

Simone Costa Coelho

Geoprocessamento Aplicado a
Avaliação de Serviços
Ecosistêmicos no Município de
Arcos - MG

XVI Curso de Especialização em
Geoprocessamento



UFMG

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Belo Horizonte

cartografia@igc.ufmg.br

SIMONE COSTA COELHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO A AVALIAÇÃO DE
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS NO MUNICÍPIO DE ARCOS - MG**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Geoprocessamento do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Geoprocessamento.

Orientadora: Prof^ª. Sônia Maria Carvalho
Ribeiro.

Belo Horizonte

2017

C672g Coelho, Simone Costa.
2017 Geoprocessamento aplicado a avaliação de serviços ecossistêmicos no município de Arcos - MG [manuscrito] / Simone Costa Coelho. – 2017.
45 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Sónia Maria Carvalho Ribeiro.
Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2017.
Bibliografia: f. 43-45.

1. Geoprocessamento. 2. Solo – Uso. 3. Biodiversidade – Conservação. 4. Sensoriamento remoto. I. Carvalho-Ribeiro, Sónia Maria. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. III. Título.

CDU: 528(815.1)

Aluna Simone Costa Coelho

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 06 de dezembro de 2017, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Profª. Dra. Sónia Maria Carvalho Ribeiro


Prof. Dr. Bráulio Magalhães Fonseca

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores do curso, todos os conhecimentos que eles compartilharam, todas as técnicas abordadas durante as aulas, foram de suma importância na elaboração deste trabalho, e sem dúvida, na minha vida profissional.

A minha orientadora professora Sónia Maria Carvalho Ribeiro, que embarcou comigo nesta jornada de monografia e compartilhou seus conhecimentos e ideias acerca do tema.

Aos colegas do curso que participaram de forma ativa neste processo, durante o período de convivência, foram muitos momentos de solidariedade, trocas de conhecimentos e habilidades.

A minha família, que me apoiou e sempre esteve ao meu lado, em especial a minha filha Kayllane, motivo do meu esforço contínuo em ser uma pessoa melhor.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O debate sobre os Serviços Ecossistêmicos (SE) têm sido mais frequente a cada década. No Brasil, diversas são as iniciativas públicas, privadas e comunitárias, na qual resultou na Matriz Brasileira de Pagamento por Serviços Ambientais (MBPSA), no ano de 2015. Nesta abordagem, é discutido o pagamento por estes serviços, que tange a regulamentação, proteção, manutenção e preservação dos recursos naturais. O presente trabalho apresentou um estudo de caso do município de Arcos - MG, acerca do mapeamento dos potenciais Serviços Ecossistêmicos a partir do uso e ocupação do solo. Para a obtenção dos resultados, foi realizada a classificação supervisionada de imagem do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 m, que usou como o algoritmo classificador a máxima verossimilhança (MAXVER). Foi também desenvolvida uma Matriz de Classificação de Serviços Ecossistêmicos a partir das classes de Uso do Solo do município, que atribuiu valores a cada classe de uso do solo a partir da sua associação com diferentes tipos de serviços ecossistêmicos (provisão, regulação e culturais). Realizou-se uma análise espacial a partir da Matriz, onde adotou-se as notas e os pesos de cada variável conforme sua representação em cada tipo de serviço ecossistêmico. A realização da álgebra de mapas possibilitou o cruzamento das informações e seu comportamento em cada classe temática, gerando assim, três (3) mapas de Potenciais Serviços Ecossistêmicos: Regulação, Provisão e Cultural. Os resultados mostram que os serviços de provisão são predominantes no município de Arcos. Este resultado demonstra que ainda que o conceito de SE e os Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSE) sejam incentivados pela MBPSE, os municípios e seus atores locais, tendem ainda a privilegiar serviços de provisão com retornos diretos na lógica de mercado atual enquanto os serviços ambientais não são ainda contabilizados. Este é um dos grandes desafios para a implementação das ações propostas na MBPSE. No entanto, no município de Arcos, existe uma forte associação entre os serviços culturais com as áreas de vegetação natural e afloramentos rochosos, dado pela atração turística que a geomorfologia cárstica proporciona ao município. Essas áreas apresentaram grande potencial para adoção de PSE a partir da preservação, manutenção e se possível recuperação das mesmas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comprimento da onda eletromagnética.	17
Figura 2: Espectro eletromagnético.	18
Figura 3: Comportamento espectral dos alvos.	19
Figura 4: Mapa de localização de Arcos, MG.	21
Figura 5: Composição falsa cor RGB483 da imagem do satélite Sentinel-2 - L1C_T23KMT_A010860_20170721T131244.	28
Figura 6: Metodologia aplicada para tratamento dos dados espaciais.....	32
Figura 7: Mapa de uso e ocupação do solo de Arcos – MG. Resultado da classificação supervisionada a partir da imagem de satélite Sentinel-2, 21/01/2017. Método classificatório: maxver.	34
Figura 8: Espacialização das variáveis dos Serviços de Regulação por uso do solo de Arcos – MG.....	36
Figura 9: Espacialização das variáveis dos Serviços de Provisão por uso do solo de Arcos – MG.....	37
Figura 10: Espacialização das variáveis dos Serviços Culturais por uso do solo de Arcos – MG.....	38
Figura 11: Mapa de Potenciais Serviços Culturais de Arcos – MG.	39
Figura 12: Mapa de Potenciais Serviços de Regulação de Arcos - MG.....	40
Figura 13: Mapa de Potenciais Serviços de Provisão de Arcos - MG.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção Agrícola do Município Arcos – Cereais, Leguminosas e Oleaginosas – Fonte: IBGE, Produção Agrícola Municipal, Anual, 2015.	23
Tabela 2: Perfil da Pecuária de Arcos – MG. Fonte: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2015.	24
Tabela 3: Atividades Econômicas de Arcos, MG.	25
Tabela 4: Bandas espectrais do satélite Sentinel-2.	26
Tabela 5: Classes amostrais para classificação supervisionada.	29
Tabela 6: Matriz dos serviços ecossistêmicos por uso do solo. Valores: 0 = nenhum potencial relevante; 1 = potencial irrelevante; 2 = potencial pouco relevante; 3 = potencial relevante; 4 = potencial de alta relevância; 5 = potencial de máxima relevância.	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

APP - Área de Proteção Ambiental

CAR - Cadastro Ambiental Rural

MBPSA - Matriz Brasileira de Pagamento por Serviços Ambientais

MMA - Ministério do Meio Ambiente

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

PSA - Pagamento por Serviços Ambientais

PSE - Pagamentos por Serviços Ecosistêmicos

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

SE - Serviços Ecosistêmicos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Serviços Ecosistêmicos na América Latina e no Brasil	12
2.2 Pagamento por Serviços Ecosistêmicos	13
2.3 Geoprocessamento	15
Um método muito adotado em análise e modelagem de dados espaciais, é a análise de multicritérios.....	16
2.4 Sensoriamento Remoto	17
2.5 Classificação de imagens de satélite	19
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.1 Contexto socioeconômico.....	22
3.1.1 Agropecuária	22
3.1.2 Indústria e comércio	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 Processamento digital de imagem.....	25
4.1.1 Aquisição da imagem de satélite	25
4.1.2 Empilhamento e recorte das bandas	26
4.1.3 Composição de bandas (RGB)	27
4.1.4 Classificação digital de imagem.....	28
4.1.5 Pós classificação de imagem	30
4.2 Matriz de classificação dos Serviços Ecosistêmicos.....	30
4.3 Análise espacial	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

Diariamente o ser humano usufrui de uma diversidade de bens e serviços ecossistêmicos fornecidos pela natureza, que são fundamentais para a vida humana e seu bem-estar. A água, o ar, a energia e o alimento são exemplos de bens vitais para o homem, entre outras infinitudes de recursos que os ecossistemas fornecem aos seres humanos. No entanto, a busca desenfreada por recursos naturais no último século, constatou um forte desequilíbrio ecossistêmico em grandes regiões do planeta, resultando uma degradação ambiental descontrolada (MATRIZ BRASILEIRA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, 2015, p.7).

