queimadas, utilizando fístulas esofágicas para avaliar o que realmente era consumido pelos animais em estudo. Isto porque, havendo boa oferta de forragem, o animal seleciona muito bem a sua dieta, consumindo o que lhe convém. De acordo com Castilhos (1984), a vantagem da disponibilidade de material verde, após a queima ocorre por períodos relativamente curtos em comparação com áreas não queimadas, o que não compensaria os prejuízos da prática das queimadas.

A produção de matéria seca das pastagens depende do tempo entre a incidência da queimada e o início da estação de crescimento das plantas. As queimadas que ocorrem quando as plantas encontram-se em fase de crescimento e rebrota natural determinam baixa produtividade primária (James, 1985).

Segundo Cardoso et al. (2003), no trabalho desenvolvido em uma área de savana gramíneo-lenhosa, na sub-região de Nhecolândia, mostrou que o emprego da queimada no Pantanal seja feito de forma controlada, sua utilização requer muito cuidado. Como resultados relataram que a queima anual do caronal promoveu uma redução de 36% na biomassa aérea, nos onze meses subseqüentes à queima, quando comparada à área sem queima. Além disso, a reincidência de queimada no ano seguinte gera uma redução de aproximadamente 50% da fitomassa total. A fitomassa morta decresceu com valores máximos, o que representa nada mais do que 10% da área sem queima.

Segundo Villares (1966), a queima controlada deve ser realizada uns dois dias após uma quantidade de chuva adequada, para garantir um eficiente umedecimento do solo, como também realizada nas últimas horas do dia, para haver melhor controle das chamas. Porém, a freqüência entre queimas está mais relacionada com o tempo necessário para a vegetação se recuperar. A freqüência do fogo sobre a vegetação é variável dependendo da fitofisionomia, ou seja com o tipo de ecossistema. Segundo Mattos (1970) a freqüência de queima deve ser aquela permitida pelas forrageiras, podendo ser até anual. Para campos sujos ou limpos e pastagens nativas, a queima pode ser realizada de um a dois anos (Eiten, 1972; Coutinho, 1979). A queima deve ser aplicada a cada dois ou três anos, na mesma área, porque queimas anuais geralmente formam manchas sem queimar (Adamóli et al., 1982); Pressland, 1982)).

#### **3.4. Características dos incêndios**

Os incêndios são classificados em razão do estrato do combustível afetado. Há três tipos de incêndios: de superfície ou superficial, subterrâneo e de copas. De maneira geral, os superficiais propagam-se na superfície do solo, queimando restos vegetais não decompostos até cerca de 2,0 m de altura. Estes incêndios possuem propagação rápida, abundância de chamas e liberação intensa do calor. Os subterrâneos propagam-se lentamente através das camadas de húmus ou turfas existentes sobre o solo mineral, apresentam pouca fumaça, sendo portanto difícil de detecção e combate. Os incêndios de copas caracterizam-se pela propagação do fogo através das copas das árvores. Geralmente ocorrem a partir dos incêndios superficiais. Propagam-se rapidamente e tem grande poder de destruição (Sardinha e Macedo, 1993).

No Brasil, segundo Batista e Soares (2002), as principais causas de incêndios são: raios, queima para limpeza, operações florestais, fogos campestres, fumantes e incendiários. Incêndios não programados e não controlados têm conseqüências diversas em diferentes escalas, que vão desde o risco para as populações rurais à degradação ambiental, com contribuição para o aquecimento global. Entretanto, a extensão e intensidade dos fogos estão relacionadas com diversos fatores, entre os quais o tipo, quantidade e estado de vegetação combustível (Chuvieco e Martin, 1994).

Normalmente, um incêndio começa através de um pequeno foco, que inicialmente tende a propagar-se para todos os lados. Vários fatores, como a existência do vento, declive do terreno e tipo de combustível definem a forma final

dos incêndios que podem ser circular, irregular ou elíptica (Sardinha e Macedo, 1993).

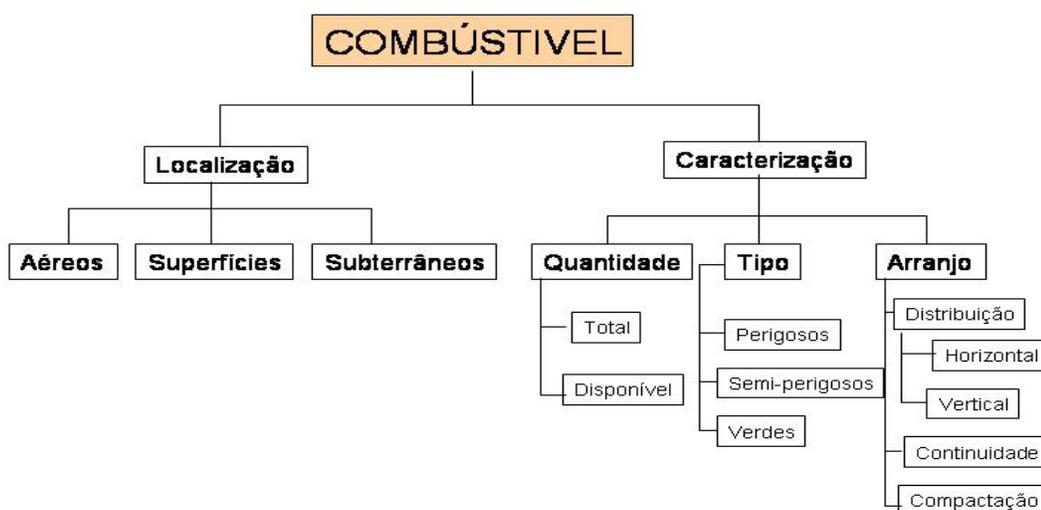
O incêndio é formado pela cabeça ou pela frente, que é parte que avança mais rapidamente, queimando com mais intensidade; a cauda, base ou retaguarda, situada em direção oposta à cabeça; os flancos (parte lateral) e ainda pelos fogos secundários (originados pela projeção de partículas incandescentes provindas do fogo principal). De modo geral, o fogo alcança intensidade máxima entre 14h e 16h o que correspondem à temperatura e a umidade relativa máxima do dia (Sardinha e Macedo, 1993).

### **3.5. Características dos combustíveis**

Os fatores determinantes de um incêndio são o tipo de material combustível, as variáveis climáticas e a topografia. O material combustível é o único no chamado “triângulo do fogo” efetivamente sujeito a alterações antrópicas e, conseqüentemente, passível de controle. A quantificação de combustíveis está fortemente relacionada às ações de combate e queima controlada, pois são eles os responsáveis pelas características do comportamento do fogo como intensidade e velocidade de propagação (Beutling et al., 2005).

Há diversas técnicas disponíveis para avaliar as variáveis topográficas e meteorológicas em larga escala, no entanto, o mapeamento das propriedades dos combustíveis são mais difíceis por causa da alta variabilidade espacial e temporal. As propriedades dos combustíveis envolvem o tipo, massa, condição e umidade, dentre as quais o teor de umidade é a mais importante no controle de incêndio

O potencial do comportamento do fogo e seus efeitos não podem ser preditos sem uma descrição acurada dos combustíveis. Os combustíveis consistem na biomassa orgânica no solo, viva ou morta, susceptível de combustão. De forma geral, o material combustível apresenta uma localização no estrato florestal e é caracterizado pela quantidade, pelo tipo e pelo arranjo que possui sobre determinado local, conforme diagrama estabelecido por Beutling et al. (2005), apresentado na Figura 2.



**Figura 2** – Classificação dos combustíveis (Beutling et al., 2005).

A cobertura vegetal é responsável pelo fornecimento do material combustível para queima. As propriedades dos combustíveis variam de acordo com o tipo de vegetação e estas diferenças podem causar alterações no desenvolvimento de incêndios. Uma floresta densa proporciona um microclima mais ameno, conseqüentemente, os combustíveis apresentam um conteúdo de umidade maior e

mais estável do que uma floresta rala ou aberta. Deste modo, pode-se afirmar que o fogo se propaga com mais facilidade na floresta aberta e/ou campo-cerrado do que na densa. Em florestas ralas ou abertas, o ar circula com facilidade, contribuindo para acelerar a secagem do material combustível. Por outro lado, na floresta densa, o ar não circula livremente devido à barreira física da estrutura florestal e a cobertura vegetal intercepta a radiação solar e reduz evaporação o que acaba contribuindo para o aumento da umidade relativa (Oliveira et al., 2002).

Os combustíveis florestais, que são produtos da cobertura vegetal e sua dinâmica, são importantes parâmetros nos processos de ignição e propagação dos incêndios. Os conhecimentos das características básicas dos combustíveis, tais como: quantidade, continuidade e arranjo, são úteis, tanto na estimativa do risco como na previsão do comportamento dos incêndios (Castrol et al., 2003).

Segundo Torres (1979), as partes da vegetação de florestas podem ser classificadas da seguinte forma: combustíveis ligeiros (ervas, folhas, acículas e ramos); combustíveis pesados (troncos, galhos e raízes) e combustíveis verdes (plantas vivas como folhagem). Essa classificação é importante em relação à rapidez do processo de combustão, que diminui do primeiro para o último. Os combustíveis podem se apresentar com várias disposições, como continuidade horizontal, separação horizontal, continuidade vertical e separação vertical. Estas disposições são importantes em relação à disposição do calor. Mesmo assim, de maneira geral, o efeito do fogo sobre a vegetação pode variar de acordo com as condições ambientais no momento da queima, com o tipo de solo da área, frequência da queima e

quantidade de combustível, que determina a intensidade e a duração da queima (Rodrigues, 1999).

Os diferentes tipos de vegetação variam quanto às propriedades de ignição e combustão em função da sua composição química e estrutura. A condição do combustível vivo requer muito mais preaquecimento do que combustíveis mortos. Esta é uma variável importante em pastagens, pois as gramíneas amadurecem (senescem) durante o período seco. O grau de cura (maturidade) representa a proporção de matéria morta da pastagem, ou seja, a percentagem de combustível que está morta. A umidade dos combustíveis é uma das características mais importantes no controle do risco de incêndio. Enquanto o material morto depende da umidade do ambiente para entrar em equilíbrio, a umidade do combustível vivo depende de vários fatores, entre os quais, a espécie de planta, a saúde da vegetação e a disponibilidade de água no solo (Dennison et al., 2000). O alto conteúdo de umidade aumenta o calor necessário para queimar os combustíveis, já que essa energia é usada para evaporar a água. Além disso, os valores altos de combustível insinuam uma propagação lenta, porque parte deste calor liberado pela frente do fogo é usada para absorver água de combustíveis adjacentes (Chuvieco et al., 2002). Conforme Soares (1998a), o período mais vulnerável a incêndios são os meses de inverno, num período em que a umidade de atmosfera está baixa. A vulnerabilidade torna-se ainda mais crítica, em certos períodos de prevalência de ventos mais aquecidos, o que favorece a ocorrência de altas temperaturas durante o período diurno.

A temperatura do ar também está relacionada com a umidade relativa. As temperaturas elevadas tornam os combustíveis mais secos e susceptíveis de entrarem em combustão. Enquanto que o vento é responsável pela oxigenação da combustão e, conseqüentemente, intensifica a queima, é também o responsável pelo arrastamento de faíscas que poderão provocar focos de incêndios a distâncias consideráveis e pela inclinação das chamas sobre outros combustíveis. Ou seja, o vento aumenta a velocidade de propagação porque aporta o oxigênio para a combustão, transporta o ar aquecido, resseca os combustíveis e dispersa partículas em ignição (Freedman, 1989).

A umidade do combustível morto (ramos secos, árvores e arbustos mortos) está diretamente relacionada com a umidade do ar. Quanto maior a umidade do material vegetal, menor a facilidade que este tem de transformar-se em combustão. Por outro lado, se o ar é seco, a combustão é mais rápida, porque absorve o vapor de água liberado pelo combustível (Freedman, 1999). O termo umidade de extinção refere-se ao conteúdo de umidade do combustível, no qual o fogo não se propaga. O fogo só começa e espalha quando o conteúdo de umidade do material morto (da planta e/ou liteira) está próximo ou abaixo de determinado valor limiar, que representa a umidade de extinção. A umidade de extinção depende da compactação do combustível, da altura (profundidade), tamanho da partícula, velocidade do vento e inclinação. Quando as condições são favoráveis para queima, seu efeito sobre a disseminação e intensidade do fogo é baixo, mas quando as condições para queima são precárias, a umidade de extinção pode causar mudanças significativas (Albini, 1976; Rothermel, 1972). Em função das propriedades dos combustíveis (carga,

altura, densidade, calor e umidade de extinção) desenvolveu-se modelos de comportamento do fogo (Albini, 1976). Na Tabela 2 constam algumas propriedades de diferentes combustíveis documentados por Albini (1976) e Rothermel (1972).

**Tabela 2** – Descrição das propriedades de diferentes combustíveis

<b>Complexo combustível</b>	<b>Carga (t ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Umidade de extinção de material morto (%)</b>
<b><i>Campo dominado por gramíneas</i></b>			
Gramíneas curtas	0,74	30,0	12,0
Gramíneas cespitosas	3,0	75,0	25,0
<b><i>Campos de arbustos e chaparral</i></b>			
Chaparral	5,0	180,0	20,0
Arbustos	1,0	60,0	20,0
<b><i>Liteira de floresta</i></b>			
Liteira de floresta fechada	1,5	6,0	30,0
Liteira de madeira dura	2,9	6,0	25,0

Dados de Albini (1972) e Rothermel (1972).

O volume de combustível disponível por unidade de área afeta a intensidade de fogo (Heikilla et al., 1993). A quantidade de material combustível é uma das variáveis mais significativas que determinam o comportamento do fogo como também afeta a taxa de propagação e intensidade de um incêndio (McArthur, 1962). Segundo Pyne (1984), a quantidade de material combustível total de gramíneas variou de 2.500 a 12.500 kg ha<sup>-1</sup>, em função do ambiente, com diâmetro de 0,0 a 7,6 cm. Em termos comparativos com pastagem, plantações de *Eucalyptus viminalis* apresentam uma quantidade de material combustível de 60.700 kg ha<sup>-1</sup> com diâmetro de até 7,6 cm (Ribeiro, 1997).

Existem variações nos teores de biomassa de combustíveis e estas podem ser devido às metodologias utilizadas e períodos sem queima (Kauffman et al., 1994). Na Tabela 3, constam variáveis estimativas de biomassa aérea da vegetação de diferentes fitofisionomias do cerrado no Distrito Federal.

**Tabela 3** - Estimativas de combustível fino (herbáceas) em diferentes fitofisionomias, do cerrado no Distrito Federal

Fitofisionomia	Biomassa (gm <sup>-2</sup> )				Referência
	Herbácea	Época	Fogo	Local	
Cerrado <i>sensu stricto</i>	1080,0				Abdala et al. (1998)
Cerrado <i>sensu stricto</i>	930,0	Seca	1990	IBGE	Kauffman et al. (1994)
Campo cerrado	863,0			IBGE	Kauffman et al. (1994)
Campo sujo	732,0			IBGE	Kauffman et al. (1994)
Campo limpo	713,0			IBGE	Kauffman et al. (1994)
Campo sujo	670 a 990	Seca	1992	IBGE	Miranda et al. (1996)
Campo sujo	659,0	Seca	1994	IBGE	Andrade (1998)

### 3.6. Índices de risco de incêndio

A realização de estudos para a avaliação do risco de incêndio constitui a melhor possibilidade para a salvaguarda de vidas humanas, das propriedades e dos recursos naturais. A estimativa do risco de incêndio em curto prazo, tem em vista o apoio à tomada de decisões atualizadas sobre atividades de pré-supressão e supressão num plano de mitigação do fogo, e pode ser usada para diversos fins, (Chuvieco et al., 1997).

O estabelecimento e acompanhamento de índices de risco de incêndios, ao longo de período de tempo, em grandes regiões, permite estabelecer quais as zonas potencialmente mais perigosas ou propícias à ocorrência de incêndios, permitindo assim a adoção de medidas preventivas e advertindo o grau de perigo (Carrão et al., 2002).

O risco de incêndio é a probabilidade de o fogo iniciar-se pela presença e/ou atividade de agentes causadores. O perigo de incêndio é composto pelo risco de incêndio e pelas condições de presença de combustível, clima e topografia (Brown e Davis, 1973).

Quando um pequeno foco não é controlado imediatamente, o incêndio é estabelecido e seu combate é dificultado por vários fatores, como tamanho do fragmento; falta de recursos próprios de combate; demora em detecção; falta de acessos adequados. Segundo Paltridge e Barber (1998), o risco do fogo existente em diferentes tipos de vegetação, resultante do acúmulo da biomassa, que podem apresentar diferentes estágios da sucessão.

No cálculo dos índices de perigo de incêndio, é fundamental a medição direta ou indireta de certos fatores meteorológicos. Segundo Soares (1971), esta influência dos componentes climáticos sobre a ocorrência e propagação dos incêndios florestais tem sido comprovada através de vários estudos.

Com relação à precipitação pluviométrica é importante levar em consideração não apenas a quantidade de chuva, mas também a sua distribuição estacional. Numa região havendo distribuição uniforme de chuva, durante todo o ano e sem uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação de incêndios é bem menor, do que uma região onde ocorrem chuvas concentradas em alguns meses, com longos períodos de seca durante outros meses. Portanto, a distribuição da precipitação pluviométrica é fator importante na definição do início, término e duração das estações de alto potencial de incêndio (Schoeder e Buck, 1970).

O alto conteúdo de umidade aumenta o calor necessário para queimar os combustíveis, já que essa energia é usada para evaporar a água. Além disso, os valores altos de umidade do combustível insinuam uma propagação lenta, porque parte deste calor liberado pela frente do fogo é usada para absorver água de combustíveis adjacentes, (Chuvieco et al., 2002).

Um índice estrutural de risco baseia-se na combinação de variáveis que não variam num curto espaço de tempo. O risco de incêndio está relacionado diretamente com a umidade do ar. No entanto, a avaliação desse risco considera igualmente outros fatores, como a ocupação do solo, histórico de incêndio, demografia, infra-estruturas e interface florestal e urbana (Wilson, 1996). Assim, para caracterizar o risco de uma forma realista, este índice necessita ser calculado antes do início da época de incêndio, para auxiliar no planejamento das atividades e gestão dos recursos necessários à sua prevenção (Aranha e Alves, 2001).

Portanto, o desenvolvimento de um índice de risco de incêndio implica na consideração de um vasto conjunto de fatores, que são os combustíveis, a relevo e a meteorologia (Deeming et al., 1977).

A topografia do terreno é um elemento fixo, mas que implica em significativas mudanças no perigo de incêndio, porque a topografia afeta as características dos ventos, e é responsável pela localização dos diversos tipos de combustíveis, tendo influência sobre o seu crescimento e inflamabilidade, devido os seus efeitos sobre o clima. As características topográficas influenciam de fato no desenvolvimento de incêndios florestais principalmente sob três aspectos, tais como: inclinação, altitude e orientação das encostas. A inclinação das encostas influencia nas condições de pré-

aquecimento dos combustíveis e modifica a taxa de propagação. A orientação das encostas tem influência sobre as condições de umidade e tipo de material combustível, em função das condições de iluminação solar (Brown e Davis, 1973).

Grande parte dos índices de risco de incêndio baseia-se apenas nas variáveis climatológicas. Segundo Soares e Batista (2002), os principais índices de perigo de incêndios florestais, que são usados por organizações de prevenção e combate a incêndios são:

- **Índice de Amstron (B):** foi desenvolvido na Suécia. Esse índice baseia-se fundamentalmente na temperatura e na umidade relativa do ar, ambos são medidos diariamente às 13:00 horas. A equação desse índice é:

$$B = 0,05H - 0,1(T-27)$$

Sendo:

B = índice de Amstron  
H = umidade relativa do ar em %  
T = temperatura do ar em °C

Nessa fórmula, sempre que o valor de “B” for menor que 2,5 haverá risco de incêndios dentro de limites razoáveis de custos. Isso irá depender das condições atmosféricas do dia.

- **Índice logarítmico de Telicyn (I):** foi desenvolvido na ex-União Soviética e tem como variáveis as temperaturas do ar e do ponto de orvalho, ambas medidas às 13:00 horas. É um índice acumulativo, isto é, o seu valor aumenta gradativamente, como realmente acontece com as condições de risco de

incêndio, até que a ocorrência de uma chuva o reduza a zero, a partir daí recomeçando o novo ciclo. A sua equação é a seguinte:

$$I = \sum_{i=1} \log (t_i - r_i)$$

Sendo:

I = índice de Telicyn  
 t = temperatura do ar em °C  
 r = temperatura do ponto de orvalho em °C  
 log= logaritmo na base 10  
 n = número de dias sem chuva

Há restrição para esse índice, sempre que ocorrer uma precipitação pluviométrica igual ou superior a 2,5 mm. Deve-se abandonar a somatória e recomeçar o cálculo no dia seguinte, quando a chuva parar. Nos dias de chuva o índice é igual a zero. Como o índice é acumulativo, a interpretação do grau de perigo é feita através de uma escala (Tabela 4).

**Tabela 4** - Escala de perigo de incêndio do índice logarítmico de Telicyn

Valor	Grau de perigo
≤2	Nenhum
2,1 a 3,5	Baixo
3,6 a 5,0	Médio
> 5,0	Grande

• **Índice de Nesterov (G)** – também foi desenvolvido na ex-União Soviética e foi aperfeiçoado na Polônia. Tem como variáveis a temperatura e o déficit de saturação do ar, ambos medidos diariamente às 13:00 horas. É acumulativo, e tem seguinte equação básica:

$$G = \sum_{i=1} (d_i \cdot t_i)$$

Sendo:

G = índice de Nesterov  
d = déficit de saturação do ar em milibares  
t = temperatura do ar em °C

O déficit de saturação do ar (d), por sua vez, é igual à diferença entre a pressão máxima de vapor d'água e a pressão real de vapor d'água, podendo ser calculado por meio da seguinte expressão:

$$d = E(1-H/100)$$

Sendo:

d = déficit de saturação do ar em milibares  
E = pressão máxima de vapor d'água em milibares  
H = umidade relativa do ar em %  
T = temperatura do ar em °C

No índice de Nesterov, a continuidade da somatória é limitada pela ocorrência de restrições, Tabela 5.

**Tabela 5** - Restrições à somatória de Nesterov, de acordo com a quantidade de chuva do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,0	Nenhuma
2,1 a 5,0	Abater 25% no valor de G calculado na véspera e somar d.t do dia
5,1 a 8,0	Abater 50% no valor de G calculado na véspera e somar d.t do dia.
8,1 a 10,0	Abandonar a somatória anterior e recomeçar novo cálculo, isto é, G = 0 do dia

A interpretação do grau de risco estimado pelo índice é feita através de uma escala de perigo, que se encontra na Tabela 6.

**Tabela 6** - Escala de perigo do índice de Nesterov

Valor de G	Grau de Perigo
≤ 300	Nenhum risco
301 a 500	Risco pequeno
501 a 1000	Risco pequeno
1001 a 4000	Grande risco
> 4000	Altíssimo risco

- **Fórmula de Monte Alegre (FMA)** - foi desenvolvida com base nos dados da região central do Estado do Paraná. É acumulativo, e tem como única variável a umidade relativa do ar, medida às 13 horas, como alguns índices citados acima. A sua equação básica é a seguinte:

$$FMA = \sum_{i=1}^n (100/H_i)$$

Sendo:

H = umidade relativa do ar (%), medida às 13:00 horas  
N = número de dias sem chuva

É um índice acumulativo que está sujeito às restrições de precipitação, como pode ser observado na Tabela 7.

**Tabela 7** - Restrições da Fórmula de Monte Alegre em relação da quantidade de chuva do dia

Chuva do dia (mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,0	<b>Nenhuma</b>
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA=0) e recomeçar a somatória do dia seguinte

A interpretação do grau de perigo pela FMA é também feita através de uma escala, descrito na Tabela 8.

**Tabela 8** - Escala de perigo de incêndio da Fórmula de Monte Alegre

<b>Valor de FMA</b>	<b>Grau de Perigo</b>
≤ 1,0	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
> 20,0	Muito Alto

Além dos índices climáticos de previsão de risco de incêndio, há índices usados para a determinação da severidade da seca, também estimados com base nas variáveis climáticas. Dentre os índices de seca, destaca-se o índice de severidade da seca de Palmer; o índice hidrológico de Palmer e índice de umidade da cultura.

### **3.7. Uso de Sistema de Informação geográfica**

Nas últimas décadas, várias aplicações do Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram desenvolvidas para facilitar a análise espacial do risco de incêndio. No âmbito da prevenção de fogos florestais, o SIG permite a eficiente integração de dados de observação da Terra com fatores geográficos relevantes, tais como a vegetação, topografia, meteorologia. (Chuvieco et al,1997).

No meio ambiente do SIG, é possível armazenar, inserir, administrar, analisar e apresentar dados espaciais na forma de mapas, relatórios, gráficos e diagramas. Ainda, a possibilidade de fazer sobreposição de informações e análises espaciais, que são subsídios para a tomada de decisão, (Oliveira, 2002).

