

Universidade Federal do Triângulo Mineiro



Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental

Dissertação de Mestrado

MODELAGEM DA CONSERVAÇÃO DAS PASTAGENS E SEU
IMPACTO NA QUALIDADE HÍDRICA A PARTIR DE QUADRADOS MÍNIMOS PARCIAIS

Autor (a): Caroline Fávaro Oliveira

Orientador (a): Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior

Uberaba - MG

2019

Caroline Fávaro Oliveira

Modelagem da conservação das pastagens e seu impacto na
qualidade hídrica a partir de quadrados mínimos parciais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Júnior

Uberaba - MG

2019

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

O46m Oliveira, Caroline Fávaro
Modelagem da conservação das pastagens e seu impacto na
qualidade hídrica a partir de quadrados mínimos parciais / Caroline
Fávaro Oliveira. -- 2019.
50 f. : il., fig., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019
Orientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Júnior
Coorientador: Prof. Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira

1. Pastagens. 2. Solo - Uso. 3. Degradação ambiental. 4. Escoa-
mento. I. Valle Júnior, Renato Farias do. II. Universidade Federal do
Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 633.2.033

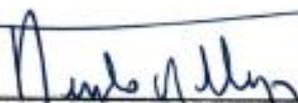
CAROLINE FÁVARO DE OLIVEIRA

MODELAGEM DA CONSERVAÇÃO DAS PASTAGENS E SEU IMPACTO NA
QUALIDADE HÍDRICA A PARTIR DE MÍNIMOS QUADRADOS PARCIAIS

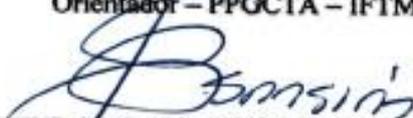
Dissertação apresentada à Universidade
Federal do Triângulo Mineiro, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção
do título de mestre.

Aprovada em 02 de julho de 2019

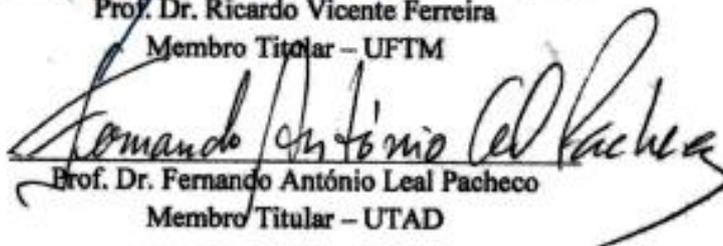
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Renato Farjas do Valle Junior
Orientador – PPOCTA – IFTM



Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira
Membro Titular – UFTM



Prof. Dr. Fernando Antônio Leal Pacheco
Membro Titular – UTAD

Dedico ao meu “quase” marido por me incentivar a ser uma pessoa melhor em todas as dimensões.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial a minha mãe, Cidoca e ao meu irmão Chris, que se fazem sempre presentes tornando a minha rotina mais leve. Ao meu irmão Dantinho por ser fonte de inspiração pela inteligência que tem e ao meu pai, Dante, pelo estímulo a minha independência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Farias do Valle Júnior, pelo apoio, incentivo e amizade, e aos meus professores, Dr. Júlio Gonçalves e Dr. Deusmaque Ferreira pela dedicação ao nosso aprendizado. A professora Dra. Teresa Pissarra por ser esta profissional em quem eu possa me espelhar, mulher pioneira respeitada e admirada por sua atuação.

Aos professores que constituíram a banca de qualificação, Dr. Ricardo Ferreira e Dra. Maytê Silva e a defesa de tese, em especial ao Dr. Fernando Pacheco, pelas orientações e correções preciosas ao meu trabalho e pela amizade concedida.

Aos colegas, Vinícius Rodrigues pela ajuda no entendimento das teorias para escrita do meu artigo e Pedro Lopes Silva por ter sido meu exemplo acadêmico ao longo do curso, sem os quais este trabalho não seria possível.

À Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM por ofertar este curso de qualidade e coordenação e secretaria do PPGTA – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, na pessoa da Luciana Martins que me atendeu durante todo o tempo com paciência e incentivo.

A Mosaic Fertilizantes S/A em especial aos meus gestores Camilo Silva, Antônio Schettino e Paulo Eduardo Batista Silva, que permitiram que eu conciliasse meu tempo de trabalho com estudo. Aos meus colegas e equipe que tornaram minha ausência possível.

As minhas amigas irmãs Ana Thereza, Kelly, Nayana (e ainda revisora), Silvana e Taciana por estarem ao meu lado, minha fonte de terapia grátis. A Mariana, Haüy, Míriam e Helcio e famílias por compartilharem momentos leves e felizes ao longo destes dois anos.

Finalmente, com todo meu amor, ao meu noivo, Carlos Valera por me cuidar nos dias de fraqueza, por comemorar os dias bons e em especial por ouvir e participar das reflexões sobre o que realmente importa nesta vida.

“Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade através de muito trabalho.”

Clarice Lispector

RESUMO

A degradação das pastagens representa um problema socioeconômico e ambiental ao equilíbrio dos ecossistemas. O desrespeito à aptidão associada a práticas de manejo inapropriadas podem intensificar os processos de degradação, deixando as áreas susceptíveis aos processos erosivos que também são importante fonte de degradação dos cursos d'água. Com o avanço da pecuária no Brasil houve um aumento expressivo nas áreas ocupadas por pastagens, assim é importante entender os fatores contribuintes para a conservação desta cultura e seu impacto na qualidade da água. A área de estudo foi a APA – Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba, localizada em Minas Gerais – Brasil, sendo realizado diagnóstico por meio da tabulação cruzada e modelagem de uso da terra através dos quadrados mínimos parciais que indicaram a relação entre os diferentes fatores estudados e sua contribuição para conservação da terra e da qualidade da água. Este tipo de modelagem é bastante antigo, mas seu uso tornou-se mais comum nos últimos dez anos, sendo inovador na area ambiental, demonstrando-se vantajoso na interpretação de resultados, destacando os índices da matéria orgânica ($w=1,023$), que se relaciona com a estabilidade dos agregados dos solos a influenciar a susceptibilidade à erosão, ao conflito ($w=1,000$) que se associa ao desrespeito da aptidão de uso dos solos e a fração textural. A conservação da pastagem influencia na qualidade hídrica ($\beta = 0,800$), o qual se destacam o potencial de oxirredução ($w= 0,743$) e o potencial hidrogeniônico ($w=0,029$). A modelagem realizada pode auxiliar o direcionamento dos esforços protetivos para os fatores preponderantes na conservação das pastagens

Palavras-chave: aptidão, conflito, degradação, escoamento superficial e uso da terra.

ABSTRACT

Pasture degradation represents a socioeconomic and environmental problem to the balance of ecosystems. The disrespect for land use suitability that is associated with inappropriate management practices may intensify degradation processes, which may leave areas susceptible to erosion which is also an important source of degradation of rivers and streams. With the advancement of cattle ranching in Brazil, there has been a significant increase in the areas occupied by pastures, so it is important to understand the contributing factors for the conservation of these pastures and the impact they have on water quality. The area of study selected was the EPA – Environmental Preservation Area along the Uberaba River, which is in Minas Gerais – Brazil. The diagnosis was made using cross tabulation and land use modeling through the partial least squares that indicated the relationship between the different factors studied and their contribution to soil conservation and water quality. The modeling carried out can help to orientate the protective efforts to the predominant factors in the conservation of pastures, with emphasis on the maintenance of organic matter indexes ($w = 1.023$), which is related to the stability of the soil aggregates that influence the susceptibility to erosion, to land use conflict ($w = 1,000$), in this way, the absence of conservation and cover practices has favored the transport of sediments by surface runoff. Pasture conservation influences surface water quality ($\beta = 0.800$), which highlights the oxidation potential ($w = 0.743$) and the potential hydrogen ($w = 0.029$).

Key words: degradation, land suitability, land use, land use conflict, runoff

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da APA do Rio Uberaba. -----	23
Figura 2 – Modelos PLS -----	28
Figura 3 – Rede amostral da APA do Rio Uberaba -----	31
Figura 4 – Mapa de Uso do Solo da APA do Rio Uberaba-----	33
Figura 5.1 – Análise de conflito do uso da terra nas áreas de pastagens da APA do Rio Uberaba: a) formações geológicas; b) pastagem degradada por geologia.. --	34
Figura 5.2 – Análise de conflito do uso da terra nas áreas de pastagens da APA do Rio Uberaba: a) Capacidade da Terra (Aptidão); b) Uso Atual; c) Classes de conflito.-----	35
Figura 6 – Pastagens degradadas em áreas de conflito na APA do Rio Uberaba --	36
Figura 7 – Representação gráfica dos parâmetros selecionados para PLS na APA do Rio Uberaba -----	38
Figura 8 – Representação do modelo estrutural formativo gerado -----	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Referências utilizadas para formação do banco de dados-----	24
Tabela 2 –Códigos de classificação de usos naturais e reais da terra utilizados para análise dos conflitos -----	25
Tabela 3 –Conflito ambiental de uso do Solo -----	26
Tabela 4 – Cobertura espacial por pastagens degradadas com e sem conflito ambiental -----	37
Tabela 5 – Valoração do modelo estrutural, coeficiente de determinação (R ²) -----	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS DESTE TRABALHO	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2.1 USO DA TERRA E DA ÁGUA	17
2.2 PASTAGENS NO BRASIL.....	17
2.3 APTIDÃO E CONFLITO NO USO DA TERRA	18
2.4 ÁREA PROTEGIDA E PRINCÍPIO DO POLUIDOR PAGADOR	19
2.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS E ESTATÍSTICA.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS	23
3.3 ANÁLISE DO CONFLITO DO USO DA TERRA AMBIENTAL E RISCO DE DEGRADAÇÃO DA TERRA.....	25
3.4 TABULAÇÃO CRUZADA.....	27
3.5 QUADRADOS MÍNIMOS PARCIAIS - MODELAGEM DE CAMINHOS.....	27
3.6 PREPARAÇÃO DE CONJUNTOS DE DADOS PARA PLS.....	30
4. RESULTADOS	33
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	42
6. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

O uso da terra nem sempre é feito de acordo com sua aptidão, os sistemas produtivos que não utilizam práticas de manejo adequadas podem ocasionar a degradação da terra. A agropecuária extensiva, amplamente utilizada no Brasil, deixa as áreas de pastagens mais susceptíveis à degradação. Os processos erosivos nas pastagens são importante fonte de degradação dos cursos d'água, pois o aporte de sedimentos destas áreas leva ao assoreamento destes cursos ocasionando redução de quantidade e qualidade de água. O geoprocessamento é uma ótima ferramenta para mapear as áreas com potencial de degradação o que pode direcionar e facilitar as atividades de fiscalização em campo para checagem do real estado de conservação das áreas e caso o mau uso seja confirmado recomendar a aplicação de sanções previstas. De acordo com Valera et al (2017), na doutrina do direito o princípio do poluidor pagador avalia se o uso dos recursos naturais, ao longo do ciclo produtivo implica na geração de impactos ou poluição e degradação ambiental, considerando os custos ecológicos associados para compensação a sociedade, o que requer a imposição de responsabilidades ambientais aos proprietários das terras que porventura ocasionarem dano ao meio ambiente em seu processo produtivo.