Atualmente, muitos indicadores sugerem que a procura humana por serviços ecossistêmicos irá crescer ainda mais nas próximas décadas. Com um aumento da população e uma quadruplicação da economia até 2050, a tendência é aumentar o consumo de serviços ambientais, como também o impacto nos ecossistemas que estes oferecem (ACALMO ET. AL., 2003). Assim, se torna essencial a manutenção e regulação para o uso sustentável de todos os serviços oferecidos pelo meio ambiente.

Estes serviços provenientes do meio ambiente, geralmente são pagos de forma indireta. Um dos exemplos é o custo público, na manutenção de áreas protegidas. Outros exemplos são: o consumo cotidiano com pagamento elevado por produtos que exigem esforços maiores para manter a qualidade em seu processo produtivo; escassez de um produto levado à exaustão devido a exploração insustentável; no custo social assimilado pelo cidadão; nos impostos exacerbados de companhias públicas e privadas para fornecimento de serviços ecossistêmicos. Infelizmente, muitas vezes o pagamento se dá também pela destruição e perda da vida humana, quando à ocorrência de desastres naturais em áreas que perderam a proteção natural contra enchentes, deslizamentos ou secas prolongadas, resultado da omissão de uso insustentável dos recursos (MATRIZ BRASILEIRA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, 2015, p.7).

Nesta abordagem, é necessário que o pagamento por estes serviços ambientais seja feito de forma transparente, no que tange a regulamentação, proteção, manutenção e preservação dos recursos naturais. De acordo com Gleuda e Young (2005) apud Atanzio (2011), o Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE) surge como uma opção que pode contribuir para preservação e conservação ambiental.

No Brasil, diversas são as iniciativas públicas, privadas e comunitárias que estão em desenvolvimento em diferentes arranjos de execução e cooperação, na qual resultou na Matriz Brasileira de Pagamento por Serviços Ambientais (MBPSA), no ano de 2015. A Matriz tem o objetivo de contribuir para o aprofundamento do debate sobre a aplicação destes instrumentos em escala mais ampla e de forma institucionalizada no país (MATRIZ BRASILEIRA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, 2015, p.8). A vigência da Legislação de proteção da vegetação nativa – Lei nº12.651/2012, que substituiu o código florestal – se torna um poderoso instrumento na proteção de reserva legal, áreas de preservação permanente (APP) em imóveis rurais e principalmente, restaurar áreas que foram degradadas que somam dezenas de milhões de hectares.

Outro instrumento brasileiro com grande potencial na preservação e à manutenção dos serviços ecossistêmicos, é o Cadastro Ambiental Rural (CAR) que se tornou obrigatório com a vigência da legislação. Com ele, surge possibilidade de novos mecanismos de cooperação, interação entre produtores e consumidores, uma vez que o CAR facilitará o acompanhamento, monitoramento e a rastreabilidade do produtor rural, expondo-a as exigências do consumo responsável.

Na última década, com a crescente conscientização do consumidor brasileiro e global, o aumento da exigência por produtos saudáveis e sustentáveis foi muito significativo. A Matriz Brasileira identificou que estas mudanças de hábitos impulsionam produtores-empresas a valorarem os serviços ecossistêmicos associados à manutenção de ambientes saudáveis e produtivos. Neste âmbito, se faz de grande importância a pesquisa e investimento das iniciativas públicas e privadas aos projetos de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE).

A avaliação de áreas prioritárias à preservação, como subsídio ao PSE se torna cada vez mais necessária e mais eficaz quando feita a partir de uma análise espacial, a fim de identificar, mapear, caracterizar e gerenciar todos os aspectos envolventes, apoiado a uma base de dados geográficos que possibilite a análise e cruzamento de dados espaciais, para melhor representação da realidade de dadas áreas.

O uso do Geoprocessamento em suas diversas aplicações, torna muito viável, eficaz e representativo para a tomada de decisões quanto ao gerenciamento de áreas que fornecem bens e serviços ecossistêmicos, bem como as prioritárias a preservação ambiental. Neste sentido, o presente trabalho apresenta um estudo de caso do município de Arcos - MG, com o objetivo de

mapear os serviços ecossistêmicos existentes no município e avaliá-los conforme sua representação territorial.

Com isso, pretende-se contribuir com as iniciativas públicas e privadas de Arcos, para melhorias na gestão e dimensionamento dos pagamentos ambientais por Serviços Ecossistêmicos (SE), além de propiciar a busca contínua de medidas sustentáveis para a manutenção, preservação e conservação dos recursos naturais do município.

Para obtenção dos resultados esperados, foi realizada a classificação do uso do solo do município a partir de imagens de satélite com resolução espacial de 10 m, com a utilização de softwares de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, juntamente ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). A classificação do uso do solo subsidiou a identificação e mapeamento dos serviços ecossistêmicos e também as análises das áreas mais expressivas que podem subsidiar o Pagamento por Serviços Ecossistêmicos no município.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Serviços Ecossistêmicos na América Latina e no Brasil

O debate sobre Serviços Ecossistêmicos iniciou-se na América Latina, na década de 1980, no âmbito dos quadros conceituais da etnoecologia, ecologia cultural, a ecologia política e o metabolismo social (BALVANERA, 2011). Os primeiros estudos focavam em SE individuais, realizava avaliação econômica de SE específicas, influenciadas pelo campo emergente da ecologia econômica. Inseridos nessa tendência regional, alguns países refletem contextos históricos de grande importância para a atuação da regulação desses serviços nos dias atuais.

De acordo com Balvanera (2011), um dos países pioneiros nos estudos ecossistêmicos na América Latina, foi a Argentina, embasada em seu território com campos férteis e extensas áreas de agricultura, iniciou a pesquisa e investimentos aos SE, com o fim de expansão agrícola para atendimento à economia internacional. A Bolívia começa a preocupar-se com o tema a partir dos seus trabalhos com fornecimento de madeiras e produtos florestais.

De acordo com Guedes et al. (2009) a pesquisa de SE no Brasil teve início na Bacia do Rio Amazonas, devido à pressões do desmatamento na Floresta Amazônica, as pesquisas voltadas para a regulação climática global, destacando a ligação do desmatamento com os ciclos biogeoquímicos, bem como o sequestro de carbono, contribuindo assim com o avanço nas pesquisas globais.

A Costa Rica foi o primeiro país latino-americano a estabelecer um programa de PSE (BALVANERA, 2011). Os estudos ecológicos do Panamá, da década de 1990, registram a discussão de SE juntamente à manutenção da cobertura florestal, na bacia do Canal Panamá (FMI, 2009). De acordo com o UNEPE (2009), as pressões de desmatamento das matas nativas no Chile, subsidiando o avanço à agricultura intensiva, ligado às condições do relevo escarpado, impulsionaram a produtividade com foco na regulação da qualidade da água e também uso sustentável dos recursos.

Dentre os países latino-americanos com atuação dos serviços ecossistêmicos, a maior diversidade biológica, encontra-se no Brasil, com 56,214 mi de espécies endêmicas da fauna e flora, seguido por Colômbia com 54,443 mi; México 28,469 mi e Bolívia 19,666 mi. O Chile obtém a menor biodiversidade biológica, com apenas 5.989 das espécies (BALVANERA, 2012).

No ano de 2012, o Brasil contava com onze programas de pagamentos por serviços ambientais, nas escalas internacional, nacional, regional e local; compreendendo aos serviços: Hidrológicos (4); Biodiversidade (5); Sequestro de carbono (6); Produção (3); prevenção de incêndios (1). A maior despesa em SE no Brasil continua a vir de projetos internacionais desenvolvidos para o sequestro de carbono na Amazônia (CORREDOR, 2008) apud BALVANERA (2012).

O apoio financeiro brasileiro é proveniente do Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Agricultura, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e Ministério da Ciência e Tecnologia.

2.2 Pagamento por Serviços Ecossistêmicos

De acordo com Kumar (2005) apud Atanzio (2011), o ecossistema é um conjunto de comunidades que interagem entre si como uma unidade funcional, onde uma ampla gama de serviços é oferecido, provenientes de seus processos biogeoquímicos, os quais são essenciais

para a manutenção da vida no planeta. Desta forma, um ecossistema é um sistema estável, uma unidade natural constituída de partes não viva (água, gases atmosféricos, sais minerais, radiação solar) e parcelas vivas (plantas, animais, micro-organismos) que interagem e se relacionam entre si. A manutenção dessas unidades se torna fundamental para o fornecimento desses serviços naturais no cotidiano da vida humana.