Há diversas maneiras de detectar incêndios, dependendo da extensão da área a ser monitorada e característica do local, entre as quais se destacam as torres de observação, vigilância terrestre por postos de vigilância, patrulhamento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites. Em um país como o Brasil, o monitoramento dos incêndios florestais, em nível nacional e em escalas regionais, por imagens de satélite, é a mais eficiente devido ao seu baixo custo e larga escala. A rapidez e a eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são fundamental para viabilização do controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate e atenuação dos danos. Além disso, um conhecimento inadequado da localização do incêndio e extensão da área queimada prejudica a estimativa do impacto do fogo sobre o ambiente (Batista, 2004).

A detecção de incêndio por satélite é um aspecto importante de monitoramento de eventos de fogo e de fumaça. Os satélites para monitorar tais eventos como o AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer)/NOAA, lançado recentemente. No programa de medição da emissão da floresta chuvosa, Tropical Rainfall Measuring Missing (TRMM), as novas potencialidades para detecção monitoraram fogos, fumaça e seu impacto no sistema da terra – atmosfera. Da parte UV (Ultra-Violeta) do espectro eletromagnético ao infravermelho térmico, uma combinação dos sensores que pode ser usada, destacando-se as características diferentes dos eventos da fumaça e do fogo. Cada sensor tem sua própria

potencialidade original. A definição espacial, espectral e temporal, durante as passagens do satélite no dia, pode fornecer informações úteis, sobre os impactos e danos causados pelo fogo, aos ecossistemas no sistema terra-atmosfera (Chuvieco et al., 1997).

Segundo Razafimpanilo et al. (1995), a eficiência do monitoramento de incêndios por satélites vai depender das informações prévias do ambiente, tais como as características do material combustível, sobre a regeneração natural e fenologia da vegetação e das condições climáticas.

As características da cobertura vegetal são fatores condicionantes da qualidade e confiabilidade da detecção de incêndios florestais por satélites. Geralmente em alguns ecossistemas, como as savanas tropicais, um incêndio começa e termina em poucas horas, e, portanto, pode ser que se inicie e termine entre dois intervalos de tempos consecutivos do tempo da passagem do satélite, não sendo possível a detecção do incêndio. No entanto, a detecção da área queimada é mais difícil, por causa da assinatura espectral das áreas queimadas que sempre dependem do tipo de cobertura vegetal e das suas condições (Boschetti et al., 2003).

Os avanços recentes na detecção de incêndios incluem o uso dos dados de satélite, para avaliar a estação e variabilidade interanual da queimada, por isso, com mais detalhes e distribuição regional das emissões da queimada têm aparecido com frequência, nos meios de comunicação. No momento, diferentes avaliações das queimadas da biomassa e a sua variabilidade têm sido detectadas em escala regional e global, o que terá necessidade de ser agrupado no futuro (Lioussé et al., 2002; Duncan e Staudt, 2003; Holzemann et al., 2002).

Os testes para relatar o número de ocorrência de fogo detectada sobre uma determinada região e determinado período do tempo da área queimada obtidos das imagens de satélite de Along Track Scanning Radiometer (ATSR), Áudio-Visual Speech Recogniton (AVSR), AVHRR ou SPOT, mostraram que a correlação entre o número de ocorrência do fogo e área queimada é altamente variável, pois depende do tipo e condições da vegetação e a época/período do ano. A ocorrência do fogo detectado por sistema satélite polar orbital, tais como National Oceanic and Atmospherie Administration – Advance Very High Resollution Radiometer (NOAA-AVHRR), representa apenas pequenas porções de ocorrência do fogo ativo durante o dia. Na verdade, a amostragem mais confiável em todos esses produtos depende de três condições, o período que o satélite passa sobre a área, o que não corresponde ao dia; atividade máxima do fogo, e a duração de ocorrência do fogo, que geralmente é curta, o que pode ser de uma hora em algumas regiões, especialmente nos cinturões tropicais (Schultz, 2002).

A expressão focos de calor é utilizada para interpretar o registro de calor captado na superfície do solo por sensores espaciais. O sensor AVHRR (advance very high resolution radiometer) capta e registra qualquer temperatura acima de 47° C e a interpreta como sendo um foco de calor (Chuvienco et al., 2002).

O advento do sistema de informação geográfica (SIG) possibilitou incorporação de outros parâmetros, além do Índice de Vegetação, para gerar um índice de risco de incêndio. Entre os parâmetros que podem ser acrescentados, os principais são: 1) os que variam em curto período de tempo como os dados meteorológicos, de precipitação, umidade relativa e temperatura do ar; 2) os de variação mais esporádica como fitomassa combustível e proximidade de potenciais

focos de ignição; 3) os fixos, como topografia. O SIG propicia maior abrangência espacial, dentro de uma abordagem denominada mapeamento de risco, que identifica as regiões com diferentes graus de risco de incêndio, (Ferraz e Vettorazzi, 1998).

Um plano de mitigação de fogo pode incluir a difusão de avisos, o estabelecimento de limitações a certas atividades recreativas ao ar livre ou o planejamento de ações de vigilância e prevenção. Para a prevenção e combate à incêndio, estas estimativas são úteis quando são espacializadas na forma de mapas de risco. Estes mapas variam de cobertura local à cobertura global e são produzidos com diferentes resoluções espaciais, podendo abranger períodos curtos ou longos (Chuvieco et al. 1997).

Além de saber a distribuição das classes de vegetação (cartografia de ocupação de solo) é especialmente útil o conhecimento do estado dos combustíveis, com relevância para a sua inflamabilidade. A disponibilidade de cartografia mais precisa, atualizada sobre estes combustíveis, constitui uma informação importante para o planejamento de ações de prevenção e combate aos fogos florestais. Estas ações podem incluir a programação de intervenções preventivas (Caetano et al., 2002; Carrão et al., 2002).

Com as informações oferecidas pelos mapas de risco de incêndio gerados a partir do SIG, várias medidas podem ser tomadas, como maior vigilância nas áreas de riscos, restrições de acesso a estes locais, construções de aceiros preventivos e reorganização de práticas de manejo como corte, desbaste e limpeza. Neste contexto, a determinação do risco de incêndio a partir de Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um instrumento viável para auxiliar o planejamento da prevenção

e combate (Roose et al., 1998). Conhecer a quantidade e característica do material existente é importante para elaboração do plano de prevenção (Torres, 1979).

O estabelecimento e acompanhamento de índices de risco de incêndios, durante certo tempo, em grandes regiões, permite estabelecer as zonas potencialmente mais perigosas ou propícias à ocorrência de incêndios, intensificando as medidas preventivas e advertindo o grau de perigo (Carrão et al., 2002).

Segundo Batista e Soares (2002), a elaboração de mapas indicativos do risco de incêndio, é importante ferramenta para o planejamento da prevenção, mas para a realização de um trabalho preventivo de incêndios em uma área é necessário saber as principais causas desses incêndios nesse local. A elaboração de um mapa de risco, através da marcação dos pontos onde ocorreram os incêndios, possibilita a visualização das áreas de maior incidência de incêndios e ajuda na designação de medidas preventivas especiais para as áreas de maior risco.

### **3.8. Índices de vegetação**

O risco de incêndio está associado com as condições meteorológicas, que têm influência direta no vigor e umidade da vegetação e, conseqüentemente na sua inflamabilidade. Portanto, uma das formas de avaliar o risco de incêndio seria o monitoramento do vigor da vegetação, por meio de estimativas de índices de vegetação. A maior parte dos índices utiliza parâmetros meteorológicos (principalmente precipitação, umidade relativa e temperatura do ar) para determinar as condições da vegetação, pois medidas diretas de umidade de vegetação são complexas e requerem custosas amostragens espaciais. No entanto, índices obtidos

através de imagens de satélite têm sido usados para monitorar o vigor da vegetação, (Pereira e Peres, 1985).

Um dos índices de vegetação mais conhecidos é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), expresso pela razão entre a diferença da medida de reflectância nos canais do infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V) e a soma desses canais, cujos valores para as áreas com vegetação dependem da sua estrutura, densidade e umidade. Há também os aspectos intrínsecos à vegetação que estão associados às características biofísicas das plantas, como o tipo de arquitetura do dossel e as propriedades ópticas das folhas, e dependem do estágio de desenvolvimento fisiológico, da sua estrutura, da composição química, das condições fitossanitárias e da hidratação. O NDVI é uma ferramenta direta, usada para caracterizar a vegetação, por meio da saúde e da sua produtividade, porém, dá uma informação aproximada das propriedades da vegetação (Deering et al., 1975).

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Sendo:

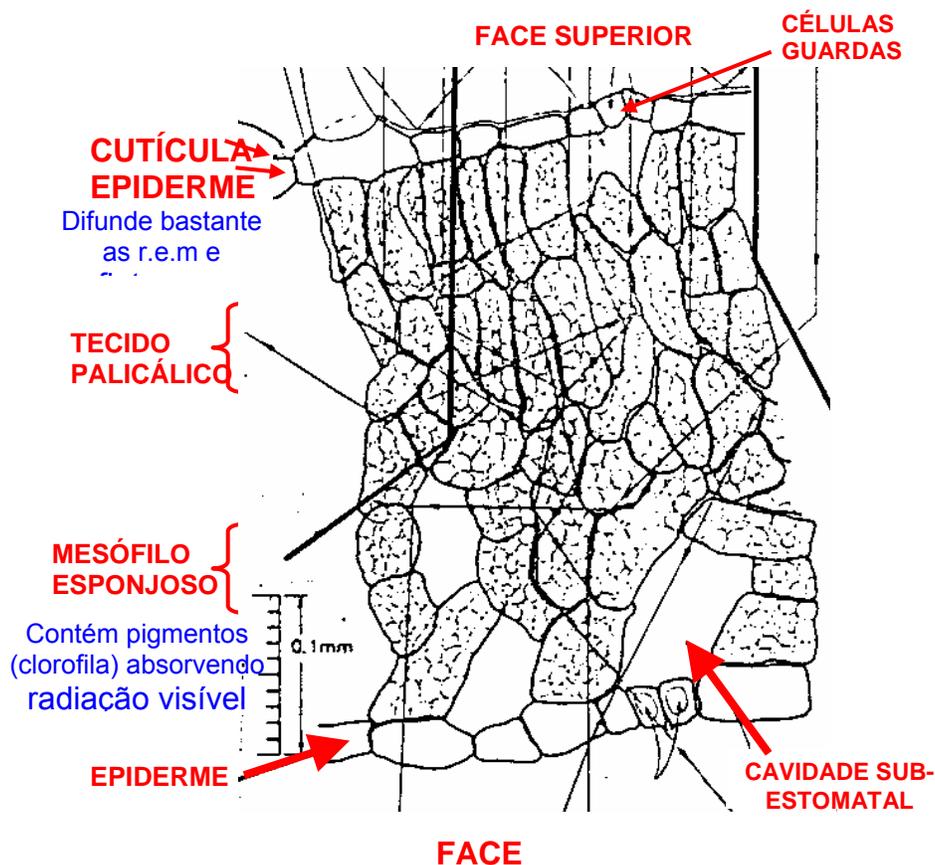
IVP = resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo  
V = resposta espectral do pixel na banda do visível (vermelho)

As vantagens principais do uso de NDVI por monitorar a vegetação são:

- Simplicidade do cálculo;
- Alto grau da correlação do NDVI com uma variedade de parâmetros de vegetação; e
- Cobertura da área extensa e frequência alta temporal de dados de NOAA-AVHRR (Hess, 1996).

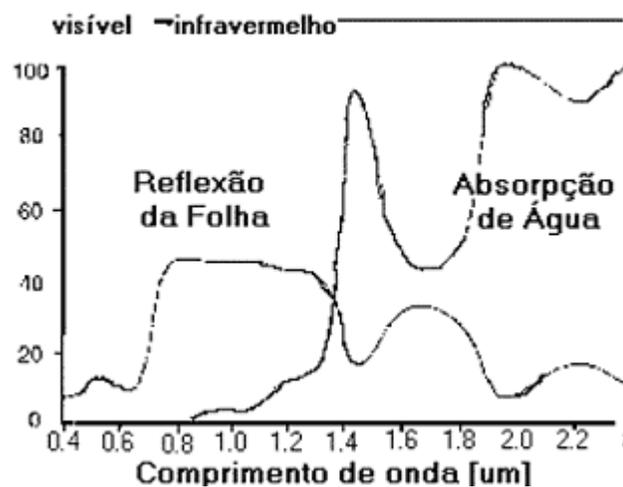
França e Crackwell (1995) mostraram que os valores de NDVI oscilam entre +1 e -1, onde valor próximo a -1 caracteriza estresse hídrico e a 1, uma vegetação

exuberante. A água tem reflectância maior no V do que no IVP, portanto onde há água, os valores NDVI são negativos. As nuvens refletem de forma semelhante no V e no IVP. De maneira geral, um alto valor de NDVI está associado com coberturas de vegetação densas e verdes, pois as folhas verdes têm alta reflectância IVP e baixo V. A determinação e a diferenciação da vegetação pelos métodos de sensoriamento remoto é possível no intervalo de 0,4 até 2,5  $\mu\text{m}$ , pois neste intervalo as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão (Figura 3).



**Figura 3** - Seção transversal de uma folha mostrando possíveis trajetórias das radiações eletromagnéticas (GATES, 1970).

No vermelho (V), o comportamento da reflexão é determinado pela clorofila, cuja absorção encontra-se no intervalo da luz azul (0,4 - 0,5  $\mu\text{m}$ ) e da luz vermelha (0,6 - 0,7  $\mu\text{m}$ ); enquanto reflete no intervalo da luz verde (0,5 - 0,6  $\mu\text{m}$ ). A clorofila absorve a luz verde só em pequena quantidade, por isso a reflectância é maior no intervalo da luz verde, o que é responsável pela cor verde das folhas para a visão humana (Figura 4).



**Figura 4** - Refletividade, absorvidade e transmissividade numa folha verde para a radiação no Infra-vermelho próximo (IVP) e na banda visível (V), (Santos, 1999)

No Infravermelho médio predominam bandas de forte absorção em 1400 e 1900 nm, devido ao conteúdo de água líquida das folhas, e feições de menor intensidade na região entre 700 e 1300 nm (Gates et al., 1965; Knipling, 1970).

Existem diversos fatores que interferem na obtenção dos índices de vegetação e que, para as mesmas condições de superfície, podem conduzir à obtenção de

valores diferentes (Galvão et al, 1999). Fatores relacionados com a superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação e/ou ao solo, que influenciam as medidas espectrais dos sensores. Fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados envolvem: as características de construção do sensor, como a largura e o posicionamento das bandas e a calibração do equipamento; a geometria de iluminação do sol e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos (absorção e espalhamento). Essa situação da vegetação é o objeto que se busca identificar através da associação das características espectrais, representadas através dos índices de vegetação, com seus parâmetros biofísicos, (Epiphanyo e Huete, 1994).

Os valores de reflectância dependem das características particulares de cada espécie vegetal, além do estágio fenológico, aspectos sanitários e de condições adversas do clima (como secas e geadas). Em relação à vegetação não-fotossinteticamente ativa, à medida que a vegetação verde entra em processo de senescência, com a desidratação e a perda de pigmentos, a sua curva espectral é gradativamente modificada. A forte absorção no V é reduzida, com a perda de pigmentos, passando a apresentar maior reflectância. Nessa região, a curva irá aparecer mais suave e crescente, assemelhando-se ao perfil de resposta do solo. No IVP, observa-se uma pequena redução na reflectância, motivada pela diminuição de espaços intercelulares, resultante do processo de desidratação. Finalmente, no Infravermelho Médio, ocorre a diminuição da intensidade das feições de absorção causadas pela água líquida da matéria viva, também resultante da desidratação (Irons et al., 1989).

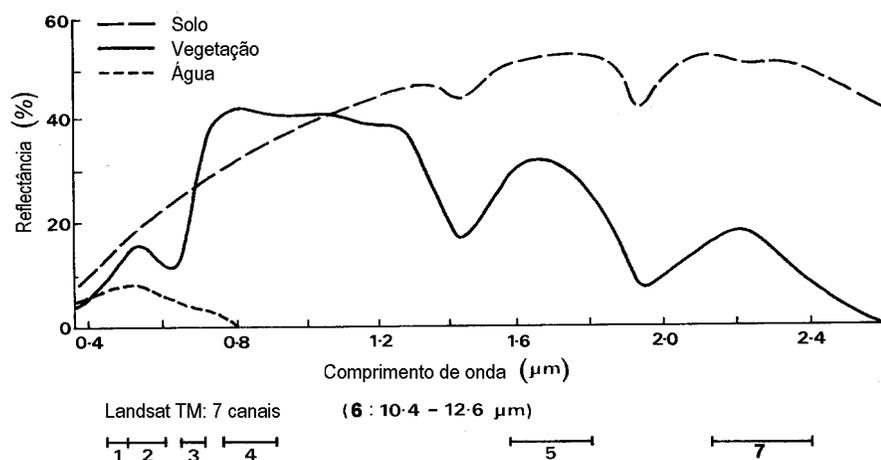
Pode-se afirmar, contudo, que em geral a vegetação verde sadia apresenta um comportamento muito próximo do padrão de resposta de suas folhas, o que não significa dizer que um dossel terá o mesmo comportamento espectral do tipo de folha que o compõe, quando estudada individualmente. Tratando-se do estudo de um dossel, ou seja, da cobertura vegetal aglomerada, como é encontrada no campo, o número de variáveis aumenta, tornando o estudo mais complexo. De acordo com Knippling (1970), as variações no ângulo de iluminação, na orientação espacial da folha, sombras e a resposta do solo reduzem a reflectância da vegetação em campo, em comparação com a da folha isolada. Goel (1988) incrementou essa lista com a geometria do plantio e parâmetros atmosféricos, como a umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. Esses e outros parâmetros foram abordados por ele, entre outros autores, na modelagem da reflectância espectral de dosséis.

A contribuição do solo na resposta espectral da vegetação varia com a quantidade de solo exposto, com as suas propriedades intrínsecas e com as condições da superfície. Observa-se um comportamento menos variável que a vegetação, em relação aos máximos e mínimos valores de reflectância. Alguns fatores que afetam a sua reflectância são os conteúdos de umidade, a textura (proporção de areia, silte e argila), a rugosidade da superfície, a concentração de óxidos de ferro e o conteúdo de matéria orgânica (decomposta ou não) (Lillesand e Kiefer, 1994). Podem-se acrescentar, também, a mineralogia e a estrutura do solo, a presença de grandes fragmentos, as incrustações, as sombras e as práticas culturais (Huete, 1989).

As curvas espectrais dos solos sem vegetação apresentam, no intervalo espectral correspondente ao azul, valores de reflexão baixos, os quais aumentam

continuamente em direção da luz vermelha, do IVP e do IVM (infravermelho médio). Por isso, as características de solos expostos podem ser analisadas nestas bandas. Os parâmetros constantes, como tipo de mineral, granulação e conteúdo de material orgânico, assim como os parâmetros variáveis, como umidade do solo e rugosidade de superfície, influencia a resposta espectral. Deve-se ressaltar a existência de elevada correlação entre os parâmetros constantes e as variáveis. Os óxidos e os hidróxidos de ferro reduzem a reflexão na banda do azul e aumentam no intervalo espectral do verde ao IVP.

Na Figura 5 pode ser observada a resposta espectral da vegetação, solo e água. A resposta espectral da vegetação na banda 4 do sensor TM do LANDSAT, situada na faixa do infravermelho próximo (IVP), é bem maior que na banda 3, na faixa do vermelho (V). Enquanto isso, o solo tem resposta um pouco maior e a água apresenta mais baixo valor.



**Figura 5** – Resposta espectral de vegetação, água e solo em sete canais do Sensor TM LANDSAT Fonte: Adaptada do INPE (2005, 54p)

A razão entre TM4 e TM3 para a vegetação deverá ser bem maior que para o solo, que por sua vez será maior do que para a água. Portanto, é de se esperar que na imagem de razão de bandas TM4/TM3, a vegetação apresente regiões mais claras, o solo um nível de cinza intermediário e a água uma tonalidade escura.

Na determinação dos índices de vegetação, a influência do solo, também conhecido como ruído do solo, é significativa em situações de cobertura parcial pela vegetação, especialmente onde possam ocorrer variações espaciais ou temporais da superfície do solo. Essa influência ocorre tanto em relação ao brilho do dossel, associado à magnitude da radiância, quanto ao perfil da curva espectral, associada às características mineralógicas, orgânicas e de absorção de água (Huete, 1989).

Rouse et al. (1973) encontraram uma relação entre medidas espectrais de duas bandas que melhor resolvia o problema das interferências do solo na resposta da vegetação e, diminuía as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do Sol. No entanto, a influência do solo, da atmosfera e da geometria da iluminação e visada não foi adequadamente eliminada, tendo surgido diversas variações para o NDVI, na tentativa de obter um índice menos sensível a tais influências.

Entre essas variações, foi proposto por Huete (1988) o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação em relação às interferências do solo, em situações de baixa cobertura vegetal. Na mesma linha, surgiu o índice de vegetação ajustado ao solo transformado (TSAVI) (Baret et al., 1989; Baret e Guyot, 1991).

Kaufman e Tanré (1992), considerando a influência da atmosfera sugeriram o índice de vegetação resistente à atmosfera (ARVI), que acrescentou a utilização da

banda do azul. Finalmente, com o objetivo de reduzir conjuntamente a influência do solo e da atmosfera foi proposto o índice de vegetação ajustado ao solo e resistente à atmosfera (SARVI), um híbrido do ARVI com o SAVI, e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Neste último, foram introduzidos mecanismos para uma auto correção das variações introduzidas pelo solo ou pela atmosfera.

Conforme Sellers (1989), uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação, que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento. Ou seja, o índice estabiliza em um patamar, apresentando um mesmo valor, mesmo com aumento da densidade do dossel. O mesmo autor, comentou que a partir do índice de área foliar (IAF) de 3 ou 5 o NDVI apresenta características de saturação, apesar de indicar uma boa sensibilidade ao desenvolvimento inicial de dosséis. Gleriani (1994) também identificou indícios de saturação já com o IAF em torno de 2. Entretanto, quando comparado com outros índices, o NDVI foi o índice que melhor estimou IAF, apresentando menor dispersão dos pontos.

Freitas et al. (2005) justificaram o uso das bandas do infravermelho médio (IVM), esperando reduzir o efeito da saturação e aumentar a sensibilidade sobre dosséis densos e lhes pareceram que os índices de vegetação de umidade (MVI) 5 e o MVI7 (Tabela 9), mostraram melhor desempenho em floresta úmida densa, enquanto que o NDVI pode ser um bom indicador da biomassa vegetal em floresta decíduas e secas.

**Tabela 9** - Equações dos índices de vegetação de MVI 5 e o MVI7

Índices de Vegetação	Equação
Índice de Vegetação de Umidade usando a banda 5	$MVI5=(IVP-IVM5)/(IVP+IVM5)$
Índice de Vegetação de Umidade usando a banda 7	$MVI7=(IVP-IVM7)/(IVP+IVM7)$

Entretanto, Huete et al. (1997) mostraram que a estrutura da equação do NDVI, que é uma transformação não-linear da proporção simples (infravermelho próximo/vermelho), é a maior causa da não linearidade e da saturação em condições de biomassa alta. Assim, o NDVI pode não ser um bom indicador das características biofísicas em florestas tropicais densas. Uma opção é o índice de vegetação usando bandas do infravermelho médio, como o Índice de Vegetação de Umidade (MVI), (Sousa e Ponzoni, 1998; Ponzoni, 2001).

Freitas et al. (2005) avaliaram relações entre maturidade estrutural da floresta e índices de vegetação da Mata Atlântica, utilizando três índices de vegetação: NDVI, por ser formado pela combinação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, e os MVI5 e o MVI7, por usarem uma equação semelhante, substituindo a banda do vermelho pela banda do infravermelho médio. Uma das limitações do uso das bandas do visível e do infravermelho próximo é o comportamento assintótico da reflectância, enquanto os parâmetros biofísicos da vegetação aumentam continuamente, (Ponzoni, 2001).