No Brasil, as pastagens ocupam uma área de 173 milhões de hectares, das quais 117 milhões são utilizadas para a pecuária extensiva e destas 70% possuem algum tipo de degradação em estágio avançado (EMBRAPA, 2017). O cerrado contempla a maior parte desta área, com aproximadamente 34% do rebanho nacional. Embora tenham aumentado as áreas de agropecuária com técnicas conservacionistas, os estudos sobre a cobertura vegetal e preparação da terra nos processos erosivos ainda são pouco expressivos (ALMEIDA, 2016). A substituição de ecossistemas nativos por sistemas produtivos pode acarretar alterações ambientais como a degradação da terra. Conhecer as características e propriedades da terra contribui para aprimorar o manejo e utilização das áreas (SANTOS et al., 2010). Neto (2013), define pastagem degradada como área que passou por substituição da vegetação natural por pastagem, com utilização a aproximadamente dez anos como pastagem para bovinos sem controle de ocupação, mas com controle mecânico de pragas, com moderada infestação por plantas invasoras e com pastagem definindo. É importante relacionar a degradação das pastagens com a degradação dos solos através de

metodologias rápidas e práticas. A identificação de pastos em estágios diferentes de degradação associados às características da terra é útil para proposição de modelos quantificadores da degradação ambiental, auxiliando na tomada de decisão em ações de curto, médio e longo prazo (VIRÁGH et al., 2011). Os processos erosivos são um grave problema na conservação das bacias hidrográficas podendo influenciar nos resultados da produção agrícola, pela perda dos nutrientes da terra e no suprimento de água, ocasionando redução da disponibilidade hídrica pelo assoreamento dos reservatórios (VALLE JÚNIOR et al., 2010). Os limites físicos da bacia hidrográfica são considerados ideais para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais, no que se refere ao manejo e conservação da terra e da água, em áreas agrícolas e florestais (PISSARRA, 2004). De acordo com a Embrapa (1982), a análise de aptidão visa avaliar as condições agrícolas das terras, considerando o meio ambiente, as propriedades químicas e físicas para as diferentes classes de solo e a viabilidade de melhoramento de cinco qualidades básicas das terras: fertilidade natural, excesso de água, deficiência de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas. A análise das condições agrícolas das terras é feita em função da Fertilidade Natural, Escassez de Água, Excesso de Água, Susceptibilidade à Erosão e Impedimentos à Mecanização. A influência destes atributos no desenvolvimento e na manutenção da produtividade de diversas culturas climaticamente adaptadas é considerada como limitação para o uso da terra. O uso natural da terra ocorre de acordo com o conjunto de suas características físicas, químicas e estruturais. Os usos antrópicos nem sempre respeitam estas condições (aptidão) ocasionando os conflitos ambientais de uso da terra, que muitas vezes são associados a processos de perdas de solo e degradação (VALERA, 2017). A perpetuação de pastagem e solos degradados, impactam o meio ambiente e por isto, na legislação brasileira, a degradação da terra é considerada dano ambiental (Artigo 3º da [Lei Federal nº 6938/81](#)), sendo que o autor tem responsabilidade legal sobre o dano e sua reparação (número 3 parágrafo terceiro, artigo 225 da Constituição Federal e número 1 parágrafo primeiro, do artigo 14 da Lei Federal nº 6.938 / 81), através do "princípio do poluidor-pagador" que insere nas práticas produtivas os custos ecológicos associados, evitando o apoio indiscriminado desse ônus por toda a sociedade (VALLE JR. et al, 2019). Fernandes, 2018 considera que a interação dos processos naturais e antrópicos com o meio ambiente podem resultar em distúrbios nos ecossistemas incluindo poluição e degradação como as mudanças do uso da terra e

processos erosivos superficiais entre outros. O uso de pastagens degradadas pressiona a expansão desta cultura em outras áreas para ampliar a oferta de carne, aumentando os custos de produção, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) no pastoreio e erosão e assoreamento de cursos d'água (BALBINO, 2011).

O grande número de variáveis que podem estar associados a estes distúrbios e degradações ambientais e ainda estas variáveis podem ser afetadas entre si, podendo haver um complexo efeito em cascata nos impactos ambientais de difícil entendimento e prevenção. Assim, propõe a modelagem estatística multivariada através do uso de técnicas de regressão PLS-PM Partial Least Squares – Path Modeling (PLS-PM), que com facilidade ilustra de uma só vez a relação entre variáveis num modelo complexo. Este tipo de modelagem é bastante antigo, mas seu uso tornou-se mais comum nos últimos dez anos, sendo inovador seu uso na área ambiental, demonstrando-se vantajoso na interpretação de resultados. As variáveis latentes PLS_PM podem estar associada a pressão, contaminação e integridade ecológica, a mensuração destas permitem compreender um amplo número de parâmetros, como perda da terra, risco de incêndio, densidade populacional bem como descrever as pressões que os ecossistemas estão sujeitos. As variáveis latentes podem estar conectadas entre si em diferentes caminhos e o PLS-PM permite analisar a relação entre elas. O uso deste tipo de modelagem, embora muito robusto e atualmente de fácil aplicação com o uso do software PLS-PM, começou a ser utilizado nos últimos anos nas ciências sociais e econômicas, mas ainda não é muito usada em estudos ambientais e portanto a modelagem ambiental é em si uma inovação.

1.1 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

Este trabalho visa modelar a conservação da pastagem e seu impacto na qualidade das águas superficiais com o uso do PLS-PM na Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba (APA), e avaliar as interações espaciais das variáveis contribuintes à qualidade hídrica nas bacias hidrográficas.

Utilizar as técnicas de geoprocessamento, no que concerne a análise cruzada, e modelagem através dos quadrados mínimos parciais, para realizar o diagnóstico da aptidão e uso da terra em áreas de pastagem degradada como ferramenta para avaliação do impacto na qualidade hídrica.

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso desta modelagem justifica-se para entender os fatores contribuintes para a conservação das pastagens sendo adequado no auxílio da elaboração de políticas públicas que proponha padrões restritivos para os parâmetros associados a degradação, bem como para indicar os parâmetros que devem ser priorizados no incentivo a conservação de uso da terra em áreas de pastagens e consequentemente melhoria da qualidade hídrica das bacias em que está inserido.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO

2.1 USO DA TERRA E DA ÁGUA

As atividades antrópicas diagnosticadas em cada área refletem as práticas de gestão do território, que, segundo Valle Junior (2008), tem grande impacto sobre os ecossistemas e os recursos naturais, incluindo a água e o solo. Este conjunto de atividades é combinado com padrões que fazem parte do desenvolvimento da sociedade nos sistemas de produção, no espaço rural, com uma variedade de atividades agrícolas e pecuárias, tais como: cana-de-açúcar, pastagem, eucalipto e culturas anuais (milho e soja), somadas às áreas de matas e várzeas identificadas ao longo da rede de drenagem e em formas de fragmentos de encosta, em cada sub-bacia.

A informação sobre o uso da terra pode ser usada para desenvolver soluções para a gestão de problemas relacionados aos recursos naturais, como, por exemplo, qualidade da água e da terra. O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que a ocupação desordenada causa a deterioração do meio ambiente (VALERA et.al., 2017).

O estado de Minas Gerais, possui extensa rede hídrica, sendo conhecido também como a “caixa d’água brasileira”, os processos erosivos nas pastagens degradadas são importante fonte de degradação dos cursos d’água, pois o aporte de sedimentos destas áreas levam ao assoreamento destes cursos ocasionando redução de quantidade e qualidade de água. O que eleva a importância da identificação das áreas de pastagens degradadas não só para indicação de práticas conservacionistas da terra, mas também para preservação dos cursos d’água que abastecem nosso país (IGAM, 2018).

2.2 PASTAGENS NO BRASIL

A grande extensão territorial e as condições climáticas brasileiras favorecem a produção de bovinos em pastagens. Estes benefícios fazem com que o custo de produção brasileiro seja um dos mais baixos e competitivos do mundo, estimado em 60% e 50% dos custos da Austrália e Estados Unidos, respectivamente (FERRAZ; FELÍCIO, 2010).

As causas de degradação podem ser separadas em degradação agrícola e degradação biológica. A degradação agrícola ocorre pela infestação da área por plan-

tas daninhas e conseqüente redução na capacidade de suporte. Já a degradação biológica ocorre devido ao ambiente em que o solo não é capaz de sustentar a produção forrageira de maneira adequada, o que leva a substituição da pastagem por plantas menos exigentes em fertilidade da terra ou simplesmente áreas de solo descoberto (BALBINO et al., 2011).

A degradação de pastagens gera grandes prejuízos econômicos e ambientais. Entender esse processo e saber como evitá-lo é essencial para aumento da produtividade e redução dos desmatamentos. A degradação da pastagem é um processo de declínio de produtividade que avança com o tempo. Isto é, o nível de degradação da pastagem tende a aumentar, caso nenhuma medida de recuperação seja aplicada. (EMBRAPA, 2017).

2.3 APTIDÃO E CONFLITO NO USO DA TERRA

De acordo com a EMBRAPA, 1982, a análise de aptidão visa avaliar as condições agrícolas das terras, considerando o meio ambiente, as propriedades químicas e físicas para as diferentes classes de solo e a viabilidade de melhoramento de cinco qualidades básicas das terras: fertilidade natural, excesso de água, deficiência de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos ao uso de implementos agrícolas. A análise das condições agrícolas das terras é feita em função da Fertilidade Natural, Escassez de Água, Excesso de Água, Susceptibilidade à Erosão e Impedimentos à Mecanização. A influência destas qualidades no desenvolvimento e na manutenção da produtividade de diversas culturas climaticamente adaptadas é considerada como limitação para o uso da terra.

O uso natural da terra ocorre de acordo com o conjunto de suas características físicas, químicas e estruturais. O conflito de uso da terra é calculado levando em consideração o uso atual da terra e a sua capacidade potencial de uso (aptidão), de acordo com suas características topográficas. As áreas com conflito ambiental apresentam maior vulnerabilidade à contaminação dos seus recursos hídricos, por serem ocupadas por atividades que não levam em consideração a capacidade de suporte de uso da terra. Índices que possibilitam mensurar a pressão das atividades antrópicas sobre a paisagem, como o Índice de transformação antrópica (ITA) associado a vulnerabilidade ambiental, mostram-se eficientes para avaliar o grau de antropização

em uma unidade ambiental analisada (SILVA, 2018). A vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica (Aquino et al., 2017).

2.4 ÁREA PROTEGIDA E APLICAÇÃO DO PRINCÍPIO DO POLUIDOR PAGADOR

No Brasil, a proteção ambiental merece destaque a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de 1992, tema mundialmente notado desde a década de 70, por meio da Declaração de Estocolmo (1972), para identificação de preceitos de proteção ao meio ambiente, sendo este um direito fundamental do ser humano “O homem tem direito fundamental a liberdade, à igualdade e ao desfrute de condições de vida adequada em um meio, cuja qualidade lhe permita uma vida digna e gozar de bem-estar, e tem a solene obrigação de proteger e melhorar esse meio para as gerações presentes e futuras” (OLÍMPIO, 2017).

A Lei Federal nº 9.985, de 2000, denominada Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) definiu que Área de Proteção Ambiental - APA é uma área, em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. A Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba foi criada visando o desenvolvimento sustentável neste local tão importante para o município, manancial da cidade de Uberaba, e atender às demandas para implementação de empreendimentos que visem o desenvolvimento econômico, social e ecológico, interferindo nesse processo a partir do entendimento dos aspectos ambientais que determinam a utilização de recursos e ocupação do território dessa Unidade de Conservação (PLANO DE MANEJO DA APA DO RIO Uberaba, 2018).

De acordo com a doutrina do direito o Princípio do Poluidor Pagador - PPP avalia se o uso dos recursos naturais, ao longo do ciclo produtivo implica na geração

de impactos ou poluição e degradação ambiental e propõe compensações quando identificada alteração adversa ou degradação dos recursos naturais, em especial, solo e água. (VALERA et al, 2017). A modelagem poderá permitir a análise de cenários futuros trazendo um cenário positivo para aplicação do PPP, antecipando os impactos, e através do princípio e dinâmica da precaução incentivar o melhoramento das características da terra por meio de práticas de conservação. Assim, por ter sido aplicado na APA do Rio Uberaba e por se considerar o Princípio do Poluidor Pagador, há possibilidade que este tipo de modelação utilizado seja uma ferramenta de previsão (além de diagnóstico), desde que o modelo seja estatisticamente robusto. Os resultados adiante mostram que os resultados foram robustos e os cenários de conservação da pastagem e recurso hídrico podem ser observados no plano de manejo da APA do Rio Uberaba.

2.5 USO DE GEOTECNOLOGIAS E ESTATÍSTICA

O geoprocessamento é definido como um conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico, sendo que as atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica – SIG (INPE, 2018).

O uso de técnicas de geoprocessamento utilizando os SIG's tem contribuído para a análise integrada do meio ambiente, permitindo um melhor gerenciamento de grandes áreas com rapidez precisão e a custos bem mais baixos quando comparados a levantamento feitos in loco. Por meio da estruturação do banco de dados geográficos, diversas rotinas de apoio à decisão podem ser aplicadas para a geração de novos dados ou mapas. Além disso, a união da tecnologia e dos conceitos e teorias de sensoriamento remoto e geoprocessamento possibilitam a criação de sistemas de informação mais detalhados, sofisticados e atualizados. Os resultados gerados poderão auxiliar no planejamento ambiental, pois pode propiciar maior eficiência e flexibilidade para o tratamento dos dados, com inúmeras aplicações em âmbito gerencial, operacional e estratégico (SILVA, 2018).

