

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS CLASSES DE USO E
COBERTURA DA TERRA DE VENÂNCIO AIRES/RS**

Mauro André de Oliveira

Lajeado, junho de 2015

Mauro André de Oliveira

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA DE VENÂNCIO AIRES/RS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental, do Centro Universitário
UNIVATES, como parte das exigências para
a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Ms. Rafael Rodrigo
Eckhardt

Lajeado, junho de 2015

Mauro André de Oliveira

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA DE VENÂNCIO AIRES/RS

A banca examinadora abaixo aprova o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de graduação em Engenharia Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental:

Prof. Ms. Rafael Rodrigo Eckhardt -
orientador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Ms. Guilherme Garcia de Oliveira

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Ms. Henrique Carlos Fensterseifer

Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, junho de 2015

RESUMO

A paisagem que compõe o meio ambiente apresenta um comportamento dinâmico, alterando-se ao longo do tempo, seja por motivos naturais ou pela ação humana. As classes de uso e cobertura da terra consistem em uma das camadas de informações da paisagem que refletem as ações humanas que vem alterando o meio ambiente. A avaliação dos processos dinâmicos da paisagem permite acompanhar as modificações ocorridas e gerar cenários futuros. O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise temporal da paisagem do município de Venâncio Aires/RS, mediante a calibração de um modelo dinâmico espacial e projeção de um cenário futuro das classes de uso e cobertura da terra. Este estudo tornou-se possível a partir da disponibilidade de imagens de satélite de uma mesma região da Terra ao longo do tempo que, aliado as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, permitem a espacialização das informações através dos sistemas de informações geográficas (SIGs). Para realização deste trabalho foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 e 8 dos anos de 1986, 1994, 2004 e 2014, com vistas à obtenção das classes de uso e cobertura de vegetação, usos agropecuários, área urbanizada e recursos hídricos. A modelagem dinâmica espacial foi estruturada no *software* Dinâmica, com a geração de um cenário futuro da paisagem para o ano de 2024. Os resultados do estudo mostraram um avanço da vegetação do município em substituição a áreas de usos agropecuários. Essa transição é favorecida principalmente em áreas de maior declividade e nos locais de menor distância entre os fragmentos florestais já existentes. A análise temporal da paisagem mostrou que ao longo dos 28 anos analisados, o incremento da vegetação totalizou 71,03%. A modelagem dinâmica espacial indica para o cenário futuro a tendência de continuidade da regeneração da vegetação.

Palavras-chave: Paisagem, Análise Temporal, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Modelagem ambiental.

ABSTRACT

The landscape that makes up the environment presents a dynamic behavior, it's changing over time, either by natural reasons or by human action. The classes of use and soil cover consists of one of the layers of landscape information that reflect the human actions that has been changing the environment. The evaluation of landscape dynamic processes allows us to follow the changes that have occurred and to generate future scenarios. The present study was aimed to realize a temporal analysis of the landscape of Venâncio Aires/RS city, by calibrating a spatial dynamic model and projection of a future scenario of use and land cover classes. This study it became possible from the availability of satellite images of the same region of the Earth over time that, combined the geoprocessing and remote sensing techniques allow the spatial information across geographic information systems (GIS). For this work was used satellite images Landsat 5 and 8 of the years 1986, 1994, 2004 and 2014 with a view to obtaining the use of classes vegetation cover, agricultural uses, urban and water issues. The spatial dynamics modeling it was structured in Dinâmica software, with the generation of the one future scenario of the landscape for the year 2024. The results of the study showed an improvement of municipal vegetation replacing areas of agricultural uses. This transition is favored especially in areas of greatest slope and the local shortest distance between existing forest fragments. The temporal analysis of the landscape showed that over the 28 years analyzed, increased vegetation totaled 71.03%. The spatial dynamics modeling indicates for the future scenario the trend of continued regeneration of vegetation.

Keywords: Landscape, Temporal Analysis, Geoprocessing, Remote Sensing, Environmental Modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.....	20
Figura 2 – Espectro Eletromagnético.....	22
Figura 3 – Assinatura espectral de alvos da superfície terrestre.....	24
Figura 4 – Localização do município de Venâncio Aires, RS.....	33
Figura 5 – Composição colorida RGB654 da imagem de 2014 recortada.....	41
Figura 6 – Distribuição dos pontos da tabela de coordenadas coletadas em campo.....	51
Figura 7 – Altitude do relevo de Venâncio Aires, RS.....	52
Figura 8 – Mapa de declividade do relevo de Venâncio Aires, RS.....	53
Figura 9 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 1986.....	55
Figura 10 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 1994.....	56
Figura 11 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 2004.....	57
Figura 12 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 2014.....	58
Figura 13 – Pontos gerados para aplicação do índice <i>Kappa</i>	59

Figura 14 – Mapa simulado de uso e cobertura da terra do ano de 2014.....	66
Figura 15 – Comparações entre mapas classificado e simulado de 2014.....	67
Figura 16 – Mapa de erros de omissão e comissão da simulação de 2014.....	70
Figura 17 – Mapa simulado de uso e cobertura da terra para o ano de 2024.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra de Venâncio Aires....	62
Gráfico 2 – Pesos de evidência da variável estática declividade do terreno.....	64
Gráfico 3 – Pesos de evidência da variável dinâmica distância (m) da vegetação....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Imagens de satélite utilizadas.....	40
Tabela 2 – Qualidade da classificação pelo índice de <i>Kappa</i>	44
Tabela 3 - Coordenadas coletadas em campo com GPS.....	50
Tabela 4 - Áreas do município de Venâncio Aires ocupadas de acordo com o nível de declividade.....	53
Tabela 5 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 1986.....	54
Tabela 6 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 1994.....	55
Tabela 7 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 2004.....	57
Tabela 8 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 2014.....	58
Tabela 9 – Matriz de erros do índice <i>kappa</i>	60
Tabela 10 – Decréscimo da população rural de Venâncio Aires, RS.....	61
Tabela 11 – Variação do uso e cobertura da terra de Venâncio Aires.....	62
Tabela 12 – Matriz de transição unitária de 1986 – 2014 de Venâncio Aires.....	63
Tabela 13 – Matriz de transição periódica de 1986 – 2014 de Venâncio Aires.....	63
Tabela 14 - Parâmetros do melhor modelo para simulação das transições.....	65

Tabela 15 – Validação do melhor modelo por Ajuste por Múltiplas Resoluções e índice <i>Fuzzy</i>	68
Tabela 16 – Matriz de erros dos mapas de classificação (colunas) e simulação (linhas) de 2014.....	69
Tabela 17 - Uso e cobertura da terra simulada para Venâncio Aires no ano de 2024.....	71

LISTA DE ABREVISTURAS E SIGLAS

GPS – *Global Positioning System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IV – Infravermelha

MNT – Modelo Numérico do Terreno

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

PMVA – Prefeitura Municipal de Venâncio Aires

RGB – *Red, Blue, Green*

RMS - Erro Médio Quadrático

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

TM – *Thematic Mapper*

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USGS – *United States Geological Survey*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

UV – Ultravioleta

WGS – *World Geodetic System*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivo Geral.....	16
1.3 Objetivos específicos.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Paisagem.....	17
2.2 Uso e Cobertura da terra	18
2.3 Sensoriamento Remoto	20
2.3.1 Interação dos alvos com a radiação eletromagnética.....	23
2.3.2 Sistemas de Satélites.....	24
2.3.3 Detecção de mudanças por sensoriamento remoto	26
2.4 Geoprocessamento e SIG.....	28
2.5 Modelagem Dinâmica Espacial	29
2.5.1 Cenários da paisagem	33
2.6 O município de Venâncio Aires - RS	35
3 METODOLOGIA	38
3.1 Materiais e <i>Softwares</i>.....	38
3.2 Procedimentos metodológicos	39
3.2.1 Obtenção das imagens	39

3.2.2 Georreferenciamento das imagens	40
3.2.3 Classificação das imagens	42
3.2.4 Validação da classificação	43
3.2.5 Análise temporal	44
3.3 Procedimentos da modelagem dinâmica espacial	45
3.3.1 Organização da base digital	45
3.3.2 Cálculo de matrizes de transição	46
3.3.3 Determinação das variáveis estáticas e dinâmicas	46
3.3.4 Cálculo dos pesos de evidência	47
3.3.5 Calibração e validação	47
3.3.6 Projeção do cenário futuro	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1 Georreferenciamento das imagens de satélite	50
4.2 Aspectos do relevo de Venâncio Aires, RS	51
4.3 Análise da evolução temporal da paisagem de Venâncio Aires, RS	54
4.3.1 Uso e cobertura da terra em 1986	54
4.3.2 Uso e cobertura da terra em 1994	55
4.3.3 Uso e cobertura da terra em 2004	56
4.3.4 Uso e cobertura da terra em 2014	58
4.3.5 Análise das mudanças da paisagem	60
4.4 Modelagem dinâmica espacial da paisagem de Venâncio Aires, RS	62
5 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente é dinâmico. Essa afirmação é clara e evidente ao se tratar de assuntos ambientais. Desde os mais primórdios, o ambiente como um todo se altera ao longo do tempo. Santos (2007) enfatiza que a história do planeta é constituída por constantes transformações, as quais mostram uma sucessão de estados que vão mudando uma paisagem.

No tempo atual, percebe-se que a questão ambiental está em alta. Muito se fala a respeito desse assunto, da busca pela sustentabilidade. Um desenvolvimento sustentável, que não leve em consideração apenas os aspectos econômicos e sociais, mas também preservação do meio ambiente. Algo sustentável, como o próprio termo diz, remete a ideia daquilo que se sustenta, que se perpetua. Um desenvolvimento sustentável precisa resultar na harmonia de três dimensões: econômica, social e ambiental.

Porém, no processo de desenvolvimento da humanidade, as paisagens vêm se tornando cada vez mais povoadas e as cidades apresentam em geral um crescimento contínuo. Assim, áreas naturais estão cada vez mais dando lugar a áreas urbanizadas e de usos agropecuários. Essa substituição dos elementos naturais por empreendimentos humanos resultam na degradação do meio ambiente (SANTOS, 2007).

Ainda segundo a referida autora, as relações espaciais, ou seja, entre o espaço ocupado pelas cidades e as áreas naturais são cada vez maiores, o que

gera discussões a respeito de planejamentos que devem ser tomados com o intuito de conter o problema da perda da biodiversidade que há tempos vem ocorrendo. Para Santos (2007), uma primeira situação a ser enfrentada é referente a uma mudança de conceito. Historicamente, os recursos naturais eram vistos como ilimitados e não existia a preocupação de se considerar meios para garantir a sua preservação. Portanto, é necessária uma compreensão da importância das paisagens que compõem o meio ambiente, por uma visão mais ampla de tempo e espaço, para que se perceba que cada porção do território possui respostas diante das mudanças ambientais e dos usos do solo.

Ações voltadas ao planejamento, aplicação e desenvolvimento de tecnologias para preservar o meio ambiente da degradação resultante das atividades humanas são de grande importância do ponto de vista ambiental. Um importante aspecto para trabalhos ambientais diz respeito às paisagens. Para Santos (2004), as ciências foram desenvolvidas a partir da observação da realidade, através das paisagens em que vivemos e dos seus componentes que formam um sistema complexo. É imprescindível em planejamentos ambientais a adoção de processos organizados que contemplem desde os objetivos e seleção da área de estudo até propostas que materializam as alternativas e estratégias adotadas.

As paisagens possuem comportamento dinâmico com padrões, mecanismos e condições específicas. As mudanças de paisagem ocorrem em decorrência da ação de agentes naturais ou humanos. As intervenções humanas no meio ambiente refletem diversas alternativas quanto ao uso e ocupação da terra e alteram a dinâmica de uma paisagem, impactando a capacidade do meio ambiente de responder aos processos naturais (SANTOS, 2007).

Um tema importante, portanto, no estudo de paisagens, são as classes de uso e cobertura da terra, pois conforme Santos (2004), retratam as atividades humanas que impactam o meio ambiente. O monitoramento dessas classes, segundo Giotto (1981), permite avaliar as alterações antrópicas e fornecer informações para o manejo adequado dos recursos naturais.

Soares Filho (1998), cita que esses padrões de usos e cobertura da terra podem ser mapeados para a caracterização das diferentes paisagens que existem,

sendo também possível a descoberta dos processos dos quais as paisagens resultam e ainda a elaboração de modelos da dinâmica de paisagem. Para isso, é de grande valor o uso do sensoriamento remoto para aplicação de técnicas de geoprocessamento.

Santos (2004) explica que a partir de uma escala espacial e temporal, podem ser construídos cenários pela interpretação das mudanças ocorridas no uso da terra, que podem resultar em mapas ambientais, que por sua vez vêm a contribuir para planejamentos ambientais. Cabe destacar então dois processos de estudo inseridos nessa temática: a **análise temporal da paisagem** e a **modelagem dinâmica espacial**.

A análise temporal da paisagem, segundo Huang *et al.* (2000), tornou-se possível a partir da disponibilidade de imagens de satélite de uma mesma região da Terra ao longo do tempo, que permite a realização de comparações dos dados de diferentes períodos em uma dimensão temporal. Santos (2004) cita que o geoprocessamento permite a comparação de cenários para comparação de séries de dados temporais, resultando na detecção das mudanças ocorridas em uma superfície, tornando possível a interpretação do modelo de uso e cobertura da Terra.

A modelagem dinâmica espacial, por sua vez, pode representar um avanço em relação à avaliação e representação estática das paisagens. Um modelo para ser dinâmico, segundo Wegener, Gnad e Vannahme (1986), precisa possuir uma dimensão temporal explícita, entradas e saídas variando de acordo com o tempo e estados atuais dependendo dos anteriores. Soares Filho (1998) ressalta que os modelos dinâmicos são muito úteis para compreensão da organização do espaço geográfico.

Para os modelos dinâmicos operarem em uma dimensão espacial, Burrough (1998) destaca que é preciso uma representação matemática de um processo do mundo real, onde uma localização na superfície terrestre muda pelas variações de suas forças direcionadoras, mostrando assim a evolução espacial ao longo do tempo. Os modelos espaciais, segundo Soares Filho (1998), vêm se tornando cada vez mais importantes, resultado da vasta disponibilidade de dados espaciais obtidos pelo sensoriamento remoto e da possibilidade de processamento desses dados

através dos SIGs. Portanto, os modelos dinâmicos espaciais possuem capacidade de modelar uma paisagem, sua configuração e localização.

Além do estudo dos fenômenos de transição das paisagens em suas classes de uso e cobertura da terra, os modelos dinâmicos espaciais permitem a geração de cenários futuros, como lembra Ferrari (2008). Os cenários futuros mostram uma representação do que pode vir a ocorrer em uma paisagem caso as tendências atuais se mantenham, servindo de auxílio para tomadas de decisões e formulação de políticas públicas voltadas ao meio ambiente.

Para estudos ambientais e planejamentos é preciso, em princípio, de uma definição da unidade espacial de trabalho. Um exemplo de área de estudo pode ser um limite territorial legal, como de um município, onde o estudo fica então restrito aos cenários deste espaço (SANTOS, 2004). O presente trabalho possui como área de estudo o município de Venâncio Aires localizado no estado do Rio Grande do Sul, na região do Vale do Rio Pardo, situado a 130 km de Porto Alegre.

1.1 Justificativa

A realização de planejamentos ambientais surgiu devido à competição por águas, terras, recursos energéticos e biológicos, assim como ao desenvolvimento tecnológico puramente materialista. Isto acabou gerando a necessidade de organizar o uso da terra, proteger os ambientes ameaçados e melhorar a qualidade de vida das pessoas. Dentro de um planejamento ambiental, o diagnóstico é parte muito importante do processo. Representa a seleção e a obtenção dos dados, análise integrada e elaboração de indicadores que servem como base para tomada de decisão (SANTOS, 2004).

Sendo de competência municipal o planejamento do uso e ocupação das terras, segundo Santos (2007), torna-se importante um estudo a nível municipal. Cabe ressaltar que a geração de modelos de cenários e mapas é um instrumento de comunicação, pois favorece a síntese das informações, permitindo a observação da localização, da extensão dos elementos que compõe a paisagem, dos padrões de distribuição e das relações entre os componentes. Isto pode auxiliar na

compreensão das respostas dadas pelo meio ambiente diante das ações que o afetam.

Tendo em vista que o uso e cobertura da terra é um tema básico para o planejamento ambiental, por retratar as atividades humanas e naturais que impactam o meio ambiente, a análise temporal e a modelagem dinâmica espacial, conforme Silva, Eckhardt e Rempel (2011), permitem o acompanhamento das modificações espaciais da paisagem e a previsão do comportamento desta no futuro. Assim sendo, o presente estudo pode contribuir para um maior conhecimento e entendimento da paisagem do município de Venâncio Aires, RS, podendo ainda servir de base para tomada de decisões no âmbito de planejamentos ambientais.

1.2 Objetivo Geral

Realizar a análise temporal da paisagem e a modelagem dinâmica espacial do uso e cobertura da terra do município de Venâncio Aires, RS.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar uma avaliação espaço temporal das classes de uso e cobertura da terra do município de Venâncio Aires, RS, do período compreendido entre o ano de 1986 e 2014;
- Estruturação e calibração de um modelo dinâmico espacial;
- Projeção de um cenário futuro das classes de uso e cobertura da terra do município de Venâncio Aires, RS para o ano de 2024.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta as bases teóricas para compreensão do tema abordado neste estudo. Os principais assuntos envolvem a dinâmica da paisagem ao longo do tempo, usos e cobertura da terra, geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem dinâmica espacial.

2.1 Paisagem

A definição do termo paisagem é diversificada, envolvendo vários conceitos de caráter popular e científico. Carol (1956) destaca que o conceito de paisagem tem origem popular, sendo utilizada no dia a dia, muito antes do termo ser empregado como objeto de estudo da Geografia.

A paisagem está relacionada com a história do desenvolvimento da humanidade onde sua visão e opções de esconderijo eram essenciais para sobrevivência. Percebe-se a paisagem na forma de arranjos espaciais com determinadas feições, constituindo-as assim, em um conceito popular que representa somente uma modesta parte da paisagem propriamente dita (LANG; BLASCHKE, 2009).

Do ponto de vista científico, conforme Soares Filho (1998), o conceito de paisagem foi introduzido por Alexander Von Humboldt, em 1803, definindo-a como

caráter total de uma área geográfica. Bertrand (1968) conceitua a paisagem como uma porção do espaço, resultado de uma combinação dinâmica da interação de elementos físicos, biológicos e antrópicos, formando um conjunto em perpétua evolução.

A dimensão da observação, segundo Lang e Blaschke (2009), possui importante papel para definição do conceito de paisagem. Para Mcgarigal e Marks (1995), de acordo com o ponto de vista de um organismo, a paisagem pode variar de tamanho, de grandes regiões, até porções centimétricas. Bastian (2001) traz a ideia de um sistema integrador entre componentes do meio ambiente e social para conceituar uma paisagem.

Independente dos diversos conceitos e enfoques é de comum entendimento que a paisagem não é estática. Santos (2007) destaca que uma paisagem resulta de processos compostos por uma sequência de mudanças que ocorrem em uma determinada fração de tempo. Essas mudanças, em um contexto histórico desde a origem do planeta Terra, são resultados da ação de agentes naturais e ação antrópica, sendo esta última, relacionada apenas aos tempos atuais. Essas constantes transformações determinam a característica dinâmica da paisagem.

2.2 Uso e Cobertura da terra

No contexto dinâmico de transformação da paisagem, o ser humano desenvolveu uma grande capacidade de apropriação e transformação do meio onde vive. Contudo, o tem feito muitas vezes de forma descontrolada e desmedida, sem considerar as limitações desse meio. A forma de ocupação tem provocado diversos problemas ambientais como degradação da vegetação, perda de biodiversidade, problemas de drenagens, acúmulo de resíduos, contaminações de solo e água, poluição, processos erosivos, entre outros (SANTOS, 2007).

Em uma visão de planejamento ambiental, o uso e cobertura da terra é um tema essencial a ser trabalhado, pois retrata as atividades humanas que impactam os recursos naturais, fornecem dados para análise das fontes de poluição e agregam informações de ligação entre os meios biofísico e socioeconômico. As

diferentes classes de uso e cobertura podem ser identificadas, espacializadas em mapas, caracterizadas e quantificadas, podendo descrever tanto a situação atual de uma paisagem quanto às mudanças ocorridas (SANTOS, 2004).

Assim, o monitoramento das classes de uso e cobertura da terra, conforme Giotto (1981), permite avaliar as alterações antrópicas e fornecer informações para o manejo adequado dos recursos naturais, podendo servir de base para estudos como previsões de safras, avaliação de cobertura florestal, escolha de áreas para expansão agrícola e florestal, entre outros.