Nas últimas décadas, estudos apontam o interesse de avaliar os ecossistemas relacionando-os ao bem-estar humano. Esta pesquisa foi palco de um programa iniciado em 2001, chamado Avaliação do Milênio dos Ecossistemas. Este programa durou quatro anos, e foi concebido para responder às necessidades e as decisões políticas quanto a informação científica sobre a relação entre as mudanças nos ecossistemas e o bem-estar humano.

Na pesquisa citada, Acalmo et. Al (2003) pondera muitas contribuições como uma avaliação de ecossistemas pode ser de grande utilidade a qualquer país, região ou companhia, sendo elas: “1. Aprofundar a compreensão da relação e conexões entre o ecossistema e o bem-estar humano; 2. demonstrar o potencial dos ecossistemas para contribuir na redução da pobreza e aumento no bem-estar; 3. Avaliar a compatibilidade de políticas estabelecidas a diferentes escalas por instituições; 4. interagir aspirações econômicas, ambientais, sociais e culturais; 5. Interagir informações das ciências sociais e naturais; 6. Identificar e avaliar opções políticas e de gestão para proteger os serviços ecossistêmicos e harmoniza-los com as necessidades humanas; 6. Facilitar a gestão integrada do ecossistema.”

De acordo como Ministério do Meio Ambiente (2016), os serviços ecossistêmicos são os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas naturais, como provisão de alimentos, a regulação climática, a formação do solo, regulação de enchentes, secas, serviços culturais como o valor espiritual, entre outros. É considerado como o conjunto de processos naturais dos ecossistemas capazes, em última análise, de sustentar a vida no planeta.

Os benefícios que as pessoas obtém dos ecossistemas, podem ser classificados em: serviços de provisão, que são os produtos obtidos pelos ecossistemas como a água, madeira, fibras, combustível; serviços de regulação, que são benefícios obtidos através da regulação dos processos ecossistêmicos, por exemplo, regulação do clima, doenças, água; e os serviços culturais, obtidos através dos benefícios não materiais dos ecossistemas como valores religiosos, estéticos, educacionais, recreação, turismo, identidade local, herança cultural, entre outros (ACALMO, ET. AL., 2003).

De acordo com Young e Bakker (2015) em um sistema ideal, o “poluidor” paga ao “protetor”. Este processo é conhecido como pagamento por serviços ambientais, onde o “gestor” de áreas naturais é estimulado, através de financiamento direto ou indireto, a proteger o bem comum, dado os bens e serviços ofertados pelo meio ambiente que são de interesse indireto ou direto do ser humano, como provisão de água, beleza cênica, regulação do clima, entre outros.

Neste sentido, são desenvolvidas iniciativas de pagamentos por estes serviços ecossistêmicos, como por exemplo, proteção de bacias hidrográficas, conservação da biodiversidade e sequestro do carbono. Com isso, obtém-se algumas fontes de pagamentos por serviços ecossistêmicos, com financiamento principalmente por fontes públicas como: o ICMS Ecológico, Fundo de Participação dos Estados Verdes (FPE), Fundo Nacional do Meio Ambiente, Royalties provenientes de recursos naturais e serviços industriais, Isenção Fiscal para RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural) entre outras fontes que incentivam aos projetos de PSE e PSA (Pagamentos por Serviços Ambientais).

De acordo com Atanzio (2011), para que o PSE seja eficiente e potencialmente sustentável, é necessário basear o pagamento dos provedores que verdadeiramente fornecem um serviço. Contudo, Sosink (2010) apud Atanzio (2011) afirma que se não é possível valorar ou medir exatamente o serviço ambiental, paga-se pelo uso e ocupação do solo que garantirá o fornecimento deste serviço.

2.3 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento é caracterizado para uma área multidisciplinar, que envolve conhecimentos de diferentes disciplinas e ciências, como por exemplo Geografia, Cartografia, Ciência da Computação, Sensoriamento Remoto, Engenharia, Geodésia, entre outras (DAVIS, 2001).

Segundo Moura (2007), o Geoprocessamento engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas de informação geográfica que representem o mundo real sob a forma computadorizada, com bases cartográficas e um sistema de coordenadas preciso.

O Sistema de Geoprocessamento classifica os sistemas computacionais capazes de capturar, processar e gerenciar dados georreferenciados, isto é, objetos com atributos contendo informação espacial sobre sua localização geográfica sobre um sistema de coordenadas (FILHO e IOCHPE, 1996). Entre os sistemas de Geoprocessamento, podemos citar o SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Conceito de SIG ou GIS (Geographic Information System) são sistemas automatizados para capturar, armazenar, manipular, apresentar, analisar todas as informações referenciadas geograficamente.

Xavier-da-Silva (1992), apud Moura (2007) destina o geoprocessamento a tratar problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão das relações espaciais dos fenômenos analisados, visando contribuir para a tomada de decisões que envolve o espaço e a sociedade.

De acordo com Moura (2007) entre as etapas componentes do Geoprocessamento, destaca-se a aplicação de análise espacial destinada à caracterização de ocorrências espaciais, apoiadas ao SIG. Neste âmbito, a aplicação do Geoprocessamento atrelado aos estudos ambientais, se torna fundamental para uma análise territorial levando em consideração o meio físico, biótico, econômico, social e cultural, a fim de potencializar representação da realidade de determinado espaço geográfico.

Um método muito adotado em análise e modelagem de dados espaciais, é a análise de multicritérios. Segundo Moura (2007) a utilização da análise de multicritérios no Geoprocessamento se baseia na lógica de construção de um SIG, que seria basicamente:

- Seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial;
- Representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação;
- Discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados;
- Promoção da combinação das camadas variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade;
- Possibilidade de validação e calibração do sistema, diante da verificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.

2.4 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto compreende à obtenção de imagens e dados da superfície terrestre através da captação e registro da energia refletida/emitada pela superfície terrestre sem que haja contato físico entre o sensor e a superfície estudada (por isso é chamado de remoto).

Esta técnica envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registrados por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção de dados por sensoriamento remoto, também é chamada de radiação eletromagnética (MORAES, 2002).

A energia solar é a principal fonte natural de energia eletromagnética utilizada no sensoriamento remoto da superfície terrestre. Segundo Moraes (2002) a energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, é uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (300.000 km/s).

O comprimento da onda é definido pela distância entre dois pontos semelhantes. A frequência da radiação eletromagnética é definida pelo número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo (**Figura 1**).

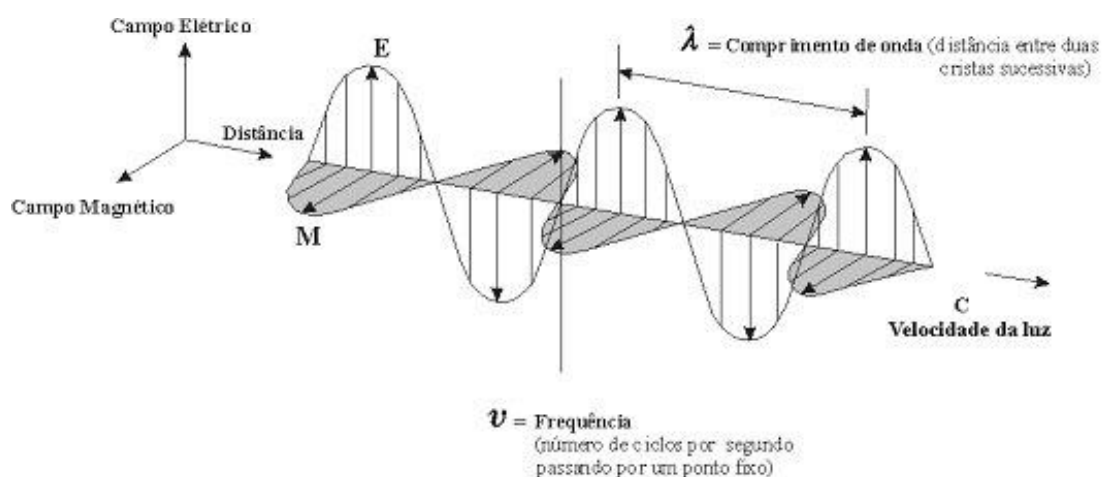


Figura 1: Comprimento da onda eletromagnética.
Fonte: Moraes, 2002.