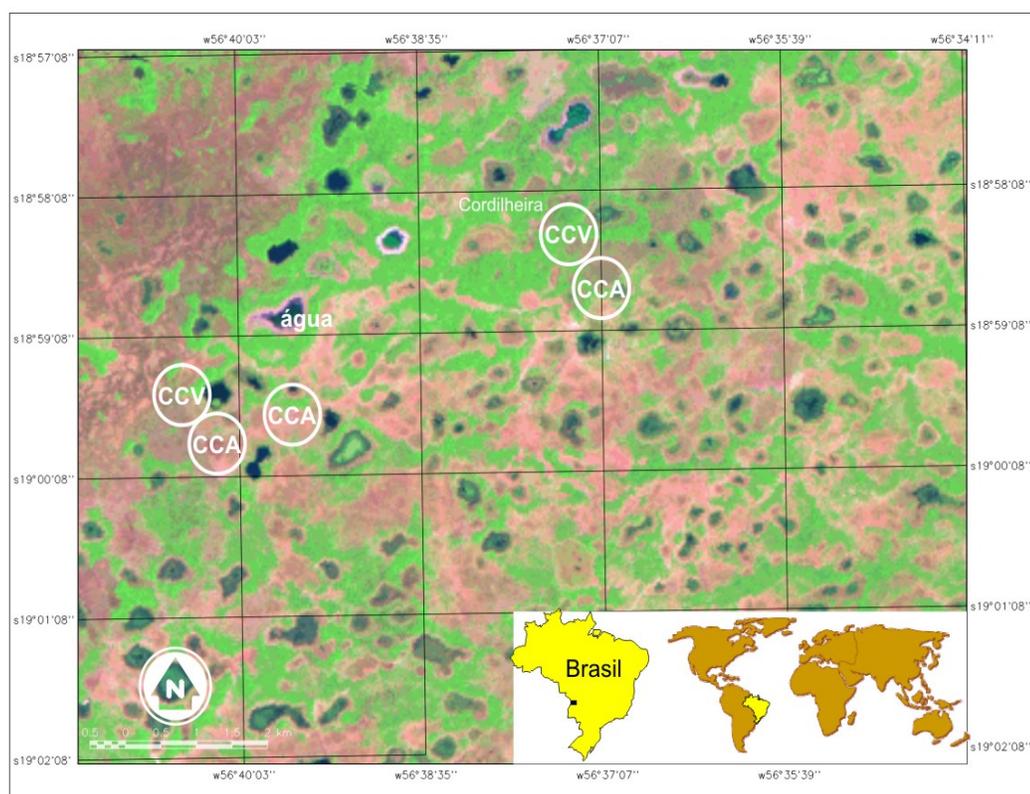
Segundo Carrão et al. (2002), em trabalho da carta de ocupação de solo e avaliação do estado da vegetação com imagens de satélite para prevenção de fogos florestais, procederam-se à identificação de um limiar nos seus valores para cada um

dos três tipos de ocupação florestal. Esse limiar foi estabelecido com base na estatística destes valores de NDVI, designadamente a média e desvio-padrão, após um teste da sua sensibilidade. Assim, foi considerado que pixels com valores de NDVI superiores à média da sua classe subtraída de 1 desvio-padrão, o que correspondiam a vegetação com elevado vigor e assim representando elevada biomassa para a combustão. Por outro lado, inferiu-se que pixels com valores inferiores a esse limiar representariam zonas de reduzida biomassa para a combustão.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Descrição da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na fazenda Nhumirim, campo experimental da Embrapa Pantanal e em fazendas nos arredores, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense (Figura 6), no período seco (agosto de 2005 e julho de 2006) e no período chuvoso (abril de 2006).



**Figura 6** – Área de estudo. Os círculos brancos representam áreas de campo limpo com dominância de gramíneas cespitosas, localizadas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil (imagem Landsat de abril de 2006). CCA – campo capim-carona; CCV- campo de capim-vermelho.

A sub-região da Nhecolândia caracteriza-se pela presença de cordilheiras, campo limpo, campo-cerrado e lagoas dispostas em mosaico (Pott e Pott, 1994).

Apresenta uma área de 24.762 km<sup>2</sup>, localizada entre os meridianos de 55<sup>o</sup> 5' e 57<sup>o</sup> 18' de longitude Oeste e os paralelos de 18<sup>o</sup> 10' e 19<sup>o</sup> 25' de latitude sul. Os solos são arenosos, com textura fina, mas eventualmente, podem se encontrar manchas de solos siltosos ou argilosos.

O clima do Pantanal é tropical sub-úmido (Aw, de Köppen), ou seja, tropical megatérmico, com a temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, com inverno seco e chuvas no verão. As médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, no período de 1977-2001 na fazenda Nhumirim, sub-região da Nhecolândia foram 1.181,0 mm, 25,4 °C e 81,3 %, respectivamente (Soriano e Alves, 2005). O regime hídrico apresenta dois períodos distintos: um chuvoso, que se inicia em outubro e estende-se até março, quando ocorrem aproximadamente 80 % do total anual de chuvas e outro seco, no período de abril a setembro (Campelo Junior, et al., 1997).

O relevo é plano, com altitude aproximada de 90 m acima do nível do mar (Ratter et al. 1988) apresentando pequenos desníveis altimétricos (até 3 m) entre as fitofisionomias. As inundações não ocorrem com uniformidade espaço-temporal em toda a planície, existindo áreas permanentemente inundadas, outras com período de inundação relativamente longo (acima de 6 meses), enquanto a grande parte do Pantanal tem inundação por períodos inferiores. Em áreas com predomínio de cerrado, o que ocorre é um alagamento pluvial e, em áreas específicas, segue-se uma inundação de origem fluvial. Tanto os alagamentos pluviais quanto as inundações não são também uniformes numa escala mais local, já que gradientes no micro-relevo (de 0 a 2 m) propiciam um intrincado mosaico de situações que, por sua

vez, influencia os padrões bióticos. A dinâmica é então marcada por um pulso de inundação variável em razão da pluviosidade e da localidade dentro do Pantanal.

#### **4.2. Avaliação de Índice climático de previsão de risco de incêndio**

Dentre os índices climáticos existentes na literatura, optou-se usar neste estudo, a Fórmula de Monte Alegre (FMA), desenvolvida a partir de dados da região central do Paraná, que considera o risco de incêndio florestal como função de duas variáveis: umidade relativa do ar das 13 horas e chuva diária. A Fórmula de Monte Alegre é acumulativa, ou seja, quanto mais longa for a seqüência de dias com baixa umidade relativa e sem chuva, maior será o risco climático de incêndio. Dependendo da intensidade da chuva ocorrida, ocorrem abatimentos em seus valores. Quando a chuva diária ultrapassa 12,9 mm, a FMA volta a zero, e o risco é nulo (Soares, 1998a).

Para o cálculo da Fórmula de Monte Alegre para a sub-região da Nhecolândia, foram utilizados os dados diários de precipitação e umidade do ar, coletados na estação agroclimatologia da fazenda Nhumirim (latitude 18°59' S, longitude 56°39' W e altitude 98 m) referente ao período experimental de outubro de 2004 a setembro de 2006. Neste estudo são apresentados os resultados para o período entre abril a setembro, considerado como crítico para a ocorrência de incêndios na região. A fórmula de Monte Alegre é:

$$FMA = \sum_{i=1}^n (100 / H_i)$$

sendo:

FMA = Fórmula de Monte Alegre

H = umidade relativa do ar (%), medida às 13 horas

n = número de dias sem chuva

Sendo acumulativo, o índice está sujeito às restrições de precipitação, como mostra a Tabela a seguir:

Chuva do dia (em mm)	Modificação no cálculo
≤ 2,4	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
5,0 a 9,9	Abater 60% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
10,0 a 12,9	Abater 80% na FMA calculada na véspera e somar (100/H) do dia.
> 12,9	Interromper o cálculo (FMA = 0) e recomençar a somatória no dia seguinte.

Com vista a comparar o índice climático com os focos de incêndio, adquiriram-se dados de focos de calor, a partir do sistema de detecção do INPE/CPTEC (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Os dados dos focos foram adquiridos a partir do site do INPE, no laboratório de Geoprocessamento de imagens via satélite da Embrapa Pantanal (Padovani, 2005). Por serem captados no período noturno, há poucas possibilidades

de erros nas interpretações do que seja de fato um foco de calor, assim evita-se a confusão de dados fidedignos com superfícies de temperaturas elevadas.

#### **4.3. Análises das características produtivas, de vigor e estruturais dos combustíveis**

Foram avaliadas as áreas de campo com predominância de “capim-carona” (*Elyonurus muticus*) e “capim-vermelho” (*Andropogon hypoginus*), que são pouco usadas para pastejo e susceptíveis à formação de “macegas” (Figura 7 e 8, respectivamente).



**Figura 7** – Campo limpo com predominância de capim-carona, agosto de 2005, sub-região da Nhecolândia, Pantanal (Foto: Sandra Santos/Embrapa Pantanal).



**Figura 8** – Campo limpo com predominância de capim-vermelho, agosto de 2005, sub-região da Nhecolândia, Pantanal (Foto: Sandra Santos/Embrapa Pantanal).

Em agosto de 2005, foram selecionadas três áreas de capim-vermelho e três áreas de capim-carona e em agosto de 2006, seis áreas de capim-vermelho e seis áreas de capim-carona. Em abril de 2006, foram selecionadas cinco áreas de capim-vermelho e cinco áreas de capim-carona para a avaliação de onze características da vegetação, quatro produtivas, duas de vigor e cinco estruturais. Em cada uma das áreas, foram alocados casualmente cerca de 20 quadrados amostrais de 1m<sup>2</sup>, nos quais foram feitas as seguintes avaliações:

**Altura total (AT)** – altura, em cm, da base do solo até a parte mais alta da planta, considerando perfilho reprodutivo;

**Altura da lâmina foliar (AL)** - altura, em cm, da base do solo até a parte com

maior proporção de folhas;

**Cobertura total de plantas (CT)** – estimativa visual, em porcentagem, considerando-se apenas as plantas em pé que cobrem o solo;

**Cobertura das gramíneas predominantes (CG)** - estimativa visual, em porcentagem, considerando-se apenas as gramíneas dominantes (capim-vermelho e capim-carona) que cobre o solo, de cada pastagem avaliada,;

**Cobertura de outras espécies (CO)** - estimativa visual, em porcentagem, das outras espécies, exceto as gramíneas dominantes;

**Cobertura do solo (CS)** – estimativa visual, em porcentagem, considerando plantas em pé e liteira (matéria morta e decomposta sobre o solo).

Após estas medições e estimativas, o material combustível em pé dentro de cada quadrado foi cortado rente ao solo, do qual foram feitas as seguintes avaliações:

**Fitomassa fresca total (FFT):** material combustível em pé recém-cortado foi pesado para a estimativa de kg de fitomassa fresca por hectare.

Em seguida, foram feitas separações manuais do material morto do material vivo, visando avaliar:

**Fitomassa fresca verde (FFV):** material combustível em pé verde recém-cortado foi pesado para a estimativa de kg de fitomassa fresca verde por hectare;

**Fitomassa fresca morta (FFM):** material combustível em pé morto recém-cortado foi pesado para a estimativa de kg de fitomassa fresca morta por hectare.

Posteriormente, estes materiais frescos foram levados para o Laboratório de preparo de amostras da Embrapa Pantanal, onde foram colocados em estufa de circulação forçada de ar à 65°C até peso constante. Após este período, os materiais

foram novamente estimados para as seguintes avaliações:

**Fitomassa seca verde (FSV):** material combustível verde e posteriormente seco em estufa (kg por hectare);

**Fitomassa seca morta (FSM):** material combustível morto e posteriormente seco em estufa (kg por hectare);

**Fitomassa seca total (FST):** somatória do material combustível seco verde e morto, em kg por hectare;

**Densidade** – estimada pela divisão da fitomassa seca total pela altura da lâmina foliar, em kg/cm/ha.

**Umidade da planta (UP),** em porcentagem – foi calculada da seguinte forma:

$$UP = (FFT - FST)/FST \times 100;$$

**Umidade da matéria morta (UMM),** em porcentagem - foi calculada da seguinte forma:

$$UMM = (FFM - FSM)/FSM \times 100;$$

**Umidade da material verde (UMV),** em porcentagem – foi calculada da seguinte forma:

$$UMV = (FFV - FSV)/FSV \times 100.$$

Neste estudo só foi considerado como combustível somente o material em pé (vivo e morto), não sendo considerado a serrapilheira.

#### **4.4. Avaliação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)**

Foram cedidas pelo DGI/INPE, as imagens do satélite CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) obtidas por meio da Internet, Sensor CCD, órbita/ponto 166/121 de períodos mais próximos possíveis da data de coleta de

dados de campo (agosto de 2005 e julho de 2006). Para o período chuvoso (abril de 2006) adquiriu-se imagem TM/Landsat 5, órbita/ponto 226/73 (24/04/2006). As características das imagens selecionadas constam na Tabela 10.

**Tabela 10** – Características das imagens utilizadas

<b>Satélite (Sensor)</b>	<b>Resolução espacial</b>	<b>Bandas</b>	<b>Resolução temporal</b>	<b>Cena (Órbita/ponto)</b>	<b>Data de aquisição</b>
CBERS-2 (CCD)	20m	Multiespectrais 0,45-0,52 μm (azul) 0,52-0,59 μm (verde) 0,63-0,69 μm (vermelho) 0,77-0,89 μm (IVP)	26 dias	166/121	07/2006 e 08/2007
LANDSAT-5 (TM)	30m	Multiespectrais 0,52-0,60 μm (verde) 0,63-0,69 μm (vermelho) 0,76-0,90 μm (IVP)	16 dias	226/73	24/04/2006

Todas as imagens foram registradas e georeferenciadas ao sistema de projeção UTM, com base nas imagens MrSID (NASA). Foram utilizados no processamento das imagens o aplicativo ENVI 4.2 e o ArcView na integração das imagens. Inicialmente, fez-se um recorte da área de trabalho e uma composição colorida 543 RGB, usando software ENVI, das imagens CBERS e LANDSAT. A estimativa do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi realizada, por meio da seguinte fórmula:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V), \text{ onde:}$$

IVP = banda do infravermelho próximo;

V= banda do vermelho

O NDVI é adimensional e varia de -1 a 1. Os valores de NDVI foram definidos para os pontos georeferenciados das áreas de campo estudadas, nas imagens de NDVI geradas.

#### **4.5. Análises estatísticas**

O programa GLM do SAS (Statistical Analysis System) foi usado para avaliar o efeito de ano e fitofisionomia (casuais) e o efeito aninhado (fito dentro de ano) sobre as variáveis estudadas. As diferenças entre as médias foram avaliadas pelo método Lsmeans.

Técnicas multivariadas foram usadas para analisar e explorar as interações entre as variáveis. Primeiramente foram analisadas todas as variáveis em conjunto, independentemente da fitofisionomia, por meio de análise de componentes principais (ACP), com o uso do SAS. Estas análises foram feitas com a finalidade de detectar as características mais importantes na diferenciação das duas comunidades de pastagens. As fitofisionomias foram ordenadas pela análise de componentes principais usando todas as variáveis. Posteriormente efetuou-se a *análise discriminante pelo PROC DISCR (SAS)*.

Foram ajustadas diferentes equações de regressão linear simples tendo como variável independente o NDVI, e como variáveis dependentes, fitomassa fresca total, fitomassa fresca morta, fitomassa fresca verde, densidade, fitomassa seca total, teor de umidade da planta, teor de umidade da matéria morta e cobertura de gramínea. O método de estimação utilizado foi de mínimos quadrados, sendo utilizado o programa Excel de planilhas eletrônicas para estimar as variáveis dependentes em função do NDVI de acordo com metodologia descrita por Lapponi (2000). Em função dos

valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), as correlações foram consideradas, conforme classificação descrita a seguir:

<b>Muito boa</b>	<b><math>R^2 &gt; 0.85</math></b>
<b>Boa</b>	<b><math>0.7 &gt; R^2 &lt; 0.85</math></b>
<b>Moderada</b>	<b><math>0.45 &gt; R^2 &lt; 0.7</math></b>
<b>Ruim</b>	<b><math>R^2 &lt; 0.45</math></b>

#### **4.6. Elaboração de mapas temáticos**

Para as demais fitofisionomias do Pantanal, foram estimados as faixas de NDVI, com o auxílio de mapa temático, elaborado com o auxílio de imagens de satélite, com base na umidade estacional do substrato, metodologia de mapeamento desenvolvida por Rodela (2006), descritas na Tabela 11. As principais fitofisionomias/unidades de paisagem consideradas foram: cordilheiras (cerradão e mata); campo-cerrado (savanas); campo sujo/campo-cerrado; campo limpo de “macega” (“caronal” e “capim-vermelho”), campo limpo sazonal; campo inundável e áreas com presença de água/vegetação aquática. Quanto ao tamanho, os combustíveis foram classificados em fino e grosso. Combustível fino consiste em material vegetal menor do que 6 mm de diâmetro, compreendendo gramíneas e outras plantas herbáceas, folhas caídas e outros materiais com estes diâmetros. Combustível grosso consiste de material vegetal maior do que 6mm, comum em florestas, cuja combustão é freqüentemente incompleta por causa do volume de hastes e ramos (McArthur, 1962).

Após elaborar a imagem NDVI, estimaram-se as faixas de NDVI para cada fitofisionomia com o uso da ferramenta Density Style do software ENVI 4.2. Em seguida, atribuiu-se cores à cada faixa de NDVI de agosto de 2005 (ano crítico de

incêndios), gerando-se um mapa temático colorido, que poderá ser usado como referência para futuras análises temporais de NDVI.

**Tabela 11** – Descrição das fitofisionomias e respectivas características (estratos) e tamanho dos combustíveis existentes, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

Fitofisionomia	Características do combustível	Espessura/tamanho <sup>1</sup>	Descrição <sup>2</sup>
Cordilheiras	Vegetação lenhosa (arbórea)	Grosso	Partes mais altas do relevo (cordilheiras e bordas de cordilheiras).
Campo-cerrado	Vegetação Herbáceo-arbustivo	Grosso e fino	
Campo-sujo/ campo-cerrado	Vegetação herbáceo ou herbáceo-arbustivo	Fino e/ou grosso	
Campo de “macega” (predominância de gramíneas cespitosas)	Vegetação herbácea	Fino	Áreas de campo limpo, que podem ser ou não inundáveis.
Campo limpo sazonal (espécies de porte baixo)	Vegetação herbácea	Fino e/ou grosso	Parte intermediária do relevo (entre as baixadas e as cordilheiras e baías temporárias). Área de maior variação na umidade do solo ao longo do ano e de períodos de seca e cheias/chuvas, ficando habitualmente parte do ano seco e parte úmido.
Campo inundável	Vegetação hidrófila e aquática	Fino e/ou grosso	Parte mais baixa do relevo (bordas de lagoas/baías e vazantes). Permanece habitualmente com o solo úmido e torna-se submerso quando ocorre a cheia.
Água/vegetação	Vegetação aquática	Fino e/ou grosso	
Serrapilheira	Restos de vegetação morta sobre o solo	Fino e/ou grosso	Material morto (galhos, folhas, etc.) em decomposição ou decompostos sobre o solo

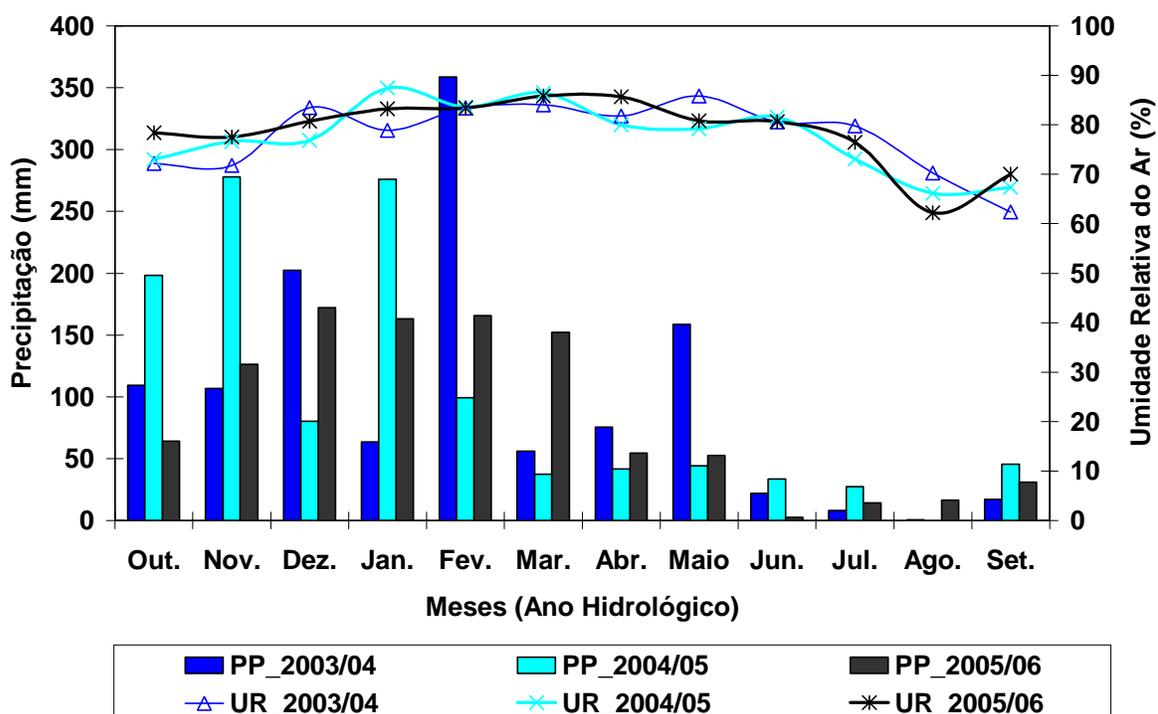
<sup>1</sup> Fino = < 6mm; Grosso= > 6mm (Luke e McArthur, 1978).

<sup>2</sup> Segundo Rodela (2006).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Aplicação de Índice climático para previsão de incêndio na sub-região da Nhecolândia, Pantanal

Os dados dos valores mensais de precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar nos anos hidrológicos de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 encontram-se na Figura 9.



**Figura 9.** Valores mensais de precipitação pluviométrica (PP) e umidade relativa do ar (UR) nos anos hidrológicos de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 na fazenda Nhumirim, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.

Os totais pluviométricos anuais de 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006 foram 1.178,3 mm, 1.161,4 mm e 1.015,0 mm, respectivamente. Embora o total pluviométrico anual tenha sido pouco variável entre os anos avaliados, houve uma grande variação no total pluviométrico mensal. Observando o total pluviométrico

mensal dos três anos avaliados, notou-se que o mês de janeiro de 2005 apresentou uma quantidade maior de chuvas (275,8 mm) em relação ao mesmo mês dos outros anos; 2004 apresentou uma precipitação (63,4 mm) quatro vezes menor e em janeiro de 2006 choveu 163,2 mm. Fevereiro foi o mês mais chuvoso do ano de 2004, com uma precipitação de 385,8 mm, bem superior à precipitação de fevereiro de 2005 (99,4 mm) e de 2006 (165,6 mm). Já em março de 2004, a precipitação (56,2 mm) foi quase sete vezes menor em relação ao mês anterior, ocorrendo um aumento de precipitação em maio (158,6 mm). A precipitação de 2006 nos meses de janeiro, fevereiro e março foram semelhantes.

Nos meses críticos da seca, de junho a setembro, observaram-se baixas precipitações nos três anos estudados, sobretudo no mês de agosto, quando não houve registro de chuvas nos anos de 2004 e 2005, e um registro de 16,4 mm em 2006. Com relação à precipitação é importante levar em consideração não apenas a quantidade de chuva, mas também a sua distribuição estacional. Numa região havendo distribuição uniforme de chuva todo o ano, sem uma estação seca definida, o potencial de ocorrência e propagação de incêndios é bem menor do que o de uma região onde ocorrem chuvas concentradas em alguns meses, com longos períodos de seca durante outros meses. Portanto, a distribuição da precipitação é fator importante na definição do início, término e duração das estações de alto potencial de incêndio (Schoeder e Buck, 1980).

A umidade relativa do ar mostrou semelhança entre meses e a mesma tendência nos três anos estudados, ressaltando menores valores nos meses críticos da seca, de junho a setembro, sobretudo em agosto e setembro. A umidade mais

baixa foi registrada em agosto de 2006 (62,2%) e a maior em janeiro de 2005 (87,4%).