São exemplos de classes de uso e cobertura da terra as áreas urbanas, culturas agrícolas temporárias e permanentes, pastagens, vegetação nativa, vegetação exótica, recursos hídricos, solo exposto e outros usos. O número de classes de uso e cobertura da terra pode variar muito, podendo conter apenas uma ou diversas classes, de acordo com o objetivo a ser alcançado. Outro fator variável é a escala de trabalho a ser adotada devendo estar de acordo com as características da região que se planeja atuar (SANTOS, 2004).

Segundo Santos (2007), em estudos de paisagem, um exercício fundamental é identificar e mapear os componentes desta. Pela complexidade de uma paisagem, esta possibilita múltiplas leituras e entendimentos, sendo possível realizar diversas análises que variam de acordo com o que se quer observar e analisar. São componentes de uma análise de determinada paisagem, o objetivo do estudo e a escala espacial e temporal. A escala, em termos gerais, pode ser definida como a representação da extensão de um território e da unidade de representação espacial onde a informação é obtida. Contudo, a finalidade de um mapeamento é comunicar objetiva e espacialmente um conjunto de informações.

Para Soares Filho (1998), os padrões de uso e cobertura da terra podem ser mapeados com a finalidade de caracterizar distintas paisagens e desvendar os processos dos quais elas resultam, assim como elaborar modelos de dinâmica de paisagem. O mapeamento desses padrões pode ser realizado por categorização dos mesmos, em função de suas características, o que possibilita avaliar como cada elemento que compõe uma paisagem se relaciona espacial e temporalmente.

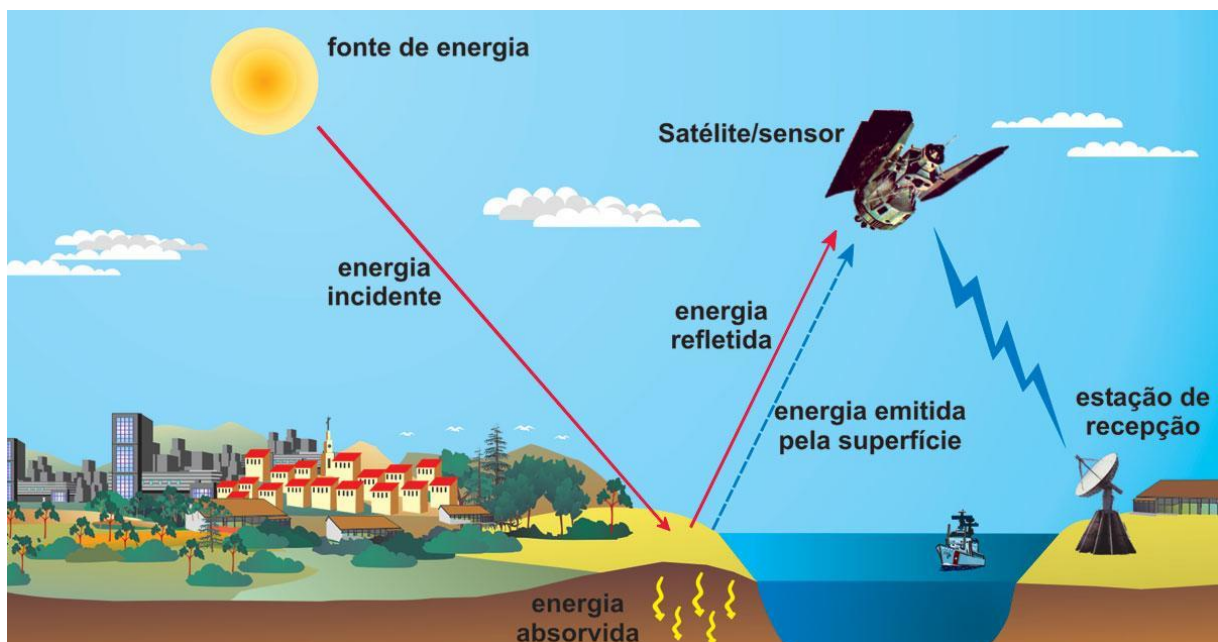
Muitos estudos da paisagem envolvem o mapeamento de padrões de uso e cobertura da terra, como os exemplos de Ferrari (2008) e Silva, Eckhardt e Rempel (2011). Para tais estudos é bem conveniente o uso do sensoriamento remoto, aliado às técnicas de geoprocessamento, com a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que veremos a seguir.

2.3 Sensoriamento Remoto

O termo sensoriamento faz referência à obtenção de dados, enquanto remoto significa distante, ou seja, sem um contato físico entre o sensor e o alvo. Então, sensoriamento remoto, segundo Florenzano (2002), consiste na tecnologia que permite obter imagens e outros dados da superfície terrestre, pela captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

Qualquer processo pelo qual é obtida a informação a respeito de um objeto, uma área ou um fenômeno, sem entrar em contato com o mesmo pode ser considerado sensoriamento remoto (EASTMAN, 1998). A **Figura 1** ilustra o mecanismo do sensoriamento remoto passivo por satélite.

Figura 1 - Processo de obtenção de imagens por Sensoriamento Remoto.



Fonte: Florenzano (2002).

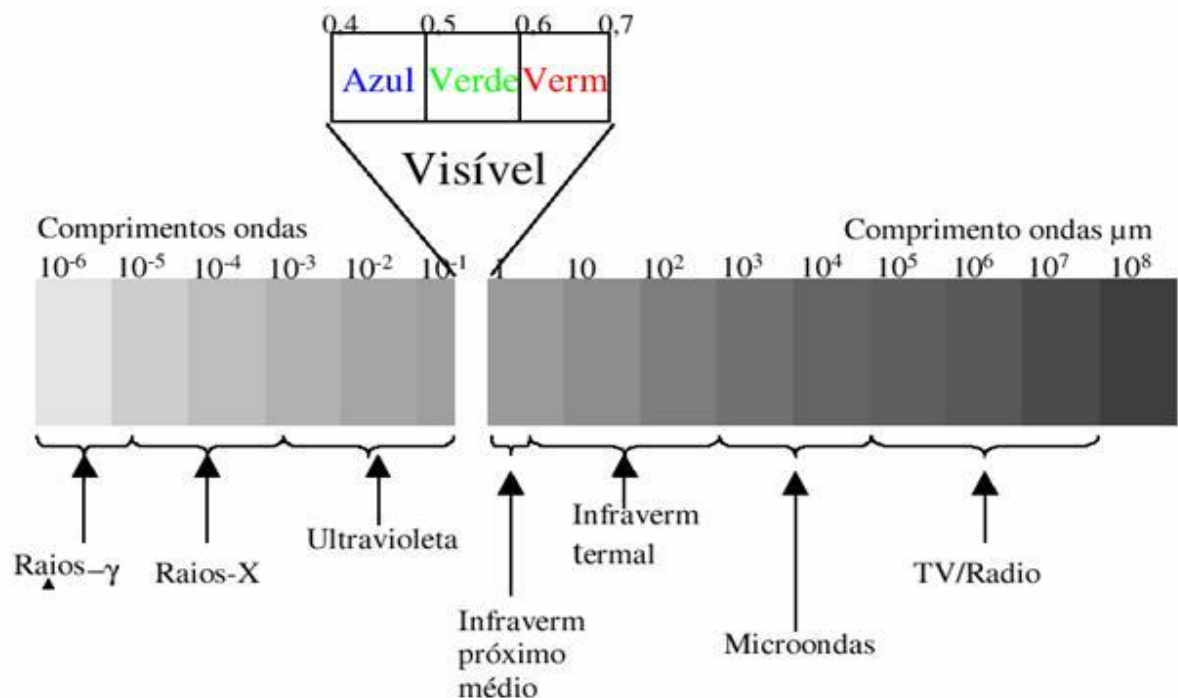
O sensoriamento remoto teve início com a invenção da câmera fotográfica, sendo o primeiro instrumento utilizado para tomada de fotos aéreas. Novas tecnologias nesse campo sempre foram impulsionadas por fins militares, inicialmente com câmeras fixadas em pombos-correios, estes substituídos posteriormente por balões não tripulados e finalmente com o uso de aviões como veículos para transporte de câmeras (FIGUEIREDO, 2005).

Para entender os princípios do sensoriamento remoto faz-se necessário contextualizar as fontes de energia. Moreira (2005) afirma que a energia solar é a base dos princípios que fundamentam a tecnologia de sensoriamento remoto. O Sol desencadeia reações nucleares, que emitem radiações eletromagnéticas com vários comprimentos de onda, que possuem natureza ondulatória e eletromagnética. As ondas eletromagnéticas são do tipo transversal, não necessitando assim de um meio de propagação, conseguindo se propagar até mesmo no vácuo atingindo a superfície terrestre.

Segundo Steffen (1996), as radiações eletromagnéticas variam de acordo com a frequência e o comprimento de onda. Essas diferentes radiações possuem denominações decorrentes dos processos utilizados na sua produção ou determinação. São elas:

- Radiação gama;
- Raios X;
- Radiação Ultravioleta (UV);
- Radiação Visível (Luz);
- Radiação Infravermelha (IV);
- Microondas;
- Ondas de Rádio.

O conjunto dessas radiações forma o espectro eletromagnético, que é a ordenação da radiação em função do comprimento de onda e da frequência (**FIGURA 2**).

Figura 2- Espectro Eletromagnético

Fonte: Figueiredo (2005).

A radiação eletromagnética emitida pelo sol interage com os diversos alvos da superfície da Terra, podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida seletivamente. O comportamento da interação da radiação com os alvos depende das características de cada um desses alvos. Os sistemas sensores são capazes de medir, com razoável precisão e à distância, a radiação refletida ou emitida em determinada faixa do espectro eletromagnético e gerar informações que são transformadas em produtos passíveis de interpretação, como imagens, gráficos, tabelas e outros (MOREIRA, 2005).

Conforme Eastman (1998), os sistemas sensores podem ser divididos em dois grandes grupos: passivos e ativos. Os sensores passivos medem fontes de energia já existentes. A principal fonte de energia utilizada por esses sensores é o Sol. A maior parte do sensoriamento remoto utiliza sensores passivos. Um exemplo desses sensores é a fotografia aérea. Já os sensores ativos possuem sua própria fonte de energia, como no caso do *flash* fotográfico. Em aplicações ambientais o maior exemplo de sensor ativo é o radar, que emite energia na região do espectro eletromagnético das microondas.

2.3.1 Interação dos alvos com a radiação eletromagnética

Ao estudar os diferentes alvos da superfície da Terra por sensoriamento remoto, como água, solos, vegetação, e áreas urbanizadas, pode-se perceber as diferentes interações desses alvos com a radiação solar eletromagnética. De acordo com Figueiredo (2005), essas diferenças se dão principalmente pelas diferentes composições físico-químicas dos alvos. Portanto cada alvo possui uma assinatura espectral, ou seja, cada alvo absorve ou reflete de maneira diferente cada uma das faixas do espectro eletromagnético. Além disso, fatores como textura, densidade, e posição em relação ao ângulo de incidência solar também influenciam nos processos de interação.

No caso dos solos, o comportamento espectral ocorre principalmente pela porcentagem de matéria orgânica, composição mineral, granulometria, capacidade de troca catiônica e umidade. O aumento de matéria orgânica e da troca catiônica causa aumento da absorção espectral. Quanto à granulometria, a textura de granulação fina aumenta a reflectância, diferentemente da concentração de minerais, como ferro e magnésio que causam comportamento contrário. Em relação à umidade, os solos úmidos refletem menos que os secos (FIGUEIREDO, 2005).

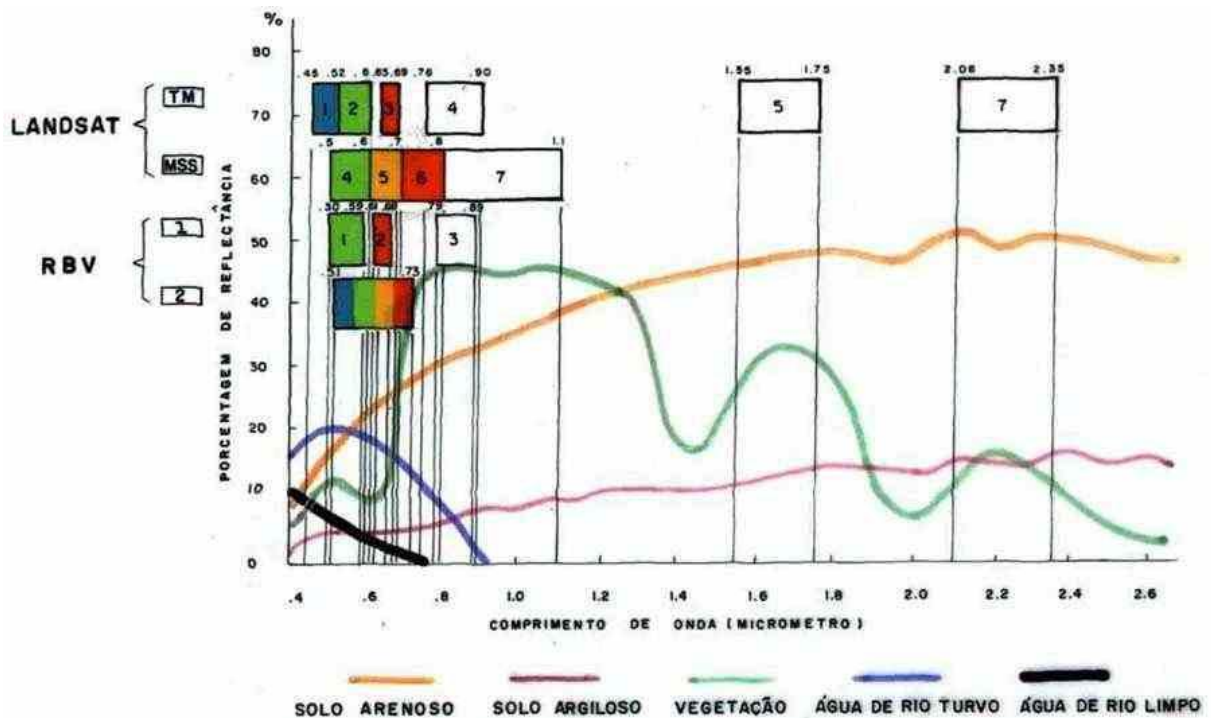
Ainda segundo Figueiredo (2005), a água limpa absorve mais a radiação do que a água suja. Quanto à vegetação, esta possui medida de reflectância espectral mais complexa, pois é afetada por diversos fatores como as condições atmosféricas, cobertura por unidade de área, estado de desenvolvimento da planta, geometria, densidade de massa verde, características da folha (forma, posição, conteúdo de água, pigmentação entre outras). Em geral, a vegetação possui a mais alta reflectância na região do Infravermelho, entre 0,7 e 1,3 micrômetros. Apresenta ainda um pico de reflectância na região da cor verde do espectro visível, o que explica sua coloração verde.

As áreas urbanas se caracterizam por uma aparência heterogênea devido à grande variedade interna. Exemplo disso é a presença de diversos materiais como concreto, asfalto, vidros, ferros, vegetação, além da influência das sombras de edificações altas e outros fatores. Por isso sua reflectância só pode ser descrita de

forma generalizada podendo sua informação espectral ser parecida com a de solos puros ou áreas agrícolas (ITT, 2014).

A **Figura 3** apresenta a relação entre as bandas espectrais dos sensores remotos a bordo de satélites e a reflectância dos alvos solo arenoso, solo argiloso, vegetação, água de rio turvo e água de rio limpo. Cada alvo da superfície terrestre possui uma curva espectral, que indica a reflectância nas diferentes bandas espectrais que compõem os sensores remotos. Assim apresentam comportamento distinto nas bandas do visível e do infravermelho (INPE, 2014).

Figura 3 – Assinatura espectral de alvos da superfície terrestre



Fonte: INPE (2014).

2.3.2 Sistemas de Satélites

Os satélites podem ser considerados como um corpo que gravita em torno de um astro. No sensoriamento remoto, um satélite artificial é um sistema colocado em órbita pelo homem. A partir do instante em que o homem venceu a barreira do espaço a tecnologia de satélite obteve seu grande impulso. O Sputnik 1 foi o primeiro satélite artificial da Terra, lançado em outubro de 1957 pela União Soviética e em fevereiro de 1958 os Estados Unidos lançaram o Explorer 1. Os satélites

artificiais são classificados em diferentes categorias, de acordo com os objetivos para os quais foram criados. Existem satélites militares, científicos, de comunicação, meteorológicos e de recursos naturais ou de observação da Terra (MOREIRA, 2005).

O uso de satélites voltados para recursos naturais teve início na década de 70 com o lançamento do satélite Earth-1, denominado mais tarde Landsat. A partir daí se conseguiu um grande avanço nos conhecimentos sobre as dimensões e recursos naturais da Terra (MOREIRA, 2005). Conforme Huete (1998), a realização de estudos das propriedades físicas, químicas e biológicas dos elementos constituintes da superfície terrestre, em extensas e inóspitas áreas, tem sido bastante favorecida a partir do incremento de satélites do sensoriamento remoto.

Os satélites possuem características de sensores expressas por quatro domínios de resolução: espectral, espacial, temporal e radiométrica, segundo as definições abaixo, de acordo com Moreira (2005):

- A Resolução espectral consiste da premissa que os alvos da superfície terrestre se diferem quanto à energia refletida por eles. Assim, os sensores detectam as faixas de comprimento de onda refletida, denominadas bandas espectrais.
- A resolução espacial se refere a resolução do sensor. Ou seja, a área vista pelo sensor sobre a superfície da Terra dentro de um ângulo em um dado instante de tempo.
- A resolução temporal é dada em função do tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse, ou seja, a frequência de passagem de captura dos dados de uma mesma área. Cabe ressaltar que essa resolução é muito importante, pois permite realizar acompanhamentos dinâmicos dos alvos da superfície terrestre.
- A resolução radiométrica representa as diferenças dos valores de intensidade de sinal elétrico atribuindo tons de cinza que variam do escuro com

intensidade igual ou próxima à zero até o claro com valor de máxima intensidade.

Segundo Florenzano (2002), o principal objetivo dos satélites artificiais de coleta de dados, que gravitam o planeta, é retransmitir dados ambientais obtidos da Terra para plataformas automáticas de coleta de dados, as quais podem ser conectadas a uma grande variedade de sensores.

Os satélites utilizam o sistema passivo do sensoriamento remoto que registra a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos terrestres, nas regiões do visível e infravermelho do espectro eletromagnético (ITT, 2014). Segundo Eastman (1998), existem muitos sistemas de satélites em operação coletando imagens que são distribuídas aos usuários. Como exemplos de séries de satélites para recursos naturais, Figueiredo (2005), cita o LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS E QUICKBIRD.

O sistema LANDSAT, desenvolvido pela NASA, foi o primeiro a obter imagens terrestres de média resolução, com sensores capazes de coletar imagens separadas em bandas espectrais, cobrindo a cada imagem uma área de 185 km x 185 km, com repetição a cada 18 dias. A série LANDSAT foi a que mais contribuiu com imagens para estudos e aplicações do sensoriamento remoto (FIGUEIREDO, 2005).

Para imagens de alta resolução, o satélite IKONOS foi o primeiro, em 1999, a fornecer imagens comercialmente disponíveis. Com resoluções de 1 a 4 metros possibilitaram aplicações até então apenas viáveis com aerofotos. Atualmente há disponibilidade de imagens de mais alta resolução no âmbito civil, como o sistema sensor QUICKBIRD, da empresa Digital Globe, que obtêm imagens chegando a 61 centímetros de resolução e os sistemas GEOEYE e WORLDVIEW com resolução de 50 centímetros (ITT, 2014).

2.3.3 Detecção de mudanças por sensoriamento remoto

O acompanhamento das mudanças de paisagem com a utilização das ferramentas de sensoriamento remoto torna-se possível pela disponibilidade de imagens de satélite de uma mesma região da Terra ao longo do tempo. Isso permite

que sejam realizadas comparações utilizando a dimensão temporal como qualidade dos dados adquiridos dos diferentes períodos, qualificando as informações obtidas. Assim, o sensoriamento remoto permite a análise dos fenômenos temporais, por detecção das mudanças no uso e cobertura da Terra e a análise temporal (HUANG *et al.*, 2000).

Conforme Santos (2004), a percepção das mudanças de cenários se dá pela utilização de imagens espaçadas no tempo, através de sobreposição e confronto de cenários que tem a capacidade de comparar dados de séries temporais. Por meio de imagens de sensores remotos podem ser observados parâmetros essenciais à compreensão das mudanças temporais.