Assim, as técnicas de geoprocessamento podem ser utilizadas para identificação de pastagem degradada, onde através de avaliação de imagens de satélites com critérios apurados para avaliação dos diferentes tipos de pixels é possível ma-

pear as áreas com potencial de degradação o que pode direcionar e facilitar as atividades de fiscalização em campo para checagem do real estado de conservação das áreas e caso o mau uso seja confirmado recomendar a aplicação de sanções previstas de acordo com o princípio do poluidor pagador.

A Tabulação Cruzada é uma forma muito básica e simples de análise de dados, bem conhecida em estatística. Quando lidando com números pequenos de valores não numéricos, as tabulações cruzadas são suficientemente simples para se usar e encontrar relações lógicas condicionais e auxiliar na compreensão da relação das variáveis. A tabulação cruzada exibe a frequência conjunta de valores de dados com base em duas ou mais variáveis categóricas. Os dados de frequência conjunta podem ser analisados com a estatística qui-quadrado para avaliar se as variáveis são associadas ou independentes. Esta ferramenta estatística é amplamente utilizada em pesquisas de mercado, engenharias e ciências médicas. A modelagem de quadrados mínimos parciais nos permite entender a relação entre muitas variáveis, facilitando a compreensão das causas de degradações ambientais bem como, indicando a melhor forma de atuar na prevenção vem sendo amplamente utilizado pela engenharia química, medicina, psicologia e agropecuária, entre outras áreas (MINITAB, 2019).

As modelagens são desenvolvidas por meio de métodos estatísticos que permitem conectar variáveis medidas a estimativa de variáveis latentes por meio de caminhos complexos, a modelagem PLS-PM permite além disso quantificar as relações entre eles. Apesar do poder estatístico e da aplicação flexível a conjuntos de dados complexos, o PLS-PM ainda é pouco explorado em muitas áreas científicas, incluindo a modelagem ambiental (Monecke and Leisch, 2012; Vinzi et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada para este trabalho foi a APA do Rio Uberaba localizada em Uberaba – Minas Gerais – Brasil (figura 1). Esta foi criada para garantir a qualidade e vazão de água para abastecimento público do município de Uberaba, localizado no Triângulo Mineiro, do Estado de Minas Gerais, Brasil. A referida área de proteção ambiental compreende uma área de 535 Km², na região das nascentes dos afluentes que compõem o Rio Uberaba, que por sua vez integra a bacia federal do Rio Grande.

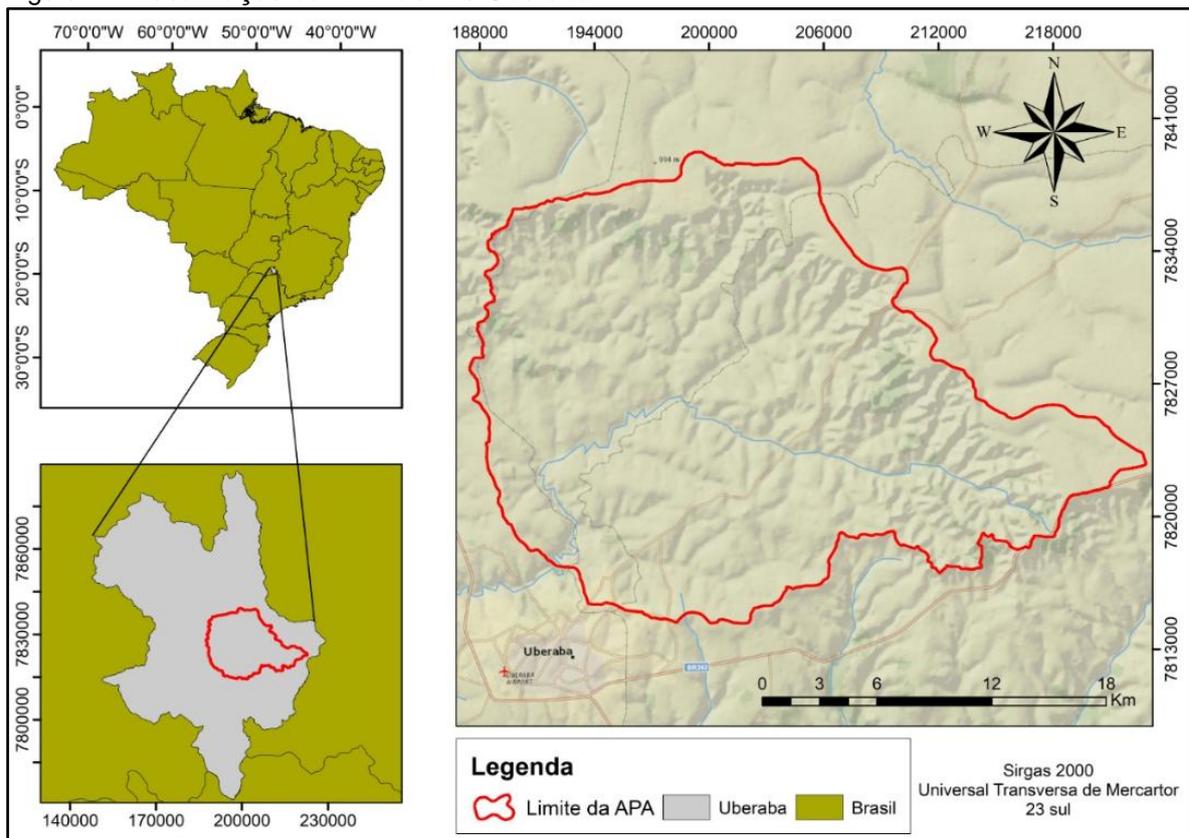
A APA do Rio Uberaba foi estabelecida como Unidade de Conservação de Uso Sustentável, o que permite o desenvolvimento de atividades antrópicas, com o uso dos recursos naturais no escopo da sustentabilidade, por força da Lei Municipal n. 9892 de 28 de dezembro de 2005. Pertence ao município de Uberaba e foi definida a partir da área de drenagem a montante do ponto de captação de águas no Rio Uberaba para a zona urbana de Uberaba, em relação ao abastecimento público (VALERA et al., 2018).

Na APA estão presentes as seguintes formações geológicas: Uberaba, Serra Geral e Marília. Nas proximidades do alto curso do rio Uberaba existe um predomínio, de acordo com a classificação de solos, de Latossolos e Argissolos de textura média a arenosa, fato que reflete num adensamento maior ou menor da vegetação. Já o material inconsolidado com a base geológica regional e o intemperismo constante na área em questão, possui no geral as seguintes características: solos arenosos residuais da Formação Uberaba e da Formação Marília, solos transportados arenosos – contribuição da Formação Marília e solos argilosos residuais da Formação Serra Geral. De acordo com a classificação climática de Köppen, o município de Uberaba está inserido nos regimes térmicos e pluviométricos, como Aw, megatérmico, com chuvas de verão (outubro-março) e seca no inverno (maio-setembro) (Plano de Manejo da APA, 2014).

De acordo com o Plano de Manejo da APA, no que se refere a ocupação do solo o principal uso é Pastagem, seguido de campo sujo (vegetação nativa eventualmente também utilizada como pastagem), seguido de áreas de cultivo e em menor dimensão a ocupação se dá por vegetação nativa. Na APA da bacia do rio Uberaba as pastagens nativas e/ou cultivadas espalham-se por 13.325,25 ha, 25% e as cultu-

ras em desenvolvimento inicial localizam-se numa extensão de 6.929,13 ha, 13% e as culturas avançadas com 2.665,05 ha, 5% do total da área. Mesmo com a pobreza de nutrientes do solo, estas áreas são consideradas produtivas, devido à utilização de insumos em grande quantidade para correção ou a utilização de fertilizantes incorporados a essas áreas no processo produtivo. Assim, entender a dinâmica de conservação desta cultura, é de extrema relevância para sustentabilidade da área.

Figura 1 – Localização da APA do Rio Uberaba



Fonte: Do Autor, 2019.

3.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para a confecção do banco de dados utilizou-se do Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os elementos da base de dados e fontes bibliográficas associadas, o propósito de sua utilização na identificação de áreas de conflito, aptidão, geologia e uso da terra, e sua referência ao site Uniform Resource Locator (URL), estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Referências utilizadas para formação do banco de dados

Tipos de dados e fonte de dados principal	Finalidade e parâmetro associado	Instituição do Proprietário	URL do site da internet
Mapa geológico do estado de Minas Gerais (2014)	Separar a formação geológica do pasto degradado	SEMAD – Secretaria de Meio Ambiente de Minas Gerais	http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/
Pastagem degradada da APA do rio Uberaba	Identificar as áreas de pastagem degradada à partir do índice de vegetação NDVI do sensor MODIS	Relatório técnico elaborado MPMG – Ministério Público de Minas Gerais	Disponível em meio físico
Aptidão de uso dos solos	Identificar a aptidão de uso dos solos	Tese de Doutorado (Valle Junior, 2008)	https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105297/vallejuniordrjabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Mapa de Uso da terra APA do Rio Uberaba	Caracterização do uso da terra	Siqueira(2016)	Disponível em meio físico.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

O mapa de uso e cobertura da terra foi realizado por meio de classificação de imagem LANDSAT 8 OLIS/TIRS, data base 2017 e resolução espacial de 30 metros do U. S. Geological Survey (USGS). O processamento das imagens foi feito com o software ArcGis 10.2, pela diferença entre os mapas de cobertura da terra atual através da fotointerpretação, considerando cor, tamanho, forma, textura, sombra, localização e padrão, seguido da categorização nas classes: agricultura, pastagem, área urbana, vegetação nativa e corpo d'água.

Este trabalho não realizou amostragens diretas de solo e água, o diagnóstico realizado neste estudo utilizou a rede de monitoramento e os resultados das análises de água e solo cedidas do banco de dados de Valera (2019). Que comparou os parâmetros das faixas marginais do curso d'água natural perene de menos de 10 (dez) metros de largura, da legislação com o Novo Código Florestal (Lei n. 12.651/12), atualmente em vigor, na qualidade do recurso hídrico e da terra, nos ecossistemas de bacias hidrográficas. Valera et al.(2019) realizou as amostragens do recurso hídrico e da terra, por meio de levantamento de campo e coleta de dados in loco, e análises de atributos físico-químicos em laboratório e o avaliar os ecossistemas e a largura das faixas marginais preservadas ao longo dos cursos de água perene, direcionou a relação mais adequada, em metragem, para conservar os recur-

solos naturais, facilitando o fluxo gênico da fauna e da flora, protegendo o solo, com vias a assegurar o bem-estar das populações humanas.