De acordo com Figueiredo (2005) a faixa completa do comprimento de ondas e de frequência da radiação eletromagnética é chamado de espectro eletromagnético. O autor ainda faz uma diferenciação do sensoriamento remoto passivo e ativo. Segundo o autor, o sensoriamento remoto passivo utiliza as faixas do espectro que consiste na luz do visível (faixas espectrais de $0,4 \mu$ e $0,7 \mu$), e do infravermelho (faixas de 1μ a $2,5 \mu$) e o termal ($2,5$ e 13μ). O sensoriamento ativo utiliza ondas de radar no processo de imageamento e operam com microondas nas faixas de $0,8$ a 1 cm, de $2,4$ a $3,8$ cm e de 15 e 30 cm. A **Figura 2** apresenta o espectro eletromagnético.

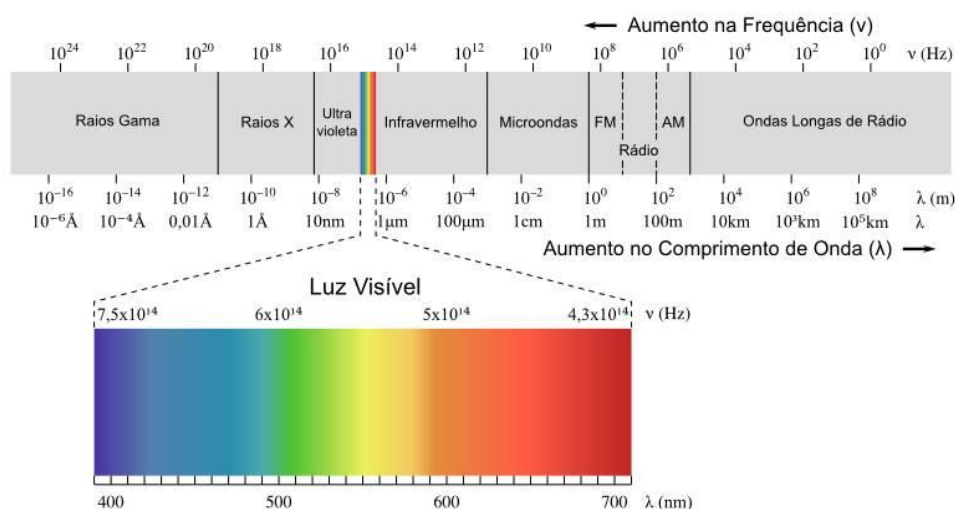


Figura 2: Espectro eletromagnético.
Fonte: Moraes, 2002.

As feições da superfície terrestre representam comportamentos diferenciados nas diferentes faixas do espectro de luz incidente. Isso ocorre devido às suas diferentes composições físico-químicas que fazem com que cada alvo absorva ou reflita diferentes níveis de luz e radiação solar. Desta forma, cada alvo recebe a sua assinatura espectral.

De acordo com Moraes (2002) outros fatores influenciam na resposta espectral dos alvos, são eles: textura, densidade, posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência de luz solar e a geometria dos alvos.

A **Figura 3** representa o comportamento espectral de alvos muito frequentes nas imagens de sensoriamento remoto, como água, solo e vegetação.

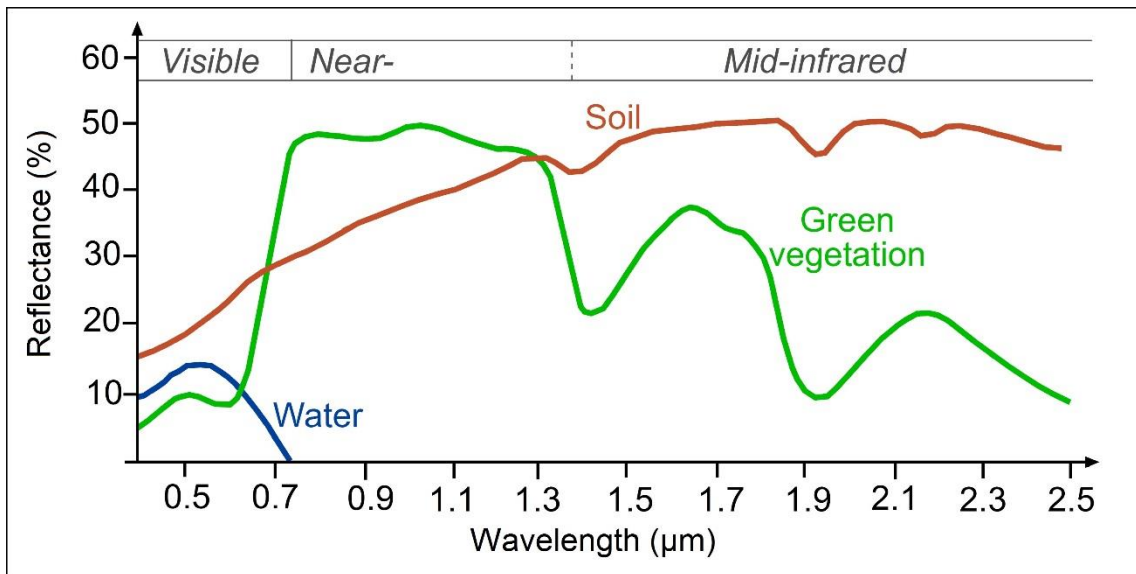


Figura 3: Comportamento espectral dos alvos.
 Fonte: Moraes, 2002.

O conhecimento do comportamento espectral dos alvos terrestres é muito importante para o estudo de caso em questão, pois envolve práticas de processamento de imagens de satélite, segmentação das feições dada por classificação supervisionada, através de amostragens de regiões diferenciadas na imagem, conforme o comportamento espectral de cada feição a ser identificada.

2.5 Classificação de imagens de satélite

A classificação de imagens de satélite consiste no processo de identificação, classificação e extração de informações a fim de reconhecer padrões e objetos homogêneos, mapeados na superfície terrestre, os quais correspondem aos temas de interesse.

Apesar da técnica de interpretação visual ser muito utilizada, há uma tendência de utilização da classificação computacional, devido a rapidez e facilidade em obter resultados (CROSTA, 1992) apud Moreira (2003).

Na classificação digital de imagens, os alvos presentes na superfície terrestre são conhecidos por classes temáticas e os *pixel's* são os classificadores dos alvos.

A classificação digital de imagens subdivide-se em supervisionada e não-supervisionada, dependendo do algoritmo que será aplicado. Ambos os casos demandam duas fases: a do treinamento e a da classificação (MOREIRA, 2003). De acordo com o INPE (2006) o treinamento é compreendido como a assinatura espectral das classes.

A classificação supervisionada é um método que exige algum conhecimento prévio da área, principalmente do comportamento espectral dos alvos presentes na imagem de análise. A assinatura espectral de cada alvo é criada a partir das classes identificadas na superfície. Para um treinamento supervisionado o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza.

Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 *pixel's* de treinamento por classe. O número de *pixel's* de treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes (INPE,2006).

A classificação não supervisionada utiliza algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem. Nesta classificação, o usuário não deve se preocupar com homogeneidade das áreas. Os métodos mais utilizados nas técnicas de classificação multiespectral são: máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo.

O método paralelepípedo, considera um intervalo de valores (nível de cinza) dentro de cada categoria na área de treinamento, definidos como valores mínimo e máximo para cada banda espectral.

O método distância mínima considera as “distâncias” entre um *pixel* e as médias das classes. Este método atribui o *pixel* à classe que apresentar a menor distância, assim se a distância do *pixel* for maior do que a distância de qualquer categoria definida pelo analista, o *pixel* permanecerá como não classificado ou “desconhecido”.

O método máxima verossimilhança (MAXVER) considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis de cinza das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Utiliza estatísticas de treinamento para calcular a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma determinada classe e atribui o *pixel's* às classes de maior probabilidade. Este método é o mais utilizado, na classificação de imagens, fornece classificações com as melhores precisões. No entanto, é necessário maior número de *pixel's* e amostras na fase do treinamento.