Para entender as complexas relações entre os fenômenos que causam as mudanças, é preciso a observação de um grande conjunto de escalas temporais e espaciais. Ferrari (2008) lembra que a observação da Terra através de satélites, os quais utilizam as técnicas do sensoriamento remoto, é a maneira mais efetiva e viável economicamente de coletar informações necessárias para monitorar e modelar as mudanças da paisagem, especialmente em grandes extensões territoriais.

O conjunto de imagens de satélite permite a aplicação de técnicas de detecção de mudanças na paisagem, por métodos como comparação dos resultados de processos de classificação. Logo, o sensoriamento remoto possibilita a interpretação de imagens e elaboração de modelagem de dados que expressam a distribuição das atividades no espaço, como no caso do uso e cobertura da terra. As informações podem descrever não somente a situação atual, mas as mudanças ocorridas e o histórico de ocupação das áreas de estudo (SANTOS, 2004).

Segundo Moreira (2005), com o passar dos anos e o aumento de satélites em órbita na Terra, a quantidade de imagens e volume de dados tornou-se muito grande, estimulando o desenvolvimento de sistemas de processamento de imagens, permitindo introduzir conceitos de classificação de imagens de satélites, pelas técnicas de geoprocessamento através do uso dos SIGs.

2.4 Geoprocessamento e SIG

O geoprocessamento é a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para extrair informações ou realizar o tratamento de dados coletados de sistemas sensores referente a objetos ou fenômenos geograficamente identificados. O geoprocessamento tem sido empregado em diversas áreas da ciência, como a cartografia, geografia e geologia, além de contribuir para diversos estudos de planejamento urbano e rural. Para a realização do geoprocessamento é utilizado um conjunto de ferramentas e *softwares* denominado Sistema de Informações Geográficas (SIGs) (MOREIRA, 2005).

Calijuri e Cunha (2013) salientam que os SIGs constituem poderosa ferramenta para análise e gerenciamento de informações de qualquer natureza espacial ou geográfica. Permitem o desenvolvimento de abordagens críticas para compreensão, representação e gerenciamento de aspectos das paisagens bem como melhor compreensão da Terra.

Para Santos (2004), as várias funções dos SIGs permitem o armazenamento, medição, recuperação, classificação, atualização, manipulação, simulação e gerenciamento. São capazes de representar linhas, pontos, símbolos, redes e imagens de bases georreferenciadas, ou seja, corrigidas das deformações advindas do processo de aquisição das imagens e com atribuição de um sistema de coordenadas real.

Os SIGs, de acordo com Moreira (2005), permitem inserir e integrar em uma mesma base de dados informações espaciais de diversas origens, das quais podemos citar as imagens de satélites, a cartografia, dados censitários entre outros. Os SIGs também permitem combinar várias informações de bases de dados georreferenciados.

Conforme Lang e Blaschke (2009), SIG e sensoriamento remoto são as mais importantes ferramentas para análise, planejamento e gestão da paisagem, dando apoio a projetos cada vez mais complexos. Como exemplos de aplicações das técnicas de geoprocessamento aliado ao sensoriamento remoto, podem ser citados trabalhos de análises de alterações temporais e estruturas de paisagens, classificação de uso e cobertura da terra, modelagem dinâmica e outros.

Quando se trata de planejamento ambiental, é preciso uma compreensão sobre a complexidade do meio e a forma de integração entre os diversos temas. Para essa integração a maioria dos planejamentos utiliza métodos espaciais associados a mapas. A produção de um mapa é resultado de uma construção de conhecimento. Nesse contexto, é comum a utilização da base de dados advindos de imagens de satélite, as quais são tratadas e interpretadas com a utilização do SIGs, que combinam cartografia, banco de dados automatizados, produtos de sensoriamento remoto e modelagem (SANTOS, 2004).

2.5 Modelagem Dinâmica Espacial

De acordo com Soares Filho (1998), modelagem se refere a um processo que resulta na geração de uma representação de um sistema através da definição de hipóteses e predições, que ao final, pode ser comparado com o mundo real. Os processos naturais ou humanos, englobando os físicos, ecológicos, técnico-culturais e outros, são em partes controlados pela organização espacial do seu meio. Essa organização espacial determina uma paisagem que se encontra em constante mudança através do tempo. Essa dinâmica da paisagem substancia o desenvolvimento de modelos de simulação espacial, utilizados para a modelagem dos processos e mecanismos ambientais.

Para se estudar a modelagem dinâmica espacial da paisagem é preciso também uma análise temporal. Segundo Briassoulis (2000), as mudanças de uso da terra estão relacionadas com as transformações quantitativas na área das diferentes classes de uso. Jensen (2009) cita que as informações de uma paisagem de apenas uma data podem extrair informações importantes, porém, para analisar a dinâmica de um ecossistema é preciso monitorá-lo através do tempo.

Para isso, inicialmente é preciso mapear os padrões de uso e cobertura da terra, diferenciando as categorias em função de suas características médias, para avaliar como cada elemento de uma paisagem se relaciona com o outro espacial e temporalmente (SOARES FILHO, 1998).

Relativamente a modelagem dinâmica, Wegener, Gnad e Vannahme (1986) especificam que um modelo é dinâmico se possuir uma dimensão temporal explícita e suas entradas e saídas variam com o tempo e ainda seus estados atuais dependem dos anteriores. Para Batty (1976), uma forma de modelo dinâmico é o modelo estático comparativo, que representa uma estrutura estática de sistema em um só instante, sem explicações para mudanças ao longo do tempo. Prosseguindo nessa ideia, Wegener, Gnad e Vannahme (1986) citam que uma sequência de modelos estáticos comparativos forma um modelo recursivo, onde um estado final de tempo serve como estado inicial do próximo período.

Para um modelo dinâmico poder operar em uma dimensão espacial, é preciso uma representação matemática de um processo do mundo real, onde uma localização na superfície terrestre muda pelas variações de suas forças direcionadoras, mostrando assim a evolução espacial ao longo do tempo (BURROUGH, 1998).

Os modelos matemáticos podem ser classificados como determinísticos ou estocástico-probabilísticos segundo Soares Filho (1998). O autor cita que enquanto os modelos determinísticos são representados por equações diferenciais que incluem pelo menos um termo derivado no tempo, os modelos estocástico-probabilísticos utilizam variáveis aleatórias que dependem de fatores aleatórios. Dentre os modelos probabilísticos se vinculam os modelos de autômatos celulares, que propiciaram grandes avanços na modelagem espacial.

Autômatos celulares são sistemas formais baseados em grades, onde os processos de mudança são representados célula por célula, como um mapeamento do estado no instante atual de uma célula e suas vizinhas, para o estado das mesmas em um instante de tempo seguinte (ALMEIDA, 2003). Segundo Wolfram (1983), modelos de autômatos celulares possuem aplicações em diversas áreas, desde a física até mudança dos usos e cobertura da terra, engenharia, biologia comportamental e outros.

Por definição, autômatos celulares consistem em uma representação matemática de um sistema físico, onde o espaço e o tempo se distinguem, inclusive nos seus valores de atributos. Autômato celular então é um campo matricial, ou seja,

em grades regulares e uniformes, onde cada célula possui uma variável distinta. O estado da célula é dado pelo seu valor, e seu estado evolui no tempo afetado pelo valor da variável das células vizinhas, presentes no instante de tempo anterior. A vizinhança de uma célula é formada por ela e pelas outras células imediatamente adjacentes. E, as variáveis das células, são atualizadas simultaneamente influenciadas pelos valores das variáveis da vizinhança no tempo anterior, conforme um conjunto de regras predefinidas (WOLFRAM, 1983).

Um exemplo de modelo de simulação espacial, baseado no sistema de autômato celular é o *software* Dinâmica. A estruturação de um processo de modelagem dinâmica espacial, de uma maneira geral, torna-se possível a partir de um modelo construído por uma sequência de etapas e técnicas de detecção de mudanças espaciais. Como exemplo, pode-se citar o estudo realizado por Silva, Eckhardt e Rempel (2011), que utilizaram basicamente seis etapas para realização de um modelo. Primeiramente a organização de uma base digital com mapas multitemporais de uso da terra. Em seguida a quantificação de taxas de mudanças da paisagem, expressa por matrizes de transição. A terceira etapa consiste na determinação de variáveis estáticas e dinâmicas que influenciam na dinâmica geral de uso da terra. Para cada variável considerada é atribuído um peso de evidência que indica o comportamento de mudança da paisagem. Então é realizada a calibração e validação do sistema de simulação visando à reprodução da dinâmica da paisagem. Finalmente é elaborado um prognóstico futuro utilizando as tendências dos períodos anteriores.

Na construção de um modelo de simulação das mudanças, com base em mapas multitemporais de uso e cobertura da terra, as matrizes de transição expressam a distribuição da quantidade das mudanças na paisagem estudada (SOARES FILHO *et al.* 2007). Nesses estudos são geradas as matrizes de transição, unitária e periódica, como no exemplo do estudo de Ferrari (2008). Uma matriz unitária representa um passo de intervalo de tempo, enquanto uma matriz periódica representa as transições ocorridas durante todo o período de tempo em análise.

As variáveis, estáticas e dinâmicas, são os fatores que contribuem na magnitude e localização das mudanças das paisagens. Variáveis estáticas

geralmente estão associadas às características físicas da paisagem, segundo Soares Filho (1998), como altitude, declividade e drenagem. Quanto às variáveis dinâmicas, estas são contínuas, representadas na maioria das vezes por distâncias referentes aos usos e cobertura da terra.

Vinculado às variáveis, os pesos de evidência indicam as áreas favoráveis à ocorrência de transições. O método de pesos de evidência é calculado por tabulação cruzada, a partir dos mapas multitemporais e dos mapas das variáveis. Como resultado, os pesos de evidência indicam as áreas mais favoráveis para cada tipo de mudança, constituindo mapas de probabilidades espaciais de transição (SOARES FILHO *et al.* 2007).

A calibração consiste no ajuste dos melhores parâmetros para um modelo de simulação de mudanças. No *software* Dinâmica, por exemplo, após as entradas de mapas multitemporais, determinação das variáveis e pesos de evidência, o processo de calibração é composto por parâmetros de alocação de mudanças, dado por funções de expansão (*Expander*) e funções formadoras de manchas (*Patcher*). Soares Filho *et al.* (2007) explica que a função *Expander* se dedica a expansão ou contração de manchas de determinada classe, enquanto a função *Patcher* forma novas manchas. O usuário do sistema é quem define os parâmetros de entrada, compostos por isometria, variância e tamanho médio das manchas.

Uma vez criado e calibrado um modelo de simulação das mudanças de uma paisagem, o mesmo pode ser utilizado para geração de cenários futuros, que representam a projeção de uma possibilidade do que pode ocorrer com a paisagem em estudo, caso se mantenham as tendências do período anterior. Assim, trabalhos na área da modelagem dinâmica espacial podem representar um avanço em relação à avaliação e representação das paisagens. Soares Filho (1998) ressalta que os modelos são muito úteis para compreensão da organização do espaço geográfico. Assim, a comunidade científica vem buscando cada vez mais respostas através de pesquisas relacionadas ao espaço geográfico. E neste contexto, os modelos abrangem diferentes intervalos temporais, e diferentes quadros espaciais, sendo necessárias definições de área, escala e tempo para realização dos estudos de cenários.

2.5.1 Cenários da paisagem

Para Santos (2004) a definição da área ou unidade espacial é uma das primeiras etapas a serem vistas para trabalhos, estudos ou planejamentos ambientais. Para sua definição é preciso levar em consideração alguns aspectos como a complexidade local, a abrangência dos fatores que se quer trabalhar, as escalas necessárias e o tamanho da unidade territorial envolvida.

Um exemplo de unidade de trabalho bastante utilizada é a bacia hidrográfica. Possui uma boa aceitação, pois constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, com seus limites definidos pelo relevo, drenadas por cursos de água e seus afluentes, onde suas interações físicas são integradas, podendo assim ser mais facilmente interpretada, além de ser uma unidade de fácil reconhecimento e caracterização. Como outros exemplos de áreas de estudo pode-se citar: os limites territoriais legais, como os municípios; os raios de ação em torno de pontos centrais; áreas em corredor, como margens de rios e estradas; e áreas homogêneas bem definidas como uma região de monocultura, por exemplo (SANTOS, 2004).

Uma escala é definida pela razão ou proporção existente entre um objeto real e a sua representação em uma imagem ou mapa, indicando quantas vezes o tamanho real do objeto ou da área foi reduzido na sua representação (FLORENZANO, 2002). O tamanho da área, conforme Santos (2004), deve ter relação com a escala e com os fenômenos a serem tratados no estudo. Contudo a escala deve representar da melhor maneira possível o espaço definido.

Para Santos (2007), em uma análise de paisagem, a escala é definida como a representação da extensão do território e da unidade mínima de representação onde as informações são obtidas. O autor destaca que em um mapeamento geográfico para interpretação e compreensão das paisagens, tanto a escala espacial quanto a escala temporal representam um dos aspectos mais importantes.

A escala espacial de um elemento, dado ou fenômeno, representa as distâncias que reproduzem as suas dimensões reais. Portanto, em uma escala espacial, além da extensão territorial, é necessária a interpretação das circunstâncias em que os dados analisados ocorrem em cada ponto do espaço ocupado. Quanto à escala temporal, esta representa o período em que os elementos

estudados incidem e compartilham o espaço. Vale lembrar que uma questão que dificulta o mapeamento de elementos referente à escala temporal é a diferença entre a ocorrência de um fenômeno e o tempo de resposta de um organismo em relação a ele. Como exemplo disso pode ser citado um mapeamento de biodiversidade, pois as espécies e os fenômenos que induzem sua ocorrência possuem tempos distintos entre ação e resposta (SANTOS, 2004).

Em relação ao tempo em si, pode-se considerá-lo como uma escala objetiva de análise para situar o passado, o presente e o futuro de um espaço estudado. Através da interpretação dos fenômenos ao longo do tempo se obtêm respostas às mudanças nas paisagens. Geralmente o tempo é representado pela construção de cenários que visam à interpretação de diferentes momentos de uma paisagem ao longo do tempo (SANTOS, 2004).

Em síntese, um cenário resulta da organização espacial dos elementos da paisagem que formam arranjos representados por padrões ou texturas. Logo, os componentes da paisagem interagem resultando em padrões que são na verdade, o reflexo dos mecanismos que os geraram e de outros componentes aleatórios, porém estes em menor proporção. A organização espacial resultante influencia os processos físicos e ecológicos (SOARES FILHO, 1998).

Santos (2004) cita que os cenários podem ser avaliados pelo estudo da evolução de uma paisagem ao longo do tempo. Neste contexto, o entendimento do passado permite compreender o presente e indicar as tendências do comportamento futuro. Assim, geralmente os cenários futuros são obtidos por meio de modelagem, que considera tempo, espaço e interação entre fatores significativos. É nesta lógica, que é conveniente o uso dos dados do sensoriamento remoto e aplicação dos SIGs para comparação de séries de dados temporais, possibilitando a modelagem dinâmica espacial e a geração de cenários futuros.

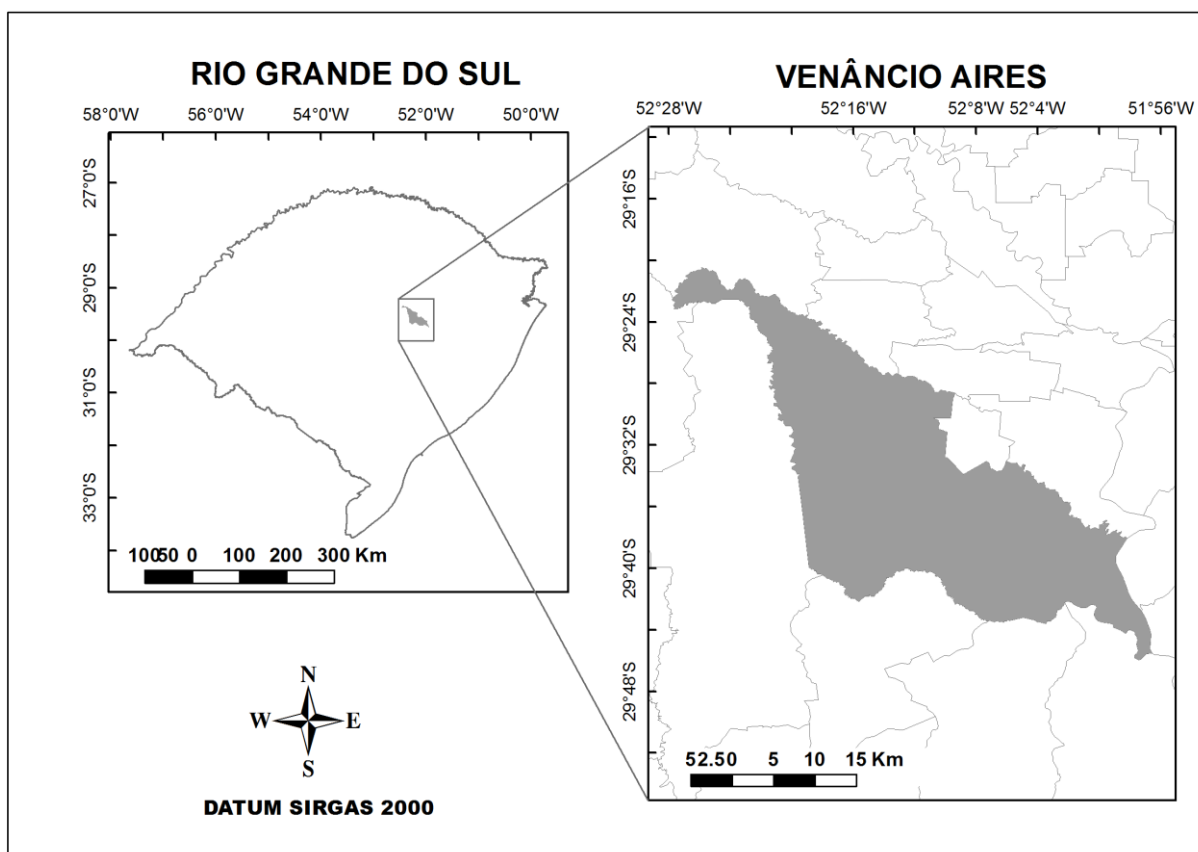
Soares Filho (1998) lembra que o sensoriamento remoto orbital gera a oportunidade de análises sobre a dinâmica de vários fenômenos espaciais onde os estudos podem variar, de escalas espaciais locais até escalas globais. O autor completa que a natureza das imagens obtidas possibilita o emprego de técnicas computacionais para o realce e classificação dos padrões do solo, facilitando o

mapeamento, de forma rápida, de grandes extensões, como por exemplo, no caso de uma extensão territorial de um município. No presente estudo a unidade de trabalho foi o município de Venâncio Aires, RS.

2.6 O município de Venâncio Aires - RS

O município de Venâncio Aires, RS, localiza-se na Região dos Vales do Rio Pardo e Taquari, distante 130 km da Capital do Estado, Porto Alegre. Seus acessos principais são a RST-287 e a RST-453. Situado na transição entre a Depressão Central Gaúcha e o Planalto Basáltico, possui uma área de 773,2 quilômetros quadrados e uma altitude média de 210 metros em relação ao nível do mar (PMVA, 2014). Geograficamente está situado a $52^{\circ}11'31''\text{W}$ e $29^{\circ}36'23''\text{S}$ (**FIGURA 4**).

Figura 4 – Localização do município de Venâncio Aires, RS.



Fonte: Do autor.

Os limites territoriais do município de Venâncio Aires fazem divisa, ao norte, com os municípios de Boqueirão do Leão, Santa Clara do Sul, Sério e Sinimbu. A

leste com Mato Leitão, Cruzeiro do Sul e Bom Retiro do Sul. A oeste com Santa Cruz do Sul e, ao Sul, com os municípios de General Câmara, Taquari, Passo do Sobrado e Vale Verde (PMVA, 2014).

O relevo do município apresenta grande variação de altitude, pela localização, que abrange a transição entre a Depressão Central Gaúcha e o Planalto Arenito-Basáltico. A noroeste o território chega a 600 metros de altitude enquanto na área central do município a altitude fica em torno de 50 a 100 metros (PMVA, 2014).

Sua geografia e extensão territorial contribuem para que o município destaque-se na produção primária, principalmente de erva-mate e fumo. No início do século XVII os primeiros habitantes, em maioria composta por lusos e germânicos habitaram as margens do Rio Taquari e arroios Sampaio e Castelhana, que compunham terras férteis ricas em madeiras de lei e erva-mate. Venâncio Aires é intitulado a Capital Nacional do Chimarrão pelo parlamento gaúcho através do Projeto de Lei 86/2009 (VOGT, 2004).