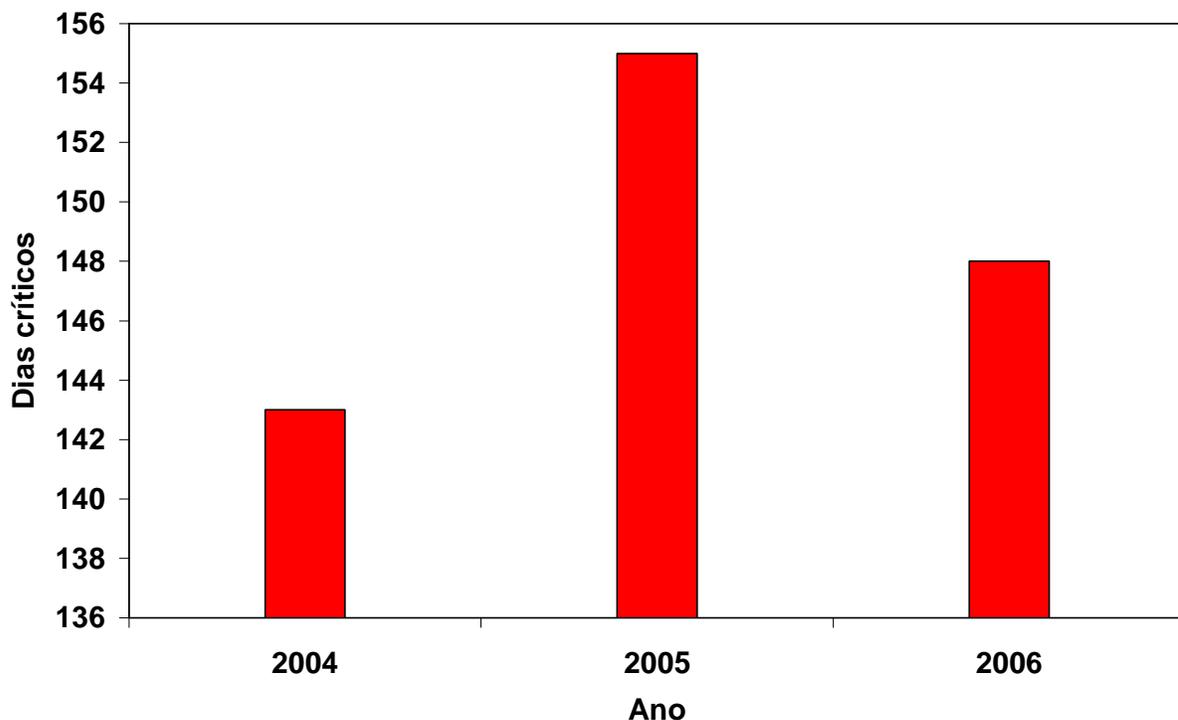
Conforme Soares (1988), o período mais vulnerável a incêndios, são os meses de inverno, num período em que a umidade da atmosfera está baixa. A vulnerabilidade torna-se ainda mais crítica em certos períodos de prevalência de ventos mais aquecidos, o que favorece a ocorrência de altas temperaturas durante o período diurno. A umidade do combustível morto, ramos secos, árvores e arbustos mortos está diretamente relacionada com a umidade do ar. Quanto maior a umidade do material vegetal, menor a facilidade que este tem de transformar-se em combustão: se o ar é seco, a combustão é mais rápida, porque absorve o vapor de água liberado pelo combustível (Freedman, 1989).

A temperatura do ar também está relacionada com a sua umidade relativa. Temperaturas elevadas tornam os combustíveis mais secos e susceptíveis de entrarem em combustão. Além disso, o vento é responsável pela oxigenação da combustão e, conseqüentemente, intensifica a queima. O vento é também o responsável pelo arrastamento de faíscas que podem provocar focos de incêndios a distâncias consideráveis e pela inclinação das chamas sobre outros combustíveis, ou seja, o vento aumenta a velocidade de propagação porque aporta o oxigênio para a combustão, transporta o ar aquecido, resseca os combustíveis e dispersa partículas em ignição (Freedman, 1989).

Portanto, o risco de incêndio depende de diferentes variáveis climáticas que estão inter-relacionadas. Neste estudo, usou-se a Fórmula de Monte Alegre (FMA) para estimar o risco de incêndio, que leva em consideração as variáveis diárias de

precipitação e umidade relativa do ar. A interpretação do grau de perigo é feita através de uma escala apresentada na Tabela 8. Os valores de FMA acima de 8,0 são considerados críticos, pois indicam graus de perigo de incêndio alto (8,1 a 20,0) e muito alto (> 20,0). A sub-região da Nhecolândia apresentou a média de 149 dias críticos de risco de incêndio, entre abril a setembro de 2004 a 2006, ou seja, 81% dos dias computados como período de seca.

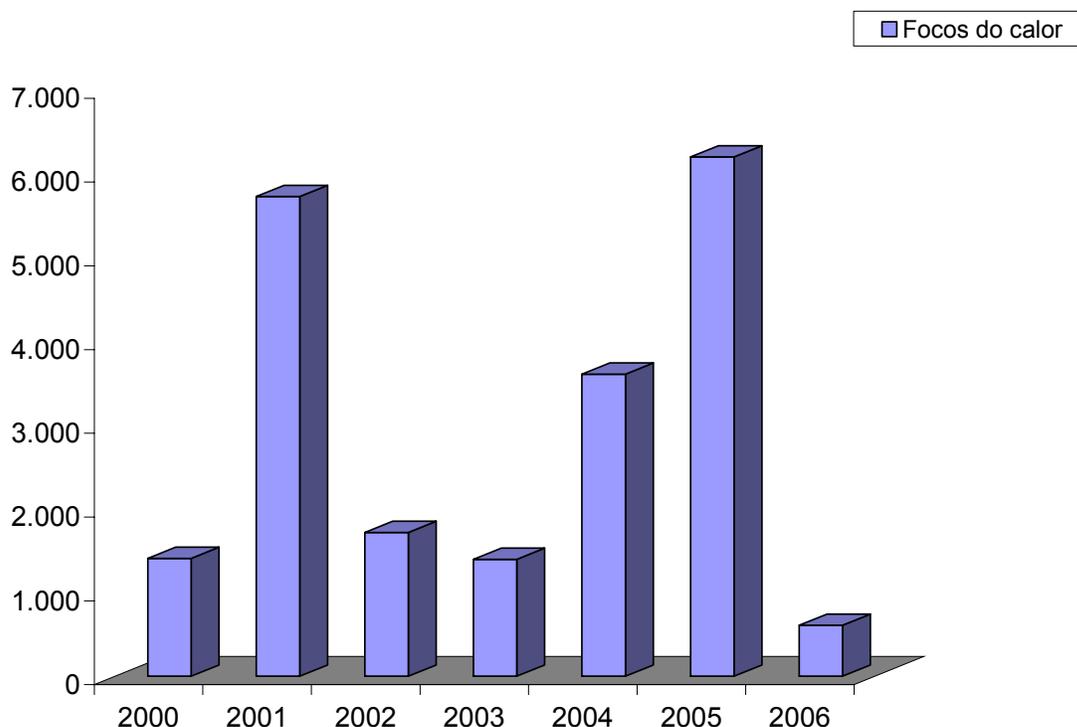
O comportamento anual do número de dias críticos do período seco (abril a setembro) entre 2004 e 2006 encontra-se na Figura 10. Foram observadas flutuações em torno da média, entre os três anos estudados. O ano de 2004 apresentou um total de 143 dias críticos com precipitação de 281,5 mm. As chuvas, entretanto, não ocorreram igualmente na região, fato que explica o porque desse ano ter apresentado a maior precipitação entre os três, contudo com um número de dias críticos, não muito inferior aos demais. O ano de 2005, relatado pela Shindell (2006) como sendo o mais quente, desde que àquela Instituição começou a registrar a temperatura da terra (1890), apresentou um total de 155 dias críticos com precipitação de 192,4 mm. Já o ano seguinte, 2006, com menos chuvas apresentou 148 dias críticos, mostrando nos anos, a influência marcante da variável, precipitação, que normalmente zera o efeito acumulativo, quando o valor registrado supera a 12,9 mm.



**Figura 10** - Número anual de dias críticos, com grau de perigo alto e muito alto de incêndios na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.

O número de focos de calor no período de julho a outubro dos anos de 2004, 2005 e 2006, anos objeto deste estudo devido à disponibilidade total dos dados, somou 10.410 focos (Figura 11). A escolha desses meses é devido à estação crítica de seca no Pantanal, período em que os agricultores costumam praticar as queimadas e, também, por um número menor de nuvens sobre as regiões, o que facilita a detecção dos focos de calor pelo satélite. Os focos trabalhados foram detectados no período noturno. O ano de 2005, relatado pela Schindell (2006) como sendo o ano mais quente desde 1890, teve o maior número de incêndios e queimadas (6.199) dos últimos seis anos no Pantanal, superando os números já altos (5.726) de 2001 e (3.605) de 2004 e o de 2006 que totalizou 606 focos, o mais

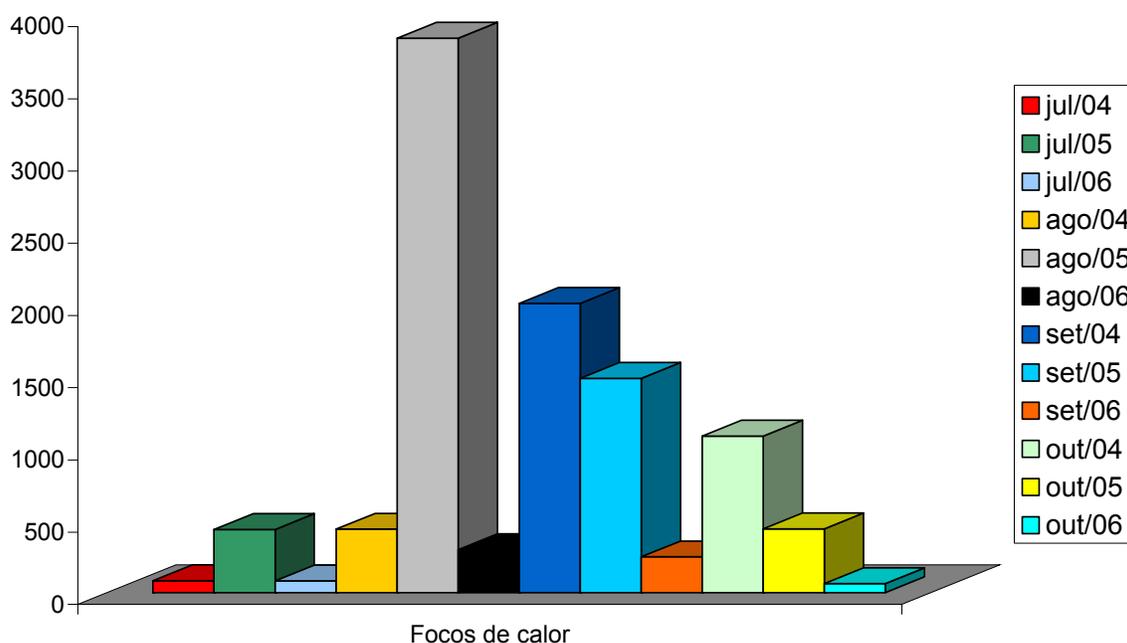
baixo número desde o ano 2000, provavelmente explicado pela cheia do Rio Paraguai, que foi a maior dos últimos 20 anos.



**Figura 11** - Número de focos de calor detectados no Pantanal entre 2000 e 2006, no período seco, de julho a outubro (Padovani, 2005).

Comparando somente o mês de agosto (mês estudado e considerado crítico para incêndios) de cada um desses anos verificou-se que, em 2004 houve uma ocorrência de 439 focos; em agosto de 2005 o número foi de 3.838, portanto um aumento alarmante de 774,25% de focos (Figura 12). Embora em agosto de 2006, a formula de Monte Alegre detectou 148 dias críticos de incêndio para o período seco, o número de focos decresceu ficando em 297, isto é, 7,73% do número de 2005. Estes resultados demonstraram que além da falta de precipitação e baixa umidade,

que foram os fatores usados na fórmula de Monte Alegre, outros fatores estão envolvidos com o risco de incêndio, tais como a temperatura do ar. No período de estiagem, a alta temperatura ambiente, associada à uma baixa umidade relativa do ar, possibilita que os combustíveis finos mortos, incluindo as “serrapilheira” que se localiza na superfície do solo, podem, quando em contato com o ar quente e seco, por um período superior a uma hora, passar de úmido (> 50%) para valores inferiores a 12%. Assim, mesmo após um dia chuvoso, a vegetação estando sob sol forte e a baixa umidade do ar, poderá num tempo relativamente curto, estar pronta para propagar intensamente um incêndio em vegetação (Defesa Civil, 2004). No Pantanal, o calor prevalece praticamente o ano inteiro, mesmo no tempo de inverno as temperaturas caem por um ou dois dias, voltando rapidamente a temperaturas mais altas. Segundo Padovani (2005) a redução do número de focos em 2006 pode ser devido às grandes queimadas ocorridas no ano anterior, não havendo a necessidade de queima nas mesmas áreas, já que a maioria das queimadas no Pantanal é para a limpeza e renovação dos pastos. Também o fato da seca ter sido menos severa, e a grande cheia do rio Paraguai, que inundou boa parte do Pantanal, são fatores que podem ter influenciado na queda do número de focos de queimadas.



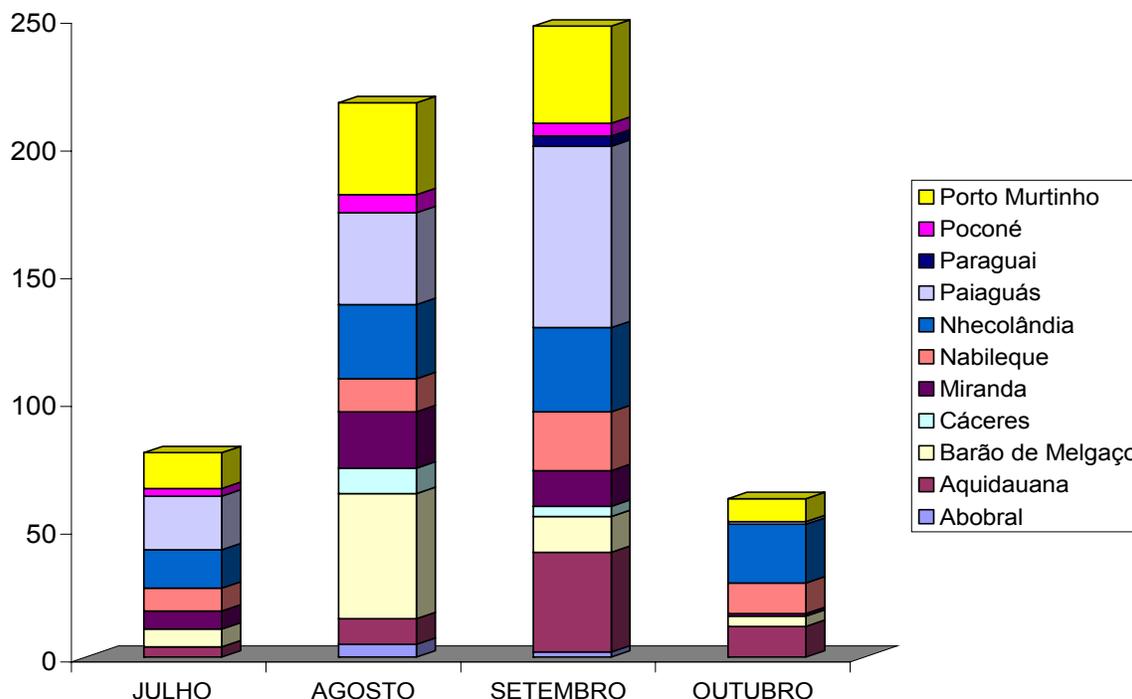
C

**Figura 12** - Número de focos de calor no Pantanal de julho a outubro dos anos 2004, 2005 e 2006 (Padovani, 2005).

A mesma tendência de número de focos detectados para todo o Pantanal foi observada na sub-região de Nhecolândia (Figuras 14 a 16). Em 2005, foram detectados 433 focos de calor, e 100 focos em 2006, quando sofreu enchente, portanto 333% de ocorrências a menos. Em 2005, Nabileque, dentre as regiões estudadas foi a que mais sofreu com os incêndios e queimadas, seguida de Barão de Melgaço e Paiaguás. A redução de focos no ano de 2006, principalmente na região de Nabileque pode estar associada com a grande inundação do Rio Paraguai no referido ano (Figura 13).

O estabelecimento e acompanhamento de índices de risco de incêndios, ao longo de certo período de tempo, em extensas áreas, permite identificar quais as

zonas potencialmente mais perigosas ou propícias à ocorrência de incêndios, o que permite intensificar medidas preventivas e advertir o grau de perigo (Carrão, 2002).



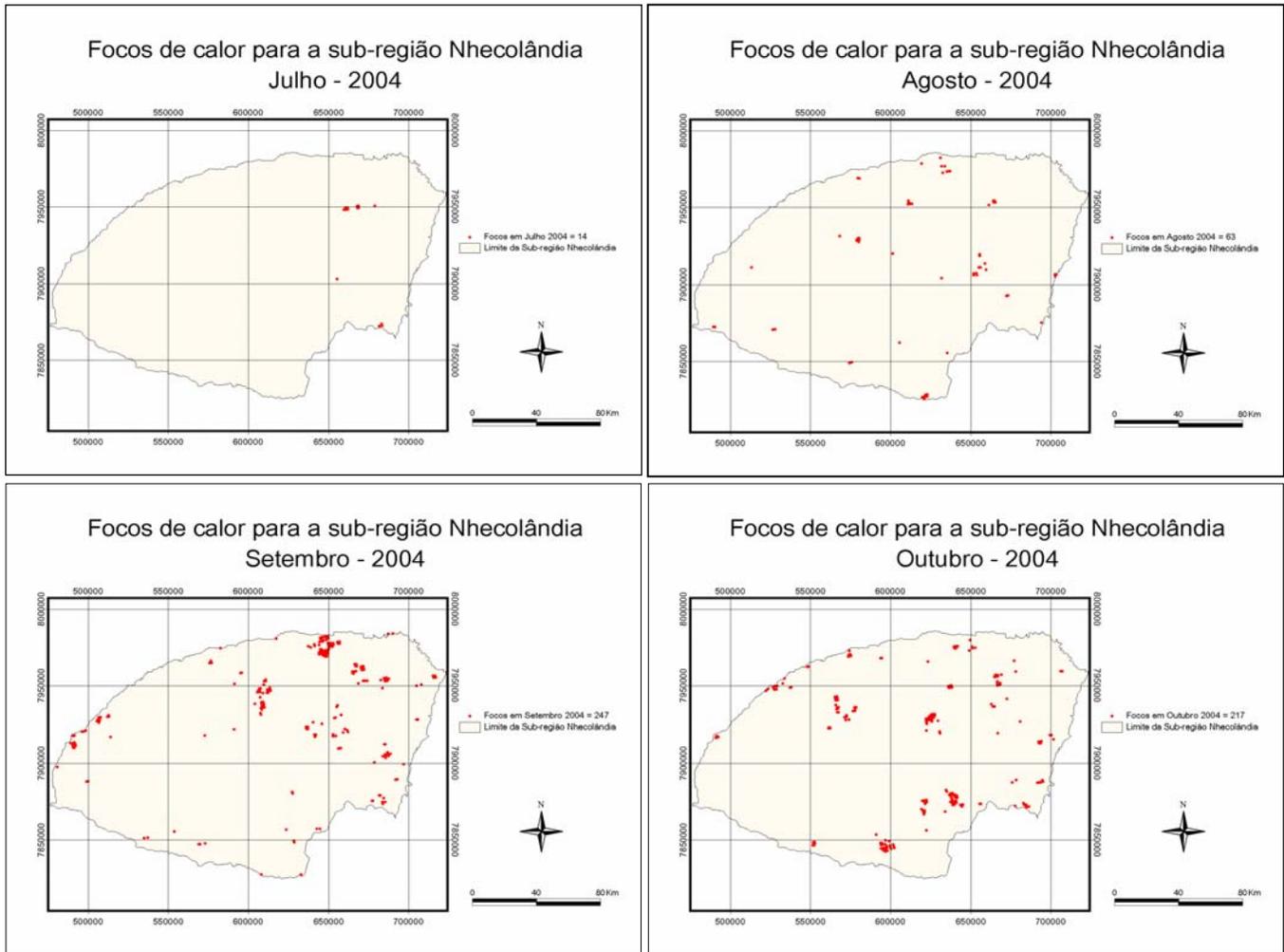
**Figura 13.** Focos de calor nas sub-regiões do Pantanal no período de julho a outubro de 2006 (Padovani, 2005)

Segundo Cheney (1968), os índices de previsão de risco de incêndios mais utilizados apresentam um acerto ao redor de 80%. Na comparação feita por Soares (1998a) entre a Fórmula de Monte Alegre e o Índice de Perigo de Incêndios da Rigesa (IPIR), no município de Três barras no Estado de Santa Catarina, encontrou usando a Fórmula de Monte Alegre 31,9 e 17,7% para as classes de perigo Alto e Muito Alto, respectivamente. Soares (1998b), ainda analisando os dados do norte do Estado de Santa Catarina constatou que 87 % dos incêndios ocorreram em dias que

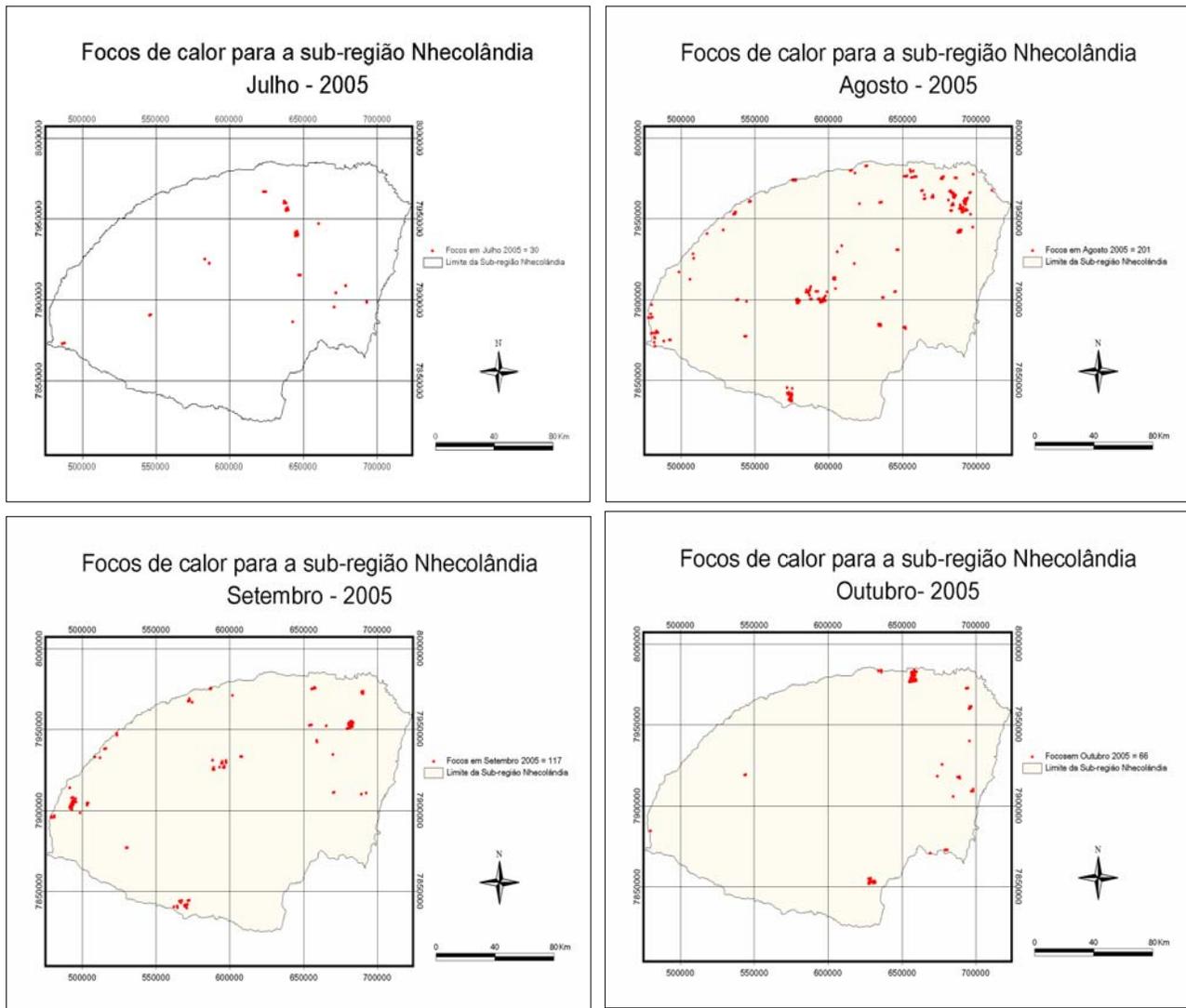
a FMA indicava grau de perigo Alto e Muito Alto, enquanto que o IPIR não indicava riscos de incêndio nas mesmas proporções no mesmo período.

Neste estudo, embora a fórmula de Monte Alegre tenha mostrado valores confiáveis de previsão de risco de incêndio, outros fatores devem ser considerados, especialmente a temperatura do ar como discutido anteriormente. Para a elaboração de um índice mais confiável, também se faz necessário considerar fatores que podem influenciar o risco de incêndio. Por exemplo, Pezzopani et al. (2001) usaram a Fórmula de Monte Alegre associada com mapas temáticos de classes de combustível e declividade para a avaliação de risco de incêndio no município de Viçosa, MG.