É muito importante a análise pós classificatória, com base na matriz de classificação. A matriz de classificação apresenta a acurácia e grau de precisão do resultado da classificação digital. Apresenta a distribuição de porcentagem de "pixel's" classificados correta e erroneamente.

De acordo com o INPE (2006) uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Arcos está localizado na microrregião de Formiga, pertencente à região oeste de Minas Gerais. Situa aproximadamente, a 240 km de distância de Belo Horizonte e sua área territorial corresponde a 509,87 km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2015).

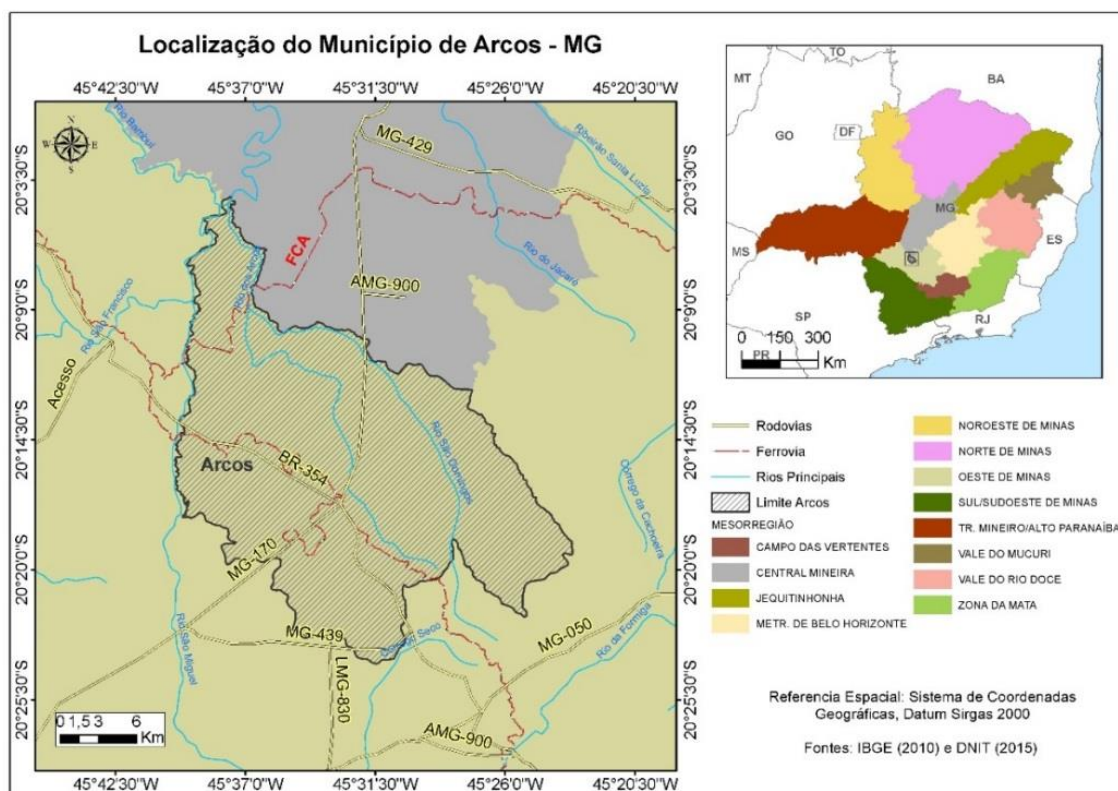


Figura 4: Mapa de localização de Arcos, MG.

De acordo com Muniz (2013), Arcos situa sobre a porção mais ao sul da província cárstica do grupo Bambuí, na extremidade sudoeste do cráton do São Francisco. Devido sua formação geológica, o município de Arcos, bem como a região abriga muitos recursos naturais de elevado potencial econômico. As rochas carbonáticas (calcários e dolomitos) propiciam a mineração de extração de cal, cimento e corretivos agrícolas.

O bioma predominante de Arcos é o Cerrado, com o relevo de depressão do alto-médio de São Francisco. No entanto encontra-se transição com Mata Atlântica na porção sudoeste do município, onde o relevo é caracterizado pelo planalto do Centro-Sul (IBGE, 2005). O município tem um potencial agrícola muito significativo, com o solo relativamente fértil devido a formação geológica de rochas argilo-carbonáticas, metamórficas e sedimentos de aluviões, que ocasiona a extensas áreas de plantações e cultivo da agricultura. O clima é tropical, caracterizado como semi-úmido, com poucas chuvas sazonais e um período de seca entre 4 a 5 meses (IBGE, 2005). De acordo com os dados do CECAV (2017) Arcos obtém trezentos e trinta e uma cavidades em seu território.

3.1 Contexto socioeconômico

No ano de 2016, estimou-se a contagem da população de Arcos em 39.537 habitantes (IBGE, 2016). A média dos salários mensais dos trabalhadores formais corresponde a 2,3 salários mínimos, o número do pessoal ocupado é de 13.022, que corresponde a 33,4% da população do município (IBGE,2014). Segundo pesquisa do IBGE em 2010, o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de Arcos teve nota de 0,749, o PIB Per Capita do município corresponde a R\$33.758,45 (IBGE,2014).

De acordo com o IBGE (2014) o PIB a preço concorrente do município de Arcos contabilizou, no ano de 2014, um total de R\$ 1.314.757,00 divididos entre as principais atividades econômicas: Indústria (R\$615.332,00); Agricultura/Agropecuária (R\$21.599,00); e Serviços (R\$430.802,00).

3.1.1 Agropecuária

A agricultura do município de Arcos constitui por lavouras temporárias de grande diversidade e produção agrícola, com o cultivo de cereais, leguminosas e oleaginosas. Os produtos produzidos pela agricultura são: cana-de-açúcar, milho, arroz, feijão, girassol, tomate e mandioca. A **Tabela 1** apresenta a área plantada, produção e rendimento de cada cultivo.

Tabela 1: Produção Agrícola do Município Arcos – Cereais, Leguminosas e Oleaginosas – Fonte: IBGE, Produção Agrícola Municipal, Anual, 2015.

Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção dos principais produtos das lavouras temporárias e permanentes, em ordem decrescente de área colhida, segundo os Municípios Minas Gerais - 2015					
Municípios e principais produtos das lavouras temporárias e permanentes	Área plantada ou destinada à colheita (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)	Valor (1 000 R\$)
Arcos	14 164	14 164	48 893
Lavouras Temporárias	14 164	14 164	48 893
Cana-de-açúcar (2)	8 700	8 700	522 000	60 000	29 832
Milho (em grão)	5 000	5 000	33 700	6 740	14 441
Arroz (em casca)	254	254	1 778	7 000	1 278
Feijão (em grão)	140	140	147	1 050	311
Girassol (em grão)	40	40	36	900	25
Tomate	18	18	1 800	100 000	2 908
Mandioca (2)	12	12	250	20 833	98

A produção de extração vegetal e silvicultura de Arcos, se baseia na espécie florestal Eucalipto, cultivada com destinação à lenha, papel e celulose. A área destinada para o cultivo do eucalipto é de 112 há (IBGE, 2015).

A pecuária de Arcos contempla a criação de bovinos, bubalinos, equinos, suínos, caprinos, ovinos e galináceos. O município conta também com a piscicultura de tilápia, conhecida na região.

Os produtos pecuários produzidos no município são basicamente o leite, mel e ovos de galinha. A **Tabela 2** apresenta informações quanto aos quantitativos da produção pecuária do município.

Tabela 2: Perfil da Pecuária de Arcos – MG. Fonte: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2015.