3.3 ANÁLISE DO CONFLITO DO USO DA TERRA AMBIENTAL E RISCO DE DEGRADAÇÃO DA TERRA

A análise do conflito de uso da terra foi feita seguindo a metodologia de Valle Júnior et al. (2014), que avalia a aptidão do uso da terra e conflito considerando os parâmetros de Declividade Média (SI) e densidade de drenagens (HORTON, 1945) estão associados ao coeficiente de rugosidade (RN) ($RN = SI \times Dd$; STRAHLER, 1952). Esta metodologia classifica a bacia hidrográfica setorizando a capacidade de prática agropecuária. Para RN elevado, o setor é propício a ocupação por florestas, intermediário para pastagens ou pastagem associada a florestas e baixo RN propício ao desenvolvimento de culturas anuais. Os setores de cada sub-bacia são calculados e considerando a amplitude de RN dividida por um número de classes de capacidade da terra, a saber, 1 – agricultura, 2 - pastagens para produção pecuária, 3 - pastagens para produção pecuária / silvicultura e 4 – silvicultura como mostrado na Tabela 2; e ao final, as sub-bacias são associadas às classes gerando o mapa de aptidão/capacidade de uso da terra, apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 -Códigos de classificação de usos naturais e reais da terra utilizados para análise dos conflitos

Uso da Terra	Código de classificação
Agricultura	1
Pastagens para produção pecuária	2
Pastagens para produção pecuária / Silvicultura	3
Silvicultura	4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Quando ocorre divergência entre o uso e a capacidade da terra caracteriza-se a ocorrência de conflitos. Os conflitos têm diferentes níveis conforme descrito por Valle Júnior, et al (2014), que expressa a divergência entre a vocação natural e o uso real. As capacidades de uso natural da terra e real foram elencadas de forma crescente considerando sua semelhança com a agricultura, sendo: 1 (agricultura), 2 (produção pecuária), 3 (gado misto produção e silvicultura) e 4 (silvicultura). Na sequência, o conflito foi comparado à diferença entre os códigos de capacidade ($N =$

uso Natural da terra), onde $1 \leq N \leq 4$ e uso real ($A =$ uso Atual da terra), onde $1 \leq A \leq 4$, de acordo com a equação (1):

$$\text{Conflito} = N - A \quad (1)$$

Com este método foram obtidos os seguintes resultados: a) as áreas sem conflito caracterizadas nos setores onde $N - A \leq 0$, com os valores negativos para áreas com possibilidade de desenvolvimento agricultura ou pecuária; b) áreas onde o valor da diferença entre capacidade e uso real é igual a 1 ou 2 são classificados como conflito Classe 1 ($N - A = 1$) ou Classe 2 ($N - A = 2$) áreas, respectivamente; c) áreas com vocação para florestas ($N = 4$) mas utilizadas por culturas ($A = 1$) é chamada de Classe 3 ($N - A = 3$). Considerando os riscos de utilização das áreas a Classe 1 possui baixo risco de degradação das áreas de preservação permanente e recursos hídricos; Classe 2 com médio risco, visto que este pode ser minimizado por implementação de técnicas de manejo e conservativas, não sendo recomendadas para uso intensivo podendo adaptar-se ao pastoreio de gado ou reflorestamento.; e Classe 3 com alto risco de utilização, sendo recomendada a conservação da vegetação natural visto que as medidas de conservação da terra podem ser insuficientes para conservação da terra. As áreas sem conflito são representadas por regiões onde conflito ≤ 0 , com os valores negativos representando áreas com potencial para uma expansão sustentável da agricultura ou pastoreio de gado; já as áreas adequadas para pecuária, mas usado para agricultura de cultivo são classificados como áreas de conflito da Classe. As áreas com potencial para silvicultura ou uma ocupação mista por florestas e pastagens, mas ocupado com uma fazenda são referidos como Classe 3, consolidados na Tabela 3:

Tabela 3 - Conflito ambiental de uso da terra

Conflito	Classe
Sem conflito	0
Áreas com potencial para pastoreio com uso atual em agricultura	1
Áreas com potencial para ocupação mista de silvicultura e pastagem, ocupada com agricultura	2
Áreas com potencial para silvicultura, ocupadas com agricultura	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*, é reconhecido como um bom substituto da degradação da vegetação, e tem sido amplamente utilizado após sua definição. Aplicações recentes deste índice envolveram questões socioeconômicas para identificar efeitos de mascaramento e detectabilidade, análise de tendências de degradação e regeneração, entre outros (VALLE JUNIOR et al., 2019).

3.4 TABULAÇÃO CRUZADA

A tabulação cruzada é usada para determinar as contagens ou porcentagens para combinações de categorias em duas ou mais variáveis categóricas, sendo uma ferramenta estatística para investigar a relação entre variáveis (MINITAB, 2019).

A manipulação de dados espaciais recorreu ao software IDRISI Selva (E-ASTMAN, 2012) desenvolvido pelos pesquisadores do Clark Labs que trabalham no Departamento de Geografia da Clark University (<http://www.clarklabs.org>) e o acabamento dos mapas foram realizados no SIG QGIS 2.18.22. No Idrisi, utilizou-se o comando Crosstab que executa a operação de tabulação cruzada de imagens em que as categorias de uma imagem são comparadas com as de uma segunda imagem. O resultado dessa operação é uma tabela listando os totais de tabulação, bem como várias medidas de associação entre as imagens, que possibilitam avaliar as coincidências de pixel entre os mapas para as categorias avaliadas. Para avaliação espacial realizou-se o cruzamento dos seguintes mapas: pastagem degradada, geologia, aptidão e conflito gerando para verificação da cobertura espacial com pastagens degradadas dentro e fora das classes de conflito.

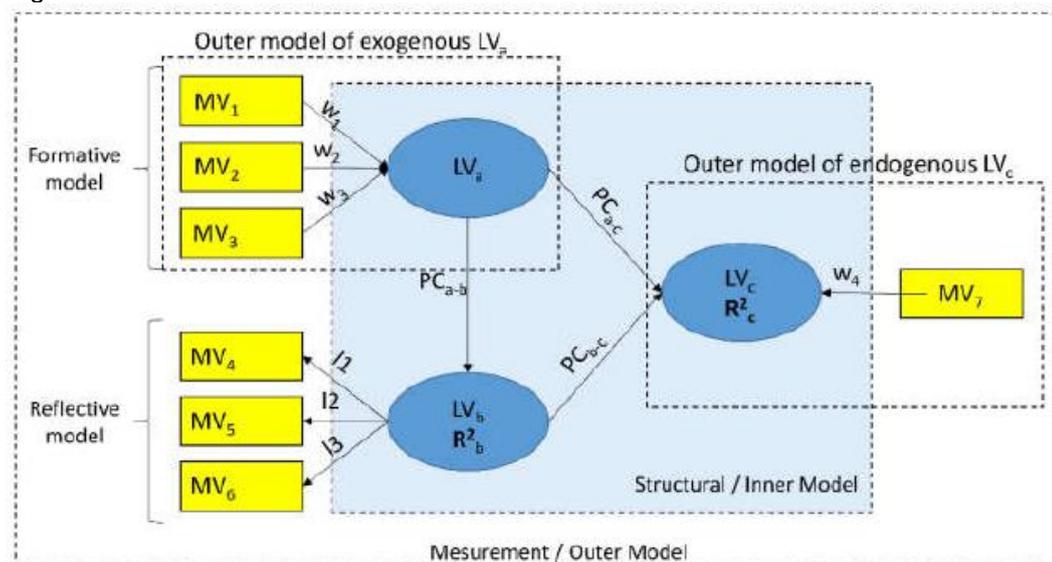
3.5 QUADRADOS MÍNIMOS PARCIAIS - MODELAGEM DE CAMINHOS

A metodologia de Quadrados Mínimos Parciais (PLS) foi originalmente desenvolvida pela Wold (WOLD, 1966; WOLD, 1980). O algoritmo PLS visa modelar caminhos causais entre blocos de variáveis chamados variáveis latentes (LV). A regressão por meio de modelos PLS é formada por um subconjunto de modelos PLS, onde o número de blocos são dois: o bloco independente e o bloco dependente (GARSON, 2016).

Esta técnica de regressão reduz os preditores a um conjunto menor de componentes não correlacionados e efetua regressão de mínimos quadrados para os componentes no lugar dos dados originais (MINITAB, 2019). Ela foi usada primariamente nos setores químico, farmacêutico, alimentício e plástico para desenvolvimento de modelos preditivos, atualmente é usada no meio científico para desenvolvimento de teorias em pesquisa exploratória para explicar a variância nas variáveis dependentes de cada modelo.

Na Modelagem Parcial dos Quadrados dos Mínimos Quadrados (PLS-PM, Figura 2a), um número de LV é definido e conexões (caminhos) entre eles estabelecidos. Este conjunto de LV e caminhos forma o interior do modelo sendo também chamado estrutural, já as variáveis mensuráveis (MV) representam o formato externo ou modelo externo (HENSELER et al., 2009). Neste modelo externo as ligações entre LV são quantificadas por completo por meio coeficientes de caminho (β), enquanto as ligações entre LV e MV são quantificadas através de pesos (w) (HAIR et al., 2014). No modelo externo os pesos (w) quantificam as conexões entre as variáveis mensuráveis e as variáveis latentes, no modelo estrutural os coeficientes de caminho (PC - Path Coeficientes neste estudo chamado de β) estimam os caminhos entre LV, apresentando a influência direta ou indireta das LVs independentes sobre as dependentes (FERNANDES et al, 2018).

Figura 2 – Estrutura dos modelos PLS



Fonte: Terencio et al., 2019

Para análise do modelo estrutural final, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) que indica a quantidade de variância na variável latente dependente (também denominada endógena ou “fim do caminho”) explicado por suas variáveis latentes independentes (exógeno ou “início do caminho”). Os coeficientes do caminho representam a influência de variáveis exógenas em variáveis latentes endógenas, que podem ser ou indireta, dependendo do número de influências (GARSON, 2016). A pontuação medida de um LV (VL_m ; Eq. 2) é a soma ponderada de escores (pesos) MV associados, negligenciando termos de erro (Terencio et al., 2019). A pontuação prevista de um LV endógeno (por exemplo, VL_p , c na Figura 2; Equação 3) é soma ponderada de todas as variáveis latentes exógenas associadas, onde os “pesos” agora são representados por coeficientes de caminho:

$$VL_m = \sum_{i=1}^n (VM_i \times w_i) \quad (2)$$

$$VL_{pc} = VL_{m,a} \times PC_{a-c} + VL_{m,b} \times PC_{b-c} \quad (3)$$

O algoritmo do PLS-PM pode gerar modelos formativos ou reflexivos (Henseler et al., 2014; Ringle et al., 2009). Os modelos reflexivos são caracterizados por caminhos (representados por setas) que começam no latente (LV) e acabam nas variáveis medidas (MV), enquanto os sentidos da flecha são invertidos em modelos formativos (MONECKE & LEISCH, 2012). Nos modelos reflexivos, as variáveis medidas são vistas como o efeito das variáveis latentes, enquanto nos modelos formativos elas são vistas como causas (BOCCUZZO & FORDELLONE, 2015). No presente estudo, o PLS-PM foi utilizado como modelo formativo, sendo implementado no software SMART-PLS. No modelo formativo o construto é formado pelas variáveis medidas (SANCHES, 2013). O intuito da modelagem PLS-PM é estimar as variâncias (R^2) dos blocos latentes dependentes (fim de caminho) explicada pelas variáveis latentes independentes (início de caminho) por meio de uma série de regressões de mínimos quadrados ordinárias (OLS) (RICHTER et al., 2016) que justificam a interdependência entre os blocos.

O coeficiente de determinação, R^2 , indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisado, indicando desta forma, a qualidade da regressão. Este índice de valoração dos resultados é a predição que avalia

a contribuição das variáveis independentes sobre as dependentes, ou seja, quanto a variável dependente é predita pelas demais. Segundo Cepeda e Roldán (2004), o R^2 mensura o valor que a variável é predita, indicando a porcentagem em que um construto anterior prediz a variável dependente. Com base no estudo de Falk e Miller (1992), o cálculo para a variância da variável endógena (R^2) deve ser maior ou igual a 0,1, para que seja considerado significativo, ou seja, se aceita valores acima de 10% de predição. De uma forma geral, os valores do R^2 podem ser classificados em três categorias (SANCHEZ 2013): a) $R^2 \leq 30$ - Baixo ,b) $30 < R^2 < 60$ - Moderado e c) $R^2 \geq 60$ – Elevado. É lógico que quanto maior o valor do R^2 melhores a capacidade explicativa do modelo, ou neste caso, das variáveis.

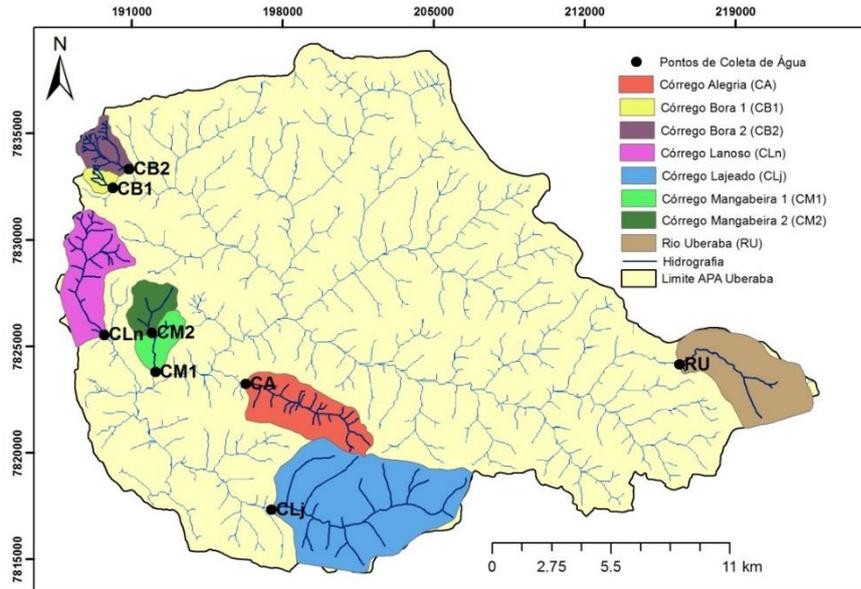
Para análise da aplicabilidade e validade do modelo cabe ainda realizar a análise demulticolinearidade que pode ser diagnosticada por meio do VIF (Variance Inflation Factor) que indica potenciais falhas no ajuste do modelo formativo ocasionando impactos na estimativa dos parâmetros. Esta análise estatística mede o quanto a variância de um coeficiente de regressão estimado é maior na presença de colinearidade (DIAMANTOPOULOS, 2008). Valores de VIF maiores que 10, indicam alta multicolinearidade o que impede a utilização do modelo de regressão clássico, assim para que o modelo seja válido todos os valores de VIF devem ser inferiores a 10.