Segundo dados do IBGE, a população de Venâncio Aires está estimada em 69.521 habitantes com uma densidade demográfica de 85,29 habitantes por quilômetro quadrado. O município, situado no vale do Rio Pardo, juntamente com os municípios de Candelária e Santa Cruz do Sul, contém a maior produção da atividade de fumicultura do vale. Além do vasto uso agropecuário do solo, o município é composto pelos biomas Mata Atlântica e Pampa.

A economia do município é diversificada, distribuída nos setores, metalúrgico, refrigeração, plástico, têxtil e de artigos esportivos (VOGT, 2004). Na agricultura, segundo a Prefeitura Municipal de Venâncio Aires (PMVA, 2014), o município é o maior produtor brasileiro de tabaco, tornando o setor fumageiro o maior empregador do município. Porém os agricultores vêm buscando novas fontes de renda com a diversificação das atividades agrícolas o que está favorecendo o crescimento das lavouras de grãos do município, principalmente nas culturas de milho, arroz e soja, além das culturas de aipim e erva-mate. O setor metal mecânico é outro destaque da economia sendo o segundo maior em número de contratações de mão-de-obra.

Cabe ressaltar que, conforme Santos (2007), o planejamento do uso e ocupação do solo em áreas urbanas e rurais é de competência municipal. A gestão

ambiental integrada deve ser prioridade para uma gestão municipal. Neste contexto, o Plano Diretor de um município é o principal instrumento nesse viés, para organização do território, das atividades e do uso da terra. O uso dos instrumentos para gestão municipal deve considerar a gestão ambiental integrada com enfoque semelhante ao olhar sobre uma paisagem, onde cada elemento é parte integrante de um todo.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e *Softwares*

- Imagens do satélite Landsat 5 dos anos de 1986, 1994, 2004, das bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio);
- Imagem do satélite Landsat 8 do ano de 2014, bandas 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio).
- Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul, elaborado por Hasenack e Weber (2010), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em escala 1:50.000.
- Aparelho portátil GPS – *Global Positioning System*, marca Garmin GPSMAP 60CSx

Os seguintes *softwares* foram utilizados:

- *Software* Envi 4.5;
- *Software* Idrisi Selva;
- *Software* Er Mapper 7.1;
- *Software* Google Earth Pro;
- *Software* Dinâmica 2.4.

3.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos para este trabalho envolveram a obtenção das imagens de satélites que abrangem o município de Venâncio Aires, RS, georreferenciamento, recorte e a classificação das imagens, oportunizando a realização da **análise temporal da paisagem**, seguida da **modelagem dinâmica espacial**. As classes de uso e cobertura da terra delimitadas foram: vegetação, uso agropecuário, área urbanizada e recursos hídricos.

3.2.1 Obtenção das imagens

Na aquisição das imagens foram observados fatores como disponibilidade das mesmas, qualidade, interferência de nuvens e em se tratando de análise de mudança de paisagem também o período das imagens. Para este estudo foram buscadas imagens de reflectância semelhante, compreendidas entre os meses de outubro a janeiro. Isto porque, nesse período do ano na região sul do Brasil, a influência do sombreamento é menor o que otimiza o processo de classificação das imagens.

Todas as imagens utilizadas no trabalho foram do satélite de observação de recursos naturais Landsat. As imagens deste satélite possuem média resolução espacial, com *pixels* de 30 x 30 metros, e cada imagem abrange uma área de 185 x 185 quilômetros, adquiridas em 256 níveis de cinza. O município de Venâncio Aires, está sob cobertura da imagem de órbita 222 no ponto 80.

Para os anos de 1986, 1994 e 2004, foram utilizadas imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite Landstat 5, adquiridas gratuitamente no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As imagens foram compostas nas bandas 3, 4 e 5, que representam a faixa do espectro eletromagnético do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente. Para o ano de 2014 foi utilizada a imagem do satélite Landstat 8, obtida também gratuitamente, no site do EarthExplorer (USGS), bandas 4, 5 e 6. Essas bandas também equivalem as faixas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, devido ao satélite Landstat 8 possuir quatro bandas a mais, sendo uma na primeira faixa espectral.

A escolha dessas bandas se deu devido às mesmas permitirem a obtenção de resultados equivalentes a todas as bandas disponíveis, com a vantagem de redução da dimensão espectral (SILVA; ECKHARDT; REMPEL, 2011). Moreira (2005) cita que a banda do vermelho permite um bom contraste entre áreas ocupadas por vegetação e sem vegetação, como solo exposto, estradas e áreas urbanas. Além disso, segundo Eastman (1998), as bandas que carregam maior parte da informação sobre ambientes naturais são as do vermelho e infravermelho próximo, que aliadas à banda do infravermelho médio, com boa aplicação para solos, formam uma boa combinação para aplicação nas classes de uso escolhidas para este trabalho. A **Tabela 1** apresenta a relação das imagens de satélite utilizadas no presente estudo.

Tabela 1 – Imagens de satélite utilizadas.

Data da imagem	Satélite	Bandas
15-01-1986	Landsat 5	3, 4 e 5
23-12-1994	Landsat 5	3, 4 e 5
18-12-2004	Landsat 5	3, 4 e 5
27-10-2014	Landsat 8	4, 5 e 6

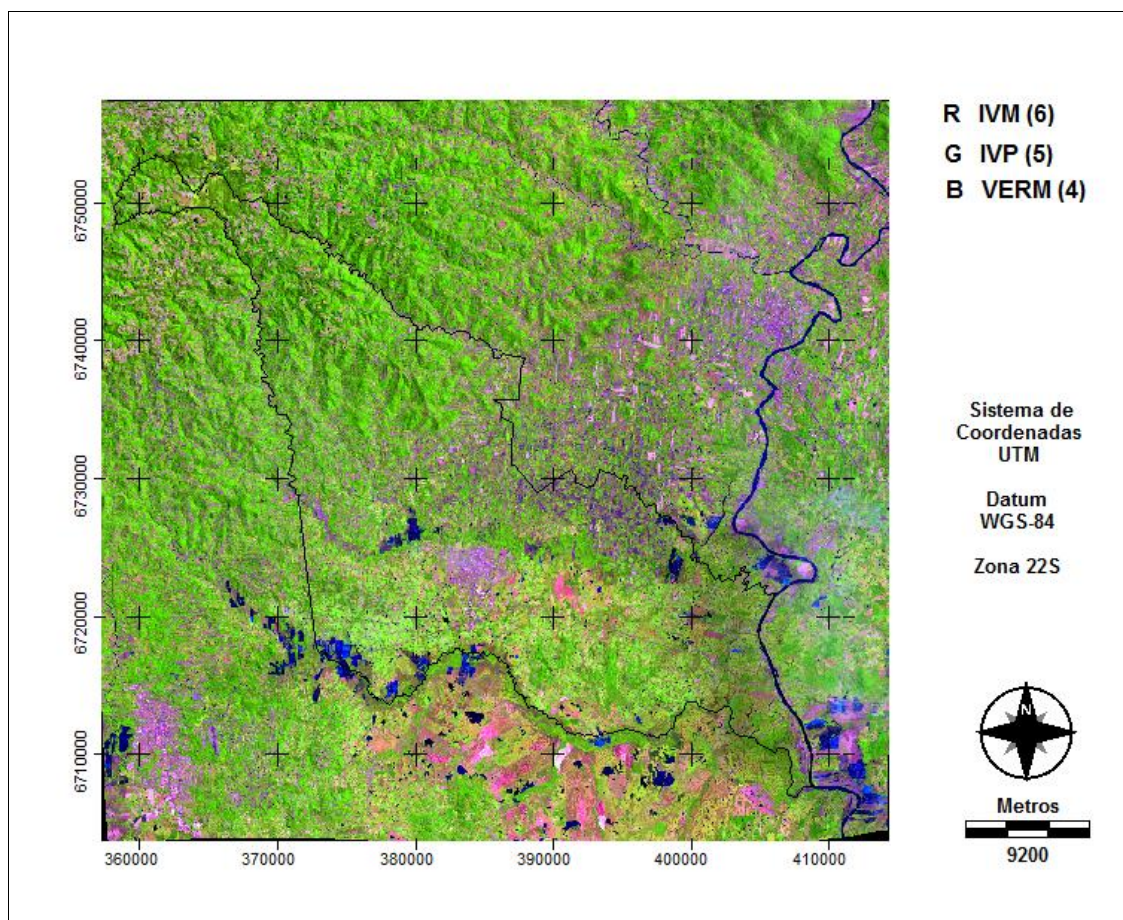
3.2.2 Georreferenciamento das imagens

A etapa de pré-processamento consiste na preparação das imagens de satélites para posteriormente efetuar a classificação. São empregadas técnicas para melhorar a qualidade dos dados, como remoção de ruídos, realce de imagem, correções geométricas e a redução da dimensionalidade (MOREIRA, 2005).

As imagens de satélite foram trabalhadas inicialmente no *software* Envi 4.5, em composições coloridas falsa cor. Moreira (2005) lembra que o olho humano tem maior facilidade de diferenciar cores do que níveis de cinza, fazendo com que as composições coloridas facilitem a separação dos usos e cobertura da terra. Portanto, para a imagem do ano de 2014, do satélite Landsat, 8 foi gerada uma composição RGB654, e para as demais imagens do satélite Landsat 5, uma composição RGB543. Ou seja, em todas as imagens foi atribuída coloração vermelha (*red*), verde (*green*) e azul (*blue*) para as bandas do comprimento de onda do infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho, respectivamente.

Devido às imagens abrangerem uma área de 185 x 185 quilômetros, foram realizados recortes nas mesmas envolvendo pouco mais que toda extensão territorial do município de Venâncio Aires, RS, para facilitar o processo de georreferenciamento. O georreferenciamento teve a finalidade de corrigir as deformações geométricas advindas da aquisição das imagens e a atribuição de um sistema de coordenadas. A **Figura 5** apresenta um exemplo do recorte da imagem de 2014.

Figura 5 - Composição colorida RGB654 da imagem de 2014 recortada.



O processo de georreferenciamento foi realizado com a identificação de pontos de controle medidos em campo com aparelho GPS. Foram coletados 19 pontos de controle distribuídos em diferentes regiões do município de Venâncio Aires e municípios vizinhos, em locais onde fosse possível a posterior identificação nas imagens utilizadas, como cruzamentos de estradas e pontes. A distribuição foi realizada de tal forma que, ao menos 20% dos pontos, ficaram dispostos em cada quadrante da imagem.

No *software* Envi 4.5 os pontos coletados em campo com o aparelho GPS foram associados aos locais correspondentes e marcados com suas coordenadas UTM, no sistema de referência WGS84, o qual possui equivalência ao sistema SIRGAS 2000, utilizado oficialmente no Brasil. Foi então aplicada no *software* a ferramenta de georreferenciamento, permitindo a correção das deformações geométricas das imagens pela reordenação dos *pixels* e atribuição do sistema de coordenadas.

3.2.3 Classificação das imagens

O processo de classificação das imagens procura rotular cada *pixel* da imagem segundo a sua ocupação da terra. Os alvos do universo real recebem então uma denominação genérica de classes (MOREIRA, 2005).

O tipo de classificação utilizada no presente trabalho foi a classificação supervisionada. Segundo definição de Eastman (1998), a classificação supervisionada consiste em detectar tipos específicos de cobertura da terra já conhecidas. O operador identifica e fornece ao sistema exemplos das classes de uso, chamadas áreas de treinamento. O sistema então utiliza algoritmos para classificar a imagem através do exame das reflectâncias de cada *pixel* com os quais ele mais se parece.

No processo de classificação supervisionada foram localizados exemplos representativos de cada tipo de uso e cobertura da terra, identificado na imagem, que são as áreas de treinamento. Nessa etapa foram digitalizados polígonos para compor as áreas de treinamento, atribuindo um identificador para cada tipo de cobertura. Os *pixels* das áreas de treinamento são analisados pelo sistema para criação de assinaturas espectrais para cada tipo de cobertura. Na sequência, a imagem inteira é classificada considerando cada *pixel* individualmente, comparando sua assinatura espectral com as assinaturas conhecidas para atribuição à classe de cobertura correspondente.

Um dos algoritmos mais utilizados nos sistemas de classificação, o qual foi empregado neste trabalho, é o da máxima verossimilhança gaussiana. Essa técnica,

conforme Moreira (2005), utiliza uma abordagem probabilística para classificar os *pixels*. Esse classificador, segundo Eastman (1998) avalia a probabilidade de um determinado *pixel* pertencer a uma categoria e o classifica para a categoria a qual tenha a maior probabilidade de associação.

O *software* utilizado para classificação das imagens foi o Idrisi Selva. A classificação foi efetuada, como já citado, separando as seguintes classes de uso e cobertura da terra: vegetação, uso agropecuário, área urbanizada e recursos hídricos. O processo de classificação foi realizado com a definição de amostras de treinamento para as classes vegetação e usos agropecuários. Na classe de vegetação estão incluídas as florestas nativas e exóticas. Os usos agropecuários englobam as áreas de plantio, pastagens, campos e solo exposto. A área urbanizada foi vetorizada manualmente sobre as imagens de satélite de cada ano, enquanto os recursos hídricos foram recortados da base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio Grande do Sul, em escala 1:50.000 (UFRGS, 2010) e integrados com a classificação das imagens.

Cabe ressaltar que a classe de uso e cobertura da terra “recursos hídricos”, por ser uma classe de complexa classificação e modelagem para o presente trabalho, foi colada igualmente sobre todas as imagens. Assim, a classe permaneceu inalterada em todo o período de tempo. Deduziu-se para este estudo pouca variação dessa classe, aceitando-se um equilíbrio da quantidade dos recursos hídricos ao longo do período de tempo analisado, tendo em vista a continuidade dos cursos d’água, assim como uma compensação entre lagos e açudes novos e extintos.

3.2.4 Validação da classificação

As imagens classificadas foram validadas de forma heurística por comparação com as imagens brutas. Para a imagem classificada de 2014, por ser de período atual, foi possibilitada ainda a validação pelo método do índice *Kappa*. Segundo Congalton e Green (1999), a classificação pode ser avaliada por este índice, que realiza uma análise da exatidão através de matrizes de erro, apresentando a distribuição da porcentagem de *pixels* classificados de forma correta

ou não, calculando ao final o índice *Kappa* de concordância. O valor do índice de *Kappa* varia entre -1 e 1, onde 1 significa uma completa concordância da imagem classificada com os dados de referência. Landis e Koch (1977) avaliam a classificação pelo índice de *Kappa* conforme a **Tabela 2**.

Tabela 2 – Qualidade da classificação pelo índice de *Kappa*.

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade da classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

No *software* Idrisi Selva foram gerados, na imagem bruta, 150 pontos de amostragem sorteados de forma randômica pelo sistema. Destes, foram utilizados somente os pontos geograficamente localizados dentro do limite territorial do município de Venâncio Aires, RS, totalizando 45 pontos. Estes pontos foram identificados no programa Google Earth Pro e cada um foi associado à classe correspondente, ou seja, vegetação, uso agropecuário, área urbanizada ou recurso hídrico. Foi gerada então uma imagem onde os *pixels* dos pontos amostrais representam a verdade da cobertura terrestre. Na sequência esta imagem foi confrontada pelo sistema com a imagem classificada, gerando a matriz de erros e o índice *Kappa*.

3.2.5 Análise temporal

A análise temporal da paisagem é possibilitada pela disponibilidade de imagens de satélite da mesma região ao longo do tempo, permitindo a realização de comparações dos dados nos diferentes períodos (HUANG *et al.*, 2000). Isso possibilita, conforme Santos (2004), a comparação de séries de dados temporais, resultando na detecção das mudanças ocorridas nos usos e cobertura da terra.

A análise de cada uso e cobertura da terra no período observado foi feita com base nos resultados da classificação supervisionada das imagens dos anos de 1986, 1994, 2004 e 2014, para reconstituição da evolução temporal da paisagem do município de Venâncio Aires, RS.

As imagens em formato matricial, recortadas no limite territorial do município, ajustadas com o mesmo número de linhas e colunas e finalmente classificadas pelo método supervisionado, viabilizaram a determinação das mudanças da paisagem pela comparação dessas imagens nos distintos períodos.

3.3 Procedimentos da modelagem dinâmica espacial

A modelagem dinâmica espacial foi realizada com utilização do sistema de modelo de autômatos celulares, através do *software* Dinâmica 2.4. O modelo dinâmico espacial procura mostrar a tendência da dinâmica da paisagem e identificar os principais vetores de mudanças possibilitando prever possíveis configurações espaciais e implicações ambientais, como explica Silva, Eckhardt e Rempel (2011). A modelagem foi estruturada conforme as etapas a seguir:

3.3.1 Organização da base digital

Para a realização dos procedimentos da modelagem dinâmica espacial foram utilizados os mapas gerados na análise temporal da paisagem. Os arquivos foram exportados do *software* Idrisi Selva para o *software* ErMapper 7.1. Este por sua vez, converte os arquivos em formato compatível com o *software* Dinâmica 2.4.

A base para estruturação da modelagem foi composta com os mapas classificados da paisagem dos anos de 1986 (mapa de uso e cobertura inicial) e 2014 (mapa de uso e cobertura final), abrangendo o período de 28 anos. Nesta etapa de modelagem foram definidas 5 classes de cobertura da terra, pois, além das classes vegetação, uso agropecuário, área urbanizada e recursos hídricos, classificadas anteriormente, a classe *background*, que consiste no fundo das

imagens, integrou os mapas de uso e cobertura da terra inicial e final, pois é necessária para o trabalho no *software* Dinâmica 2.4.

3.3.2 Cálculo de matrizes de transição

As matrizes de transição representam a mudança da paisagem em certo período de tempo. No *software* Dinâmica foi realizada a tabulação cruzada dos mapas de cobertura da terra dos anos de 1986 e 2014, gerando duas matrizes. Uma matriz periódica que representa as transições ao longo de todo o período analisado (28 anos), e uma matriz unitária decomposta, que representa as transições a cada 2 anos. A matriz de transição unitária foi gerada com 14 passos de tempo onde cada passo representa o período de 2 anos.

3.3.3 Determinação das variáveis estáticas e dinâmicas

As variáveis são os fatores que contribuem na magnitude e localização das mudanças das paisagens. Variáveis estáticas geralmente estão associadas às características humanas e físicas da paisagem segundo Soares Filho (1998), como altitude, declividade e drenagem. Quanto às variáveis dinâmicas, estas são contínuas, representadas na maioria das vezes por distâncias referentes aos usos do solo, estradas, entre outros.

Tendo em vista que o relevo do município de Venâncio Aires apresenta grande variação de altitude e declividade, o que tende a influenciar na ocorrência de transições, principalmente da vegetação sobre outras classes, e sendo esta a transição foco deste estudo, a variável estática utilizada na modelagem foi a declividade do terreno. Cabe lembrar que a variável estática de altitude também foi testada na modelagem, não apresentando resultados satisfatórios, optando-se então, pela utilização, neste estudo, apenas da variável de declividade. Esta foi gerada no *software* Idrisi Selva, através do MNT (modelo numérico do terreno), obtido a partir da interpolação das curvas de nível da base cartográfica vetorial contínua do estado do Rio Grande do Sul, em escala 1:50.000. As declividades do terreno foram divididas em classes de declividade conforme as orientações de

Ramalho Filho e Beeck (1995). A variável estática de declividade foi convertida no *software* ErMapper e utilizada como variável categórica no processo de modelagem.

Quanto a variável dinâmica, a mesma consiste na distância das áreas de vegetação, e foi gerada diretamente no *software* Dinâmica, o qual faz o cálculo da variável a cada iteração do modelo.

3.3.4 Cálculo dos pesos de evidência

Segundo Soares Filho *et al.* 2004, as taxas de mudança de paisagem, expressas pelas matrizes de transição, são relacionadas com as classes temáticas das variáveis categóricas e os melhores intervalos das distâncias das variáveis contínuas, que controlam a localização das mudanças, resultando nos pesos de evidência. O cálculo dos Pesos de Evidência foi realizado no *software* Dinâmica, onde para cada classe de declividade e faixa de distância dos fragmentos florestais de 1986 é calculado um peso de evidência. A combinação do somatório dos pesos de evidência das duas variáveis indicam as áreas mais favoráveis para determinada transição da paisagem.

Os pesos de evidência são indicados por W^+ e W^- . Estes valores favorecem (W^+) ou desfavorecem (W^-) uma transição na paisagem em determinada classe ou faixa de distância em determinada variável. Espacialmente, as variáveis devem ser independentes entre si. Como confirmação dessa independência, foi realizado o teste de *Cramer*, o qual, segundo Bonham-Carter (1994), valores abaixo de 0,5 indicam que as variáveis não possuem dependência, podendo ser utilizadas para modelagem.