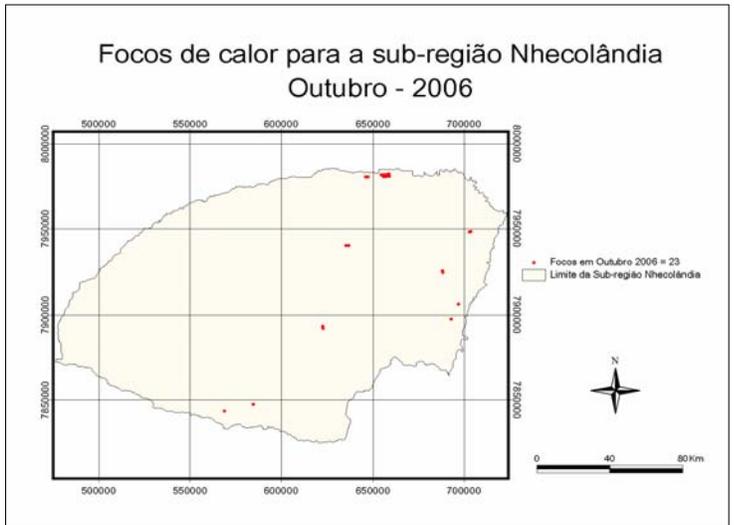
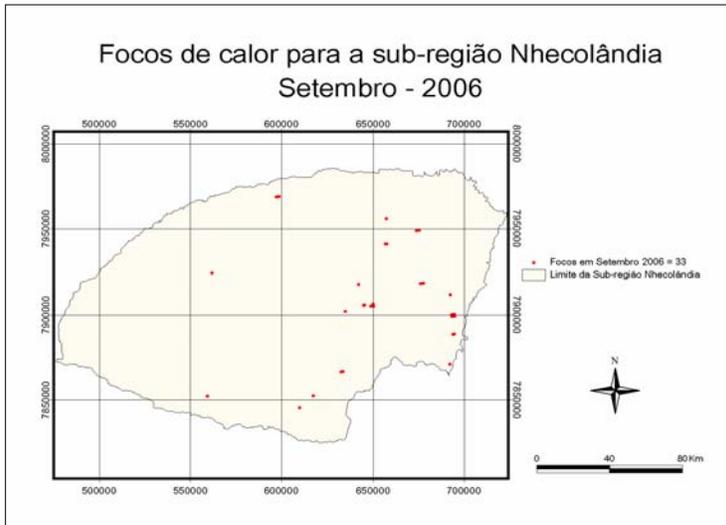
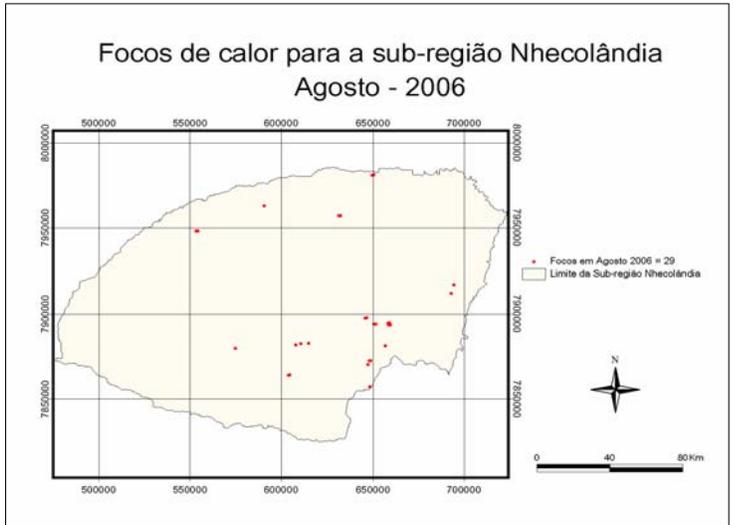
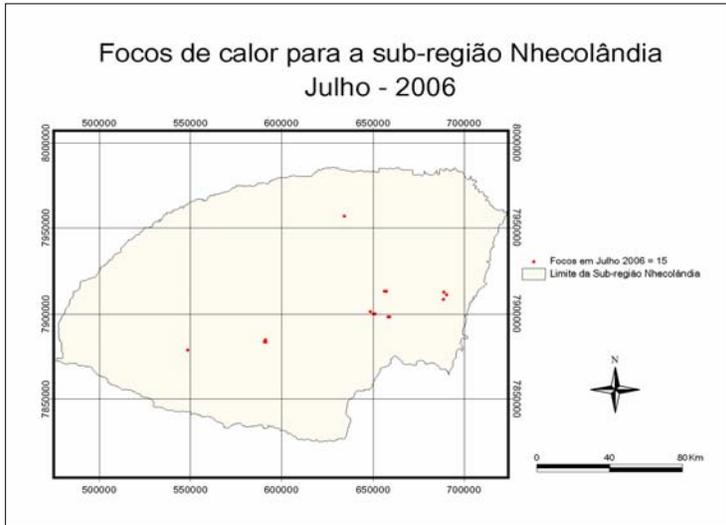
Conforme Deeming et al. (1977), o desenvolvimento de um índice de risco de incêndio implica na consideração de um vasto conjunto de fatores, usualmente os combustíveis (variação esporádica), a topografia (fixos) e a meteorologia (variável). Um índice estrutural de risco baseia-se na combinação de variáveis que não variam num curto espaço de tempo e pode ser calculado com recursos e diversos tipos de variáveis, tais como: cobertura vegetal (tipo de combustível), altitude, declive, orientação da encosta, características climáticas, áreas urbanas, solos, histórico de incêndios e densidade populacional. Assim, para caracterizar o risco de uma forma realista, este índice necessita ser calculado antes do início da época de incêndio, para auxiliar no planejamento das atividades e gestão dos recursos necessários à sua prevenção (Aranha e Alves, 2001).



**Figura 14** - Focos de calor na sub-região da Nhecolândia, no período de julho a outubro de 2004 (Padovani, 2005)



**Figura 15 - Focos de calor na região de Nhecolândia, no período de julho a outubro de 2005 (Padovani, 2005)**



**Figura 16** - Focos de calor na região de Nhecolândia, no período de julho a outubro de 2006 (Padovani, 2005)

## 5.2. Características produtivas, de vigor e estruturais de campos de gramíneas cespitosas

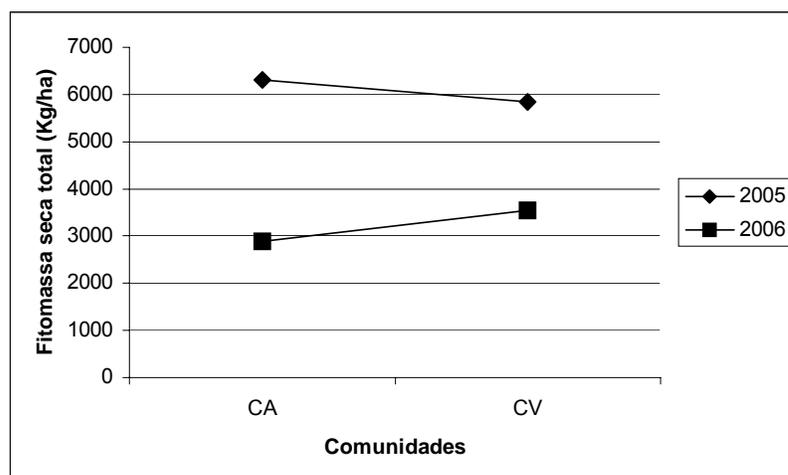
Os valores médios das características das pastagens (comunidades) com predominância de capim-carona e capim-vermelho avaliadas no período seco de 2005 e 2006, encontram-se na Tabela 12. Ambas as pastagens avaliadas apresentaram altos valores médios de fitomassa seca total, ao redor de 4.500 kg de matéria seca por hectare. Mcarthur (1962), afirma que a quantidade de material combustível é uma das variáveis mais significativas que determinam o comportamento do fogo e a taxa de propagação e intensidade de um incêndio. Kauffman et al. (1994), quantificaram que a biomassa de combustível propicia à combustão na superfície de solo.

**Tabela 12** – Valores médios e respectivos desvios-padrão das características das comunidades de campo limpo com predominância de capim-carona e capim-vermelho, no pico da seca de 2005 e 2006, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

<b>Características</b>	<b>Capim-carona</b>	<b>Capim-vermelho</b>
Fitomassa fresca total (Kg/ha)	6.001,0 ± 291,2 <sup>b</sup>	6.975,0 ± 291,9 <sup>a</sup>
Fitomassa seca total (Kg/ha)	4.596,5 ± 199,2 <sup>a</sup>	4.488,4 ± 231,3 <sup>a</sup>
Fitomassa seca verde (Kg/ha)	2.248,0 ± 99,8 <sup>a</sup>	1.628,0 ± 99,9 <sup>b</sup>
Fitomassa seca morta (Kg/ha)	2.133,0 ± 140,8 <sup>b</sup>	3.182,0 ± 140,8 <sup>a</sup>
Umidade da planta (%)	25,7 ± 0,82 <sup>b</sup>	31,8 ± 1,0 <sup>a</sup>
Umidade da fitomassa morta (%)	16,7 ± 1,0 <sup>a</sup>	17,9 ± 1,0 <sup>a</sup>
Cobertura total de plantas (%)	70,9 ± 1,8 <sup>a</sup>	64,3 ± 1,8 <sup>b</sup>
Cobertura da gramínea dominante (%)	65,2 ± 1,7 <sup>a</sup>	54,8 ± 1,7 <sup>b</sup>
Cobertura de outras espécies (%)	6,5 ± 0,9 <sup>b</sup>	9,4 ± 0,9 <sup>a</sup>
Altura da lâmina foliar (cm)	46,2 ± 1,41 <sup>b</sup>	59,7 ± 1,51 <sup>a</sup>
Altura total (cm)	62,5 ± 3,51 <sup>b</sup>	121,0 ± 3,51 <sup>a</sup>

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste a 5% de probabilidade

A variável **fitomassa fresca total** teve efeito significativo de ano e comunidade, enquanto que a **fitomassa seca total** teve efeito de ano e de aninhamento de comunidade dentro de ano (Figura 17). Observou-se que o capim-carona apresentou um aumento na quantidade de fitomassa seca total em 2006, ao contrário do capim-vermelho, que sofreu uma redução. A explicação mais provável desse aumento na quantidade de fitomassa de caronal, provavelmente deveu-se ao fato de muitas dessas áreas não terem sofrido queima nos últimos anos, o que acabou proporcionando um aumento dessa fitomassa. Brâncio et al. (1997), afirmaram que a maior disponibilidade de matéria seca em área sem queima, é em parte, explicada pelo efeito residual do material proveniente do crescimento em anos anteriores.



**Figura 17** - Fitomassa seca total de capim-carona (CA) e capim vermelho (CV) no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

Rodrigues (1999) verificou que a freqüência de queima de alguns campos de capim-carona, na sub-região da Nhecolândia, embora seja anual, uma específica área não é queimada no ano seguinte. Portanto, a queima no mesmo caronal é

normalmente bienal, o que facilita um acúmulo de fitomassa. Segundo Santos et al. (2002), o capim-carona é consumido pelo gado somente nas primeiras semanas, após a queima. Ambos os campos avaliados possuem dominância de gramíneas pouco consumidas pelo gado. Conforme Heringer e Jacques (2001), há uma alta interação entre pastejo e fogo no comportamento das espécies, onde as plantas aptas a reduzir a herbivoria promovem “herbivoria” pelo fogo. O fogo tem complexos efeitos sobre a estrutura da vegetação, sendo que as espécies sensíveis e tolerantes à queima têm diferentes sítios de preferência no ambiente.

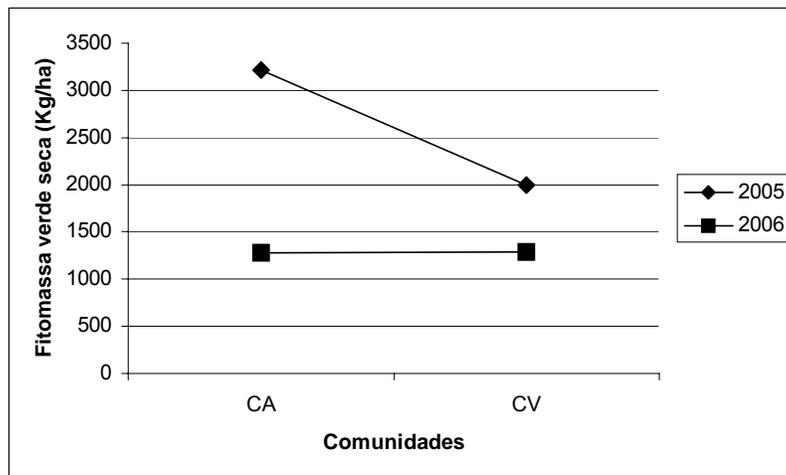
A variável **fitomassa seca verde** das pastagens no pico da seca foi variável significativamente ( $P < 0,05$ ) entre comunidades e anos, e houve aninhamento significativo de fitofisionomia dentro de ano para o ano de 2005 (Figura 18), onde capim-vermelho apresentou valores menores, o que contribuiu com o valor médio mais baixo (Tabela 13).

**Tabela 13** – Faixas de valores médios do teor de matéria morta (grau de maturidade) versus conteúdo de umidade da planta e conteúdo de umidade da matéria morta em capim-carona (CA) e capim-vermelho (CV), na sub-região da Nhecolândia, Pantanal

Teor de matéria morta da planta (%)	Teor de umidade na matéria morta (%)		Teor de umidade na planta (%)	
	CA	CV	CA	CV
75 - 100	15,3	19,7	25,3	29,2
50 - 75	21,0	22,4	34,5	39,0
25 - 50	25,0	32,0	38,9	48,3
< 25	32,2	40,7	52,4	55,1

Gerard et al. (1998), afirmou que a biomassa superficial em ecossistema de pastagens é dependente de produção primária anual, o qual depende praticamente do clima. Um ano com nível pluviométrico acima ou abaixo do normal climatológica da região pode produzir quantidade anormal de fitomassa. Pozer (2003), trabalhando com pastagem nativas do Pantanal norte relatou que a produtividade primária líquida apresentou menores valores no início da inundação, aumentando gradativamente a partir de um novo período chuvoso.

A **fitomassa seca morta** das pastagens no pico da seca foi variável significativamente entre comunidades e anos, mas não ocorreu efeito significativo de aninhamento de comunidade dentro de ano (Figura 19) e, sim, apenas uma tendência (significativo a 10%). A diferença na quantidade de fitomassa seca morta presente nas duas áreas deve-se ao acúmulo de macegas provenientes dos anos anteriores. Como a fitomassa seca foi o componente de maior participa o na composi o botânica, aten o especial deve ser dada ao seu efeito na manuten o das condi es físicas, químicas e biológicas da pastagem (Fontaneli et al., 1994). Cardoso et al. (2003) avaliando campos de capim-carona, sem queima, na mesma região, encontraram valores médios próximos a 3.600 kg/ha de fitomassa morta, destacando-se como o componente de maior participa o na composi o botânica, *Andropogon bicornis*, com aproximadamente 49% de material seca total.

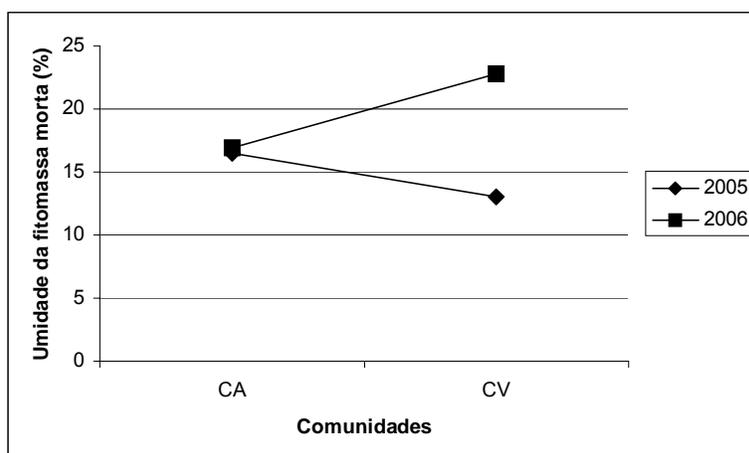


**Figura 18** - Fitomassa verde seca de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 (agosto) e 2006 (julho), na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

O teor de **umidade da planta** foi variável entre comunidade e ano, mas não houve aninhamento de comunidade dentro de ano. A variável **umidade da fitomassa morta** das pastagens no pico da seca variou significativamente somente entre anos, ocorrendo efeito significativo de aninhamento de comunidade dentro de ano. O teor de umidade do material combustível é de grande importância para evitar a ignição, pois grande quantidade de calor é requerida para elevar a temperatura da água até o ponto de ebulição. O fogo só começa a espalhar quando o conteúdo de umidade do material morto (da planta e/ou liteira) está próximo ou abaixo de determinado valor limiar, que representa a umidade de extinção. Esta é a umidade do combustível morto, no qual o fogo não se espalha ou a umidade do combustível que cessa (extingue) processo de queima. A umidade do material combustível inibe a ignição, pois é necessária grande quantidade de calor para elevar a temperatura da água até o ponto de evaporação. A umidade do material depositado no piso das florestas, em geral, está acima de 2 %, mas pode exceder ou ultrapassar a 200 %. A

umidade presente na vegetação viva varia, entre 75 e 150 % do peso seco. A umidade de extinção é dependente do tipo de combustível, clima e área geográfica. As experiências têm demonstrado que a probabilidade de ignição é praticamente nula, para a maioria dos materiais combustíveis, quando o teor de umidade está entre 25 e 30 % (Vélez, 2000). Segundo Formas (2006), o combustível disponível vai depender da quantidade do material que normalmente é consumido em um incêndio superficial e de outras propriedades como tamanho das partículas, conteúdo da umidade e continuidade.

Groot et al. (2005) efetuou experimentos em locais com dominância da gramínea *Imperata cylindrica*, para determinar o limiar de ignição de gramínea morta, a diferentes níveis de umidade. Com base neste estudo, foram estabelecidas classes de perigo de incêndio. Naquele estudo, verificou-se que o fogo começou a se espalhar somente quando o conteúdo de umidade das gramíneas mortas, estava próximo ou abaixo do valor limiar de 35 %, que representa a umidade de extinção.



**Figura 19-** Fitomassa seca morta de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

O grau de cura (maturidade) do capim é um processo fisiológico associado com a diminuição no conteúdo de clorofila e aumento na porcentagem de material morta da planta, à medida que avança o período de seca. Com o avanço do amadurecimento do capim (teor de fitomassa/matéria morta) aumenta o risco de ignição e combustão, cuja taxa é mais intensa entre 50 e 85 % de cura (Millie e Adams, 1999)

O conteúdo de umidade é propriedade a mais importante, pois controla a inflamabilidade dos combustíveis, vivos ou mortos, que apresentam diferentes mecanismos de retenção de água e diferentes respostas às variações meteorológicas. Nos materiais vivos, a umidade é mais estável e maior do que no material morto. O material morto responde rápido às mudanças meteorológicas, sendo o principal responsável pela propagação dos incêndios (Soares e Batista, 2002). Segundo esses mesmos autores, o conteúdo de umidade dos combustíveis mortos flutua em função da variação da umidade relativa e temperatura do ar e também das chuvas. As partículas finas de combustíveis como folhas secas e pequenos galhos podem variar de umidade em poucas horas.

Na literatura foram encontrados variação nos valores de umidade de extinção, com valores de 12 (para gramíneas curtas) até 40 % (para gramíneas cespitosas). As gramíneas curtas num clima árido são de 15 % e num clima úmido, varia de 30 a 40 %. De maneira geral, a umidade de extinção situa-se entre 25 e 30 %, porém, como o Pantanal possui um clima árido no pico da seca, a umidade de extinção deve-se situar entre 15 e 25 %. Neste estudo, ambas as comunidades de pastagens estão com valores de umidade de extinção, abaixo de 25 %, no pico da seca, indicando provável perigo de incêndio. Porém, estudos devem ser realizados para

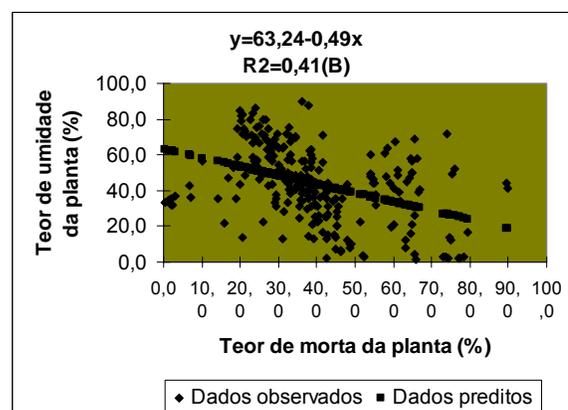
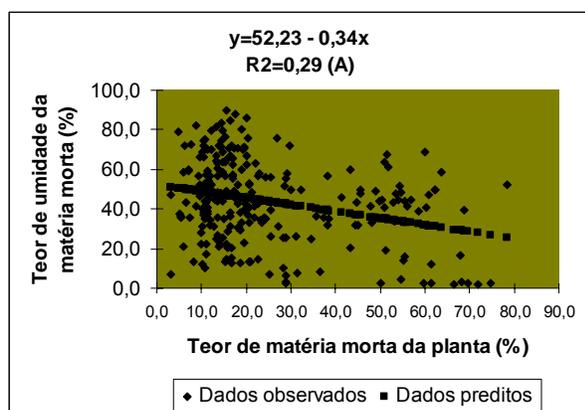
verificar o teor de umidade de extinção para cada comunidade de pastagem. Verificou-se que o teor de umidade da fitomassa seca morta do capim vermelho foi mais alta em 2006, enquanto que o do capim-carona não variou entre os anos. Este fato provavelmente se deve a localização destas comunidades no mesorelevo do Pantanal, pois o capim-vermelho é encontrado em áreas baixas e intermediárias, sujeitas as inundações periódicas, enquanto que o capim-carona é encontrado em áreas mais elevadas. Pott (1994), afirmou que o capim-carona marca o limite do alagamento, pois suporta somente de 5 a 10 cm de água, acima da superfície. Esta situação ocorre quando a taxa de precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração e armazenamento de água dos solos saturado e devido a sua localização próxima a áreas susceptíveis a alagamento. Os valores de umidade mais altos encontrados em 2006 também estão relacionados com a umidade relativa e temperatura do ar, um elemento preponderante na inibição do fogo. Quando a umidade relativa do ar está abaixo de 30 %, torna-se extremamente difícil combater um incêndio (Vélez, 2000).

Segundo Knapp (1985), a maior eficiência de algumas espécies em áreas queimadas se deve a sua plasticidade fisiológica, tais como o aumento na eficiência do uso da água durante a seca, por desenvolver menor potencial osmótico. Rodrigues (1999) estudou o potencial osmótico do capim-carona e, verificou que a presença do fogo altera o potencial de água na folha da gramínea de *Elyonurus muticus*.

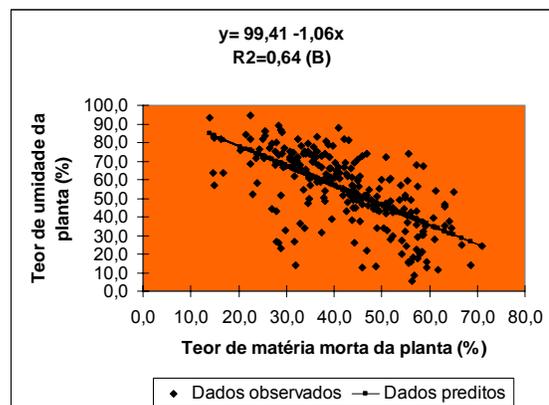
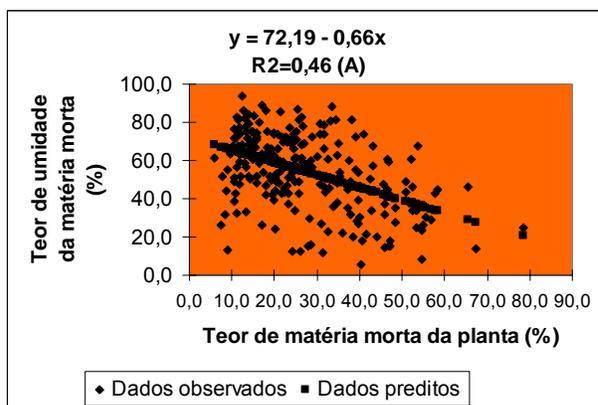
Na Tabela 13 consta a relação entre teor de matéria morta e teor de umidade dos combustíveis avaliados. Um grau de maturidade (% de matéria morta) entre 50 e 60 %, é geralmente considerado como limiar para o fogo desenvolver e espalhar em combustíveis de gramíneas. Portanto, o teor de matéria morta pode ser um indicativo

do teor de umidade da matéria morta e da planta, sendo uma medida prática de ser realizada a campo. Porém, há problemas, tais como subjetividade na estimativa do teor de matéria morta, época e frequência da observação e dificuldade de extrapolar os valores para grandes áreas (Anderson, 2005).

A relação entre teor de matéria morta da planta e teor de umidade da matéria morta e umidade da planta do capim-carona e do capim-vermelho constam nas Figuras 20 e 21, respectivamente.