3.6 PREPARAÇÃO DE CONJUNTOS DE DADOS PARA PLS

As áreas para a amostragem do recurso hídrico e da terra, seguiu-se os pontos amostrais coletados por Valera et al.(2019), selecionados no recorte territorial geográfico das bacias hidrográficas no interior da APA do Rio Uberaba, considerando a integração entre as semelhanças dos aspectos físicos, sociais e econômicos, que possam interferir diretamente no recurso hídrico e em sua proteção ambiental.Cada área experimental (sub-bacia) foi selecionada para prevalecer os ambientes que demonstrassem a interação da água, solo e uso/ocupação da terra.A partir da delimitação de um arquivo vetorial, de 8 pontos da rede amostral apresentada na Figura 3,foram realizadas análises em dois períodos(chuvoso e seco), sendo o primeiro em abril de 2016 e o segundo em novembro de 2016, sendo caracterizada a primeira coleta no período pós chuva e a segunda na pós seca.Com os 16 dados de

entrada, elaborou-se um buffer de 50 m de raio, totalizando 8 polígonos no software QGIS 2.18 à partir do GeoGrid Plugin.

Figura 3 – Rede amostral da APA do Rio Uberaba



Fonte: Do Autor, 2019

A partir dos resultados de cada polígono amostral dos mapas no formato raster foram geradas planilhas de excel onde foram inseridos os parâmetros de cobertura da terra (COrg – Carbono Orgânico Total, MO – Matéria Orgânica, P – Fósforo e V – Saturação de Bases), de superfície de escoamento (Areia, Argila e Silte), de uso dos solos (aptidão, conflito, sensibilidade e pastagem degradada) e os parâmetros químicos de qualidade da água superficial (Condutividade, ORP – Potencial de Oxi-redução, Salinidade, Temperatura, Turbidez e pH – potencial hidrogeniônico) que foram usadas como dados de entrada (variáveis mensuradas = MV) para modelagem PLS-PM, estimando os efeitos diretos destas variáveis sobre Conservação da Pastagem e da Qualidade Hídrica Superficial. Sendo realizada análise exploratória por meio do software SmartPLS 3.2.8 (RINGLE, 2015) após análise de VIF para os parâmetros o parâmetro de cobertura da terra Corg foi excluído por ter apresentado VIF superior a 10.

A sensibilidade da pastagem a degradação foi ponderada com base nas formações geológicas, sendo atribuídos valores de 1, 2 e 3 para Serra Geral, Uberaba e Marília, respectivamente. Porém, em análise de campo, esta ponderação fora fra-

cionada devido à existência de conservação dos solos nos pontos de análise. A não existência de pastagem degradada na ponderação resultou na pontuação 0.

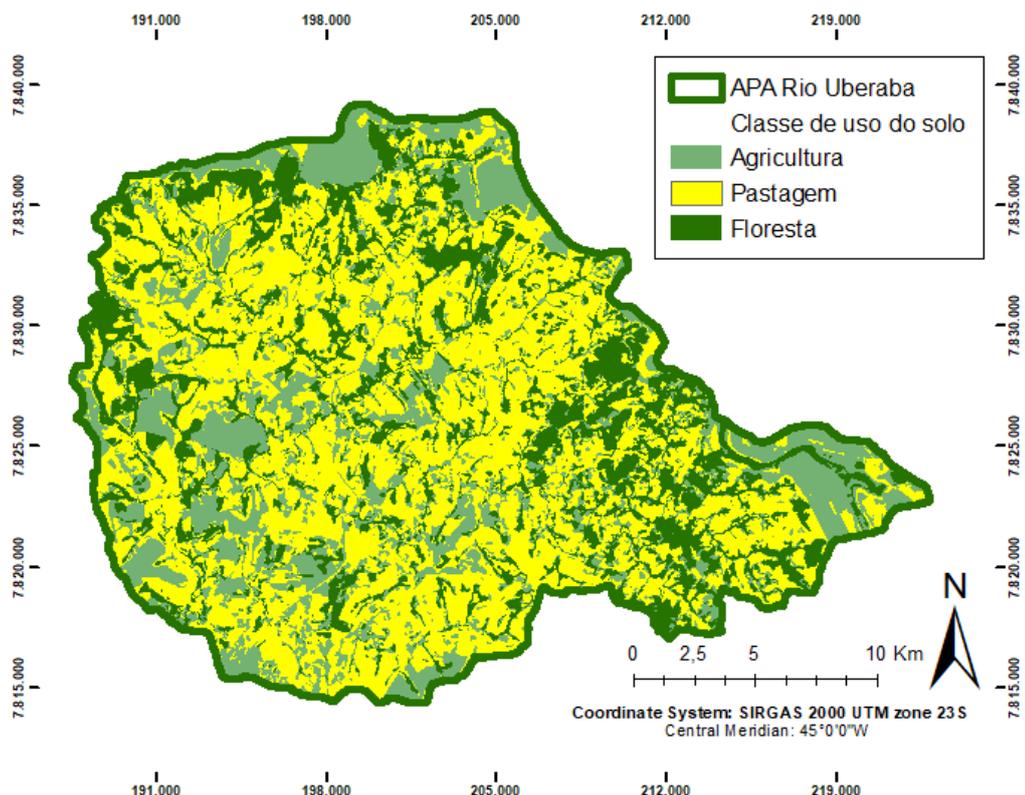
4. RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS E DADOS ESPACIAIS

As principais atividades agrícolas e pecuárias foram levantadas em cada sub-bacia, as quais foram sistematizadas a partir de técnicas de sensoriamento remoto na interpretação visual das imagens orbitais de alta resolução espacial. A análise interpretativa de cada uso/ocupação da terra foi realizada a partir da exposição das cores para os diferentes comportamentos espectrais dos alvos na imagem. O procedimento para classificação foi realizado a partir dos trabalhos desenvolvidos por Pissarra et al. (2004) e seguiu a caracterização de ambientes que refletem o uso atual da terra.

Com as informações disponíveis no banco de dados foi gerado o mapa de uso da terra a partir da classificação supervisionada de imagem orbital elaborada no SIG. A APA do Rio Uberaba tem uma área total de 52.810ha e a Figura 4, mostra que 14.285,16 hectares é ocupado atualmente por agricultura, 26.897,22 hectares por pastagens e 11.627,19 hectares por vegetação nativa.

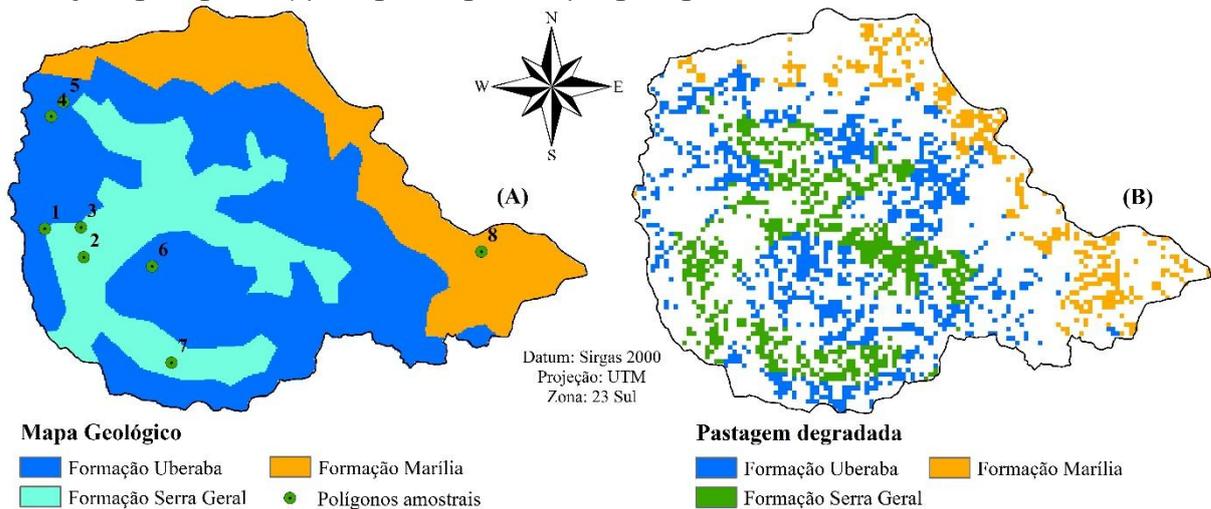
Figura 4 – Mapa de Uso da terra da APA do Rio Uberaba



Fonte: Modificado de Siqueira, 2016

Para análise do conflito, utilizou-se o mapa confeccionado por Valle Junior et al. 2019, o qual a partir dos estágios de degradação do pasto e das formações geológicas (Figura 5.1 a), a partir dos valores de NDVI da imagem do sensor Modis, foi elaborado o mapa da pastagem degradada da APA do rio Uberaba (Figura 5.1 b).

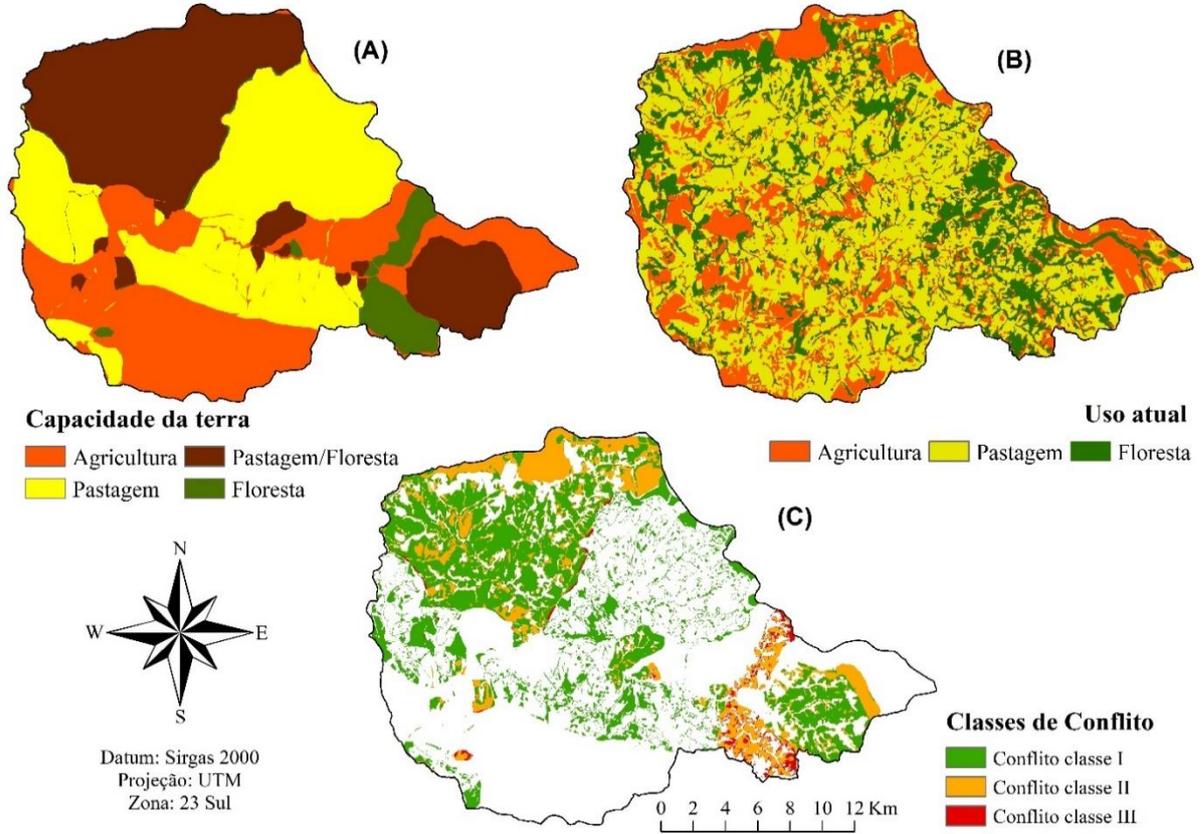
Figura 5.1 – Análise de conflito do uso da terra nas áreas de pastagens da APA do Rio Uberaba: a) formações geológicas; b) pastagem degradada por geologia.