3.3.5 Calibração e validação

Para a etapa de calibração do modelo, foram inseridos no *software* Dinâmica, o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1986, um mapa de tempo fictício exigido pelo modelo para guardar o tempo de permanência de cada célula no seu estado atual e as variáveis categóricas ou estáticas. O número de passos de tempo

simulados no modelo foi definido em 14 passos, onde cada passo de tempo corresponde a 2 anos, totalizando o período inteiro de análise de 28 anos. Após esta etapa inicial, foi inserida no modelo a matriz de transição unitária. Como mapa dinâmico foi selecionado a classe de vegetação do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1986, principal foco da modelagem.

Na sequência foram inseridos os pesos de evidência e determinadas as funções de transição, que objetivam realizar as quantidades desejadas de mudanças. No modelo probabilístico de autômatos celulares, a Dinâmica usa as funções de transição mediante regras de expansão (*Expander*) e nucleação (*Patcher*). O *Expander* modela a expansão das manchas de determinada classe de uso e cobertura da terra e o *Patcher*, forma novas manchas por mecanismo de nucleação. O operador do sistema define o percentual das transições executadas pela função *Expander* em relação à função *Patcher*. O operador define também a isometria, o tamanho médio das manchas e o tamanho da variação das manchas, medido em hectares.

A calibração dos parâmetros foi realizada para as transições identificadas pela análise temporal das mudanças, de expansão da vegetação sobre usos agropecuários, foco principal do estudo, e também para a transição de expansão da área urbanizada sobre a vegetação e os usos agropecuários.

A calibração da expansão da área urbanizada foi realizada na proporção de 100% para *Expander* e zero para *Patcher*. Isto porque o mecanismo criaria núcleos urbanos em todo o território do município, se fosse utilizado valor para a função *Patcher*. Na expansão da vegetação verificaram-se também melhores resultados de simulação, com proporção maior de *Expander*.

Para isometria, valores próximos a zero produzem manchas mais ramificadas, o que se adaptou melhor para a paisagem do presente estudo. Quanto ao tamanho médio e variância das manchas, dados em hectares, foram testados diferentes valores, partindo de exemplos de estudos dessa linha, como Silva, Eckhardt e Rempel (2011). Foram rodados 16 modelos de simulação com diferentes valores de parâmetros, para obtenção de um modelo que melhor representasse as mudanças da paisagem.

Na execução do modelo, o *software* Dinâmica realiza a leitura dos dados e parâmetros calculados e inseridos no modelo, gerando mapas das probabilidades de ocorrer a transição em cada célula. Como resultado final, gera um mapa da cobertura da terra simulado para cada período de tempo, reconstituindo assim a dinâmica espacial de mudança da paisagem.

Após a geração dos resultados foi realizada a validação do modelo. Um dos métodos utilizado foi a comparação visual do mapa de uso e cobertura da terra de 2014 simulado, com o mapa de 2014 obtido pela classificação supervisionada. A validação visual, por comparação, visa avaliar se as imagens simulada e classificada, as quais representam o mesmo período, apresentam correspondência.

O outro método foi a validação matemática, realizada diretamente no Dinâmica, por dois métodos matemáticos de comparação. O Ajuste por Múltiplas Resoluções (F) (CONSTANZA, 1989), o qual avalia o ajuste entre o mapa do uso e cobertura da terra de 2014 simulado e o mapa de uso e cobertura da terra de 2014 classificado. Valores F são considerados aceitáveis acima de 0,8. Outro método matemático de validação realizado pelo Dinâmica, é a medida de similaridade *Fuzzy* (S), mais complexa e mais fidedigna, onde a representação de uma célula é influenciada pela própria, mais do que pelas células vizinhas (HAGEN, 2003). O cálculo relaciona um mapa de diferença entre os mapas de uso e cobertura da terra inicial e final com um mapa de diferença entre o mapa de uso e cobertura final e simulado. Índices aceitáveis de *Fuzzy* apresentam valores aproximados de 0,5.

3.3.6 Projeção do cenário futuro

Para realização da projeção do cenário futuro foram escolhidos os parâmetros do modelo com as melhores medidas de calibração, ou seja, do modelo que melhor simulou o mapa de cobertura no período analisado, de 1986 a 2014. Então foi utilizado como mapa inicial de entrada do modelo futuro, o mapa de uso e cobertura da terra de 2014, e aplicado os mesmos parâmetros, com 5 passos de tempo representando dois anos cada, para projeção do cenário da paisagem do ano de 2024. Esta projeção representa uma possibilidade do que pode ocorrer com a paisagem do município caso sem mantenham as tendências do período anterior.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

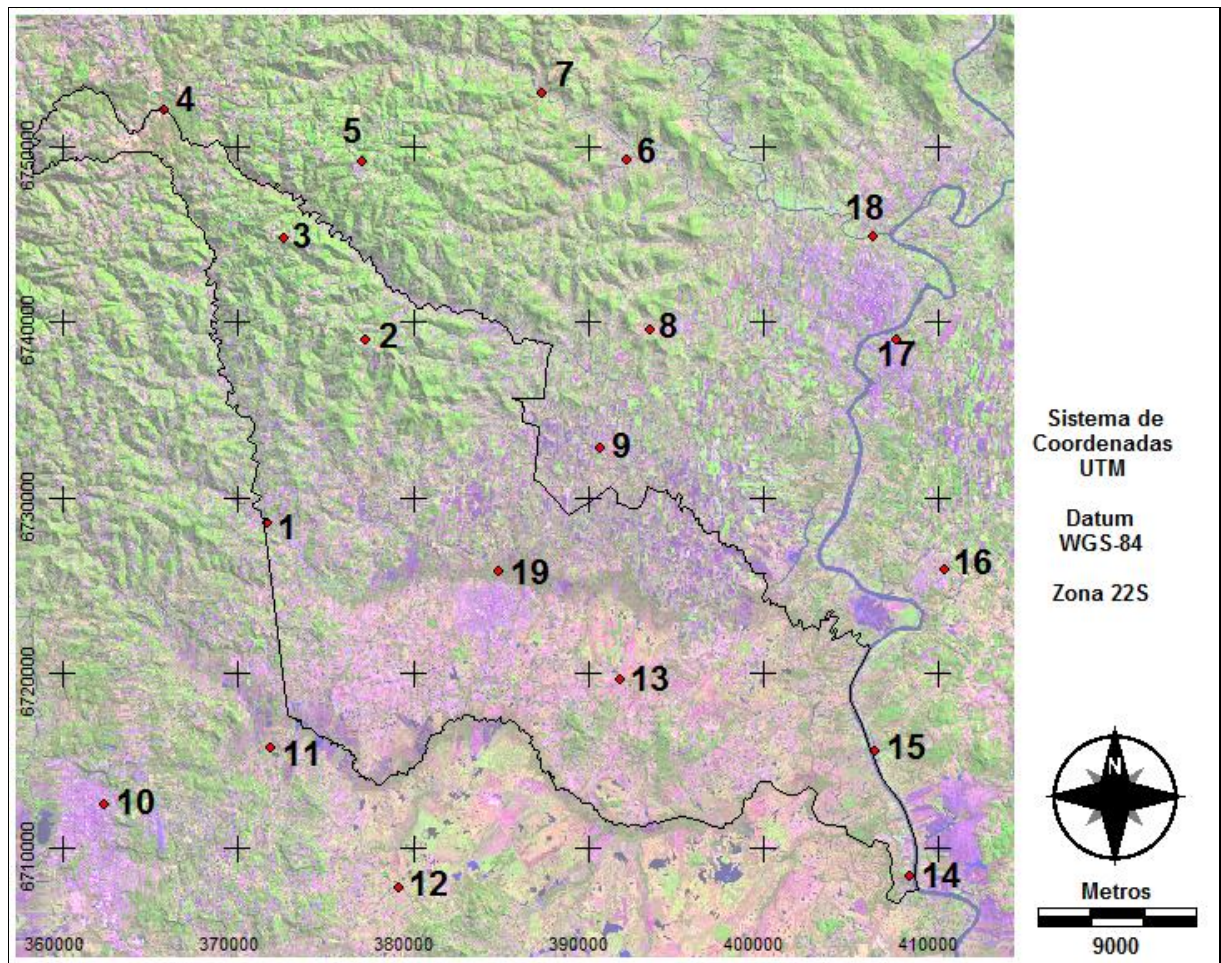
4.1 Georreferenciamento das imagens de satélite

Para executar o georreferenciamento das imagens de satélite foram coletados 19 pontos em campo com aparelho GPS, com precisão posicional média aproximada de 4 metros. No processamento pelo *software* Envi 4.5, procurou-se controlar o erro médio quadrático (RMS), o qual resultou em todas as imagens, inferior a 0,5, equivalente a meio *pixel*, ou seja, inferior a 15 metros. A distribuição dos pontos foi realizada de tal forma que cada quadrante da imagem possuisse ao menos 20% do total dos pontos. As coordenadas coletadas em campo com aparelho GPS (UTM *datum* WGS84 em Longitude (E) e Latitude (N)), podem ser verificadas na **Tabela 3**, ilustradas na **Figura 6**.

Tabela 3 – Coordenadas coletadas em campo com GPS.

Número do ponto coletado	Coordenada (E)	Coordenada (N)	Número do ponto coletado	Coordenada (E)	Coordenada (N)
1	371677	6728607	11	371785	6715777
2	377233	6739002	12	379145	6707770
3	372561	6744808	13	391816	6719677
4	365760	6752072	14	408373	6708452
5	377075	6749145	15	406369	6715538
6	392187	6749193	16	410271	6725942
7	387345	6753043	17	407600	6738974
8	393437	6739548	18	406284	6744934
9	390668	6732808	19	384842	6725807
10	362339	6712569	-	-	-

Figura 6 – Distribuição dos pontos da tabela de coordenadas coletadas em campo.

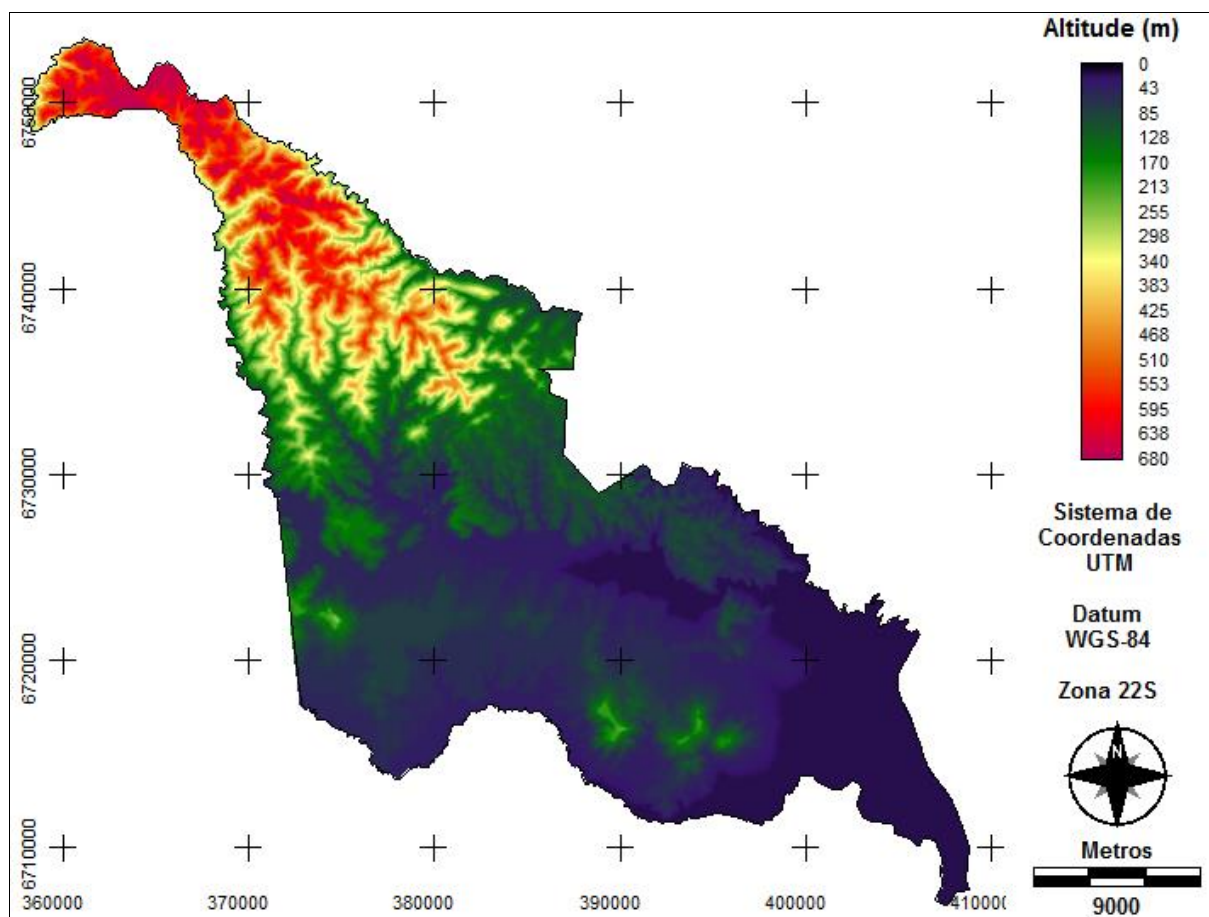


4.2 Aspectos do relevo de Venâncio Aires, RS

Por apresentar grande variação de altitude, abrangendo a transição entre a Depressão Central Gaúcha e o Planalto Arenito-Basáltico, o relevo do município é um fator que influencia significativamente nas transições entre as classes de uso e cobertura da terra. É coerente, por exemplo, que em um processo de regeneração da vegetação, a recuperação seja favorecida nos topos de morros, encostas e áreas com declividade acentuada.

Os resultados obtidos na análise do relevo de Venâncio Aires apresentam os níveis de altitude e declividade do terreno. A variação da altitude do terreno pode ser verificada na **Figura 7**.

Figura 7 – Altitude do relevo de Venâncio Aires, RS.



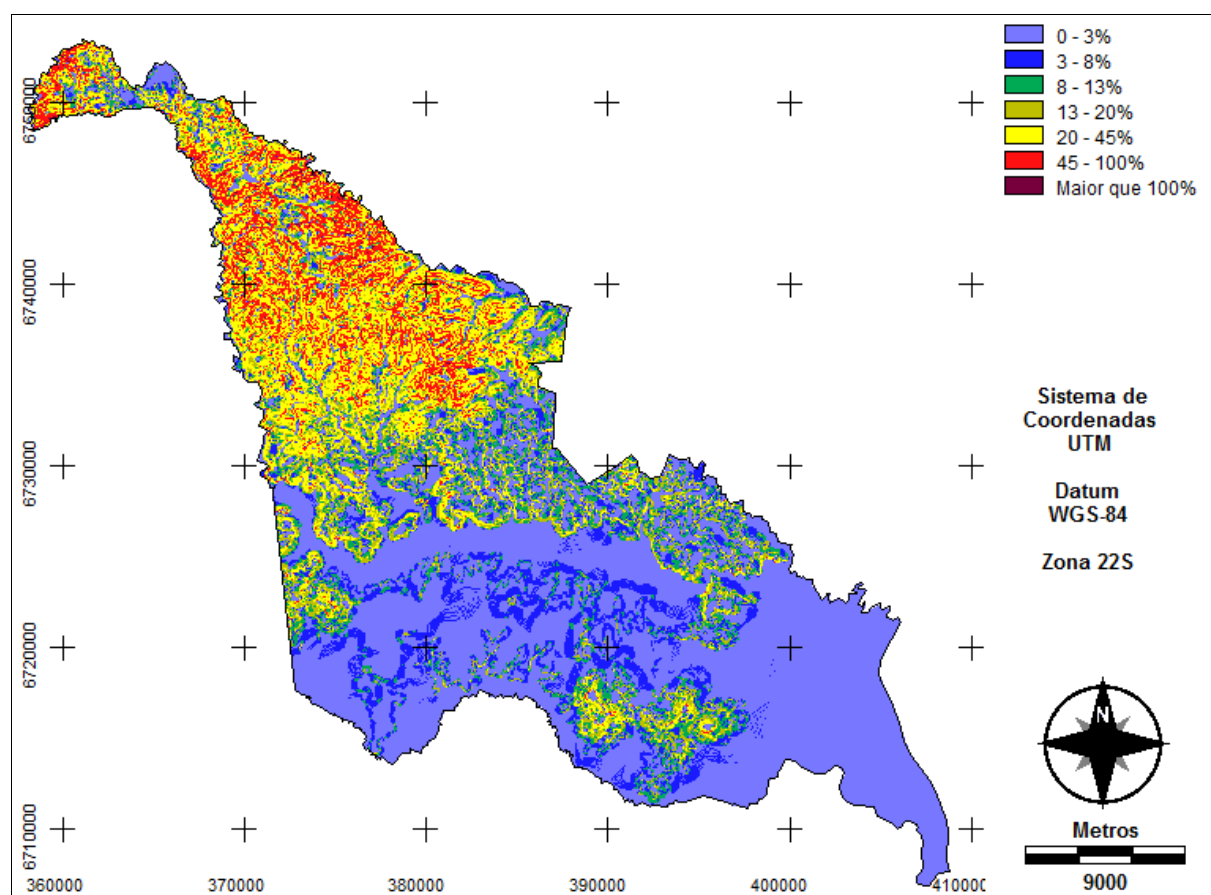
O relevo de determinada área de estudo pode ainda ser agrupado por diferentes níveis em relação a sua declividade, possibilitando assim a representação da clinografia da região. A **Figura 8** mostra os níveis de declive do relevo de Venâncio Aires, agrupados em categorias por graus de suscetibilidade à erosão sugerida por Ramalho Filho e Beek (1995). A **Tabela 4** apresenta ainda as respectivas áreas ocupadas em cada nível no município.

Tabela 4 – Áreas do município de Venâncio Aires ocupadas de acordo com o nível de declividade.

Nível de declive	Classificação da Declividade do Terreno	Área ocupada no município (km ²)	Percentual de ocupação (%)
0 a 3%	Plano/praticamente plano	352,11	45,56
3 a 8%	Suave ondulado	89,79	11,62
8 a 13%	Moderadamente ondulado	70,64	9,14
13 a 20%	Ondulado	72,81	0,00
20 a 45%	Forte ondulado	125,77	9,42
45 a 100%	Montanhoso	60,27	16,27
Acima de 100%	Escarpado	1,53	7,80
Total		772,92	100

Fonte: Do autor, adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995).

Figura 8 – Mapa de declividade do relevo de Venâncio Aires, RS.



4.3 Análise da evolução temporal da paisagem de Venâncio Aires, RS

A classificação supervisionada das imagens dos anos de 1986, 1994, 2004 e 2014 mostra a variação da ocupação das classes de uso e cobertura da terra na área de estudo. Foram calculadas a área e o percentual de ocupação de cada classe, descritos em tabelas, enquanto espacialmente os dados podem ser visualizados nos mapas de uso e cobertura da terra.

4.3.1 Uso e cobertura da terra em 1986

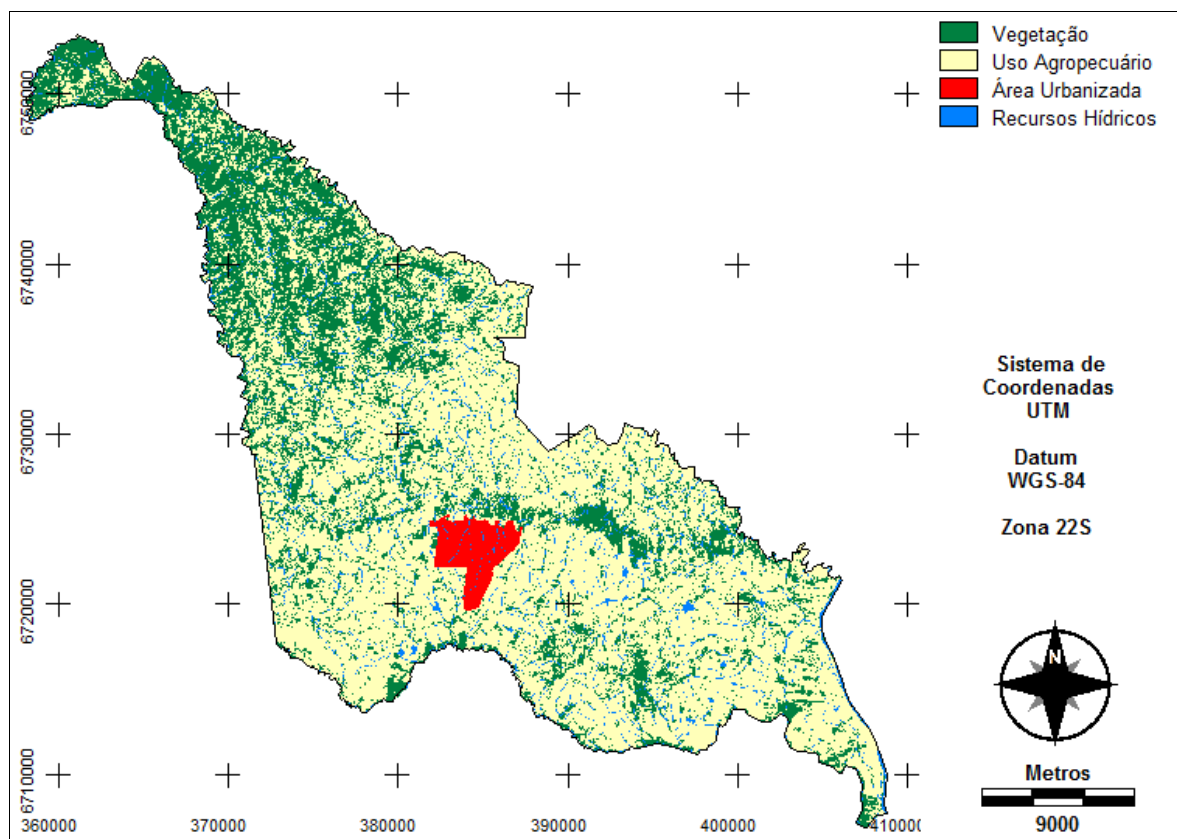
O início da análise temporal da paisagem do município de Venâncio Aires se deu pela classificação supervisionada para o ano de 1986, com a geração do mapa de uso e cobertura da terra apresentado na **Figura 9**, onde pode ser visualizada a distribuição espacial das classes. A partir do mapa, foi calculada a ocupação de cada classe, descrita na **Tabela 5**, em área e percentual de ocupação.