**Figura 20** – Teor de matéria morta da planta e umidade da matéria morta (A) e umidade da planta (B), de capim-carona, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal



**Figura 21** – Teor de matéria morta da planta e umidade da matéria morta (A) e umidade da planta (B), de capim-vermelho, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal

Observou-se que há uma relação linear entre teor de matéria morta e teor de umidade de ambas as pastagens, principalmente com teor de umidade da planta. Os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mais elevados foram obtidos para capim-vermelho, em virtude das condições ambientais onde estas pastagens estão instaladas. Geralmente são áreas mais baixas do mesorelevo e que sofrem inundações periódicas, ao contrário das áreas de capim-carona.

As gramíneas curadas (maduras) tanto absorvem como perdem rapidamente a umidade, em função das condições climáticas. As chuvas, mesmo quando em pequenas quantidades, afetará dramaticamente o conteúdo de umidade, melhorando as condições climáticas para a realização de uma queima segura. A proporção da quantidade de combustível de gramíneas que queimarão num fogo é altamente dependente do conteúdo de umidade. Quando o teor de umidade do combustível é baixo, cerca de 96 % será queimado, ao contrário daqueles que possuem maior teor de umidade, cuja queima ficará em torno de 70 a 90 % (Tainton, 1999).

Como o Pantanal possui um clima mais árido no período seco, foram obtidos valores mais baixos de umidade de extinção (Tabela 14), ao redor de 15 %. Com os dados de umidade da fitomassa morta obtida neste estudo e com base na classificação de Groot et al. (2005), estabeleceu-se uma classificação preliminar da probabilidade de ignição em função do teor de umidade do material morto (Tabela 14). Para efeito de classificação, considerou-se muito alto, valor de umidade da matéria morta abaixo de 15%; alto, com valores de 16 a 30, moderado de 31 a 50 e baixo acima de 50 % de umidade do material morto. Porém, estes valores são preliminares e devem ser ajustados conforme a validação e evolução dos estudos.

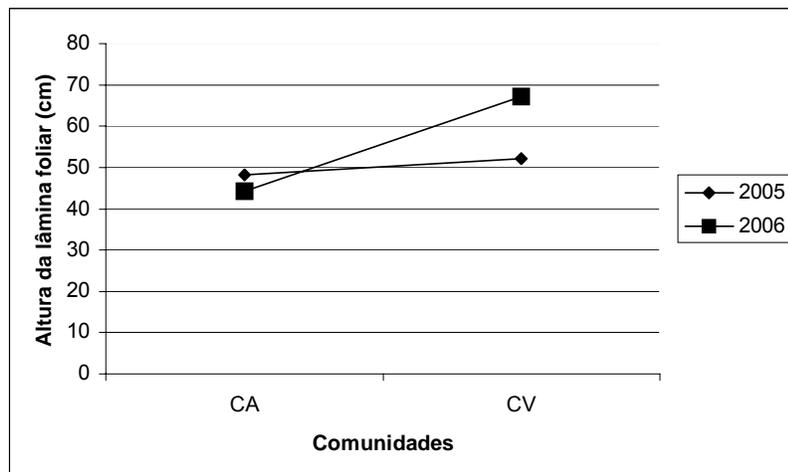
**Tabela 14** – Classes de perigo de incêndio para os campos de gramíneas cespitosas do Pantanal, em função da porcentagem de umidade da matéria morta (UMM) (adaptado de Groot et al.,2005)

Potencial de ignição	UMM <sup>1</sup> (%)	Interpretação (probabilidade de ignição)
Baixo	> 46 (>68)	Baixa probabilidade de ignição da gramínea
Moderado	31-40 (51-68)	Moderada probabilidade da ignição da gramínea em áreas secas.
Alto	16-30 (32-50)	Alta probabilidade de ignição. Gramíneas maduras tornando facilmente inflamáveis
Muito alto (extremo)	15% (< 31%)	Probabilidade muito alta de ignição. Gramíneas maduras tornando altamente inflamáveis

<sup>1</sup> Valores entre parênteses foram estimados por Groot et al., 2005, para pastagens com predominância de *Imperata cylindrica*.

As variáveis **cobertura total de plantas e da espécie forrageira dominante** variaram significativamente ( $P < 0,05$ ), somente entre as comunidades. Entretanto, a cobertura de outras espécies foi variável entre as comunidades e entre anos, não ocorrendo efeito de aninhamento de comunidade dentro de ano. As comunidades adaptadas ao fogo, tais como as estudadas, mantêm suas espécies dominantes e atingem a máxima produtividade, quando o fogo ocorre numa freqüência característica (Heringer e Jacques, 2001).

As variáveis, altura da lâmina foliar e total foram variáveis entre anos e comunidades, havendo efeito de aninhamento de comunidade dentro de ano (Figura 22).



**Figura 22** - Altura da lâmina foliar de capim-carona e capim vermelho no pico da seca de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

A altura das plantas é muito influenciada pelo manejo, especialmente a taxa de lotação usada. Como o capim-vermelho é mais palatável para os bovinos do que o capim-carona, estas pastagens sofrem maior variação anual. Outro fator que contribui com a maior variação das pastagens de capim-vermelho é a localização destas comunidades nas cotas mais baixas do mesorelevo, que podem sofrer inundação periódica.

### **5.2.1. Análise da variação das características das pastagens por meio de técnicas multivariadas**

A avaliação da divergência das características de produção, vigor e estruturais das duas áreas de campo de “macega” estudadas, basearam-se nos dois primeiros componentes principais, cuja variância acumulada foi de 95,1 % da variância total, constituindo indicadores eficientes de dissimilaridades. O componente 1 contribuiu com 88,4 % da variância total.

Na Tabela 15 são apresentados os coeficientes de correlação entre as características avaliadas e os dois componentes principais (Y1 e Y2). As características de produtividade foram as que mais contribuíram para a discriminação das duas áreas de pastagens (comunidades) avaliadas durante a seca. No componente Y2, a informação retida foi de 6,7 %, considerado baixo, conseqüentemente, somente as características produtivas (fitomassa seca verde e fitomassa seca morta) e de vigor (teor de umidade da planta total) apresentaram poder de discriminação satisfatório. Conforme esperado, observou-se que há uma relação inversa entre fitomassa morta seca e teor de umidade total da planta e fitomassa seca verde. De maneira geral, os campos com predominância de capim-vermelho apresentam maior teor de fitomassa verde e fitomassa morta seca do que o de capim-carona. Estas características refletem no teor de umidade, conforme Tabela 13.

Freedman (1989), afirmou que a umidade do combustível morto, ramos secos, árvores mortos está diretamente relacionado com a umidade do ar. Quanto maior o teor de umidade do material vegetal, menor a facilidade que este tem de transformar-

se em combustão: esse autor ainda concluiu que quando seco, a combustão é mais rápida, porque absorve o vapor de água liberado pelo combustível. O alto conteúdo de umidade aumenta o calor necessário para queimar os combustíveis, já que essa energia é usada para evaporar a água. Além disso, os valores altos de combustível insinuam uma propagação lenta, porque parte deste calor liberado pela frente do fogo é usada para absorver água de combustíveis adjacentes (Chuvieco et al. 2002).

**Tabela 15** – Coeficientes de correlação de Pearson entre as características relacionadas com a produtividade e estruturais de campos de “macega” no período seco e os dois componentes principais, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, no período de seca

<b>Características</b>	<b>Componentes principal 1</b>	<b>Componentes principal 2</b>
Fitomassa fresca total (kg/ha)	0,99	0,09
Fitomassa seca total (kg/ha)	0,97	-0,09
Fitomassa seca verde (kg/ha)	0,64	0,70
Fitomassa seca morta (kg/ha)	0,84	-0,53
Umidade da fitomassa total (%)	0,20	0,53
Umidade da fitomassa morta (%)	0,21	0,24
Cobertura total de plantas (%)	0,39	0,22
Cobertura da gramínea dominante (%)	0,41	0,15
Cobertura de outras espécies (%)	0,01	0,18
Altura da lâmina foliar (cm)	0,49	-0,09
Altura total (cm)	0,42	0,04

Realizou-se uma análise discriminante para as características produtivas em função da época do ano (chuva e seca) e para tipo de pastagem (capim-carona e capim-vermelho). Na Tabela 16 consta a função linear que discriminam as pastagens em função da época do ano (chuva e seca).

**Tabela 16** – Função linear discriminante das características produtivas de campos com predominância de capim-carona e capim-vermelho, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, segundo período de águas e de seca.

<b>Características</b>	<b>Águas</b>	<b>Seca</b>
Constante	-5.32592	-1.53260
Fitomassa fresca total (kg/ha)	0.01480	0.00132
Fitomassa seca total (kg/ha)	0.01289	0.00758
Fitomassa verde (kg/ha)	0.0007775	0.00139
Fitomassa morta (kg/ha)	-0.02044	-0.00475
Fitomassa seca verde (kg/ha)	-0.01136	0.0003303
Fitomassa seca morta (kg/ha)	-0.00256	0.00368

A classificação pela retro-alimentação das características produtivas nas funções geradas contam na Tabela 17.

**Tabela 17** – Percentual de observações classificadas pelas características produtivas, em função da época

	<b>Água</b>	<b>Seca</b>
Água	80,4%	19,6%
Seca	8,4%	91,6%

Os resultados de classificação, usando as características produtivas, em porcentagem, foram melhores para o período de seca (91,6 %), embora também tenha sido verificado um resultado bom para o período de chuva (80,4 %). Não foram encontrados resultados na literatura para fins comparativos.

As características produtivas avaliadas em função da pastagem (comunidade) constam na Tabela 18.

**Tabela 18** – Função linear discriminante das características produtivas de gramíneas, sub-região da Nhecolândia, Pantanal, em função do tipo de pastagem (comunidade)

<b>Características</b>	<b>Capim-carona</b>	<b>Capim-vermelho</b>
Constante	-1.750	-2.33216
Fitomassa fresca total (kg/ha)	0.0005311	0.00299
Fitomassa seca total (kg/ha)	0.00656	0.00947
Fitomassa verde (kg/ha)	0.00134	0.00147
Fitomassa morta (kg/ha)	-0.00310	-0.00796
Fitomassa seca verde (kg/ha)	0.00359	-0.00559
Fitomassa seca morta (kg/ha)	0.00220	0.00299

A classificação pela retro-alimentação das características produtivas nas funções geradas para tipo de pastagem constam na Tabela 19.

**Tabela 19** – Percentual de observações classificadas pelas características produtivas, em função da pastagem.

	<b>Capim-carona</b>	<b>Capim-vermelho</b>
Capim-carona	69,4%	30,6%
Capim-vermelho	41,5%	58,5%

A pastagem melhor discriminada pelas características produtivas foi o capim-carona (69,4 %). Este fato, pode ser devido as características do mesorelevo, onde encontram-se estas pastagens, que são menos influenciadas pelas características ambientais, como as inundações.

Diante das duas classificações discriminantes, observou-se que as características produtivas avaliadas, discriminam melhor a época de avaliação do que a comunidade de capim.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que ambas as pastagens de “macegas” apresentam alta quantidade de combustível para queima. Porém, as características destes combustíveis são variáveis em função das condições climáticas e da distribuição espacial destas pastagens.

### **5.3. Utilização de Índice de Vegetação na Avaliação de Risco de Incêndio em Campos de Gramíneas Cespitosas do Pantanal**

Mesmo com a utilização ampla do NDVI na avaliação da fenologia e produtividade da vegetação, uma interpretação correta dos valores de NDVI não é facilmente elaborada, em virtude das interações a respeito de vegetação, clima e propriedades hidrológicas dos solos, pois ainda não está bem claro quais são as variáveis que mais afetam e estão relacionadas com NDVI em determinada época e período de tempo para determinado local (Myneni et al. 1997). Neste estudo, comparando a faixa de variação de NDVI das seis áreas iniciais avaliadas em 2005 (0,391304 a 0,417219) com a faixa de variação de 2006 das mesmas áreas (0,354839 a 0,420690), notou-se uma maior amplitude de variação em 2006, provavelmente devido as condições climáticas, que influenciaram as propriedades dos solos e da vegetação (Tabela 20).

**Tabela 20** – Valores de índice de vegetação normalizado (NDVI) obtidos para diferentes áreas (pixel de amostragem) com dominância de capim-vermelho e capim-carona (tipo de pastagem), no pico da seca de agosto de 2005 e 2006, sub-região da Nhecolândia Pantanal (Imagem CBERS)

<b>Áreas/ tipo de pastagem</b>	<b>Seca 2005</b>	<b>Seca 2006</b>
Inv. 9/capim-carona	0,406897	0,404580
Inv.9/capim-vermelho	0,402985	0,389313
Reserva 1/capim-vermelho	0,400000	0,387097
Reserva 2/capim-vermelho	0,391304	0,354839
Inv. 14/ capim-carona	0,417219	0,373134
Inv.5/capim-carona	0,4110959	0,420690
C. Dora/capim-vermelho	-	0,234043
P.Alegre/capim-carona	-	0,354839
Inv. 5/capim-vermelho	-	0,383459
Mandovi/capim-vermelho	-	0,372881
Mandovi/capim-carona	-	0,402985
Chatelodo/capim-carona	-	0,313869

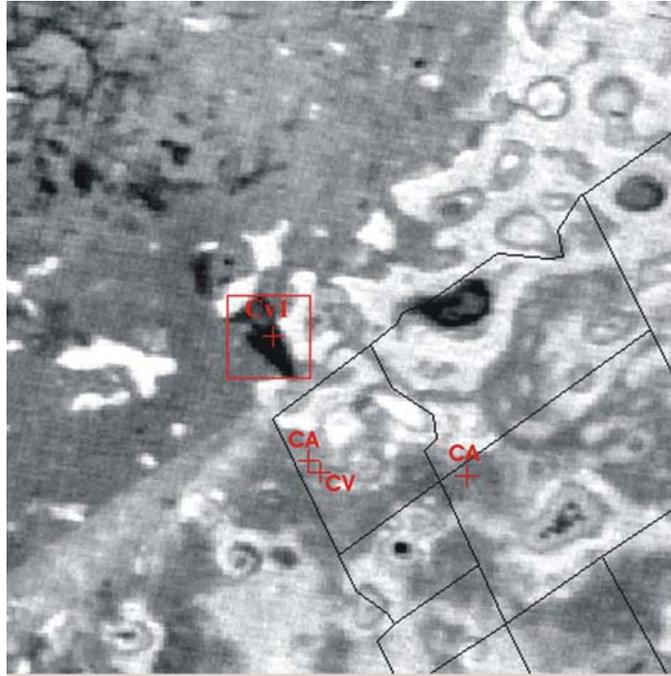
Com o maior número de áreas de amostragens em 2006, observou-se ainda uma maior variação dos valores de NDVI, cujo menor valor foi de 0,23 para campos de capim-vermelho (Figura 23), localizados em extensas áreas inundáveis, que durante o período de coleta, em agosto de 2006, ainda apresentavam uma certa umidade no solo. De maneira geral, na interpretação de imagens de NDVI, os tons de cinza mais claros indicam altos índices de vegetação, enquanto os níveis mais escuros indicam baixos índices de vegetação, solo exposto e água. Observa-se neste ponto amostral (pixel), que os níveis de cinza são mais escuros, porém, não representa necessariamente baixo índice de vegetação e sim presença de umidade. Estas interações refletiram na relação de NDVI com fitomassa seca total, cujo valor de  $R^2$  foi relativamente baixo (0,31). Segundo Churkina et al. (2006 ) o balanço hídrico e as propriedades físicas do solo são os principais parâmetros associados com os valores de NDVI, pois estes variam em função da precipitação mensal que

causa maior ou menor retenção de água no solo. Na Tabela 21 consta as equações de regressão para as características dos campos de “macega” avaliados durante dois anos, em períodos de seca. Na análise de regressão para as comunidades em separado, observou-se uma melhor relação para as demais variáveis, indicando haver interação de fitofisionomia do Pantanal com a resposta espectral de NDVI. Nas pastagens com dominância de capim-carona, não há efeito marcante de umidade do solo, pois estas áreas são geralmente livres de inundação, ao contrário das áreas com predominância de capim-vermelho.

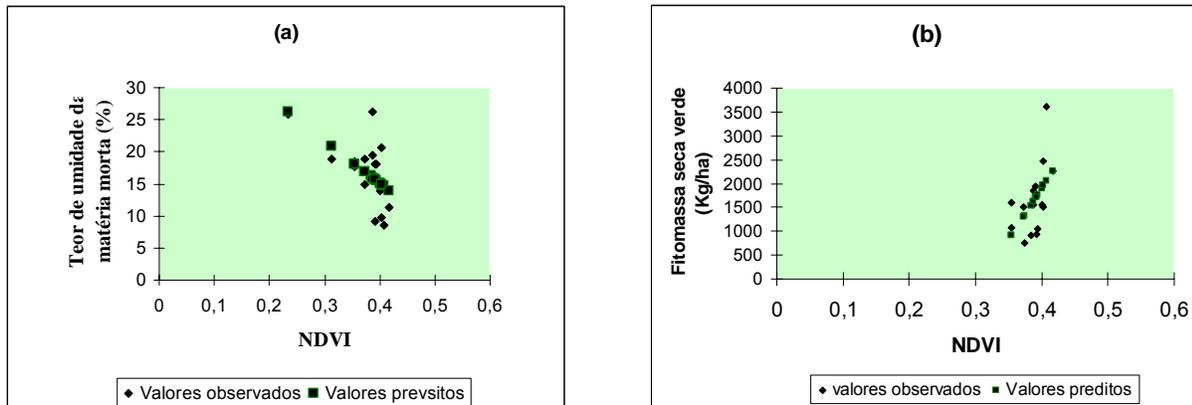
**Tabela 21** – Equações de regressão, coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão (EP) e valor do teste de F para as características de campos com predominância de capim-vermelho e capim-carona no período seco de 2005 e 2006, na sub-região da Nhecolândia, MS.

<b>Características do combustível</b>	<b>Equação ajustada</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>EP</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Fitomassa fresca total	$y = 420,55 + 3214,43x$	0,20	710,0	0,63	0,440ns
Fitomassa seca morta	$y = 63,47 + 6031,15x$	0,25	1050,6	1,01	0,331ns
Fitomassa seca verde	$y = -6739,02 + 21591,08x$	0,52	653,3	4,93	0,045*
Fitomassa seca total	$y = 475,36 + 9278,60x$	0,31	1305,1	1,55	0,232ns
Densidade	$y = 6,13 + 174,65x$	0,31	24,01	1,62	0,222ns
Teor de umidade da planta	$y = 57,80 - 68,64x$	0,43	6,4	3,51	0,080ns
Teor de umidade da matéria morta	$y = 41,92 - 67,08x$	0,57	4,4	7,22	0,017*
Teor de matéria morta (%)	$y = 71,86 - 39,3x$	0,14	13,69	0,24	0,63ns
Relação matéria verde/matéria morta	$y = 2,1 - 1,63x$	0,45	0,15	3,85	0,07ns
Cobertura de gramínea	$y = 97,2 - 80,76x$	0,38	9,08	2,36	0,147ns
Cobertura do solo	$y = 85,26 - 45,74x$	0,14	15,08	0,28	0,60ns

\*  $p < 0,05$ ; ns=não significativo



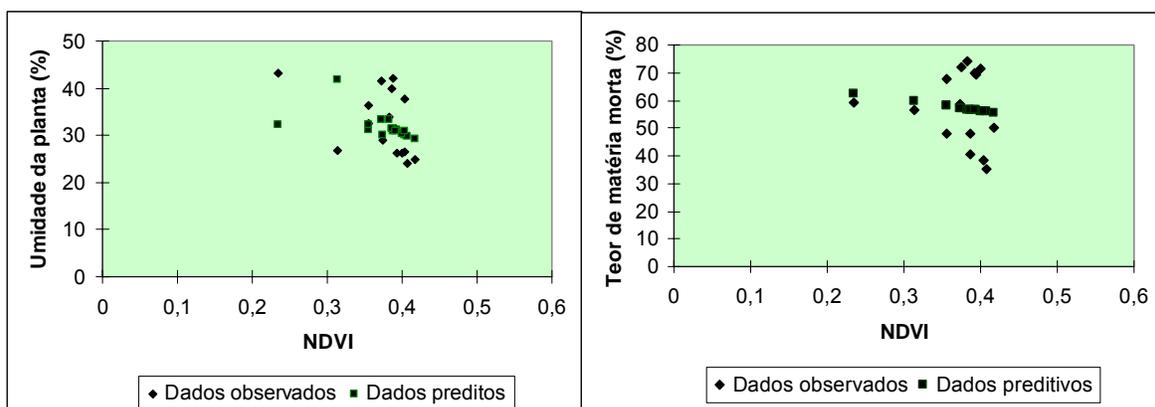
**Figura 23** – Recorte de imagem NDVI, obtidos de CCD/CBERS, em agosto de 2006, da sub-região da Nhecolândia, Pantanal. Cv = pastagem com predominância de capim-vermelho, onde o ponto amostral CV1 mais escuro indica maior umidade de solo, apresentando valor mais baixo de NDVI (0,23); CA= pastagem com predominância de capim-carona.



**Figura 24** – Relações entre NDVI e teor de umidade da matéria morta (a) e fitomassa seca verde (b) de áreas de campos com predominância de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal

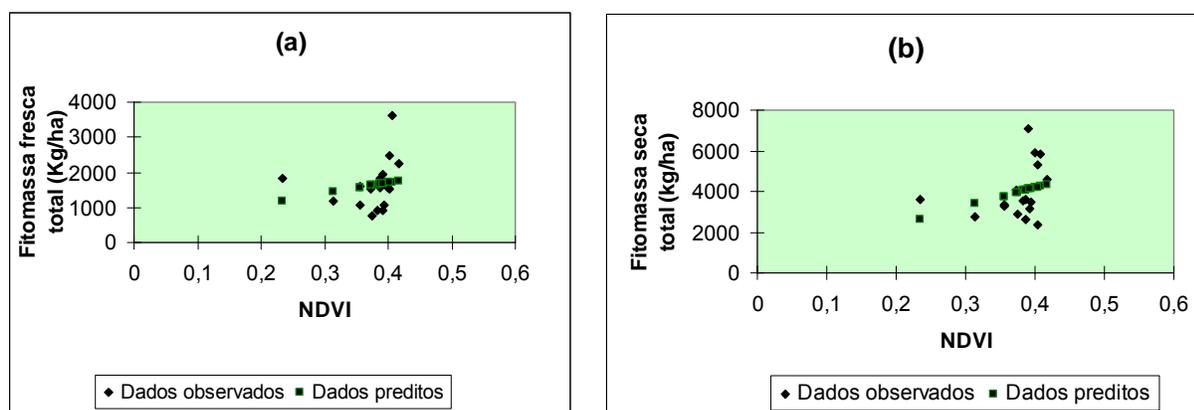
Nos períodos avaliados foi observado que as características: fitomassa verde fresca e umidade da matéria morta apresentaram maiores valores de  $R^2$  (Figura 24). Considerando-se que o teor de umidade da matéria morta representa a umidade de extinção, que é a umidade no qual o fogo não se espalha ou a que cessa (extingue) o processo de queima, os valores de NDVI dessas áreas de campo de gramíneas cespitosas podem fornecer um indicativo do perigo de incêndio. Portanto, a medida que o NDVI desta áreas de campo aumenta, o teor de umidade da matéria morta diminui enquanto que o teor de fitomassa fresca verde aumenta, corroborando com as informações da literatura, de que NDVI representa o vigor da vegetação. Porém, os valores de NDVI pareceram não depender somente do vigor da vegetação, provavelmente, influenciados pela umidade do solo. Segundo Dennison et al. (2006), enquanto o material morto depende da umidade do ambiente para entrar em equilíbrio, a umidade do combustível vivo depende de vários fatores, entre os quais, a espécie de planta, a saúde da vegetação e a disponibilidade de água no solo.

O teor de umidade da planta, embora com valor de  $R^2$  mais baixo, apresentou a tendência similar ao teor de umidade da matéria morta (Figura 25) . O teor de umidade do combustível é usado como um indicador do potencial de ignição do fogo começar a espalhar na área e pode ser usado como um indicativo prático de avaliação no campo. Na discussão das características dos combustíveis (Tabela 12), foi mostrado a relação entre matéria morta e teor de umidade, sendo a estimativa do teor de matéria morta das pesagens, uma medida prática de observação a campo.



**Figura 25** - Relações entre NDVI e umidade da planta e teor de matéria morta da planta de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal

A fitomassa fresca total e fitomassa seca total apresentaram uma relação considerada “ruim” com os valores de NDVI (Tabela 20; Figura 26). Como um indicador integrado da vegetação, NDVI está associado com densidade da cobertura, fotossíntese e umidade do solo, de forma diferente para cada tipo de cobertura de vegetação (Myneni et al., 1997).