Fonte: Do Autor, 2019

Para o diagnóstico da capacidade (aptidão) de uso dos solos utilizou-se o mapa proposto por Valle Junior et al. (2013) gerado para a bacia do rio Uberaba (Figura 5.2 a). A tabulação cruzada entre os mapas de capacidade e uso da terra (Figura 5.2 b) foi realizada para diagnóstico do conflito de uso da terra (Figura 5.2 c).

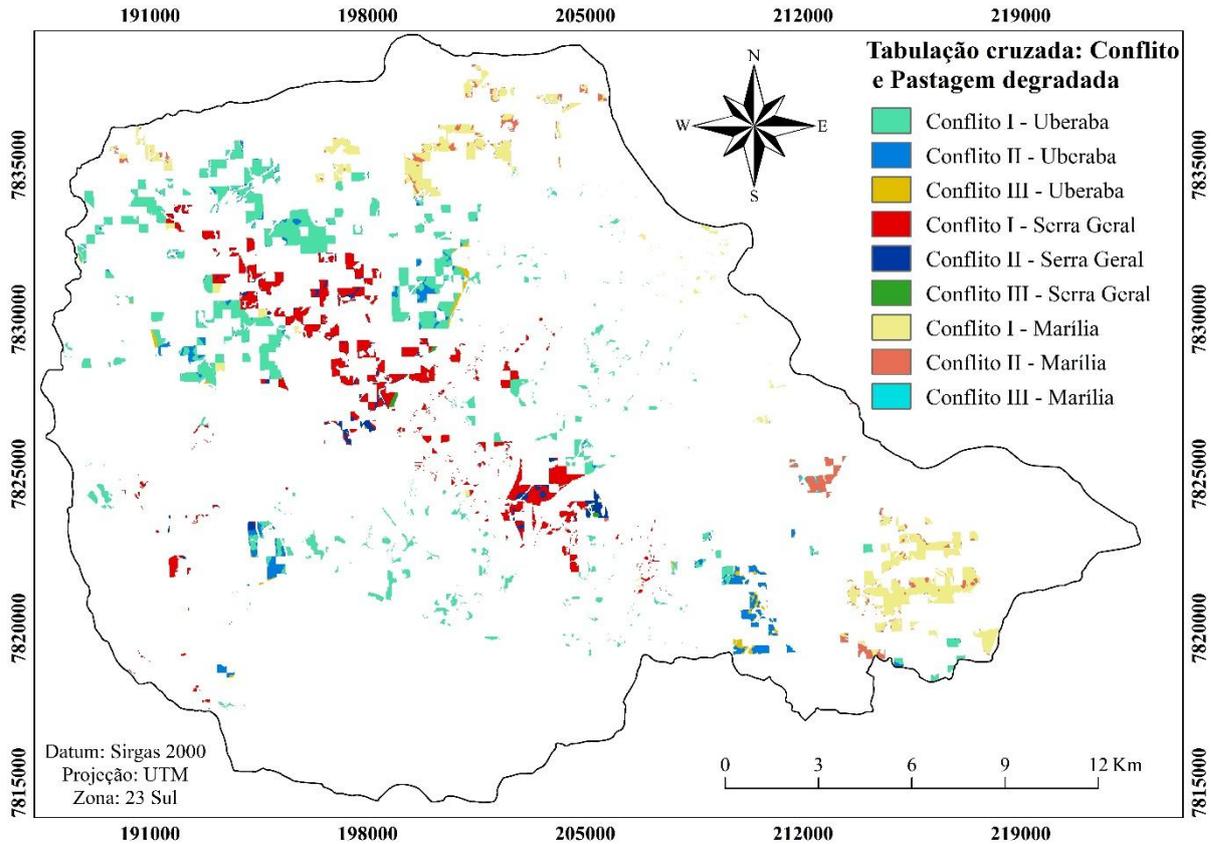
Figura 5.2 – Análise de conflito do uso da terra nas áreas de pastagens da APA do Rio Uberaba: a) Capacidade da Terra (Aptidão); b) Uso Atual; c) Classes de conflito.



Fonte: Do Autor, 2019

Posteriormente foi realizada tabulação cruzada entre os mapas de pastagem degradada e conflito de uso da terra, gerando o mapa de ocorrências de pastagens degradadas em áreas de conflito apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Pastagens degradadas em áreas de conflito na APA do Rio Uberaba



Fonte: Do Autor, 2019

Podemos verificar que 19,62% da APA do Rio Uberaba é formada por pastagens degradadas, onde 10,66% estão na formação Uberaba, 5,97% na formação Serra Geral e 2,99% na formação Marília, o restante da área 80,38% é ocupado por outros usos (Figura 6). Quando se avalia a tabulação cruzada entre conflitos e pastagem degradada observa-se que 62,39% das áreas de pastagens não estão localizadas em zonas de conflito e 37,61% não está sendo utilizada de acordo com a aptidão de uso da terra, nestes 33,01% estão na formação Uberaba, 30,82% na formação Serra Geral e 67,63% na formação Marília. Ao se comparar a área total de pastagem degradada mapeada (10.363,41 ha) com a área total com uso em conflito (3.897,36ha) concluímos que 37,61% das pastagens degradadas estão em áreas de conflito, as quais não possuem aptidão para este tipo de uso. A sensibilidade da pastagem a degradação foi ponderada com base nas formações geológicas, sendo atribuídos valores de 1, 2 e 3 para Serra Geral, Uberaba e Marília, respectivamente. Porém, em análise de campo, esta ponderação fora fracionada devido à existência de conservação dos solos nos pontos de análise. A não existência de pastagem de-

gradada na ponderação resultou na pontuação 0. Estes resultados foram compilados na Tabela 4, que apresenta os números absolutos em uma análise randômica:

Tabela 4 – Cobertura espacial por pastagens degradadas com e sem conflito ambiental

	Pasto Degradado (ha)	Sem conflito (ha)	Percentual sem conflito	Pasto Degradado (ha)			
				Conflito Classe I	Conflito Classe II	Conflito Classe III	Percentual com conflito
Uberaba	5.630,49	3.772,71	67,01%	1.542,06	257,49	58,23	33,01%
Serra Geral	3.151,80	2.181,24	69,21%	840,87	115,83	13,86	30,82%
Marília	1.581,12	512,10	32,39%	878,13	185,40	5,49	67,63%
Total	10.363,41	6.466,05	62,39%	3.261,06	558,72	77,58	37,61%

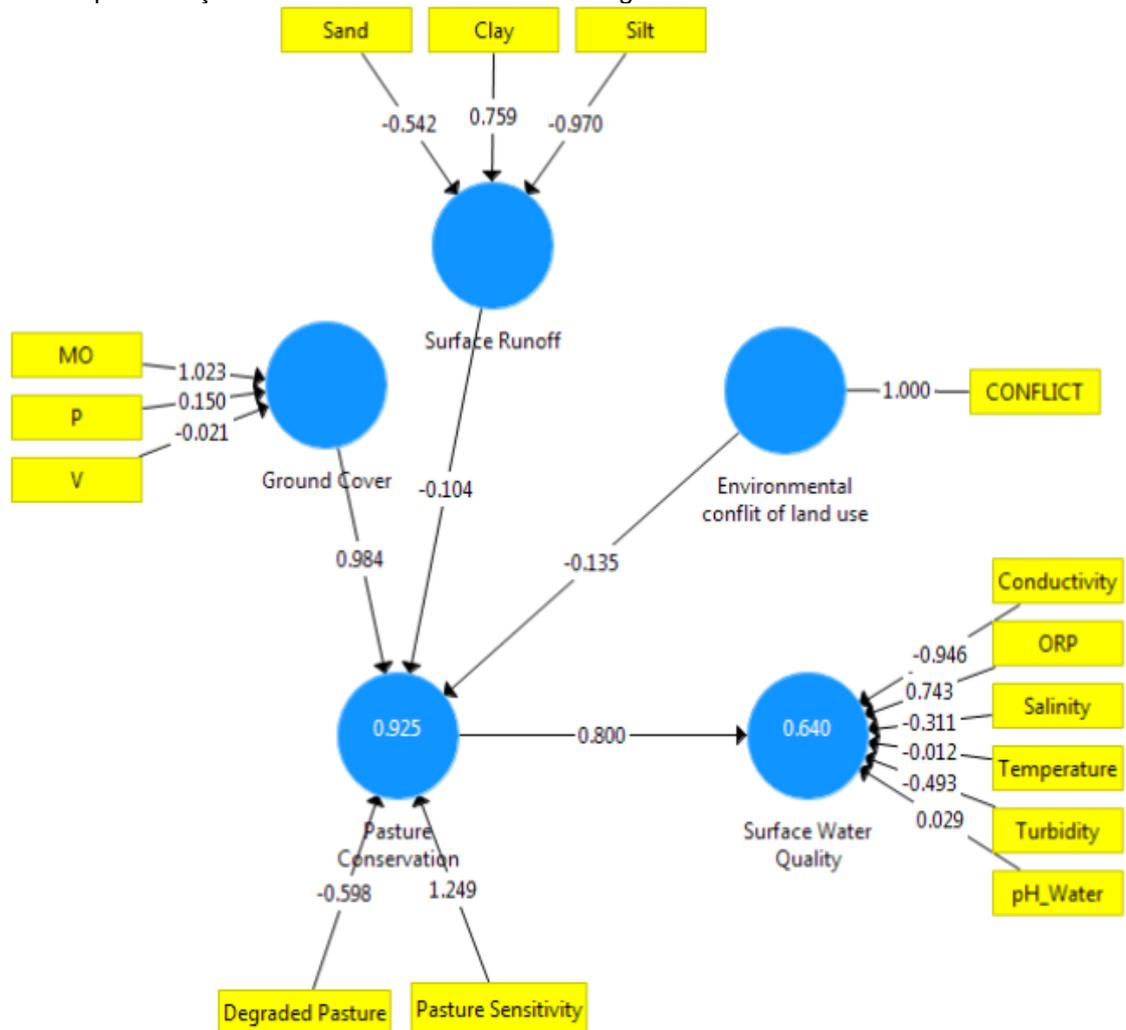
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

As distribuições espaciais de todas as variáveis medidas são ilustradas nos mapas das Figuras 5 e 6. Alguns mapas resultaram da interpolação de variáveis medidas nas 16 amostras avaliadas (por exemplo, interpolação das informações de pastagem degradada na formação geológica, a aptidão de uso da terra ao conflito e finalmente conflito associado a pastagem degradada).

4.2 RESULTADOS DA MODELAGEM PLS-PM

Na primeira etapa, todas as variáveis medidas foram utilizadas no modelo estatístico sendo ligado a cinco variáveis gerais latentes chamadas (Cobertura da terra, Escoamento Superficial, Conflito de Uso, Qualidade da Água e Conservação do Pasto) resultando em um modelo formativo onde as variáveis medidas têm a relação de casualidade das variáveis latentes (Figura7).

Figura 7 – Representação do modelo estrutural formativo gerado



Fonte: Do Autor, 2019

O objetivo da análise PLS-PM fora avaliar combinações lineares das seguintes variáveis latentes: Escoamento Superficial, Cobertura da terra, Conflito de Uso, Qualidade da Água e Conservação do Pasto. A princípio as variáveis medidas foram inseridas nas variáveis latentes. O segundo passo foi análise da multicolinearidade ou redundância entre os indicadores na formação dos constructos. Esta análise foi realizada com base num fator de inflação da variância – VIF, sendo aceitos valores abaixo de 10 (DIAMANTOPOULOS, 2008).