Perfil da pecuária municipal - 2015					
Arcos - MG					
Mesorregião: Oeste de Minas			Microrregião: Formiga		
Especificação	Quantidade	Participação (%)			Valor (1 000 R\$)
		Estadual	Mesorregional	Microrregional	
Efetivo dos rebanhos em 31.12					
Categorias					
Grande porte	38 045	0,2	2,6	14,7	...
Bovinos	36 642	0,2	2,6	14,6	24
Bubalinos	353	0,6	2,2	17,2	...
Equinos	1 050	0,1	3,0	17,1	...
Médio porte	2 670	0,0	1,0	3,7	...
Suínos (2)	2 600	0,1	1,0	3,6	...
Matrizes de suínos	240	0,0	0,9	4,0	...
Caprinos	30	0,0	2,8	7,1	...
Ovinos	40	0,0	0,5	4,3	...
Pequeno porte	54 000	0,0	0,3	3,6	...
Galináceos (3)	54 000	0,0	0,3	3,6	...
Galinhas	19 000	0,1	0,8	6,5	...
Codornas	-	-	-	-	...
Produção animal de 01.01 a 31.12					
Produtos					
Leite produzido (1 000 litros)	19 380	0,2	2,6	15,8	17 442
Ovos de galinha (1 000 dúzias)	218	0,1	0,5	7,5	741
Mel de abelha (toneladas)	48	1,1	8,4	29,9	394
Piscicultura					
Tilápia (toneladas)	5	0,0	0,7	6,1	24
Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2015.					
(1) A variável valor do efetivo não é pesquisada.					
(2) Inclui matrizes de suínos					
(3) Inclui galinhas					
(4) A quantidade produzida não é pesquisada					

3.1.2 Indústria e comércio

A economia predominante da cidade de Arcos, gira em torno das indústrias instaladas, devido à valorização dos recursos naturais oferecidos pela formação geológica da região cárstica situada sob o município. Com isso, as mineradoras de extração de cal, fábricas de cimento, fábricas de fertilização e correção do solo são as principais indústrias que fomentam o PIB da cidade, resultando em R\$ 615.332,00. Em segundo lugar, o comércio e serviços exclusivos, administração, saúde e educação públicas e seguridade social são responsáveis por R\$ 430.802,00 do PIB.

Tabela 3: Atividades Econômicas de Arcos, MG.
Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas, 2014.

Classificação das Atividades Econômicas - Arcos (MG) 2014	
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	12
Indústrias extrativas	20
Indústrias de transformação	210
Eletricidade e gás	-
Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1
Construção	69
Comércio; reparação de veículos automotores e motocicletas	690
Transporte, armazenagem e correio	182
Alojamento e alimentação	70
Informação e comunicação	26
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	13
Atividades imobiliárias	26
Atividades profissionais, científicas e técnicas	73
Atividades administrativas e serviços complementares	101
Administração pública, defesa e seguridade social	3
Educação	39
Saúde humana e serviços sociais	54
Artes, cultura, esporte e recreação	30
Outras atividades de serviços	99
Serviços domésticos	-
Organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais	-

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, foram estabelecidos os procedimentos descritos a seguir.

4.1 Processamento digital de imagem

4.1.1 Aquisição da imagem de satélite

Foi utilizada a imagem do satélite Sentinel-2 para desenvolvimento do trabalho e obtenção do uso do solo do município de Arcos. As imagens do satélite Sentinel são disponibilizadas em

formato de 100 por 100 km, conforme uma grade própria, são ortorretificadas, com o sistema de Coordenadas UTM, Datum WGS84.

O satélite Sentinel-2 obtém 13 bandas, todas elas têm resolução radiométrica de 16 *bit*, e, constitui de três tipos de resolução espacial, conforme representado na **Tabela 4**.

Tabela 4: Bandas espectrais do satélite Sentinel-2.
 Fonte: Engesat (2015) disponível em: <http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

A imagem de satélite referida consiste na extensão de coordenadas orbital de -20.3914545, -45.4326035. A imagem corresponde a data de 21/07/2017, no Sistema de Coordenadas UTM, Datum WGS84, disponível no site <https://earthexplorer.usgs.gov/>, nome do arquivo: “LIC_T23KMT_A010860_20170721T131244”.

4.1.2 Empilhamento e recorte das bandas

Foram utilizadas as bandas do visível e infravermelho, e, de resolução espacial de 10 m. São elas:

- B2 (Azul): comprimento da onda equivale e 490 nm;
- B3 (Verde): comprimento da onda equivale e 560 nm;
- B4 (Vermelho): comprimento da onda equivale e 665 nm; e
- B8 NIR (Infravermelho Próximo): comprimento da onda equivale e 665 nm.

Após o empilhamento, foi realizado o recorte da imagem sobre o limite de Arcos, estabelecendo a área de estudo.

4.1.3 Composição de bandas (RGB)

Embasado nas considerações da ESA (*European Space Agency*) quanto à composição do RGB do satélite Sentinel-2, utilizou-se a composição (falsa cor) RGB483, que possibilitou melhor visualização e detalhamento das áreas de vegetação, atenuou as áreas antropizadas pela mineração, mancha urbana e agriculturas, além do realce bastante satisfatório do NIR Infravermelho sobre as áreas de plantio de Eucalipto. Utilizou-se o *software* ENVI v5.1 para realização do empilhamento e composição das bandas.

A **Figura 5** representa o resultado da composição falsa cor RGB483 da imagem trabalhada.

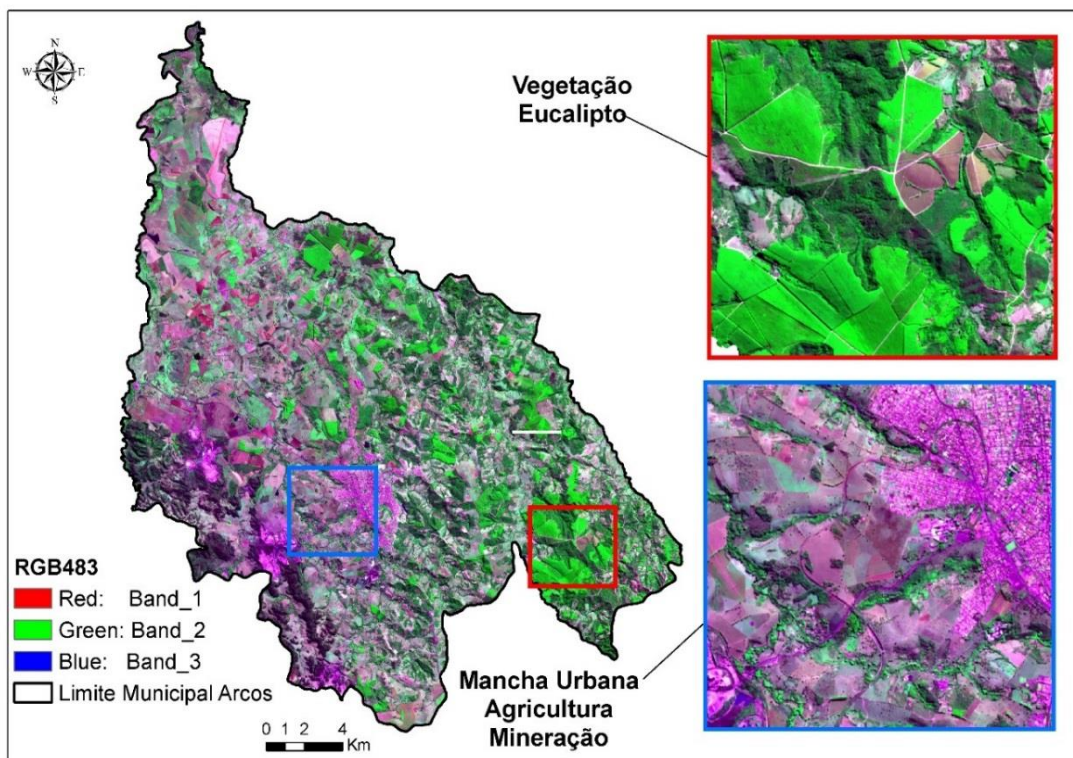


Figura 5: Composição falsa cor RGB483 da imagem do satélite Sentinel-2 - LIC_T23KMT_A010860_20170721T131244.

4.1.4 Classificação digital de imagem

Foi realizada a classificação supervisionada no software ENVI v5.1, e adotou o método da máxima verossimilhança (maxver). Este método considera a ponderação da distância entre as médias dos níveis de cinza das classes, utilizando parâmetros estatísticos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2006).

De acordo com Almeida et al (2011), o algoritmo maxver utiliza estatísticas de treinamento para calcular a probabilidade de um *pixel's* pertencer a uma determinada classe. Para que este método possa atribuir o *pixel* a determinada classe com maior probabilidade, é necessário um número elevado de *pixel's* para o conjunto de treinamento.