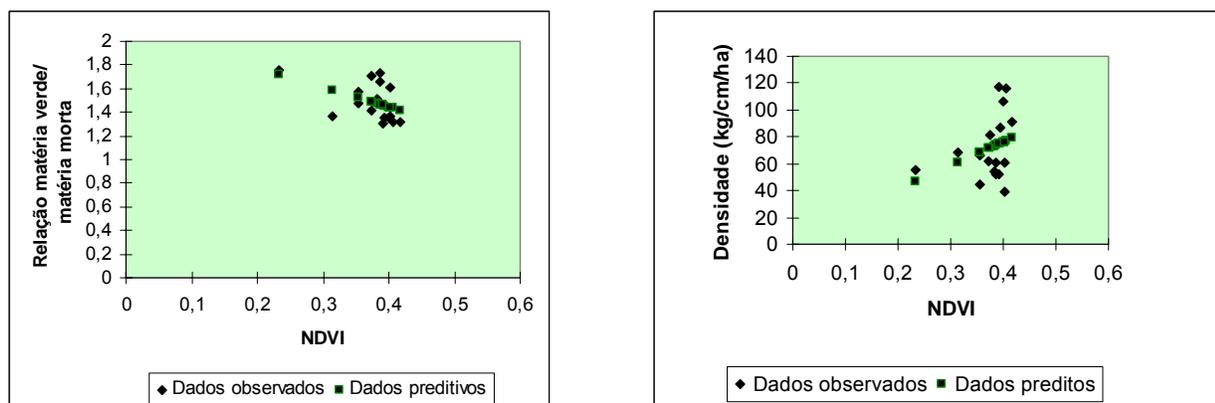


**Figura 26** - Relações entre NDVI e fitomassa fresca total (a) e fitomassa seca total de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal

Embora haja estudos na literatura sobre a correlação entre conteúdo de água da folha e reflectância espectral, há uma divergência nas respostas, pois a redução da clorofila com o amadurecimento da pastagem aumenta reflectância da pastagem, com conseqüente redução do NDVI, mas por sua vez, o declínio da água diminui a reflectância, com conseqüente aumento do NDVI. Portanto, a banda visível (R) parece não ter sensibilidade suficiente para estimar o conteúdo de água da folha em termos absolutos. Além do mais, umidade do solo tem mostrado (Kunkel, 1990) que pode afetar o estado da cultura e potencial de produtividade mais diretamente do que as variáveis climáticas (Adegoke et al., 2005). Segundo Chuvieco et al. (1994), a melhor variável relacionada com o conteúdo de umidade do combustível foi a relação entre NDVI e temperatura da superfície (NDVI/TS). Segundo o autor, a análise da dinâmica térmica da planta é uma alternativa para determinar o conteúdo de água da cobertura vegetal. Quando a planta está bem hidratada, o aumento da temperatura do ar causa um aumento na evapotranspiração, que aumentará a perda de calor latente e reduzirá a perda de calor sensível, conseqüentemente, a temperatura da folha reduzirá. Caso contrário, quando as plantas senescem, a evapotranspiração é reduzida, aumentando a perda de calor sensível. Portanto, a diferença entre temperatura do ar e da superfície está relacionada com a evapotranspiração e indiretamente com o estresse hídrico e conteúdo de água. Vários índices tem sido propostos baseado sobre esta diferença, sendo uma dos mais usados e já validados é o índice de déficit climático (Moran et al., 1994), testado como um preditor de perigo de incêndio por Vidal et al. (1994).

Verbesselt e Coppim (2002), no seu trabalho de estimação de conteúdo de umidade de combustível para avaliação de perigo de incêndio, concluíram que em

geral, os dados de satélite apresentaram uma grande confiança para calcular o Conteúdo de Umidade em cobertura de gramínea do que em arbustos, embora em ambos os casos, algumas variáveis encaminham a uma correlação significativa.



**Figura 27 -** Relações entre NDVI e relação matéria verde/matéria morta e densidade de áreas de campos de gramíneas cespitosas, no pico da seca, sub-região da Nhecolândia, Pantanal

A contribuição do solo na resposta espectral da vegetação varia com a quantidade de solo exposto, com as suas propriedades intrínsecas e com as condições da superfície. Na determinação dos índices de vegetação, a influência do solo, é significativa em situações de cobertura parcial pela vegetação, especialmente onde possam ocorrer variações espaciais ou temporais da superfície do solo. Essa influência ocorre tanto em relação ao brilho do dossel, associado à magnitude da radiação refletida, quanto ao perfil da curvas espectrais, associados às características mineralógicas, orgânicas e de absorção de água (Huete, 1989). Não houve associação significativa entre a densidade e o NDVI (Figura 27), podendo estar relacionado com maior cobertura da vegetação e solo exposto. Walter-Shea et

al (1997), dosséis mais homogêneos e com maior cobertura, ou o solo completamente exposto, estarão menos suscetíveis a variações nos índices.

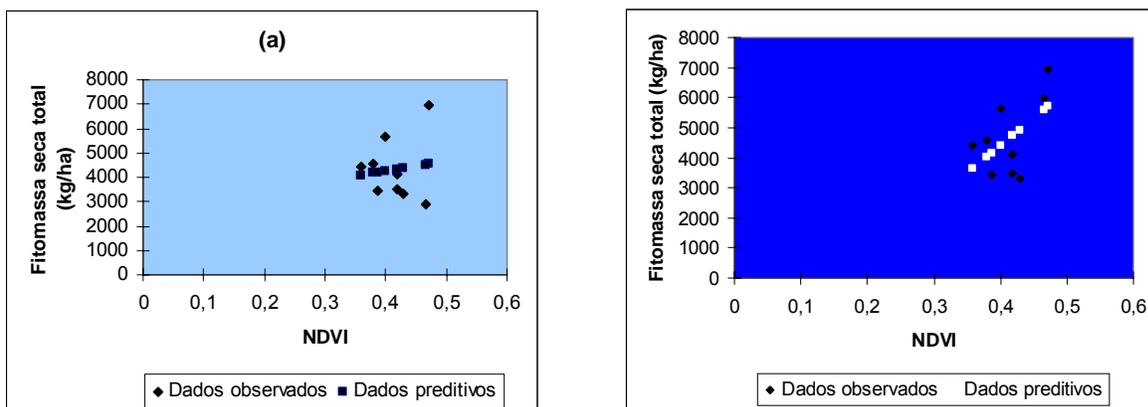
### **5.3.1. Análise de índice de vegetação por diferença normalizada em campos de gramíneas cespitosas durante o período de chuvas**

Como no período chuvoso (abril 2006), só foi feita análise de uma imagem, não foi possível fazer comparações das faixas de NDVI obtidas. No período avaliado os valores de NDVI variaram de 0.380282 a 0.46667. Os valores mais baixos foram obtidos para o capim-vermelho, principalmente no mesmo ponto amostral descrito na Figura 23 (ponto CV1), enquanto que os maiores valores foram obtidos nas áreas com capim-carona, geralmente livres de inundação. Portanto, conforme esperado, os valores de NDVI obtidos no período chuvoso foram mais altos, pois nesta época as pastagens apresentam um maior vigor. As relações de valores de NDVI com características dos combustíveis na época das chuvas estão apresentadas na Tabela 22. Para o ajuste das equações, decidiu-se retirar um outlier (pixel obtido na Reserva, ponto 2), pois o valor obtido provavelmente deve ter caído em outra fitofisionomia, pois os campos de “macegas” são muito próximos das áreas de campo-cerrado e cerrado. Na Figura 28, são mostradas as relações de fitomassa seca total e NDVI, com e sem outlier.

**Tabela 22** – Equações de regressão, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão (EP) e valor do teste de F para as características de campos com predominância de capim-vermelho e capim-carona no final do período chuvoso de 2006, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS.

Características do combustível	Equação ajustada	$R^2$	EP	F	P
Fitomassa fresca total	$Y=-10.804+49.645,3x$	0,60	2.619,3	4,04	0,08ns
Fitomassa seca morta	$Y= 8.116,66-16.432,9x$	0,75	566,2	6,42	0,05*
Fitomassa seca verde	$Y=1.993,4+1.503,1x$	0,11	552,3	0,08	0,78ns
Fitomassa seca total	$Y=-2.917,1+18.275,8x$	0,53	1.144,1	2,86	0,13ns
Densidade	$Y=-19,4+276,1x$	0,35	29,2	1,0	0,35ns
Teor de umidade da planta	$Y=-16,85+171,67x$	0,73	5,74	6,94	0,04*
Teor de umidade da matéria morta	$Y=-31,88+163,75x$	0,49	10,45	1,91	0,22ns
Relação matéria verde/matéria morta	$Y=-1,60+9,45x$	0,90	0,18	21,3	0,006**

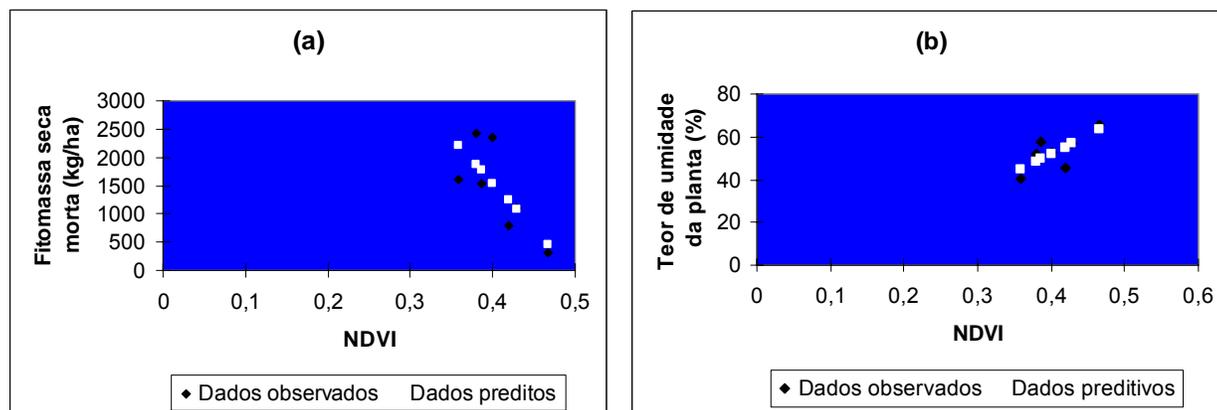
\*\*  $p<0,01$ ; \*  $p<0,05$ ; ns= não significativo



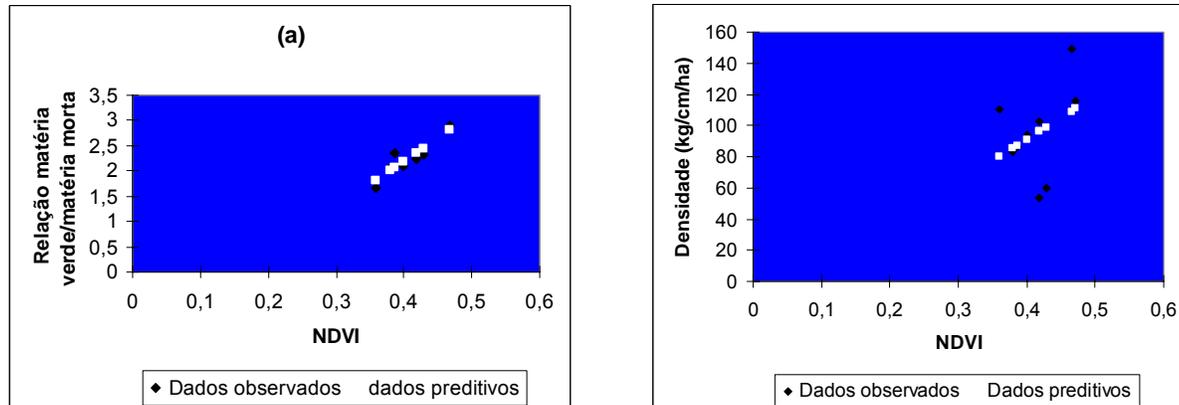
**Figura 28** - Relações entre NDVI e fitomassa seca com outlier (a) e sem outlier em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal.

Embora a característica fitomassa seca não tenha sido significativa, esta mostrou uma tendência linear de aumento, a medida que os valores de NDVI

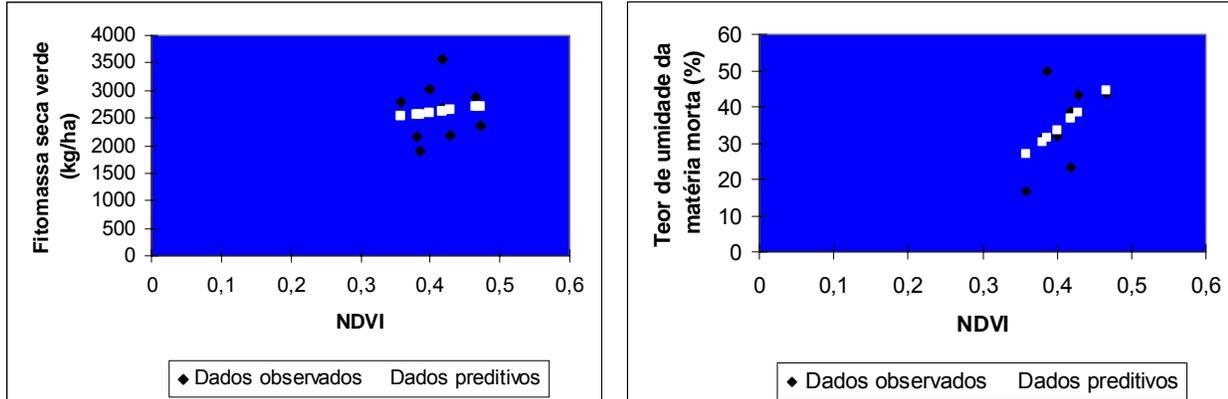
umentam. As características que foram relacionadas significativamente com NDVI foram fitomassa seca morta, teor de umidade da planta (Figura 29 ) e relação matéria verde/matéria morta (Figura 30).



**Figura 29** - Relações entre NDVI e fitomassa seca morta (a) e teor de umidade da planta em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal



**Figura 30** - Relações entre NDVI e relação matéria verde/matéria morta (a) e densidade em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal



**Figura 31** - Relações entre NDVI e fitomassa seca verde e teor de umidade da matéria morta em áreas de campos de gramíneas cespitosas, no final do período chuvoso, sub-região da Nhecolândia, Pantanal

A relação de NDVI com fitomassa seca verde e teor de umidade da matéria morta não foi significativa, mas mostrou uma tendência de incremento com o aumento do NDVI (Figura 31). Porém, em épocas de seca, o teor de umidade da matéria morta apresentou comportamento inverso, provavelmente devido ao fato da umidade da matéria morta depender da umidade do meio ambiente e que neste período é relativamente alta.

### 5.3.2. Elaboração de mapas temáticos com o uso de índices de vegetação

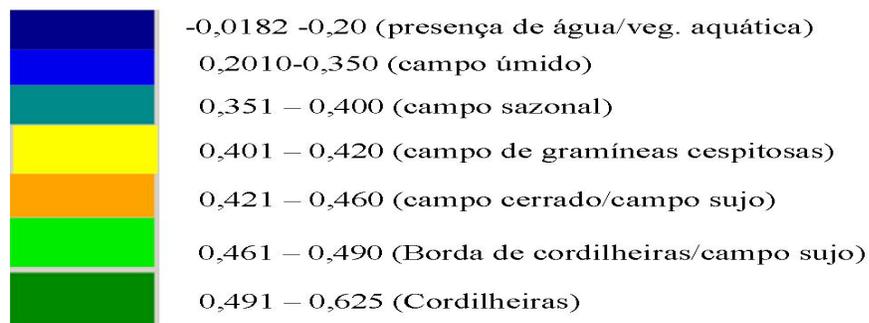
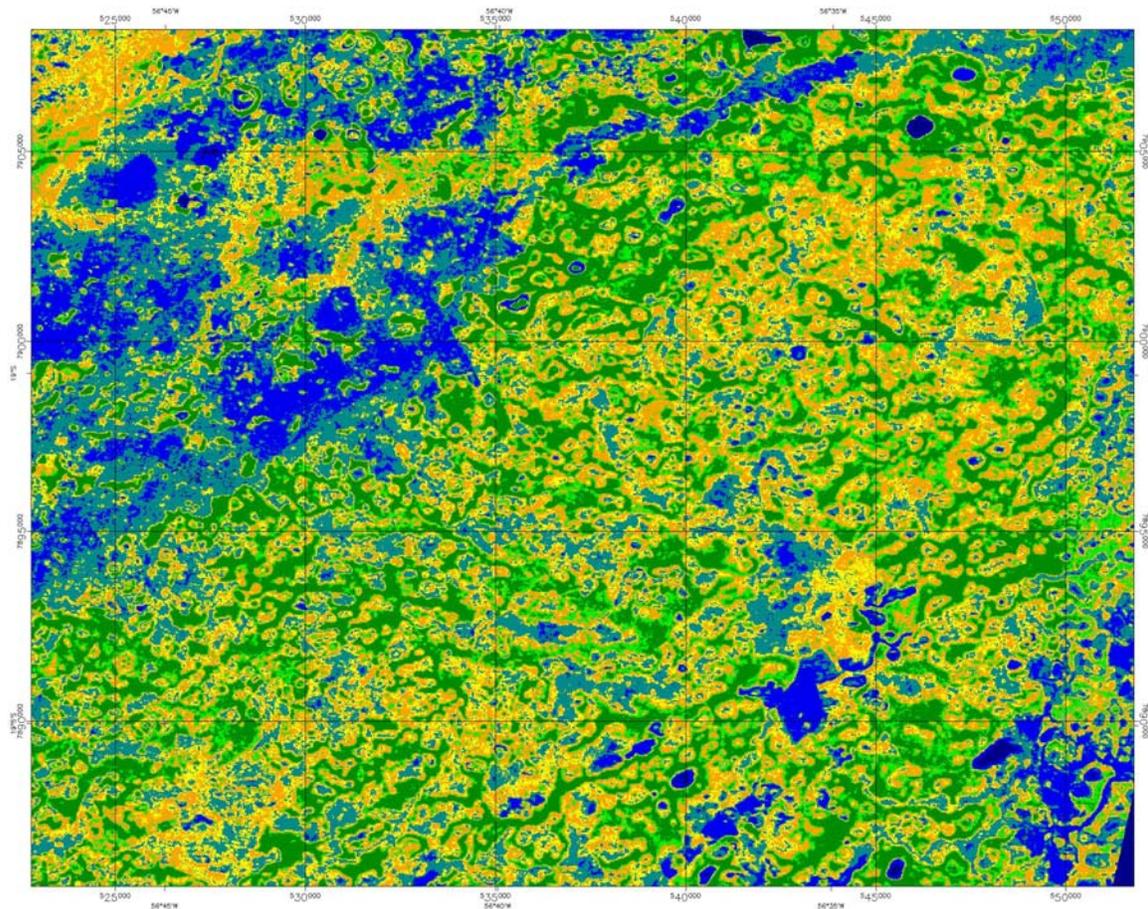
Neste estudo, os valores de NDVI (0,39 a 0,42) obtidos nas áreas de gramíneas cespitosas no final do período seco de 2005 podem ser considerados indicativos de alto perigo de incêndio, confirmado por ser um dos anos com maior número de focos de incêndio na região e com temperatura média acima da normal (Onigemo et al., 2006). Segundo a NASA (Schindell, 2006), o ano de 2005 foi

provavelmente, o ano mais quente desde 1890. Inclusive uma semana após a coleta dos dados de campo ocorreu um incêndio acidental na área de estudo. Porém, a interpretação dos dados de NDVI não deve ser feita de maneira isolada e sim associada com as variáveis climáticas locais, especialmente distribuição da precipitação, tipos de fitofisionomias, umidade do solo, entre outros fatores.

O mapa de índice de vegetação gerado em agosto de 2005, em função das fitofisionomias da sub-região da Nhecolândia encontra-se na Figura 32. As faixas de NDVI obtidas para cada fitofisionomia para os diferentes períodos de avaliação encontram-se na Tabela 23. Os valores referentes ao ano de 2005, considerado crítico em termos de incêndios, poderá ser usado como referencia para futuros estudos de séries temporais e comparativos, o que poderá contribuir na definição de índices integrados de avaliação do risco de incêndio para o Pantanal. Observa-se na tabela que os combustíveis (material vegetal) fino existentes nas fitofisionomias campos de “macegas”, campo-cerrado e campo sujo são mais suscetíveis a incêndios. Embora não tenha sido estudado o material combustível destas fitofisionomias, considerou-se estas áreas como de grande risco de incêndio, pois o espaçamento entre as árvores permite a penetração mais livre do sol e do vento, provocando um aumento da temperatura e da taxa de evaporação. As áreas de florestas (cordilheiras) que apresentam alto teor de umidade não são inflamáveis, mas o calor desenvolvido em áreas de macegas e campo-cerrado próximas pode secar este material verde tornando-o inflamável.

Como as fitofisionomias estão dispostas em mosaico e interligadas, o risco de incêndio será maior ou menor dependendo da distribuição e proporção de

fitofisionomias consideradas mais críticas, ou seja, conforme o tamanho do combustível, teor de umidade e disponibilidade de fitomassa.



**Figura 32** - Mapa temático de recorte de imagem da sub-região da Nhecolândia em função das faixas de NDVI obtidas em agosto de 2005

O ideal seria dar continuidade a este estudo, com a definição de valores de NDVI máximo e mínimo durante séries históricas de dados. Para cada pixel avalia-se os limites de variação, conseqüentemente, estima-se o risco de incêndio dos diferentes combustíveis.

Observa-se que grande parte da sub-região da Nhecolândia apresenta fitofisionomias susceptíveis a incêndios. Esta susceptibilidade é variável de ano para ano em função das condições climáticas e manejo. O desenvolvimento de modelos e/ou índices que considerem os diferentes fatores determinantes do fogo será de grande importância para a prevenção de grandes incêndios na região.

**Tabela 23** – Faixas de índice de vegetação normalizado (NDVI) obtidos nas diferentes fitofisionomias da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, na seca de 2005 e 2006 e na chuva de 2006.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Seca 2005</b>	<b>Seca 2006</b>	<b>Chuva 2006</b>
Cordilheiras	Grosso	0,491 – 0,625	0,501-0,580	0,551 - 0,740
Campo-cerrado	Grosso e fino	0,461 – 0,490	0,461 -0,500	0,471 – 0,550
Campo-sujo/ campo-cerrado	Fino e/ou grosso	0,421 – 0,460	0,401-0,460	
Campo de “macega” (predominância de gramíneas cespitosas)	Fino	0,401-0,42	0,351-0,400	0,351-0,470
Campo limpo sazonal (espécies de porte baixo)	Fino e/ou grosso	0,351 – 0,400	0,201-0,350	0,251-0,350
Campo inundável	Fino e/ou grosso	0,201 – 0,350		
Água/vegetação	Fino e/ou grosso	< 0,200	<0,20	<0,25

\* Em amarelo, constam as fitofisionomias que apresentam maior probabilidade de combustão e em laranja, as faixas de NDVI obtidos em 2005, ano considerado com maior número de focos de incêndio nas últimas décadas.

## 6. CONCLUSÕES

A fórmula de Monte Alegre mostrou valores confiáveis de previsão de risco de incêndio na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, porém, para a elaboração de um índice mais confiável, o ideal seria considerar os demais fatores que influenciam o risco de incêndio.

Num grau de maturidade (% de matéria vegetal morta) entre 50 e 75 %, considerado limiar para o fogo desenvolver, as pastagens de capim-carona e capim-vermelho apresentam respectivamente 21,0 e 22,4 % de umidade na matéria morta e 34,5 e 39,0 % de umidade na planta. Nesta faixa de umidade da matéria morta, ambas as pastagens apresentam combustíveis com alto potencial de ignição.

Das variáveis das pastagens avaliadas durante o pico da seca, a fitomassa verde fresca e umidade da matéria morta apresentaram relação significativa com o índice de vegetação normalizado (NDVI). À medida que o NDVI destas áreas de campo aumenta, o teor de umidade da matéria morta diminui enquanto que o teor de fitomassa seca verde aumenta. Estas mesmas variáveis não foram relacionadas significativamente com NDVI durante o período de chuva.

Os valores de NDVI obtidos durante o período seco de 2005 (agosto) poderão ser usados como referência para futuros estudos de séries temporais e comparativos, o que poderá contribuir na definição de índices integrados de avaliação de risco de incêndio para o Pantanal.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores determinantes de um incêndio são o material combustível, as variáveis climáticas e a topografia. Há diversas técnicas disponíveis para avaliar as variáveis topográficas e meteorológicas, em larga escala, no entanto, o mapeamento das propriedades dos combustíveis são mais difícil por causa da alta variabilidade espacial e temporal. Neste estudo foi possível avaliar as características de campos com predominância de gramíneas cespitosas (“macegas”), considerados os combustíveis mais queimados da sub-região da Nhecolândia. Pretende-se dar continuidade a este estudo, principalmente levando em consideração as demais fitofisionomias de risco existentes no Pantanal por meio de avaliação de índices de vegetação em séries temporais, aliado com estudos de fatores climáticos e ambientais (umidade de solos, etc.), de modo que possa ser desenvolvido um modelo/ índice integrado para previsão de incêndio para toda a região do Pantanal.