Tabela 5 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 1986.

Cobertura da terra	Área (km ²)	%
Vegetação	219,40	28,39
Uso Agropecuário	503,80	65,18
Área Urbanizada	15,17	1,96
Recursos Hídricos	34,55	4,47
Total	772,92	100,00

A **Tabela 5** mostra que no ano de 1986 a classificação aponta predomínio da classe de uso agropecuário cobrindo 65,18% do município, totalizando 503,80km². A vegetação, nesse período, representava 28,39% da cobertura da terra, com uma extensão de 219,40km², concentrada em sua maioria nas partes mais elevadas do município. A área urbanizada possuía 15,17km², representando 1,96% do total.

Cabe lembrar que a classe “recursos hídricos” foi colada igualmente sobre todas as imagens, permanecendo inalterada durante o período de análise. Desta forma, os dados das quatro imagens classificadas, apresentam os mesmos valores para a classe de recursos hídricos, totalizando 34,55 km², o que representa 4,47% da área total do município.

Figura 9 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 1986.

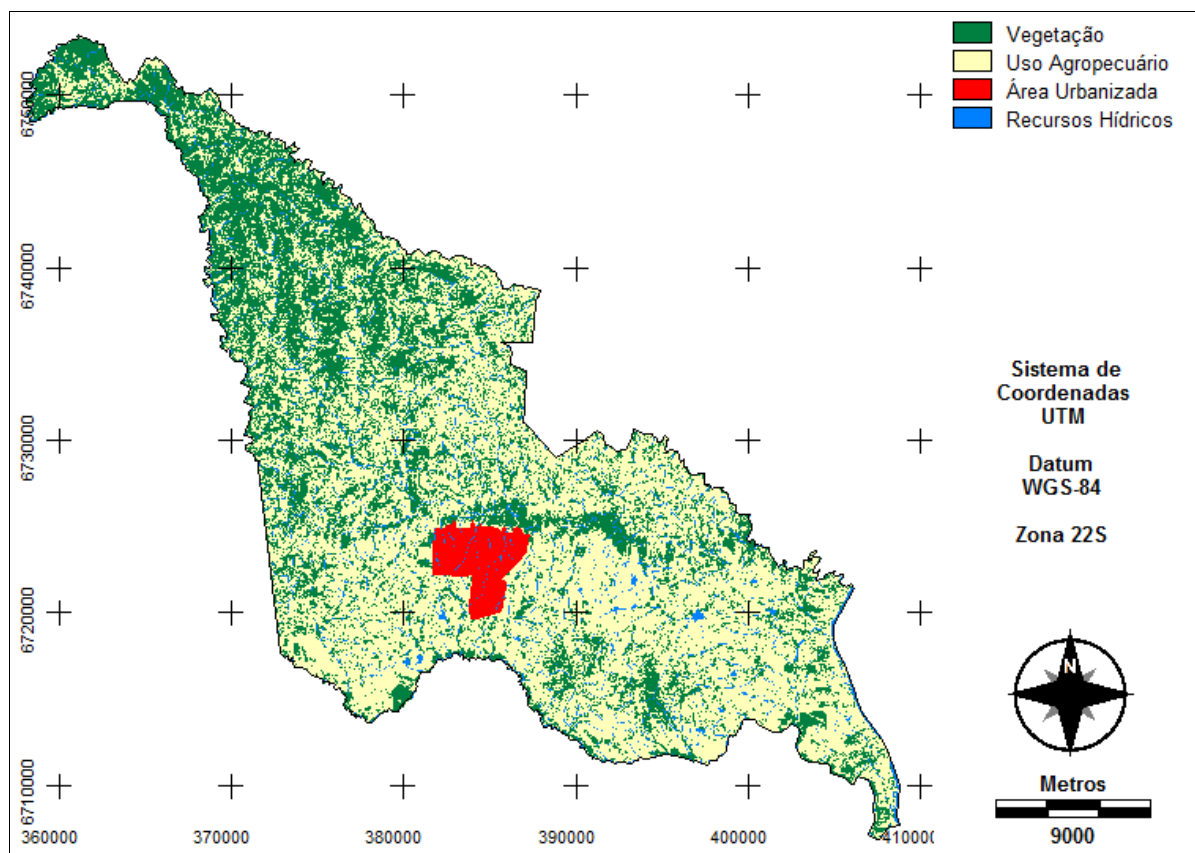
4.3.2 Uso e cobertura da terra em 1994

O mapa de classificação da paisagem do ano de 1994 (**FIGURA 10**) inicia a percepção da tendência de expansão da classe vegetação sobre a classe usos agropecuários, com os dados de ocupação territorial descritos na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 1994.

Cobertura da terra	Área (km ²)	%
Vegetação	266,04	34,42
Uso Agropecuário	454,02	58,74
Área Urbanizada	18,31	2,37
Recursos Hídricos	34,55	4,47
Total	772,92	100,00

Figura 10 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 1994.



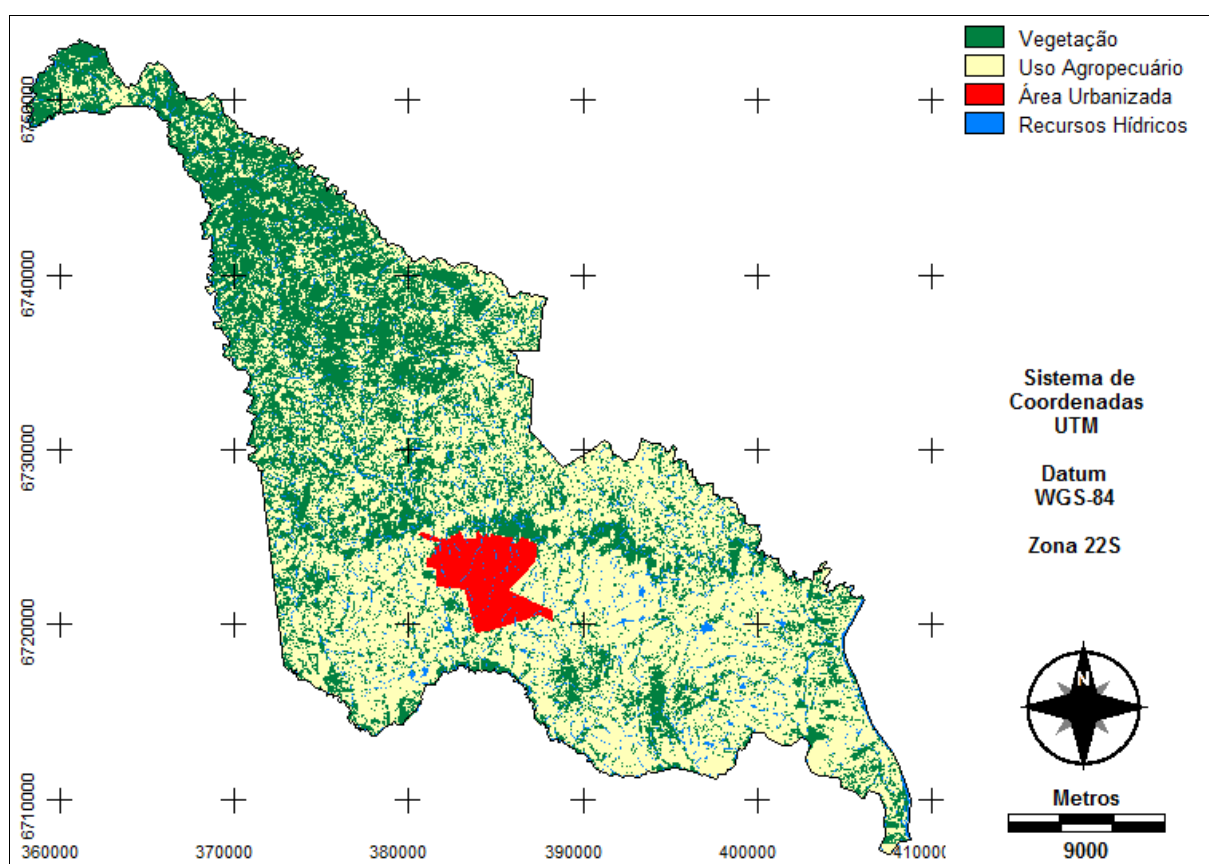
Na **Tabela 6** pode-se observar que a classificação da imagem para o ano de 1994 já aponta uma redução da classe de uso agropecuário em substituição principalmente pela classe de vegetação. Os usos agropecuários totalizaram 58,74% da área, com uma extensão de 454,02km², enquanto a vegetação do município representou 34,42% da área total, com 266,04km². A área urbanizada, que tende a manter uma contínua expansão ao longo dos anos, passou de 15,17km² em 1986 para 18,31km² em 1994, chegando a 2,37% da área total.

4.3.3 Uso e cobertura da terra em 2004

Em comparação com o mapa os mapas anteriores, dos anos de 1986 e 1994, os resultados da classificação da imagem de 2004 confirmam a continuidade da expansão da classe de vegetação ao longo do tempo. Os dados podem ser observados na **Tabela 7**, e o mapa visualizado na **Figura 11**.

Tabela 7 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 2004.

Cobertura da terra	Área (km ²)	%
Vegetação	291,22	37,68
Uso Agropecuário	423,63	54,81
Área Urbanizada	23,52	3,04
Recursos Hídricos	34,55	4,47
Total	772,92	100,00

Figura 11 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 2004.

No ano de 2004, podemos observar que a **Tabela 7** demonstra ainda o predomínio da classe de uso agropecuário cobrindo 54,81% do município. A vegetação nesse período já passa a representar 37,68%. A área urbanizada aumentou para 3,04% do total.

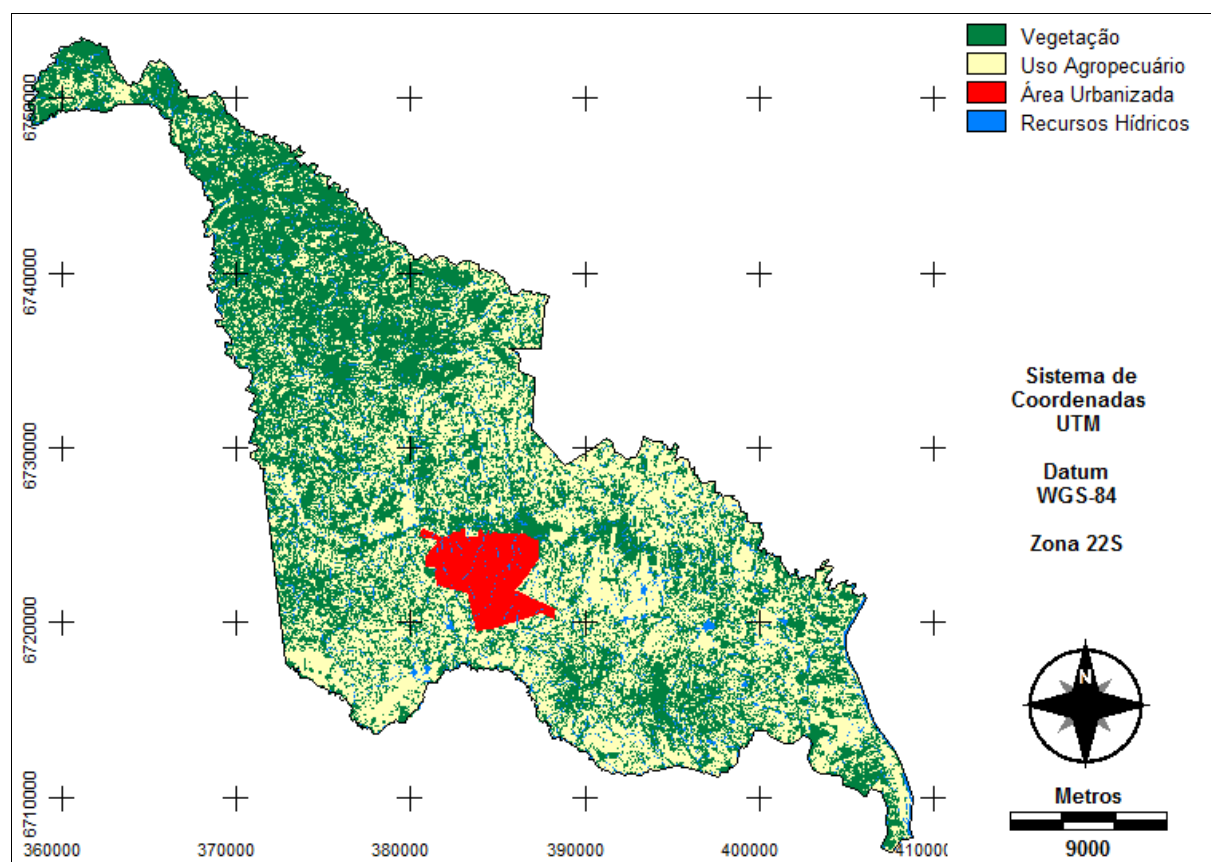
4.3.4 Uso e cobertura da terra em 2014

Em relação aos demais períodos analisados, o intervalo de tempo entre 2004 e 2014 foi o que apresentou o maior crescimento da classe vegetação. Os dados seguem na **Tabela 8** e na **Figura 12**.

Tabela 8 – Uso e cobertura da terra classificada para Venâncio Aires de 2014.

Cobertura da terra	Área (km ²)	%
Vegetação	375,24	48,55
Uso Agropecuário	337,50	43,67
Área Urbanizada	25,63	3,32
Recursos Hídricos	34,55	4,47
Total	772,92	100,00

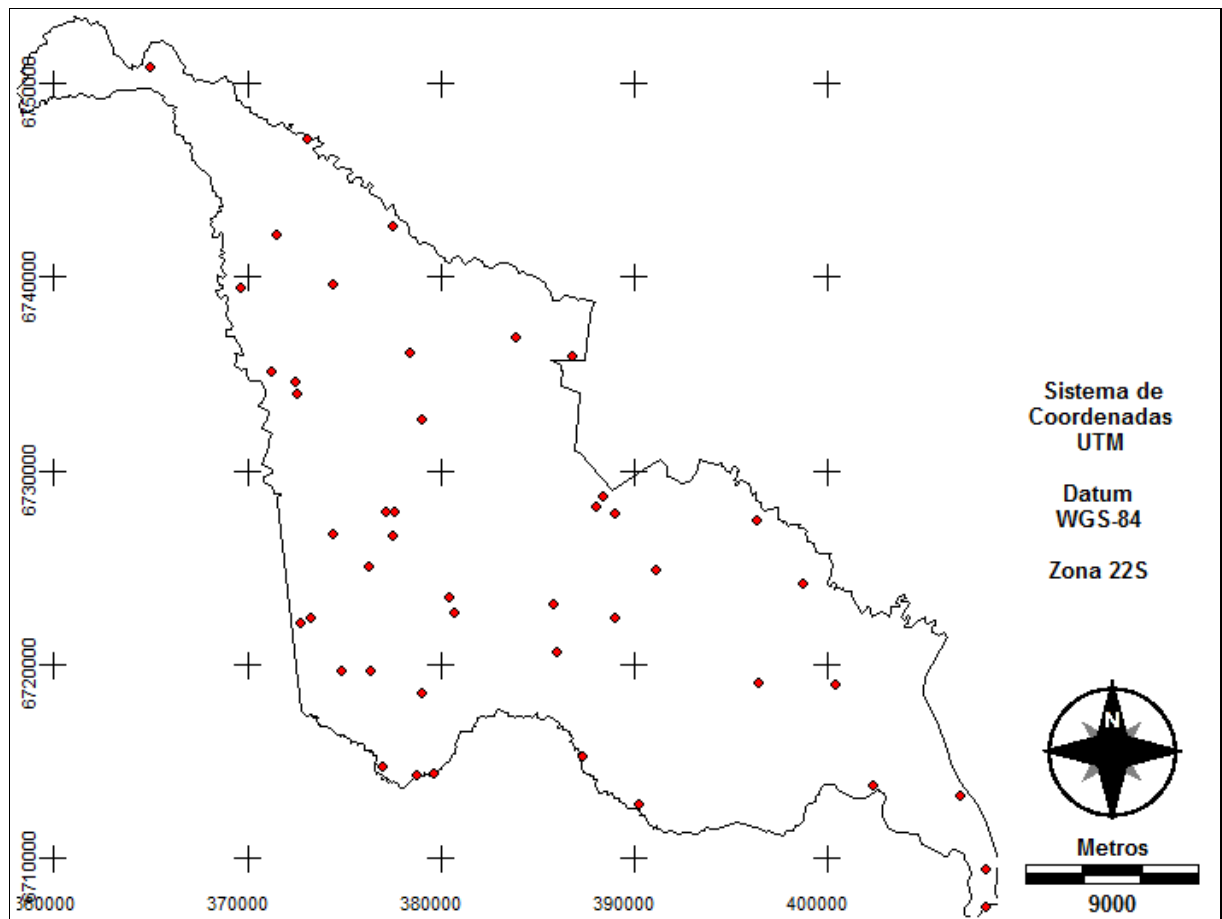
Figura 12 – Uso e cobertura da terra de Venâncio Aires em 2014.



A **Tabela 8** mostra que no ano de 2014 os resultados da classificação da imagem apontam que a vegetação supera o uso agropecuário. A primeira apresenta o total de 48,55% e a classe de uso agropecuário fica em 43,67%. A área urbanizada chegou a atingir 3,32%.

Para validação da classificação da imagem de 2014, além da validação heurística, foram verificados os resultados aplicando-se o índice *kappa*, conforme descrito no capítulo 3, item 3.2.4. Os 45 pontos gerados de forma randômica (**FIGURA 13**) e associados à classe de uso real foram confrontados com a imagem classificada gerando a matriz de erro e o índice *kappa*.

Figura 13 – Pontos gerados para aplicação do índice *Kappa*.



Os índices de concordância, de cada classe de uso e cobertura classificados, podem ser verificados na matriz de erro, que apresenta a distribuição de percentagem de *pixels* classificados correta ou incorretamente. A **Tabela 9** traz as

proporções de erros de comissão (onde um ponto foi classificado em uma determinada classe quando na realidade pertence a outra classe), e erros de omissão (onde o ponto deveria ter sido classificado em determinada classe, mas foi classificado em outra).

Tabela 9 – Matriz de erros do índice *kappa*.

	2	3	4	5	Total	Erro de comissão
2	17	5	0	0	22	0,2273
3	0	18	0	0	18	0
4	0	0	2	0	2	0
5	0	0	0	3	3	0
Total	17	23	2	3	45	
Erro de omissão	0	0,2174	0	0		0,1111

2 – Vegetação; 3 – Uso Agropecuário; 4 – Área Urbanizada; 5 – Recursos Hídricos.

A matriz mostra que os erros da classificação, nos pontos amostrados para verificação, apresentaram-se na classe vegetação em lugar da classe usos agropecuários. Ao final, o sistema calcula o índice *kappa* de concordância. O resultado do índice foi 0,82, considerado um excelente grau de concordância conforme classificação sugerida por Landis e Koch (1977).