O modelo estrutural formativo demonstra que há influências diretas das variáveis latentes na Conservação do Pasto (CP) e Qualidade da Água Superficial (QA) pela correlação com as seguintes variáveis medidas Cobertura da terra (CS), Escoamento (E), Conflito (C), sendo que a conservação do pasto é influenciada diretamente pela cobertura da terra ($\beta=0,984$) e inversamente pela presença de escoamento superficial ($\beta=0,104$) e pelo conflito ambiental de uso da terra ($\beta=0,135$). Já a

qualidade da água é influenciada diretamente pela conservação da pastagem ($\beta=0,800$).

4.3 VALORAÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

Na presente análise os valores de R^2 tiveram resultados, registrados na Tabela 5, classificados como elevados para conservação das pastagens e qualidade da água superficial demonstrando a alta aplicabilidade do modelo.

Tabela 5 – Valoração do modelo estrutural, coeficiente de determinação (R^2)

	R^2	R^2 Ajustado
Pasture Conservation	0,925	0,906
Surface Water Quality	0,640	0,614

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Pode-se observar que os valores ajustados para a variável Conservação do pasto, com os valores é predita em 90,6% e escoamento da água em 61,4% mostrando-se valores importantes confirmando que as variáveis são explicadas satisfatoriamente pelas variáveis independentes.

4.4 ANÁLISE DE COEFICIENTE B E ESTATÍSTICA DE COLINEARIDADE

Para mensurar o valor exato nos 90,6% de influência da variável independente sobre a dependente, faz-se uma multiplicação do Beta (β), coeficiente de caminho, pela correlação das variáveis latentes independentes sobre a cobertura da terra. Assim, multiplicando o 0,984 (β cobertura da terra – conservação da pastagem) da influência dos fatores Conflitos de uso verifica-se que 89,15% são influenciados pela correlação latente entre cobertura da terra e conservação do pasto, e multiplicando os 0,8 (β conservação da pastagem – qualidade hídrica superficial) de conservação da pastagem encontramos correlação de 72,48% entre Conservação do Pasto e Qualidade da água superficial, estes resultados demonstram uma alta influência das variáveis medidas nas variáveis latentes em estudo. Os demais valores de β foram desconsiderados, por serem inferiores a 0,2.

Justifica-se a escolha do método de mínimos quadrados parciais para a estimativa dos parâmetros, uma vez que esse método não é afetado pela presença de

multicolinearidade visto que as VIF's de todas as variáveis medidas no modelo tiveram resultados valorados entre 1,0 e 4,156, ou seja, por serem menores que 10 validam o uso do mesmo.

4.5 O MODELO GERADO

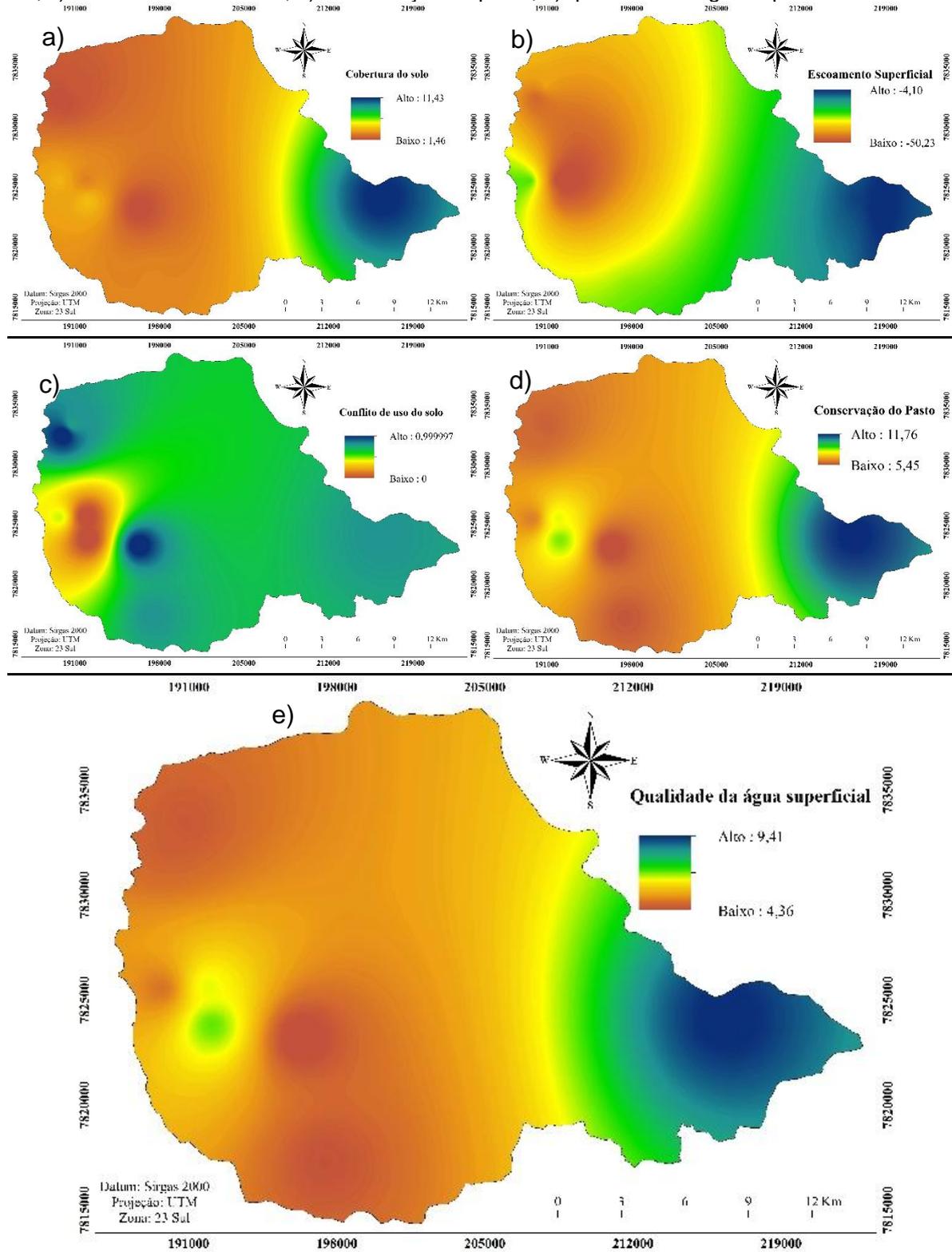
As variâncias explicadas pelos modelos se relacionam a Conservação do Pasto e a Qualidade da Água Superficial e variáveis latentes endógenas ($R^2 = 0,653$ in Passo 1 e $R^2 = 0,938$). FERNANDES, 2018 recomendou a metodologia de Spearman para a análise de correlação deste tipo de modelo. Quando avaliamos o modelo gerado na APA do Rio Uberaba demonstra que há influências diretas das variáveis latentes na Conservação do Pasto (CP) e Qualidade da Água Superficial (QA) pela correlação com as seguintes variáveis medidas Cobertura da terra (CS), Escotamento (E), Conflito (C) e pode ser expressa pelas equações 4 e 5:

$$CP = 0,984 \times CS - 0,104 \times E - 0,135 \times C \quad (4)$$

$$QA = 0,800 \times CP \quad (5)$$

O modelo gerado demonstrou que a conservação do pasto é influenciada diretamente pela cobertura da terra ($\beta=0,984$) e inversamente pela presença de escoamento superficial ($\beta=0,104$) e pelo conflito ambiental de uso da terra ($\beta=0,135$). A figura 8 apresenta a aplicação de valores numéricos coletados em campo e interpolados referentes a distribuição dos parâmetros selecionados do modelo PLS na predição da qualidade da água superficial na APA do rio Uberaba.

Figura 8 – Representação gráfica da aplicação de valores numéricos coletados em campo e interpolados referentes ao modelo PLS na APA do Rio Uberaba: a) cobertura do solo; b) escoamento superficial; c) conflito de uso do solo; d) conservação do pasto; e) qualidade da água superficial.



Fonte: Do Autor, 2019

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No que concerne ao uso e ocupação da terra, a análise das pastagens degradadas da APA do Rio Uberaba demonstra que a maior parte da área ocupada pelas pastagens degradadas respeitam a aptidão do uso da terra, o que indica que a degradação nesta cultura pode estar associada ao manejo deficitário, desequilíbrio biológico, competição com plantas invasoras e o uso sistemático de animais que excedam a capacidade de recuperação da pastagem (FERREIRA et al, 2013), fato que ocorre em maior frequência nas formações Uberaba e Serra Geral. Na formação Marília, onde há maior proporção de área ocupada por pastagem degradada em áreas com conflito do uso da terra (67,63%), destacando-se o de Classe I, de acordo com Valle Júnior, 2014, o conflito influencia na erosão que pode ser associado a cobertura da terra e escoamento superficial, o conflito Classe I representa baixo risco de contaminação da água subterrânea quando usado para culturas pastagens. O conflito de Classe 1 também é preponderante nas formações geológicas Uberaba e Serra Geral, cabendo ser avaliado se a melhoria nas técnicas de manejo agropecuário seria suficiente para minimizar as ocorrências de pastagens degradadas nestas áreas de conflito ou se cabe o respeitar da aptidão da terra.

A modelagem realizada visa entender quais são as circunstâncias que influenciam na conservação das pastagens e seu impacto na qualidade hídrica, considerando a influência das variáveis latentes apresentadas na Figura 6. A amplitude e os sinais dos coeficientes de caminho (β), expostos nas equações 3 e 4, mostram como cada variável medida contribuem para a conservação da pastagem e qualidade hídrica superficial.

Analisando o bloco conflito ambiental do uso da terra e escoamento superficial percebe-se que eles têm efeito negativo sobre a conservação da pastagem ($\beta = -0,135$ e $-0,104$, respectivamente), ou seja, quanto menor o conflito de uso da terra maior a conservação da pastagem o que ocorre também com o escoamento superficial, visto que quanto menor o escoamento superficial menor a suscetibilidade à erosão. Ao se analisar os pesos das variáveis mensuráveis no escoamento superficial nota-se que a presença de silte ($w = -0,970$) e areia ($w = -0,542$) são características de solo com menor suscetibilidade ao escoamento superficial, por terem maior permeabilidade o que favorece a infiltração, enquanto que as partículas de argila ($w = 0,759$) tem baixa permeabilidade o que pode intensificar o escoamento superficial.

Valle Jr et al, 2019, considera que a degradação pode ser manifestada pela cobertura vegetal não homogênea, compactação da terra, processos erosivos e deficiências minerais. O modelo demonstra que a conservação da pastagem diminui com o aumento do escoamento superficial e do conflito, o que corrobora os estudos de Verdi, 2018 que associa a ocorrência de pastagens degradadas ao aumento da erosão, a menor capacidade de infiltração e retenção de água afirmando que estes problemas ocasionam também o assoreamento de cursos d'água contribuindo para o processo de desertificação de áreas.

Os parâmetros Matéria Orgânica ($w = 1,023$) e Fósforo ($w = 1,150$) são benéficos para a cobertura da terra, enquanto que a Saturação por Bases ($w = -0,021$), embora com baixa magnitude, prejudica a cobertura da terra. A cobertura da terra tem função essencial na conservação das pastagens ($\beta = 0,984$). A análise do modelo formativo indica que dentre os fatores contribuintes para a conservação das pastagens destaca-se a cobertura da terra, a boa saturação por bases (V), a presença de fósforo (P) e matéria orgânica (MO), havendo uma conexão direta entre estas variáveis e conservação das pastagens, quanto maior o valor destas variáveis maior o potencial para que a pastagem seja conservada. Correlações semelhantes também ocorreram nos estudos de Valle Jr. Et al, 2019 que afirma que a caracterização das fitofisionomias de pastagem indicou declínios na matéria orgânica e fósforo presentes no solo comparando-se a pastagem saudável à pastagem degradada. Relações similares são identificadas nos estudos de Silva, 2018 que identificou diferença significativa entre as concentrações de fósforo e sólidos totais no período chuvoso em relação ao período seco, o que significa que a contribuição do fósforo pode estar associada à processos erosivos, no qual ocorre o transporte de argila e matéria orgânica através do escoamento superficial, resultando em um sedimento rico em fosfato recomendando práticas conservacionistas de uso da terra de forma de minimizar os impactos dessas atividades nos recursos hídricos.