Um melhor entendimento das relações entre valores de NDVI e variáveis ambientais (características dos combustíveis, solo, etc.) poderá contribuir com o uso de dados espectrais de sensoriamento remoto no desenvolvimento de índices que contribuam ou que representem o potencial de risco de incêndio na região. Mudanças no teor de umidade devem ser estudadas para os demais tipos de vegetação existentes no Pantanal. Porém, estes estudos embora preliminares, podem ser usados para prever risco de incêndio, pois geralmente os fazendeiros colocam fogo inicialmente nas áreas de “macegas”. Portanto, o conhecimento da distribuição das áreas de “macegas” e a continuidade destas em relação a outros tipos de vegetação, especialmente nas áreas de reserva, podem contribuir para medidas preventivas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, U. G. P. Sistema de produção de gado de corte do Pantanal, importância econômica. In: Santos et al. **Sistemas de produção de gado de corte do Pantanal: sistema de produção**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. p. 9 -13. (Embrapa Pantanal. Sistemas de Produção, 01).

ADAMÓLI, J. Fitogeografia do Pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1984, Corumbá, MS. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, 1986, p.105-106 (EMBRAPA-CPAP. DOCUMENTO, 5).

ADAMÓLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito "Complexo do Pantanal". In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32, Teresina, 1982. **Anais...** Teresina: SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, 1982, p. 109-119.

ADEGOKE, J, O.; CARLETON, A. **Influence of variations in low-level moisture and soil moisture on the organization of summer convective systems in the U.S.Midwest**, 2005. Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/104829.pdf>>. Acesso em: 10 sep. 2006.

ALBINI, F. A. **Estimating Wildlife Behavior and effects**: General Technical Report INT-30, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogden, Utah: USDA Forest Service, 1976. Relatório técnico.

ALLEM, A. C; VALLS, J. F. M. **Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-grossense**. Brasília: EMBRAPA CENARGEN, 1987, 339p. (EMBRAPA-CENARGEN. Documentos, 8).

AMARAL FILHO, Z. P. Solos do Pantanal Matogrossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1, 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, DDT, 1984. p. 91-103. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 5).

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. 231p.

ARANHA, J.; ALVES, G. Criação de um Índice de Perigo para o vale do Alto Tâmagá. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 6., 2001, Oeiras. **Proceedings...** Oeiras: [s.n], 2001, p 14.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS`89). CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 12., 1989, Vancouver. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1989, p. 1355-1358.

BARET, F.; GUYOT, G. Potential and Limits of vegetation Indices for LAI and APAR assesment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n. 2, p. 161-173, 1991.

BATISTA, A. C. Detecção de Incêndios Florestais por Satélites. **Floresta**, v. 34, n.2. p. 237-241, 2004.

BATISTA, A. C.; SOARES,R. V. **Incêndios Florestais**. Recife: Imprensa Universitária UFRPE, 2002. 115p

BEUTLING, A.; BATISTA, A.C.; SOARES R. V. **Quantificação de material combustível superficial em reflorestamentos de *araucária angustifolia* (Bert.)**. Disponível em: <<http://calvados.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/5187/3901.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2006.

BOSCHETTI, L.; BRIVIO, P. A.; GREGORIE, J. M. The use of Meteosat e GSM to detect burned areas in tropical environments. **Remote Sensing of Environment**, v.85, p.78-91.2003.

BRÂNCIO, P. A. et al. Avaliação de pastagem nativa dos cerrados submetida à queima: qualidade da dieta de bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.3, p. 438-442, 1997.

BROWN, A. A.; DAVIS, K. P. **Forest fire: control and use**. 2. ed. New York: McGraw Hill Book, 1973. 686p.

CAETANO, M., CARRÃO, H., FREIRE, S. **PREMFIRES WP 330: Methodology for Fire Risk Mapping**. Lisboa: IGP, 2002. 12p. Relatório técnico.

CAMPELO JÚNIOR, J. H. et al. Climatologia In: PLANO DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI - PCBAP. Diagnóstico dos meios físico e biótico: meio biótico. Brasília, DF : Ministério do Meio Ambiente, 1997, v.2, p.298-334.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G., Barioni Júnior, W. Efeitos da queima na dinâmica da biomassa aérea de um campo nativo no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38. n.6, p. 747- 752, 2003.

CARDOSO, E. L.; CRISPIM, S. M. A.; RODRIGUES, C. A. G. Biomassa aérea e produção primária do estrato herbáceo em campo de *Elyonurus muticus* submetidas à queima anual, no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35. n.8, p. 1501- 1507, 2000.

CARRÃO, H., S. FREIRE, S. CAETANO, M. Fire Risk Mapping Using Satellite Imagery and Ancillary Data: Towards Operationality. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 9., 2002, Crete. **Proceedings...** Crete: [s.n], 2002. p. 23-27.

CASTILHOS, Z. M. S. **Produção e composição botânica de uma pastagem natural submetida a tratamentos de introdução de trevo vesiculoso Cv. Yuchi (Trifolium vesiculosum SAVI), ceifa e queima.** Dissertação (Mestrado em Zootecnia/Plantas Forrageiras) - Rio Grande do Sul: PPG Zootecnia/Plantas Forrageiras, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1984. 109p.

CASTROL, F. X.; TUDELA, A; SEBASTIÁ, M. T. Modelling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.116, 2003, p.147-159. 2003.

CHENEY, N. P. Predicting fire behaviour with fire danger tables. **Australian Forestry**, v. 32, n.2, p. 71-79, 1968.

CHURKINA, G.; COLINET, G.; COLLATZ, J. **Net primary productivity model inter comparison activity (NPP).** Disponível em: <http://gaim.unh.edu/products/Reports/<Report5/repor5.2006pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2006.

CHUVIECO, E. R. AGUAD. I. COCERO. D. Estimation of fuel moisture contents from multitemporal analysis of Landsat Thematic Mapper Reflectance data: application in fire danger assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.11, p. 2145-2162. 2002.

CHUVIECO, E.; SALAS, F. J.; VEJA, C. Remote sensing and GIS for long term fire risk mapping. In: Chuvieco, E. **A review of remote sensing method for the study of wildlife fires.** Alcalá, Spain: Universidad de Alcalá, 1997. p.91 -108.

CHUVIECO, E.; MARTIN, M. P. Global Fire Mapping and Fire Danger Estimation Using AVHRR Images. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, v. 60, n.5, p. 147-570, 1994.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: a precipitação atmosférica de nutrientes minerais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 2, p. 97-101, 1979.

CUNHA, N. G. **Classificação e fertilidade de solos da planície sedimentar do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-UEPAE, 1981. 56p. (Circular Técnica, 4).

DEEMING, J. E.; BURGAN, R. E.; COHEN, J. D. **The national Fire-Danger Rating System**: General Technical Report INT-39, Intermountain Forest and Range Experiment Station. Ogdon, Utah: USDA Forest Service, 1977. Relatório Técnico.

DEERING, D. W.; ROUSE, J. W.; HAAS, R. H. Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., 1975, Ann Arbor. **Proceedings...** Ann Arbor, MI: ERIM, 1975. p.1169-1178. v.2.

DENNISON, P.E.; ROBERTS, D.A.; REGGELBRUGGE, J.C. **Characterizing chaparral fuels using combined hyperspectral and synthetic aperture radar data**. 2000. Disponível em: <<http://www.gwog.utah.edu/~pdessnison/pubs/dennisonaviris2000.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2006.

DUNCAN, B. N.; A. C.; STAUDT, R. Interannual and seasonal variability of biomass burning emissions constrained by satellite. **Jour. Geophys.** v. 10, 2003. p. 1029.

EITEN, J. Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n.2, p.201-241. 1972.

EPIHANIO, J. C. N.; HUETE, A. R. Influence of sun view geometries on the relationships among vegetation indices, LAI, and absorbed PAR. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'94). Surface and Atmospheric Remote Sensing, 1994 Pasadena,. **Proceedings**... Piscataway: IEEE, 1994, p.1455-1457.

FERNANDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CABALLAS, T. Organic matter changes immediately after a wild – fire in Atlantic Forest soil comparison with laboratory soil heating. **Soil biology and Biochemistry**, v. 29, p. 1 –11, 1997.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de risco de incêndio florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). **Scientia Florestalis**, p.39 – 48. 1998.

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

FRANÇA, G. B.; CRACKNELL, A. P. A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. **International Journal of Remote Sensing**, 1995,1697-1705, 4p.

FREEDMAN. B . Environmental Ecology (The Impacts of Pollution and Other Stresses on Ecosystem structure And Function). Academy Press, Inc. Harcourt Brace Jovanovich, Publishers. San Diego. California. 1989. 300p.

FREITAS. R.; KARLA. M.; LONGO M. A. F. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. v.19 n.53, p.167-86, 2005.

GALVÃO, L. S.; VITORELLO, I.; FILHO, R. A. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. **Remote Sensing of Environment**, v. 67, n. 2, p. 181-193, 1999.

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

GATES, D. M. **Biophysical ecology**. New York : Springer Verlag, 1970. 661p.

GERARD, J. C.; NEMRY, B.; FRANCOIS, L. M. The interannual change of atmospheric CO<sub>2</sub>. Contribution of subtropical ecosystem . **Geophys. Res.** v. 26, n.6 1998.p. 243 – 246.

GLERIANI, J. M. **Influência do solo de fundo e da geometria da radiação na resposta espectral da cultura do feijão**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994. 87p.

GOEL, N. S. Models of Vegetation Canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing of Environment**, v. 4, n. 1, p.1-212, 1988.

GONZÁLES-JIMENÉZ, E. Primary and secondary productivity in flooded savannas. In: TROPICAL GRAZING LAND ECOSYSTEMS VENEZUELA. Paris, UNESCO., 1979. p.620-650.

GROOT, W.J.; WARDATI; WANG, Y. Calibrating the fine fuel moisture code for grass ignition potential. in Sumatra Indonesia. **International Journal of Wildland Fire**, v.14, n2 p.161-168, 2005.

HARDY, C.C.; BURGAN, R.E. Mapa De la Vegetación De América Del Sur. Mapa Da Vegetación Da América De Sul. EUR 20159 EN. 1999. Disponível em: <<http://home.comcast.net/gyde/INVPUBS.htm>>. Acesso em: 7 out. 2006.

HEIKILLA, T. V.; GRONQVIST, R.; JURVÉLIUS, M. **Handbook on forest fire control**. Helsink : Forestry Training Programme Publication. 239p. 1993.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Adaptação das plantas ao fogo: enfoque na transição floresta-campo. **Ciência Rural**, v.31, n.6, p.1085-1090, 2001.

HESS, T.; STEPHENS, W.; THOMAS, G. Modelling NDVI from decadal rainfall data in the North East Arid Zone of Nigeria. **Journal of Enviromental Manegement**, v. 48. n10, p249-261.1996.

HOELZEMANN, J.; BRASSUR, C.; GRANIER, M.G. The global wildfire EMISSION MODEL GWEM.: a new approach with global area burnt satellite data. **Jour. Geophys. Res.**, v 50. n. 15 p230 – 270, 2002.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; VAN LEEUWEN, W. J. D. The use of vegetation indices in forested regions: issues of linearity saturation. In: INTERNATIONAL GOSCIENCE AND REMOTE SENSING SEMINAR, 4, 1997, Noodwijk. **Proceedings...** Noodwijk: [s.n], 1997. p.1968 – 1997.

HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: atmosphere, geometric and sensor considerations. **Photo Interpretation**, v. 34, n.2, p.101-114. 1997.

HUETE, A. R. Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J.Wiley,. p.107-141.1989.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of Environment**, v.25, n.3,p.295-309, 1988.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA (INPE). Introdução ao Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens. São José dos Campos, SP: INPE. 2005. 54p

IRONS, J. R.; WEISMILLER, R. A.; PETERSEN, G. W. Soil reflectance. In: Asrar, G. Theory and applications of optical remote sensing. 1989, New York. **Proceedings...** New York: J. Wiley,1998. p. 66-106.

JACQUES, A. V. A. **Sítio do Pinheirinho**: uma pequena experiência de 37 anos, RST 470 Km 150. André da Rocha, RS: UFRGS. 2002. 9p. Relatório.

JACQUES, A.V.A. **Relatório do "dia de campo"** do CITE nº 100 (Morro da Vigia). Sítio do Pinheirinho, RST 470 Km 150, André da Rocha, RS: UFRGS. 1997.

JAMES, W. An unexpected effect of autumn burning on Tallgrass Praire. **American Midland Naturalist**, v. 114, n.2, p. 400- 403. 1985.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrients along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, v.82, n.3, p. 519-531. 1994.

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.

KNAPP, A. K. Effect of fire and drought on the ecophysiology of *Andropogon gerardi* and *Panicum virgatum* in a tallgrass prairie. **Ecology**, v.66, n.4, p.1309-1320, 1985.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, n. 3, p.155-159, 1970.

KUNKEL, K.E. Operational soil moisture estimation for the Midwestern United States. **Jour. Appl. Meteor.**, v.29, n 11, p.1158-1166, 1990.

LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel**. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.M. **Remote sensing and image interpretation**. 3. ed. New York: J. Wiley, 1994. 750 p.

LIOUSSE, C.; CHIAPPELLO.; QUESQUE, P. Interannual variability of global transport and radiative impact of carbonaceous aerosol. In: AFRICA FOR THE 1980 DECADE. INTERNATIONAL GLOBAL ATMOSPHERIC CHEMISTRY CONFERENCE, 2002, Crete. **Proceedings...** Crete, Greece: Hersonissos, 2002, p.18 –25.

LUKE, R.H.; McArthur, A.G. Bushfires In: AUSTRALIA, A JOINT PRODUCTION OF THE DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRY.1978, **Proceedings...** Australia: Canberra, 1978, p. 3-59 , 1978.

LUTZENBERGER, J. A. O fogo no Pantanal. 1988. Disponível em: <<http://www.agroline.com.br/artigos/artigo.php>. 1988> Acesso em: 20 fev. 2006.

MATTOS, J. C. A. de. **A influência do fogo na vegetação e o seu uso no estabelecimento e manejo de pastagens**. São Paulo: Instituto de Zootecnia, 1970. 21p. (INSTITUTO DE ZOOTECNIA, Boletim Técnico, 1).

MATTOS, G. Defesa Civil registra cerca de 60 incêndios florestais por dia no Estado do Paraná 2004. Disponível em: <<http://www.aenoticias.pr.gov.br/modules/news/>

article.php?storyid.> Acesso em: 24 mar. 2006.

MCARTHUR, A. G. **Control burning in eucalypts forests**. Canberra: Commonwealth of Australia Forestry and Timber Bureau, 1962.

MILLIE, S.; ADAMS, R. Measures of Grassland Curing, a comparison of destructive sampling with visual and satellite estimates. Australian Bushfire Conference, 1999.

Disponível em: <<http://www.csu.edu.au/special/bushfire99/papers/millie>>. Acesso em: 22 oct. 2006.

MORAN, M.; CLARKE, T.; INOUE, Y. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. **Remote Sens. Environ**, v.49, n.4, p.246-263, 1994.

MYNENI, R. B. *et al* .Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature**. v. 386, n.6, p. 695-702, 1997.

NOAA/NESDIS. Experimental Fire Potencial Product, NOAA, [On-line] 2002. Disponível em: <<http://noaa.gov/crad/sat/surf/fpm/index.html>> Acesso em: 9 out. 2006.

NUNES, J.R.S.; SOARES, R.V.; BATISTA, A.C, Especificação de um sistema computacional integrado de controle de incêndios florestais. **Floresta**, v.36, n.2, 2006.

OLIVEIRA, D. S.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Fire risk mapping for pine and eucalyptus stands in Três Barras, State of Santa Catarina, Brazil. **Forest Fire Reseach & Wildland Fire Safety**, p. 1-12, 2002.

OLIVEIRA, D. S. **Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná-Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná. 2002. 113p.

ONIGEMO, A. E. et al. Utilização de índice climático e características dos campos com predominância de gramíneas cespitosas, na avaliação do risco de incêndio no Pantanal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. (CD-ROOM).

PADOVANI, C. Queimadas. Queimadas no Pantanal. Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 28out. 2005. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/fogo/fogo.htm>> Acesso em: 26 nov. 2006.

PALTRIGDE, G. W.; BARBER, J. Monitoring grassland dryness and fire danger parameters in Australia with NOAA/AVHRR data. **Remote sensing of the Environment**, v.25, n. 3 p. 381-394. 1988.

PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Manejo de matéria orgânica. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo.** São Paulo: Embrapa - CPAC. p 261-284.1985.

PEZZOPANI, J. E. M.; RIBEIRO, A.; REGIS, G. G. Balanço de radiação em uma floresta em função da declividade e orientação das encostas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p 207-213.

PONZONI, F.J.Comportamento Espectral da Vegetação. In: Meneses, P. R., Netto, J. S. M. **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF: Universidade de Brasília. p 157-199, 2001.

POTT, A. Ecossistema Pantanal. In: PUIGNON, Juan P (Ed). **Utilization y manejos de pastizales**. Montivideo: IICA – PROCISUR, p.31-34. 1994.

POTT, A. **Pastagens das sub - regiões dos Paiguás e da Nhecolândia do Pantanal Mato–Grossense**. Corumbá : Embrapa – UEPAE, 1982. 49p. (Circular Técnica, 10).

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, Corumbá, MS: EMBRAPA-SPI, 1994. 320 p.

POZER, C. G. **Pastagens nativas na parte Norte do Pantanal de Mato Grosso: variações de produção primária e qualidade nutricional**. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2003. 64p.

PRANCE, G.T.; SCHALLER, G. B. Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brasil. **Brittonia**, v.32 n.2 p. 228-251, 1982.

PRESSLAND, A J. Fire in the management of grazing lands in Queensland. **Tropical Grasslands**, v.16, n.3, p.104 -112, 1982.

PYNE, S. J. **Introduction to wildlife fire: fire management in the United States**. New York: J: Wiley, 1984.

RAMIA, M. **Las sabanas de Apure**. Caracas: Ministerio de Agricultura y Cria, 1959. 134p.

RATTER, J. A. et al. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and around Corumbá. **Royal Botanic Garden**, Edinburgh, v.45.n.6. p.503-525. 1988.

RAZAFIMPANILO, H.; FROUIN, R.; IACOBELIS, S. F. Methodology for estimating burned area from AVHRR reflectance data. **Remote Sensing of Environment**. v. 54, p. 273-289. 1995.

RIBEIRO, G. A. **Estudo do comportamento do fogo de alguns efeitos da queima controladas em povoamentos de Eucalyptus viminalis labill em Três Barras, Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Setor de Ciências Agrárias) Curitiba : Universidade Federal do Paraná, 1997. 145p.

RODELA, L. G. **Unidades de vegetação e pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Ecologia). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2006, 222p.

RODRIGUES, C. A. G. **Efeitos do fogo e da presença animal sobre a biomassa aérea e radicular, nutrientes do solo, composição florística, fenologia e dinâmica de um campo de capim-carona (Elyonurus muticus (Spreng. O. Ktze.) no Pantanal (sub-região de Nhecolândia)**. Tese (Doutorado em Biologia) Campinas: Universidade Estadual de Campinas.1999. 249p.

RODRIGUES, C. A. G; CRISPIM, S. M. A. COMASTRI FILHO, J. A. **Queima controlada no Pantanal**, Corumbá: EMBRAPA CPAP, 2002, 24p. (EMBRAPACPAP. Documentos, 35).

ROTHERMEL, R.C. **A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels**. General Technical Report INT-115. Forest and Range Experiment Station, Intermountain. Ogdon, Utah: USDA Forest Service, 1972. Relatório Técnico.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL. J. A. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE -1. 1973, **Proceedings...** Greenbelt: { } 1973.p.48-62,

SANTOS, L. B.; INOCÊNCIO, N. Y.; GUIMARÃES, S. Vegetation. In: IBGE. GEOGRAFIA DO BRASIL. São Paulo, 1977.p. 78 –80.

SANTOS, S. A. **Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil.** Tese (Doutorado em Zootecnia). São Paulo, Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, UNESP, 2001. 190p.

SANTOS, S. A., CRISPIM, S. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A. Pastagens no ecossistema Pantanal: manejo, conservação e monitoramento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005. p. 23-35.

SANTOS, S. A.; COSTA, C.; CRISPIM, S. M. A. **Estimativa da capacidade de suporte das pastagens nativas do Pantanal, sub-região da Nhecolândia.** Corumbá: Embrapa Pantanal. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 27). Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicação online/>>. Acesso em : 14 set 2006.

SANTOS, S. A. et al. Identificação da composição botânica da dieta de bovinos criados em pastagem nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Brasil, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 4, p. 1648-1662, 2002.

SANTOS, A. **Comportamentos espectrais dos alvos.** Vitória, ES: Universidade Federal de Espírito Santo, 1999. Disponível em: <<http://www.ufes.br/~>>. Acesso em: 15 dez 2006.

SARDINHA, A. M.; MACEDO, F. W. **Fogos Florestais.** Lisboa: Livraria Escolar, 1993. 2v.

SCHULTZ, M. Use of ATSR fire count data to estimate the seasonal and interannual variability of biomass emissions. **Atmos. Chem. Phys**, v.50, n.10, p. 387 - 395. 2002.

SCHOEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations. Washington: USDA Forest Service, 1970. 229 p.

SELLERS, P. J. Vegetation – canopy spectral reflectance and bio physical processes. In: ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J. Wiley, p. 297-335. 1989.

SHINDELL, D. 2005 was warmest year. Nasa's Goddard Institute for Space Studies. 2005. Disponível em: <<http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm/newsid/3466234662.htm>>. Acesso em: 06 fev. 2006.

SILVA, J. dos S. V. DA.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p.1703-1711. 1998. (número especial).

SILVA, M. P.; MOURÃO, G. M; COUTINHO, M. E. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n.2, p. 1-18, 2000.

SOARES, R. V. Desempenho da “Formula de Monte Alegre” índice brasileiro de perigo de incêndios florestais. **Cerne**, v. 4, n.1, p. 87-99. 1998.

SOARES, R. V. **Comparação entre Índice de Perigo de Incêndio da Rigesa e a “Formula de Monte Alegre”**. 10p. 1998 (não publicado).

SOARES, R. V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987. **Revista Floresta**, v.18, n. 1/2, p. 94-121. 1988.

SOARES, R. V. **Incêndios Florestais: controle e uso de fogo**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985. 213p.

SANTOS, S. A. **Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Tese (Doutorado em Zootecnia) -Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, São Paulo, Botucatu: UNESP, 2001. 190 p.

SOARES, R.V. **Determinação de um índice de perigo de incêndios para a região centro-paranaense, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas da OEA, Turrialba, Costa Rica: IICA, 1972. 72 p.

SOARES, R. V. **Proteção Florestal**. Curitiba: Centro de Pesquisas Florestais, 1971. 180p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A.C. **Controle dos Incêndios Florestais**. Modulo 5. Prevenção dos incêndios florestais, 2002. 40p.

SORIANO, B. M. A.; ALVES, M. J. M. **Boletim Agrometeorológico ano 2002 para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2005. 29 p. (Embrapa Pantanal. Documentos,76).

SOUSA, C.L.; PONZONI, F.J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Lansat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de Pinus spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE/SELPER, 1998. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/sid.inpe.br/Deise/1999/02.11.10.35>>. Acesso em: 7 dez. 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. SUDECO. Estudo de desenvolvimento integrado da Bacia do Alto Paraguai - EDIBAP. Brasília, 1978. 235p. (Relatório da 1ª fase).

TAINTON, N. **Yeald Management in South África**. [s.l]: University of Natal Press, 1999, 472p.

TORRES. A . O. **O Fogo controlado na prevenção de Fogos Florestais**. Lousa: Instituto Superior de Agronomia, 1979. Relatório de atividade do Estágio do Curso do Silvicultor.

VÉLEZ, R. **La defensa contra incêncios forestales: fundamentos Y experiências**.2000. Disponível em: <<http://www.incendiosforestales.org/caracifmain.thm>> Acesso em: 10 de jun. 2005.

VERBESSELT, S.; COPPIM, P. Estimation of fuel moisture content towards fire risk assessment. In: VERBESSELT, S. **Forest fire reseach & wildland fire safety**. Belgium: Viegas, 2002, p.1-11.

VILLARES, J.B. Melhor queimar em etapas. **Coopercotia**, v.23, n.204, p.53-54, 1966.

VIDAL, A., PINGLO, F., DURAND, H. D. Evaluation of a temporal fire risk index in: Mediterranean Forest from NOAA thermal IR. **Remote Sensing of Environment**, v.49. p 296 - 303. 1994.

WALTER-SHEA, E. A. et al. Relations between directional spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfafa. **Remote Sensing of Environment**, v.61, n. 12. p.162-177, 1997.

WILSON, C. **Assesment of Two Interpolation Methods, Inverse Distance Weigting and Geoestatistica Kriging.** 1996. Disponível em: <<http://www.carleton.ca/cwilson/interpolation/INTERPOL>> Acesso em: 26 de set. 2005.