4.3.5 Análise das mudanças da paisagem

A partir da análise dos mapas de uso e cobertura da terra de 1986 a 2014 gerados a partir da classificação das imagens de satélite, verificou-se a expansão da vegetação no município de Venâncio Aires, RS, em substituição aos usos agropecuários. Em 1986, a vegetação estava mais concentrada a noroeste do município, nas regiões mais elevadas e declivosas. Deste período em diante, a vegetação inicia um processo gradual de regeneração no entorno dessas áreas, avançando em todo o município, inclusive áreas mais baixas e planas.

É notável que, no processo de regeneração da vegetação do município, a recuperação foi favorecida nos topos de morros, encostas e áreas com declividade acentuada. Porém, o fato da vegetação avançar também em áreas menos suscetíveis a ocorrência de transição, como nas áreas planas e de baixa altitude, indica a ação de fatores alheios às características físicas referentes ao relevo. Tais fatores podem ser atribuídos à urbanização acelerada que tem ocorrido no município, e consequentemente, o aumento do êxodo rural, resultando num processo aonde áreas agrícolas abandonadas vêm sendo substituídas por vegetação. A diversificação das atividades econômicas no município culminado com o crescimento de outros setores como o ramo metalúrgico, por exemplo, contribui para que a população rural, principalmente os jovens, deixem as atividades agrícolas em busca de melhores condições de trabalho no setor industrial.

A **Tabela 10** demonstra o êxodo rural que tem ocorrido no município de acordo com os censos do IBGE. Tanto que a Prefeitura Municipal de Venâncio Aires, (PMVA, 2014), realizou chamamento público com a finalidade de credenciar, no período de dezembro de 2014 a janeiro de 2015, instituições de ensino médio técnico profissionalizante da área agrícola, visando combater o êxodo rural.

Tabela 10 – Decréscimo da população rural de Venâncio Aires, RS.

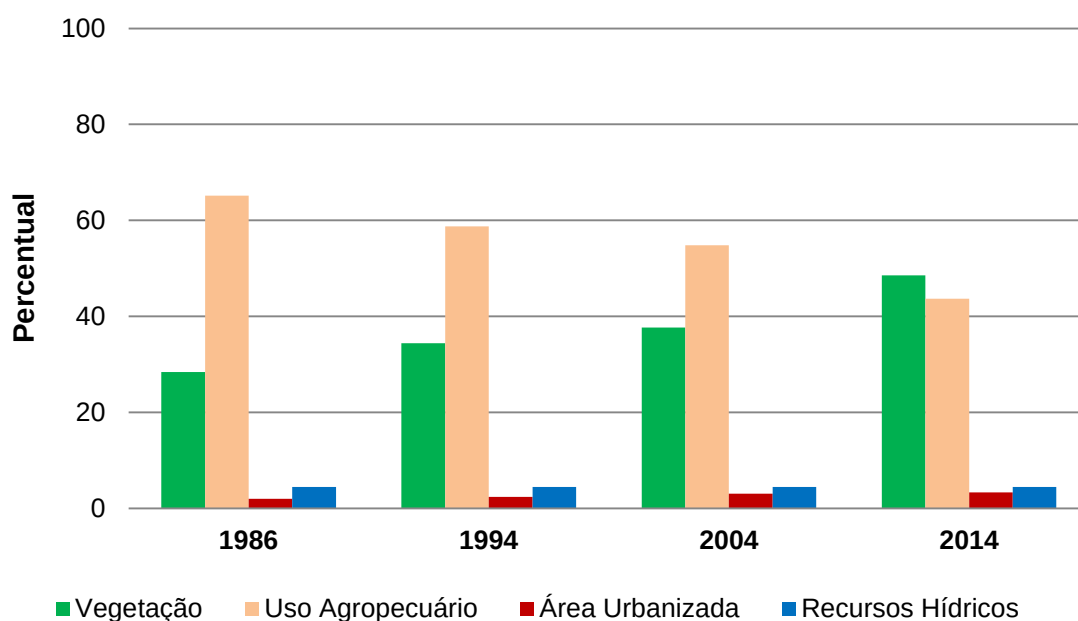
Ano	População rural
1980	31.635
1991	29.549
2000	25.041
2010	24.546

Resultado deste cenário, a dinâmica da paisagem de Venâncio Aires, RS apresenta então um incremento de 71,03% de vegetação na área total, se analisado o período de 28 anos compreendidos entre 1986 e 2014. Em contrapartida a terra utilizada para usos agropecuários reduziu 33,01% no mesmo período. Em menor extensão, porém alta variação, percebemos o aumento da área urbanizada. Os dados estão descritos na **Tabela 11**.

Tabela 11 – Variação do uso e cobertura da terra de Venâncio Aires.

Cobertura da terra	1986 (km ²)	2014 (km ²)	Δ km ²	Δ %
Vegetação	219,40	375,24	155,84	71,03
Uso Agropecuário	503,80	337,50	-166,30	-33,01
Área Urbanizada	15,17	25,63	10,46	68,95
Recursos Hídricos	34,55	34,55	0	0
Total	772,92	772,92	-	-

O **Gráfico 1** mostra a síntese das mudanças das classes de uso e cobertura da terra ao longo dos anos analisados.

Gráfico 1 – Evolução das classes de uso e cobertura da terra de Venâncio Aires.

4.4 Modelagem dinâmica espacial da paisagem de Venâncio Aires, RS

A tendência da dinâmica da paisagem do Município de Venâncio Aires, RS, quantificada no *software* Dinâmica, para o período estudado de 28 anos, é resultante da tabulação cruzada dos mapas de cobertura da terra de 1986 e 2014. A **Tabela 12** representa a matriz unitária, que corresponde às transições de um passo de tempo, que é igual a 2 anos. A **Tabela 13** representa a matriz periódica, correspondente a

todo o período em questão. Pode ser observada nas tabelas a ocorrência de transição da classe de usos agropecuários para vegetação (3 – 2) e ainda vegetação e usos agropecuários para área urbanizada (2 – 4 e 3 – 4), ao visto que a diagonal da tabela apresenta a permanência dos estados.

Tabela 12 – Matriz de transição unitária de 1986 – 2014 de Venâncio Aires.

	Cobertura em 1986				
	1	2	3	4	5
Cobertura em 2014	1	1	0	0	0
	2	0	0,9994	0	0,0006
	3	0	0,0330	0,9657	0,0013
	4	0	0	0	1
	5	0	0	0	0

1 – Background; 2 – Vegetação; 3 – Uso Agropecuário; 4 – Área Urbanizada; 5 – Recursos Hídricos.

Tabela 13 – Matriz de transição periódica de 1986 – 2014 de Venâncio Aires.

	Cobertura em 1986				
	1	2	3	4	5
Cobertura em 2014	1	1	0	0	0
	2	0	0,9922	0	0,0078
	3	0	0,3699	0,6135	0,0166
	4	0	0	0	1
	5	0	0	0	0

1 – Background; 2 – Vegetação; 3 – Uso Agropecuário; 4 – Área Urbanizada; 5 – Recursos Hídricos.

Os pesos de evidência, calculados para a variável estática de declividade do terreno e para a variável dinâmica de distância da vegetação são apresentados nos **Gráficos 2 e 3**, respectivamente. A independência das variáveis pelo método de *Cramer* atingiu 0,0851, dentro do parâmetro, segundo Bonham-Carter (1994), que torna aceitáveis, valores abaixo de 0,5.

Gráfico 2 – Pesos de evidência da variável estática declividade do terreno.

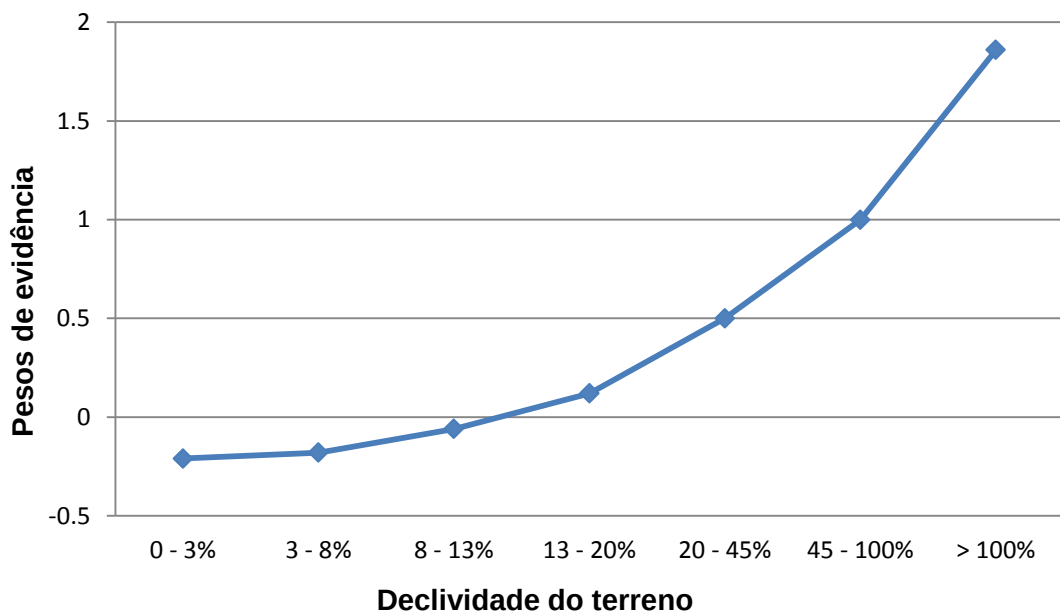
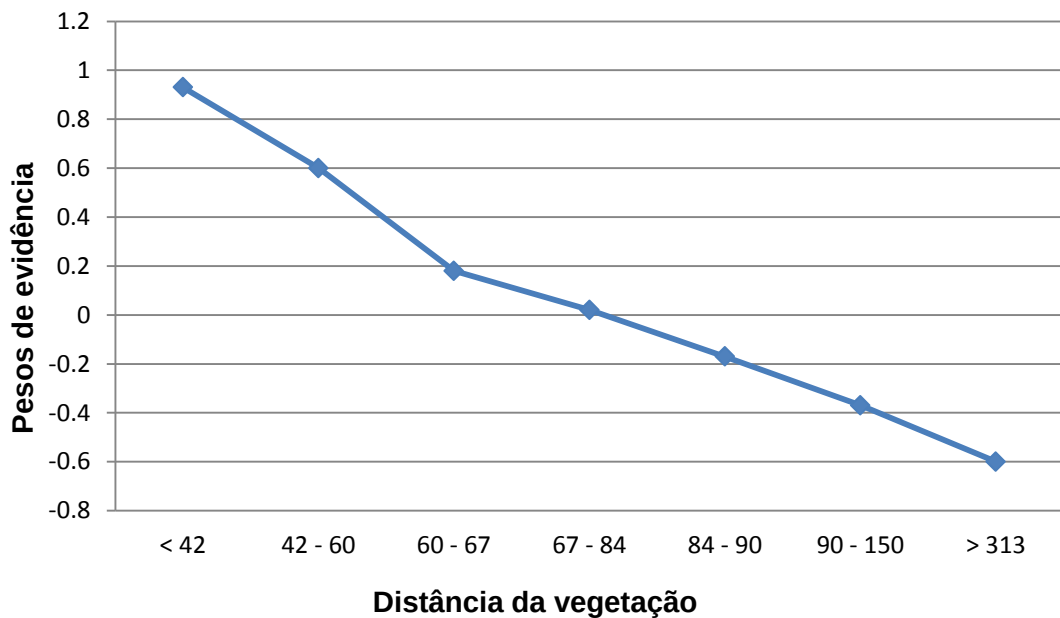


Gráfico 3 – Pesos de evidência da variável dinâmica distância (m) da vegetação.



Percebe-se com a análise do **Gráfico 2**, da variável estática de declividade, que declividades do terreno abaixo de 13% apresentam pesos de evidência negativos (W-), fator que desfavorece a transição. Declividades acima de 13% possuem peso de evidência positivo (W+), indicando que a transição cada vez mais

é favorável ao passo que o terreno é mais declivoso. Portanto, regiões escarpadas e montanhosas tendem a favorecer a regeneração da vegetação sobre áreas até então utilizadas para usos agropecuários.

Quanto ao **Gráfico 3** que apresenta a variável dinâmica de distância da vegetação referente ao ano de 1986, percebe-se que as menores distâncias entre os fragmentos florestais apresentam pesos positivos ($w+$) favorecendo assim a regeneração da vegetação. Distancias a partir da faixa de 67 a 84 metros passam a apresentar progressivamente pesos de evidência negativos ($W-$), desfavorecendo a ocorrência de transição.

Os pesos de evidência indicam, portanto, a ocorrência de regeneração da vegetação principalmente em áreas mais declivosas e ao entorno da vegetação já existente.

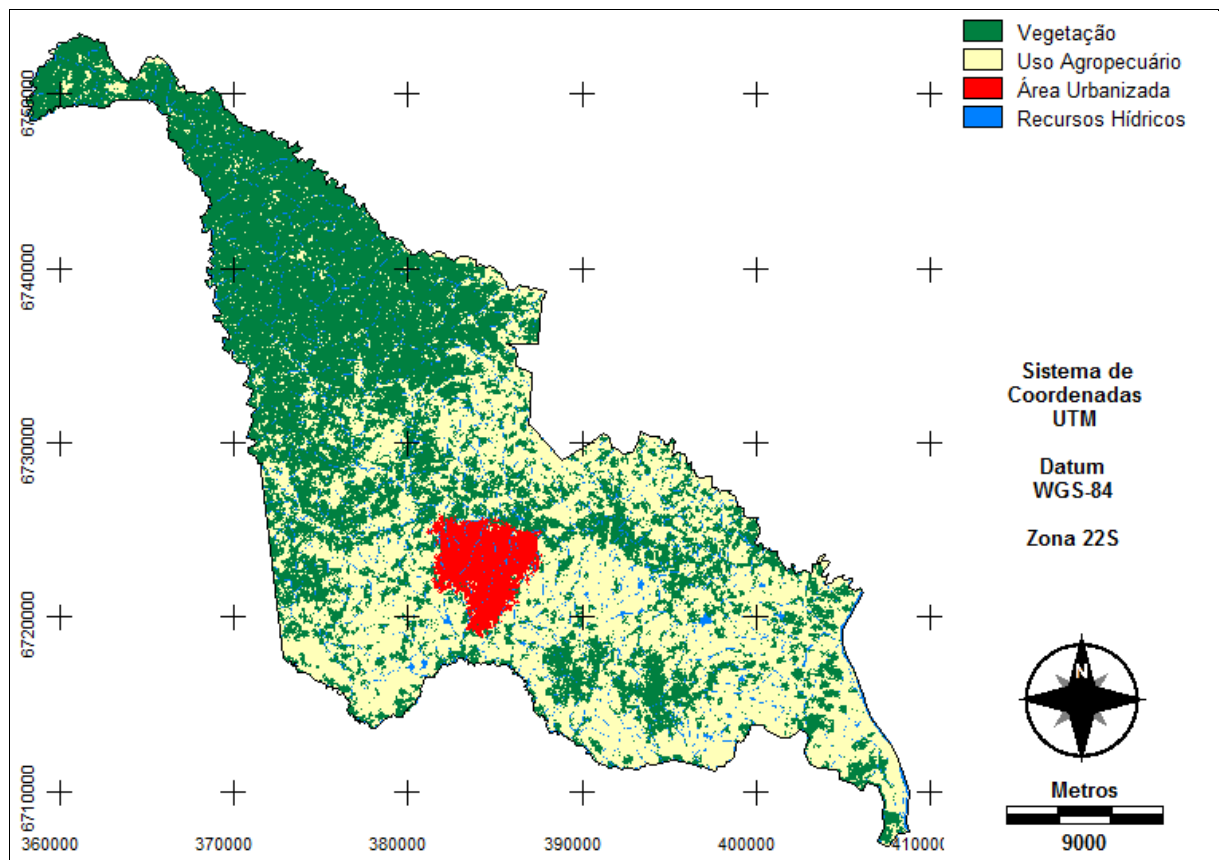
Para a geração de um mapa simulado da cobertura da terra, o próximo passo consistiu em adequar os melhores parâmetros de percentual de *Expander* em relação à *Patcher*, tamanho médio e variação das manchas. Este procedimento visa quantificar a melhor adaptação do tamanho das manchas de transição de vegetação sobre usos agropecuários, medido em hectares (ha). Os parâmetros foram adequados também para a outra transição modelada, de expansão da área urbanizada sobre as classes de vegetação e usos agropecuários. Foram realizadas 16 simulações com diferentes valores.

Os parâmetros do modelo que gerou os melhores resultados podem ser verificados na **Tabela 14**. A **Figura 14** apresenta o mapa de cobertura da terra simulado para o ano de 2014.

Tabela 14 – Parâmetros do melhor modelo para simulação das transições.

Funções de Transição	Transição - vegetação sobre uso agropecuário	Transição - área urbanizada sobre vegetação e uso agropecuário
Isometria	0,1	0,1
% de <i>Expander-Patcher</i>	0,9	1
Tamanho médio das manchas (ha)	3	1
Variância das manchas (ha)	0,8	0,4

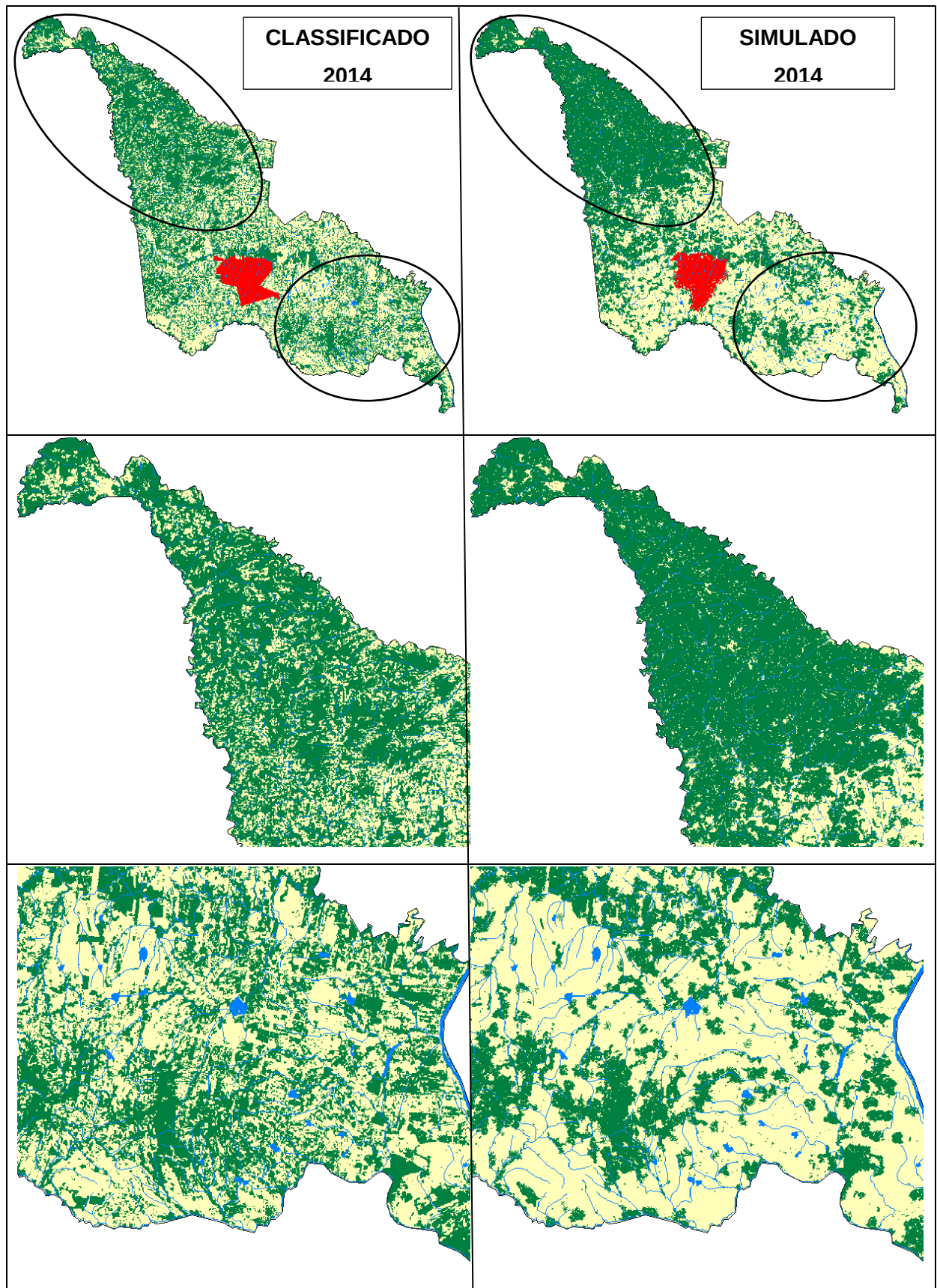
Figura 14 – Mapa simulado de uso e cobertura da terra do ano de 2014.