O modelo PLS-PM mostrou que a conservação da pastagem exerce uma considerável correlação positiva sobre a qualidade hídrica superficial ($\beta = 0,800$). Observando-se os pesos das latentes mensuráveis referente aos parâmetros da qualidade da água nota-se que o potencial de oxiredução e potencial hidrogeniônico favorecem a qualidade da água, enquanto que maior o teor dos demais elementos determina uma menor a qualidade da água. Avaliando as conectividades do modelo de forma mais ampla pode-se confirmar que a cobertura da terra pode afetar a qua-

lidade da água em bacias antrópicas conforme exposto nos estudos de Valera et al 2019, que afirmam que durante o uso da terra adotando-se técnicas de fertilização e as condições de manejo adequadas não há prejuízos a qualidade da água. No que concerne aos conflitos do uso da terra, assim como esperado, as pastagens instaladas em áreas sem o respeito da aptidão da terra podem afetar a qualidade desta cultura aumentando o potencial para ocorrência de pastagens degradadas.

Relação semelhante ocorreu nos estudos de Huang et al., 2018, que ao analisar a cobertura vegetal em uma bacia na China observou que o reflorestamento resultou em uma redução significativa de transporte de sedimentos. Ademais, a conservação das áreas de pastagens contribui diretamente para a qualidade da água superficial, visto que o aumento da erosão gera elevação da degradação da terra, através do carreamento de partículas que são levadas aos cursos d'água deteriorando a qualidade hídrica. O manejo correto da pastagem previne a degradação, impedindo a redução da produtividade desta cultura, evita o ônus socioeconômico e ambiental típicos da pastagem tradicional (EMBRAPA, 2017).

O coeficiente beta reforça a consistência do modelo confirmando a fidedignidade do modelo proposto. Segundo Townsend et al, 2009, a degradação das pastagens é um processo complexo que é causado por vários fatores, que atuam individual ou conjuntamente e quando os efeitos não são mitigados comprometem a interação solo-planta-animal tornando a pecuária insustentável com impactos socioeconômicos e ambientais, sendo importante compreender os fatores contribuintes expostos neste modelo, com vistas a direcionar ações preventivas.

A perspectiva estatística e a análise do coeficiente de correlação R e R² demonstram que o modelo deste estudo se ajustou quase perfeitamente ao conjunto de dados analisados confirmando a validade do mesmo para casos semelhantes. O modelo confirma a relação entre as diversas variáveis latentes e medidas, o que permite realizar a previsão de cenários relacionados a conservação e degradação da área, desta forma, é possível prever que o aumento de índices de Matéria Orgânica e Fósforo permitirá aumentar a conservação das pastagens e conseqüentemente melhorar a qualidade dos recursos hídricos da APA do Rio Uberaba, com base nisso é possível aprimorar o Plano de Manejo desta Unidade de Conservação, de forma a direcionar melhorias em longo prazo e ainda considerando que ocorra o inverso, com aumento substancial do conflito e desrespeito a aptidão do uso do solo assentir o Princípio do Poluidor Pagador, bem como suas conseqüências.

6. CONCLUSÕES

Um modelo PLS-PM foi desenvolvido, através do qual uma relação foi estabelecida entre variáveis latentes que contribuíram na conservação da pastagem e seus impactos na qualidade hídrica superficial. Neste sentido, a modelagem realizada pode auxiliar o direcionamento dos esforços protetivos para os fatores preponderantes na conservação das pastagens, com destaque para manutenção dos índices da matéria orgânica ($w=1,023$), que se relaciona com a estabilidade dos agregados dos solos a influenciar a susceptibilidade à erosão, ao conflito ($w=1,000$) que se associa ao desrespeito da aptidão de uso dos solos e a fração textural. Assim, a conservação do pasto é influenciada diretamente pela cobertura e inversamente pela presença de escoamento superficial e pelo conflito de uso da terra. Desta forma, a ausência de práticas de conservação e cobertura tem favorecido o transporte de sedimentos à partir do escoamento. A conservação da pastagem influencia na qualidade hídrica ($\beta = 0,800$), o qual se destacam o potencial de oxirredução ($w= 0,743$) e o potencial hidrogeniônico ($w=0,029$).

As matas ripárias são de extrema importância na conservação dos recursos hídricos, sendo classificada como filtro verde que reduzem o aporte de sedimentos nos cursos de água, contribuindo para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. As mudanças realizadas no novo código florestal brasileiro reduziram significativamente as faixas de vegetação ripária, elevando o potencial de eutrofização e contaminação dos cursos de água. Assim, de acordo com a legislação ambiental brasileira (Lei 9985/2000) a APA tem como finalidade a preservação da fauna, flora e recursos hídricos para conciliar e ordenar a ocupação antrópica e uso sustentável dos recursos naturais. Neste sentido, a modelagem realizada pode auxiliar na construção de esforços protetivos baseados nos fatores preponderantes na conservação das pastagens. Portanto, a adoção de medidas conservacionistas em pastagens, tem impacto econômico positivo no sistema produtivo, gerando benefícios sociais e ambientais no que concerne a qualidade da água e transcendem a conservação dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. S. de, CARVALHO, D. F. de, PANACHUKI, E., VALIM, W. C., RODRIGUES, S. A., & VARELLA, C. A. A. (2016). Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura da terra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(9), 1110–1119. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900010>

AQUINO, Afonso Rodrigues de et al. Meio ambiente: Vulnerabilidade Ambiental. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2017. 112 p.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília: Embrapa, 2011.130p.

BOCCUZZO, G. and Fordellone, M. Comments about the use of PLS path modeling in building a Job Quality Composite Indicator (2015)

CEPEDA, Gabriel; ROLDÁN, J. L. Aplicando en la práctica la técnica PLS en la Administración de Empresas. In: Conocimiento y Competitividad. XIV Congreso Nacional ACEDE. Murcia. 2004. p. 74-8.

DIAMANTOPOULOS, A. Advancing formative measurement models. *Journal Of Business Research*, [s.l.], v. 61, n. 12, p.1203-1218, dez. 2008.

EASTMAN, J.R. IDRISI Selva. Clark University, Worcester, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação da terra. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: EPAMIG – DRNR, 1982. 526 p. (Boletim de Pesquisa, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Degradação de Pastagens o que é e como evitar. Moacyr Bernardino Dias Filho, Brasília (2017)

FALK, R. F.; MILLER, N. B. A primer for soft modeling. 1992. Ohio University of Akron Press, Akron.

FERRAZ, J.B.S.; FELICIO, P.E.D. Production system example from Brazil. *Meat Science*, v.84, n.2, p.238-243, 2010.

FERNANDES, L.F. SANCHES et al. A partial least squares – Path modeling analysis for the understanding of biodiversity loss in rural and urban watersheds in Portugal. *Science Of The Total Environment*, [s.l.], v. 626, p.1069-1085, jun. 2018. Disponível em: <[https://www-sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718301487#bb0070](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718301487#bb0070)>. Acesso em: 26 jan. 2019.

FERREIRA, L. G.; FERNANDEZ, L.; SANO, E. E.; FIELD, C.; SOUSA, S.; ARANTES, A.; ARAÚJO, F. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian savanna biome: an analysis in the spatial-temporal domains based on ground

and satellite data. *Remote Sensing*, v. 5, n. 1, p. 307–326, 17 jan. 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/1/307/>>.

GARSON, G. D. *Partial Least Squares: Regression and Structural Equation Models*. Asheboro, NC: Statistical Associates Publishers, 2016.

HAIR, J.F.; HULT, T.M.; RINGLE, C.M. e SARSTEDT, M. *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. Los Angeles: SAGE, 2014.

HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SINKOVICS, R. R.. The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances In International Marketing*, [s.l.], v. 20, p.277-319, 2009. Emerald Group Publishing. [http://dx.doi.org/10.1108/s1474-7979\(2009\)0000020014](http://dx.doi.org/10.1108/s1474-7979(2009)0000020014).

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative ... *Am. Bull.*, v.56, n.3, p.275-370, 1945.

HUANG, X.; FANG, N.F.; ZHU, T.X.; WANG, L.; SHI, Z.H.; HUA, L. Hydrological response of a large-scale mountainous watershed to rainstorm spatial patterns and reforestation in subtropical China. *Sci. Total Environ* (2018)

2018, 645, 1083–1093.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em <<http://www.semad.mg.gov.br>> em 18 maio 2018.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2018). Tutorial de Geoprocessamento. Disponível em:

http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html

MINITAB <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/partial-least-squares-regression/what-is-partial-least-squares-regression/> 2019

MONECKE, A.; LEISCH, F.. *SemPLS: Structural Equation Modeling Using Partial Least Squares*. *Journal Of Statistical Software*. Innsbruck, p. 1-32. maio 2012.

NETO, D. N. N., SANTOS, A. C., SANTOS, P. M., MELO, J. C. & SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos da terra e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem Spatial analysis of soil attributes and cover vegetation under different grazing conditions. 995–1004 (2013).

OLIMPIO, D.. O que é o princípio do Poluidor Pagador <<https://www.acesa.com/consumidor/arquivo/voceSabia/2007/07/19-daniela/>> em 15 maio 2019.

PLANO DE MANEJO DA APA DO RIO Uberaba – disponível em http://www.uberaba.mg.gov.br/porta/acervo/meio_ambiente/arquivos/agenda_branca/plano_manejo.pdf acesso em 13 maio/2018

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego rico, Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Ciência da terra*, v.28, p.297-305, 2004

RICHTER, F. ScienceDirect. *Geochim. Cosmochim. Acta* (2016).
doi:10.1016/j.gca.2016.05.016

RINGLE, C.M., WENDE, S. AND BECKER, J.M. SmartPLS. SmartPLS GmbH, Boenningstedt. 2015.

SANTOS, A. C.; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Variabilidade espacial da fertilidade da terra sob vegetação nativa e uso agropecuário: Estudo de caso na microbacia Vaca Brava – PB. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.62, p.119-124, 2010.

SIQUEIRA, H. E. Federal Institute of Triangle Mineiro – Uberaba/MG, Geoprocessing Laboratory – LabGeo. 2016.

TERENCIO, D. P. S.; FERNANDES, L.F.S; CORTES, R. M.V.; MOURA, J.P.; PACHECO, F.A.L.; Can Landcover Changes Mitigate Large Floods? A reflection based on Partial Least Squares-Path Modeling, *Water*. 2019

TOBIAS, R. D. An introduction to partial least squares regression. 20th SAS User-Group International Conference (SUGI). Orlando: [s.n.]. 1995.

TOWNSEND, C. R.; Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no Bioma Amazônia. . Porto Velho: [s.n.], 2009.

VALERA, C. A., PISSARRA, T. C. T., Filho, M. V. M., Valle Junior, R. F. V., Oliveira, C. F., Moura, J. P., Fernandes, L. F. S., Pacheco, F. A. L.. The Buffer Capacity of Riparian Vegetation to Control Water Quality in Anthropogenic Catchments from a Legally Protected Area : A Critical View over the Brazilian New Forest Code. (2019). doi:10.3390/w11030549

VALERA, C. A., PISSARRA, T. C. T., FILHO, M. V. M., VALLE JUNIOR, R. F. V. & FERNANDES, L. F. S. Land Use Policy A legal framework with scientific basis for applying the ‘ polluter pays principle ’ to soil conservation in rural watersheds in Brazil. *Land use policy* 66, 61–71 (2017).

VALLE JUNIOR, R. F. do. Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista —Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F.; VARANDAS, S. G. P., FERNANDES, L. F. S. & PACHECO, F. A. L. Land Use Policy Environmental land use conflicts : A threat to soil conservation. *Land use policy* 41, 172–185 (2014)

VALLE JUNIOR, R.F.; GALBIATTI, J.A.; MARTINS FILHO, M.V.; PISSARRA, T.C.T. (2010) Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 897-908.

VALLE JUNIOR, R. F. do et al. Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberaba. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v. 6, n. 1, p.40-52, jan./abr. 2013.

VALLE JUNIOR, R. F. do et al. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [s.l.], v. 14, p.20-33, abr. 2019.

VIRÁGH, K.; TÓTH, T.; SOMODI, I. Effect of slight vegetation degradation on soil properties in *Brachy podium pinnatum* grass lands. *Plant Soil*, v.345, p.303-313, 2011. Warrick.

WOLD, Herman. Estimation of principal components and related models by iterative least squares", 1966, in P.R. Krishnaiah, editor, *Multivariate Analysis*.

WOLD, Herman. "Model Construction and Evaluation When Theoretical Knowledge Is Scarce Theory and Application of Partial Least Squares" 1980, in J. Kmenta and J.B. Ramsey, editors, *Evaluation of Econometric Models*