A classificação supervisionada é uma técnica que demanda algum conhecimento prévio das classes temáticas existentes na imagem que se deseja classificar. Neste sentido, foi feita uma análise prévia das classes do uso e ocupação da terra e observou os seguintes aspectos:

- As áreas de mineração, mancha urbana e áreas agrícolas onde o solo está completamente exposto têm a mesma resposta espectral, formando a tonalidades bastantes semelhantes de cor nas bandas do visível e do infravermelho, representados pelas cores roxa, rosa escuro e rosa claro. Os valores aproximados dos níveis de cinza dessas regiões são R=1.070; G=1.584 e B=1.096;
- Foram identificadas duas assinaturas espectrais para as áreas agrícolas: solo exposto de tonalidade branco a bege com valores de *pixel* aproximados de R= 3.809, G=4.400 e B=2.672; solo de cor roxa/rosado (mencionados no item anterior), com valores de *pixel* aproximados R=1.070; G=1.584 e B=1.096;
- As áreas de pastagem apresentam valores dos *pixel* de R=950, G=3232 e B=1182;
- As áreas de plantação de Eucalipto apresentam homogeneidade na textura e na geometria, e também na tonalidade de cor (verde intenso). Os valores aproximados dos *pixel*'s dessas regiões são R= 406, G=3.061 e B=626;
- Corpos d'água é a classe menos representativa na imagem, com pouquíssimos cursos d'água, apenas uma pequena faixa de rio ao norte, no limite do município, e, espelhos d'água artificiais próximo à mancha urbana e áreas de mineração.

Para todas as classes temáticas observadas na imagem, observou os níveis de cinza mais elevados na banda G (Green) composta pelo NIR – Infravermelho, da Banda-8/Sentinel-2.

Após o conhecimento prévio e identificação das classes temáticas da imagem, adotou as classes amostrais (treinamento) para coleta de conjuntos de *pixel* por área de interesse. A **Tabela 5** apresenta as classes das amostras.

Tabela 5: Classes amostrais para classificação supervisionada.

Código	Classe	Número de Pixel
1	Água	118
2	Área Antropizada (mancha urbana, mineração e solo exposto)	1.365
3	Solo Exposto I	4.313
4	Solo Exposto II	6.021
5	Vegetação	2.437
6	Pastagem	3.134
7	Eucalipto	3.562
8	Afloramento Rochoso	820

4.1.5 Pós classificação de imagem

Nesta etapa, avaliou-se a classificação após o processamento. Extraiu-se do software utilizado (ENVI v5.1) a matriz de confusão, que aponta o percentual total de acurácia e o coeficiente “Kappa”, da classificação realizada, o percentual individual de cada classe, indicando os possíveis conflitos. Com este dado, foi possível identificar as classes que obtiveram percentuais de conflitos mais expressivos, ou seja, classes com comportamento espectral semelhante.

O coeficiente “Kappa” é um método estatístico para avaliar o nível de concordância ou reprodutibilidade entre dois conjuntos de dados. Quando a concordância é total entre os dois conjuntos de dados $k = 1,0$.

De acordo com Crosta (1992) apud Almeida (2011) o método de classificação “maxver” *pixel-a-pixel* detecta melhor as classes de vegetação e de água, porém há grande confusão entre as classes que apresentam comportamento espectral semelhantes, como por exemplo, cobertura cerâmica se confunde com solo exposto; pavimentação se confunde com concreto, entre outras.

Neste sentido, cada classe foi analisada individualmente e reclassificadas, conforme os conflitos identificados, a exemplo, identificou polígonos de afloramentos rochosos classificado como água; polígonos de áreas antropizadas classificadas como solo exposto II, e também, conforme o uso e cobertura da terra, como por exemplo, a classe “Área Antropizada” abrange áreas de mineração, mancha urbana, solo agrícola exposto. Assim, cada área foi reclassificada conforme sua realidade, já analisada e identificada na imagem orbital antes da classificação digital.

Foi gerado o Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Arcos, com escala compatível a 1:50.000, conforme a PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e precisão de Classe A, com 25 m de precisão planimétrica.

4.2 Matriz de classificação dos Serviços Ecossistêmicos

Com base nos conhecimentos prévios dos dados socioeconômicos disponíveis no IBGE, e a matriz de classificação dos serviços ecossistêmicos por uso do solo, elaborada pelos autores Burkhard, Kandziora et al. (2012), como embasamento teórico, foi elaborado a matriz de classificação de potenciais serviços ecossistêmicos por uso e ocupação do solo de Arcos.

Identificou 5 (cinco) variáveis para cada tipo de serviço ecossistêmico, relacionando às classes de uso e ocupação do solo, considerando informações da área em questão, como a extensão territorial de cada classe temática, e também, levantamento dos dados secundários do IBGE. São elas:

- Serviços de Regulação – variáveis: regulação do clima; regulação do ar, regulação da água, regulação de doenças; e regulação de resíduos;
- Serviços de Provisão – variáveis: produção alimentícia (agricultura); produção animal (pecuária); produção mineral; produção de madeira; e produção de energia (cana-de-açúcar);
- Serviços Culturais – variáveis: patrimônio cultural; patrimônio religioso; patrimônio natural (natureza); turismo; e lazer.

Para cada variável, foi atribuída uma nota na escala de 0 a 5, sendo que, 0 corresponde nenhum potencial relevante; 1 corresponde a algum potencial irrelevante; 2 corresponde ao potencial pouco relevante; 3 corresponde ao potencial relevante; 4 corresponde ao potencial de alta relevância; 5 corresponde ao potencial de máxima relevância.

4.3 Análise espacial

Foi realizado a análise espacial a partir dos valores resultantes da matriz de classificação dos tipos de serviços potenciais por uso e ocupação do solo, a fim de mapear os potenciais serviços ecossistêmicos existentes na área de estudo. Utilizou-se o *software* ArcGis – versão 10.3 na modelagem dos dados espaciais.

A modelagem dos dados consistiu primeiramente, na transformação de cada variável em arquivo *raster*, atribuindo os valores da matriz para cada classe temática de uso do solo. Posteriormente foi feito o cálculo da média que cada variável representa em seu grupo de SE. Cada grupo de SE possui cinco variáveis, cada variável tem o seu peso conforme a sua representatividade, de forma que, a soma de todos os valores totaliza o peso 1 (um) para cada grupo. A **Figura 6** representa os passos adotados e resultados dos pesos.

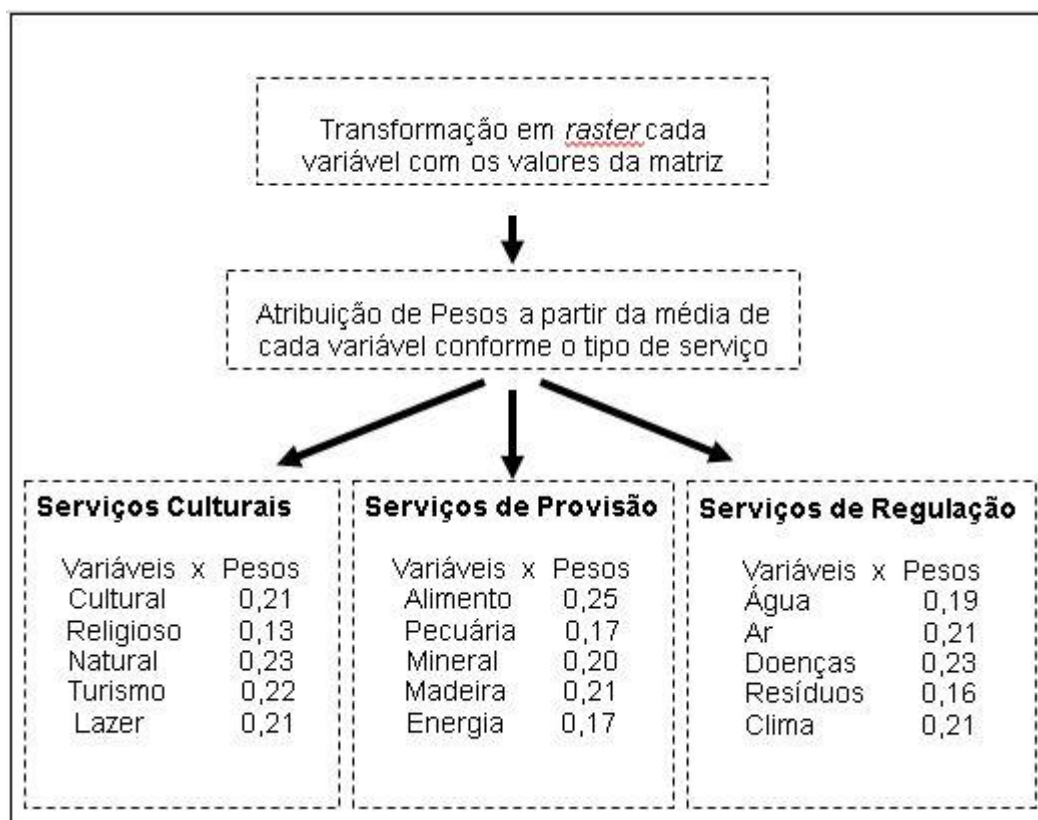


Figura 6: Metodologia aplicada para tratamento dos dados espaciais.