Analisando visualmente o mapa simulado para 2014 percebe-se que na região noroeste, local com as maiores altitudes e declividades do município, o mapa de uso e cobertura da terra de 2014 simulado registrou excesso de regeneração da vegetação se comparado com o mapa da classificação do mesmo ano. Em contrapartida, na região sudeste, mais plana e com altitudes menores, o mapa simulado não registrou bem a regeneração da vegetação. A comparação visual pode ser verificada com detalhes na **Figura 15**.

Mesmo que visualmente o mapa simulado para o ano de 2014 não corresponda *pixel a pixel* com o mapa resultante da classificação supervisionada, ainda traz padrões espaciais similares dentro de certa vizinhança, havendo ainda as validações matemáticas.

Figura 15 – Comparações entre mapas classificado e simulado de 2014.



Matematicamente, os resultados da simulação foram avaliados pelo método de Ajuste por Múltiplas Resoluções (F) que realizou a comparação dos mapas de 2014, classificado e simulado (CONSTANZA, 1989). A simulação foi avaliada também pela medida de similaridade *Fuzzy*, a qual relaciona os mapas de diferença entre a cobertura da terra de 1986 e 2014, com o mapa de diferença entre a cobertura de 2014 classificada e simulada, calculada em dois sentidos por uma função de decaimento exponencial (HAGEN, 2003).

Silva, Eckhardt e Rempel (2011) encontraram valores de Ajuste por Múltiplas Resoluções (F) de 0,9142 em janela de varredura de 1x1 *pixel*. Ainda nessa janela de análise, o índice de *Fuzzy* dos mesmos autores resultou no valor de 0,5358, enquanto Ferrari (2008) obteve na janela 3x3 o valor de 0,4484 no índice *Fuzzy*. Trabalhos estes realizados para modelos de simulação da dinâmica do uso e cobertura da terra.

Na **Tabela 15**, estão relacionados os índices **F** e **S**, em cinco níveis de janela de varredura de *pixels*, na avaliação do resultado simulado para o mapa final do período de 2014.

Tabela 15 – Validação do melhor modelo por Ajuste por Múltiplas Resoluções e índice *Fuzzy*.

Janela de Varredura (<i>pixels</i>)	F	S
1 X 1	0,9171	0,4924
3 X 3	0,9339	0,5831
5 X 5	0,9448	0,6159
7 X 7	0,9487	0,6325
9 X 9	0,9503	0,6413

F – Ajuste por Múltiplas Resoluções; S – Medida de Similaridade *Fuzzy*.

Após as avaliações do mapa simulado da cobertura da terra de 2014 e a comparação com o mapa classificado do mesmo ano, conclui-se que a simulação apresenta aceitável correspondência. Algumas limitações do modelo podem ser resultantes do acúmulo de erros do processo, calibrações inadequadas ou variáveis não consideradas.

Portanto, o processo da modelagem ambiental apresenta erros, distorcendo transições ocorridas, por omissão ou comissão. Erros de omissão acontecem quando uma transição ocorre na paisagem real, mas o modelo não os representa na simulação. Já os erros de comissão são aqueles onde uma transição é simulada no modelo, mas não aconteceu de fato no cenário real.

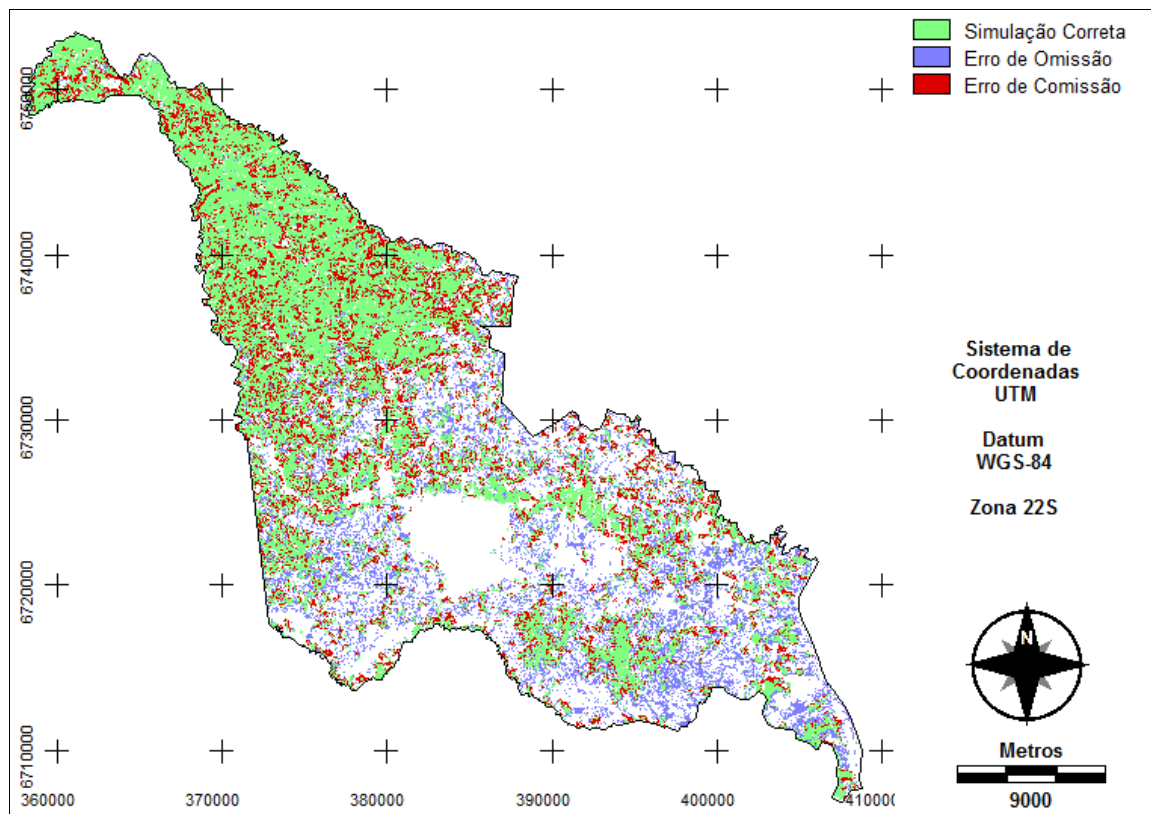
A **Tabela 16** e a **Figura 16** indicam os erros de omissão e comissão, assim como os locais simulados corretamente, resultantes da tabulação cruzada dos mapas do ano de 2014, classificado e simulado.

Tabela 16 – Matriz de erros dos mapas de classificação (colunas) e simulação (linhas) de 2014.

Classes de cobertura	1	2	3	4	5	Total de pixels	Erro de comissão
1	2003773	0	0	0	0	2003773	0,0000
2	0	301311	114197	1409	0	416917	0,2773
3	0	113336	258139	3540	0	375015	0,3117
4	0	2282	2667	23537	0	28486	0,1737
5	0	0	0	0	38389	38389	0,0000
Total de pixels	2003773	416929	375003	28486	38389	2862580	
Erro de omissão	0,0000	0,2773	0,3116	0,1737	0,0000		0,0829

1 – Background; 2 – Vegetação; 3 – Uso Agropecuário; 4 – Área Urbanizada; 5 – Recursos Hídricos.

Figura 16 – Mapa de erros de omissão e comissão da simulação de 2014.



Verifica-se na análise, certa disparidade observada entre a classificação supervisionada e a simulação, com maior concentração de erros de comissão nas partes mais elevadas e declivosas, a noroeste do município, assim como erros de omissão em maior número nas partes mais baixas e planas. Tal fato converge com a influência das variáveis utilizadas, declividade (estática) e distância (dinâmica), as quais influenciam na magnitude e localização das mudanças. Isto porque, com estas variáveis, o modelo tende a simular em áreas mais declivosas a transição de uso agropecuário para vegetação, bem como, não simular essa transição nas áreas planas com fragmentos iniciais mais distantes.

Porém cabe lembrar que outras variáveis, como as de cunho político e econômico, também influenciam significativamente na dinâmica da paisagem do município de Venâncio Aires. Variáveis estas, sem a possibilidade de serem incluídas na modelagem do presente trabalho. Ainda assim, a simulação apresenta nível aceitável de similaridade, comprovado pelos índices matemáticos obtido na etapa de validação.

Dessa forma, para simulação do cenário futuro foram utilizados os mesmos parâmetros calibrados para o período de 1986 a 2014. Foi então substituído o mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1986, pelo mapa do ano de 2014, como entrada inicial no sistema e definido cinco passos de tempo, cada um representando um período de dois anos. Assim o *software* Dinâmica realizou a simulação de um período equivalente a dez anos, resultando no mapa de uso e cobertura da terra do município de Venâncio Aires, RS para o ano de 2024, o qual pode ser observado na **Figura 17**.

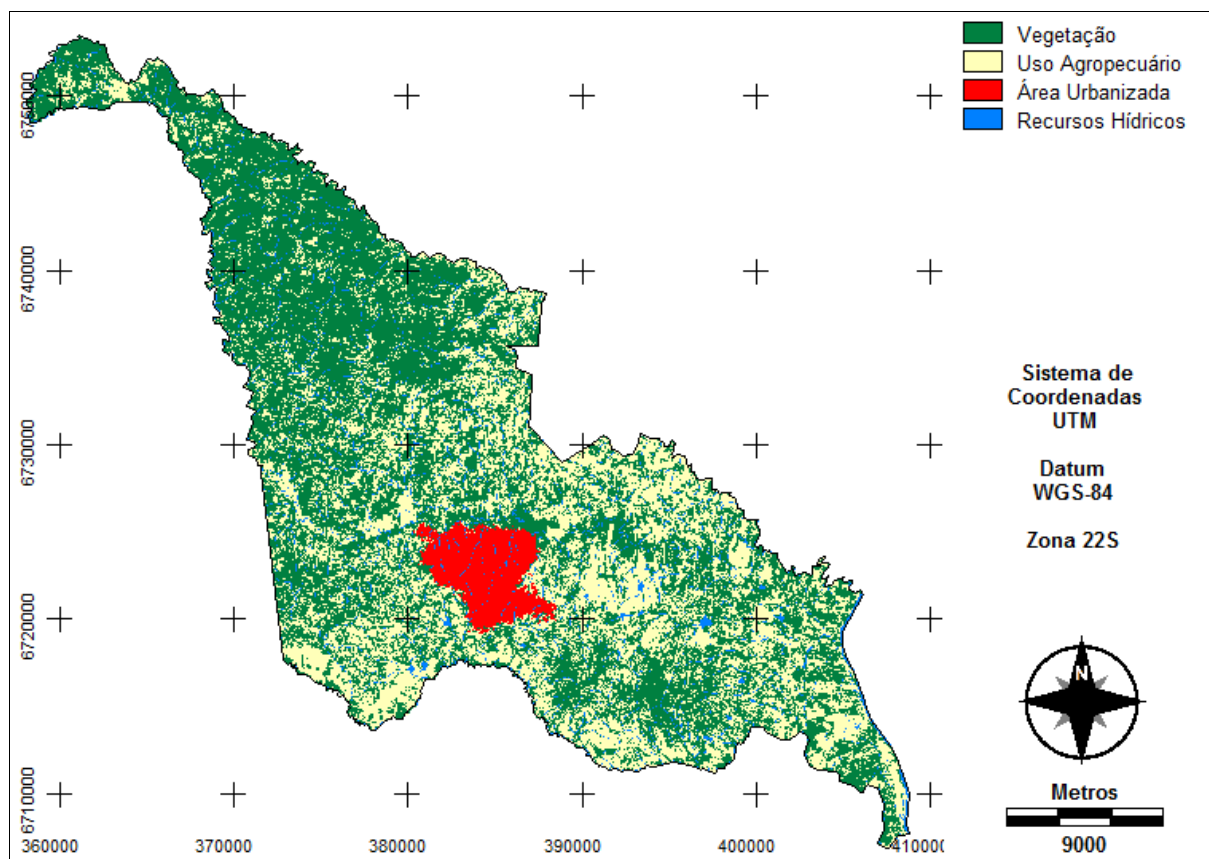
Os resultados indicam que, se mantidas as atuais tendências da dinâmica da paisagem no município de Venâncio Aires, RS, a projeção para o futuro cenário das classes de uso e cobertura da terra estudadas, apontam para a continuidade da expansão da vegetação em áreas antes usadas para fins agropecuários, bem como continuará a expansão da área urbanizada sobre as classes de vegetação e usos agropecuários.

A **Tabela 17** apresenta os dados de ocupação das classes de uso e cobertura da terra em km² e em percentuais, calculados para o ano de 2024, a partir do modelo de simulação.

Tabela 17 – Uso e cobertura da terra simulada para Venâncio Aires no ano de 2024.

Cobertura da terra	Área (km²)	%
Vegetação	426,05	55,12
Uso Agropecuário	283,47	36,68
Área Urbanizada	28,85	3,73
Recursos Hídricos	34,55	4,47
Total	772,92	100

Figura 17 – Mapa simulado de uso cobertura da terra para o ano de 2024.



A expansão da vegetação, foco principal abordado neste estudo, foi baseada nas variáveis físicas, simulando como vetores de transição a declividade do terreno e as distâncias entre os fragmentos da vegetação. O modelo simulado mostra que no ano de 2024 a vegetação ocupará mais da metade do território do município de Venâncio Aires, atingindo 55,12% da área total.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve seus objetivos principais guiados por duas linhas de estudo, a análise temporal e a modelagem dinâmica espacial, ambas voltadas à temática da paisagem do município de Venâncio Aires, separada em quatro classes de uso e cobertura da terra: vegetação, uso agropecuário, área urbanizada e recursos hídricos. Sabe-se que a paisagem é significativamente afetada pela ação antrópica o que torna importante a realização de um planejamento adequado das atividades que impactam o meio ambiente, especialmente a vegetação, foco principal deste trabalho.

A análise temporal da paisagem, realizada a partir de imagens de satélite dos anos de 1986 até 2014, empregando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, permitiu contextualizar a paisagem do município situando-a no tempo e no espaço, com a geração de mapas e tabelas que apresentam os usos e cobertura da terra do município. Foi possível diagnosticar que a vegetação vem se expandindo sobre áreas antes utilizadas para usos agropecuários. Concluiu-se que os vetores físicos que contribuem para as mudanças da paisagem são as variáveis de declividade do terreno e de distância entre os fragmentos de vegetação pré-existentes. Percebeu-se ainda, que além dessas variáveis físicas, existem outras variáveis que estão contribuindo para o incremento da vegetação, como o êxodo rural.

A modelagem dinâmica espacial realizada neste trabalho, como uma sequência da análise temporal, obteve a calibração de um modelo dinâmico de

simulação das transições da paisagem, efetuado no *software* Dinâmica. Este modelo permitiu adequar parâmetros que simularam as transições ocorridas de 1986 a 2014, e assim, possibilitou simular um cenário futuro para o ano de 2024. O resultado da simulação deste cenário futuro mostrou a continuidade do incremento da vegetação, que representará, em 2024, mais da metade das classes de uso e cobertura da terra estudadas neste trabalho, caso mantenham-se as atuais tendências de transição.

A partir deste trabalho pôde-se perceber ainda, a vastidão dos temas abordados, despertando o interesse pelos mesmos, sabendo que há muito campo para pesquisa, com possibilidade de serem realizadas diversas outras linhas de estudos importantes, em diferentes focos, como estudo de áreas urbanas, desmatamentos, e muitos outros, especialmente na área da modelagem ambiental. Ressalta-se também o desafio que foi trabalhar com modelagem, principalmente quando se está iniciando nessa área de conhecimento, estando ciente que a mesma pode ser mais aprofundada, sempre visando o aperfeiçoamento de modelos que possibilitem a melhor simulação possível das mudanças ambientais.

E para este trabalho, sob a ótica dos objetivos traçados, conclui-se que o estudo atingiu com êxito a realização da análise temporal e da modelagem dinâmica espacial das classes de uso e cobertura da terra do município de Venâncio Aires, RS, com resultados aceitáveis, validados de forma visual e matemática ao longo de suas etapas. Os produtos finais resultaram na espacialização das características e comportamentos da paisagem do município. Dessa forma, este estudo pode contribuir para tomadas de decisões, realização de futuros estudos da área, e elaboração de programas que visem o manejo adequado da terra e à conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. **Modelagem da Dinâmica Espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento:** simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. Tese de doutorado do curso da pós-graduação em sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/teses/tese_claudia.pdf>. Acesso em 28 set. 2014.

BASTIAN, O. **Landscape Ecology:** towards a unified discipline? Landscape Ecology, 2001.

BATTY, M. **Urban Modeling:** algorithms, calibrations, predictions. Cambridge: Cambridge University Press, 1976.

BERTRAND, G. **Paysage et Géographie Physique Globale.** Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, v.39, n.3, 1968.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists:** Modelling With GIS. New York: Pergamon, 1994.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change:** theoretical and modeling approaches. 2000. Departamento of Geography, University of Aegean. Lesvos, 2000. Disponível em: <<http://rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents/htm>>. Acesso em 28 set. 2014.

- BURROUGH, P. A. **Dynamic modelling and geocomputation**. In: Longley, P. A.; Brooks, S. M.; McDonnell, R.; MacMillan, B. ed. *Geocomputation: a primer*. Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- CALIJURI, M. C; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- CAROL, H. **Zur Diskussion um Landschaft und Geographie**. *Geographica Helvetica*, 11, 111-32, 1956.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999.
- CONSTANZA, R. Model Goodness of fit: a multiple resolution procedure. **Ecological Modelling**, v.47, 1989.
- EASTMAN, J. R. **Manual do Usuário**. Idrisi for Windows 2.0. Porto Alegre: Centro de Recursos Idrisi, Brasil. 1998.
- FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf. Acesso em 20 set. 2014.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- GIOTTO, E. **Aplicabilidade de Imagens RVB do LANDSAT 3 em levantamento do uso da terra no município de Tapera – RS**. 1981. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 1981.
- HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n.3, 2003.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS)-IB-Centro de Ecologia. Escala 1:50.000. 1 DVD- ROM (Série Geoprocessamento, 3).

HUANG, C.; TOWNSHEND, J. R. G.; XIWU, Z.; HANSEN, M.; DEFRIES, R.; SOHLBERG, R. **Detecting landcover changes based on their trajectories in the spectral space**. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, IEEE International, vol 5, 2000.

HUETE, A. R. **Adjusting Vegetation índices for soil influences**. International Agrophysics. v. 4, n. 4, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. 2014. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=432260&search=rio-grande-do-sul|venancio-aires|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>>. Acesso em 29 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra: Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul**. 2014. Disponível em:

<ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/usoterra_rs.pdf>. Acesso em 29 set. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Apostila Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2014. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em 30 set 2014.

ITT Visual Information Solutions. **Guia do Envi em português**. SulSoft. 2014. Disponível em: <<http://www.envi.com.br/>>. Acesso em 30 set. 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, 2009.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. New York, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MCGARIGAL, K; MARKS, B. J. **Fragstats**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VENÂNCIO AIRES (PMVA). **Município**. Venâncio Aires: 2014. Disponível em:
<<http://www.pmva.com.br/site/home/pagina/id/63/?Dados-do-Municipio.html>>.
Acesso em 28 set. 2014.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental**: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília: MMA, 2007. Disponível em:
<<http://modal.cetesb.sp.gov.br/portal/index.php?livros>>. Acesso em 14 set. 2014.

SILVA, J. F.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. **Análise temporal e modelagem ambiental da cobertura florestal nativa do município de Roca Sales – RS**. Centro Universitário UNIVATES, 2011.

SOARES FILHO, B. S. **Análise de Paisagem**: fragmentação e mudanças. Belo Horizonte, MG: Departamento de Cartografia, Centro de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências UFMG, 1998. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/>>.
Acesso em 14 set. 2014.

SOARES FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; VERA DIAZ, M. D. C.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. **Simulation the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: The Santarém-Cuiabá Corridor**. Global Change Biology, v. 10, 2004.

SOARES FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. **Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular**. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007.

STEFFEN, C. A. **Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. 1996, Salvador. São Jose dos Campos, SP: INPE, 1996.

VOGT, O. **Abrindo o baú de memórias: O museu de Venâncio Aires conta a história do município**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2004.

WEGENER, M.; GNAD, F.; VANNAHME, M. **The Time scale of urban form**. In: HUTCHINSON, B.; BATTY, M. (Ed.). Advances in urban systems modeling. Amsterdam: Elsevier, 1986.

WOLFRAM, S. **Statistical mechanics of cellular automata**. Review of Modern Physics, v. 55, 1983.