Após a atribuição de pesos às variáveis analisadas, foi realizado a álgebra de mapas para cada grupo de SE. Foi utilizado a ferramenta “*Raster Calculator*” do software ArcGis versão - 10.3, e foi adotado as seguintes álgebras:

- **Serviços Culturais:** $(\text{patrimônio cultural} \times 0,21) + (\text{patrimônio religioso} \times 0,13) + (\text{patrimônio natural} \times 0,23) + (\text{turismo} \times 0,22) + (\text{lazer} \times 0,21)$;
- **Serviços de Regulação:** $(\text{regulação da água} \times 0,19) + (\text{regulação do ar} \times 0,21) + (\text{regulação de doenças} \times 0,23) + (\text{resíduos} \times 0,16) + (\text{regulação do clima} \times 0,21)$; e
- **Serviços de Provisão:** $(\text{alimento} \times 0,25) + (\text{pecuária} \times 0,17) + (\text{mineral} \times 0,20) + (\text{madeira} \times 0,21) + (\text{energia} \times 0,17)$.

Os valores dos pesos foram atribuídos com base nos valores da matriz de classificação. O peso de cada variável corresponde de ao valor da média que estas representam em seu grupo na matriz.

Os respectivos rasters resultantes da álgebra de mapas para cada tipo de serviço ecossistêmico foram classificados em Baixo, Médio e Alto potencial. Para classificação do mapa, foi adotado o método classificatório “*Equal Interval*” do software ArcGis v-10.3, no qual divide as três

classes de igual intervalos. Assim, a classe Alto potencial representa valores mais altos da matriz de classificação, ou seja, classes de uso do solo com maior potencial de ocorrência de dado serviço ecossistêmico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação supervisionada de imagem de satélite, resultou em um coeficiente de “*Kappa*” de 0.9702, e um percentual de acurácia de 97.7757%. A partir das classes das amostras para classificação digital, foram criadas as classes de uso e ocupação do solo do município de Arcos, apresentadas na **Figura 7**.

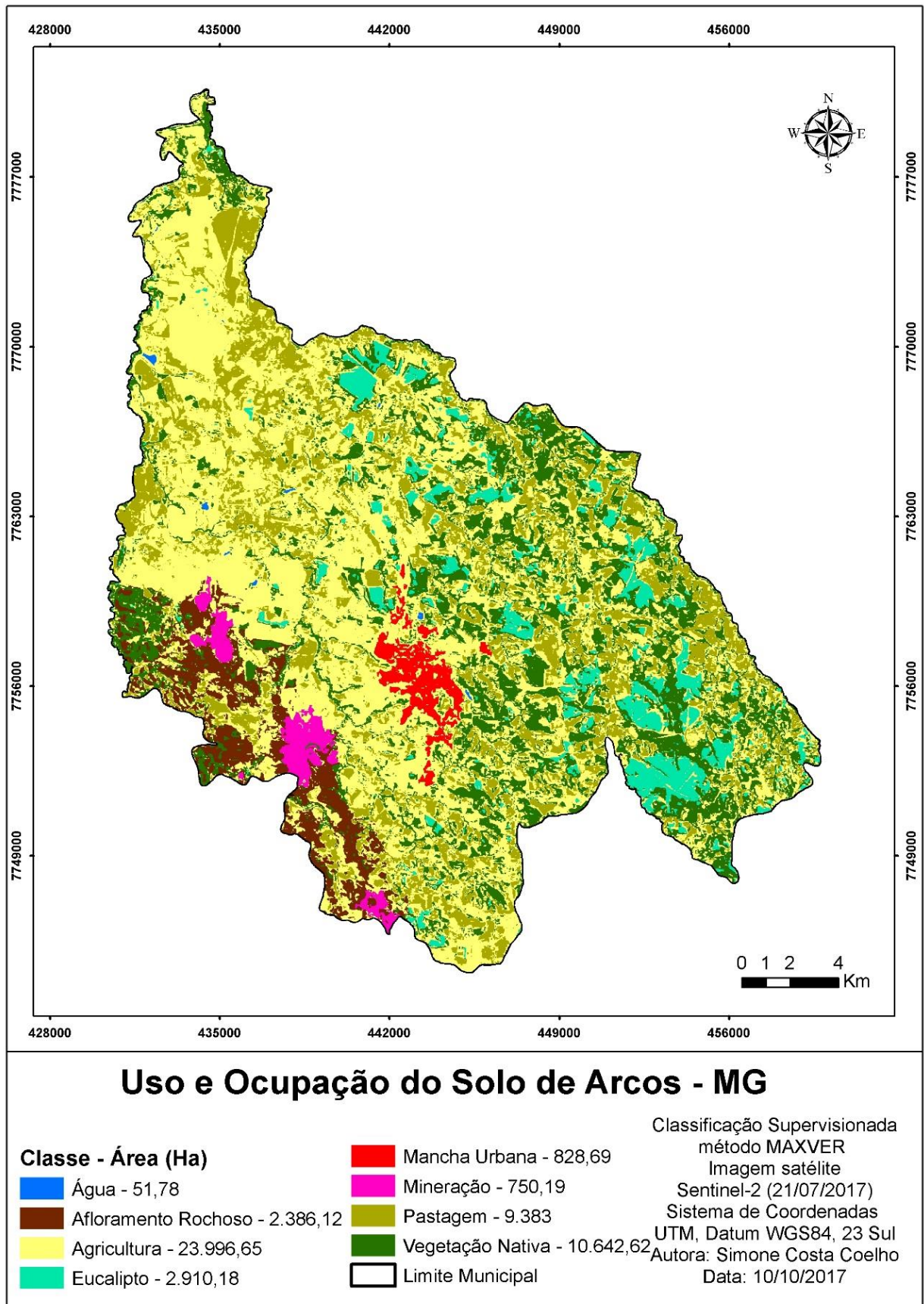


Figura 7: Mapa de uso e ocupação do solo de Arcos – MG. Resultado da classificação supervisionada a partir da imagem de satélite Sentinel-2, 21/01/2017. Método classificatório: maxver.

A matriz de classificação dos serviços ecossistêmicos buscou quantificar as variáveis de cada tipo de serviço. A escala de valores de 0 (zero) a 5 (cinco) atribuiu valores representativos às classes de usos do solo, ou seja, valores mais próximos de 5 (cinco) indica grande potencial à determinado serviço ecossistêmico. A **Tabela 6** apresenta os valores das variáveis por tipos de serviços ecossistêmicos.

Tabela 6: Matriz dos serviços ecossistêmicos por uso do solo. Valores: 0 = nenhum potencial relevante; 1 = potencial irrelevante; 2 = potencial pouco relevante; 3 = potencial relevante; 4 = potencial de alta relevância; 5 = potencial de máxima relevância.

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO - SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE ARCOS - MG									
Tipo	Variáveis	Água	Afloram. Rochoso	Agricultura	Eucalipto	Mancha Urbana	Mineração	Pastagem	Vegetação
		51,78 (Ha)	2386,12 (Ha)	23996,65 (Ha)	2910,18 (Ha)	828,69 (Ha)	750,19 (Ha)	9.383 (Ha)	10.642,62 (Ha)
Serviços de Regulação	Clima	5	0	1	1	0	1	3	5
	Qualidade do ar	4	0	1	3	0	1	2	5
	Qualidade da água	5	0	1	1	1	1	1	5
	Resíduos	1	0	2	2	1	3	1	2
	Doenças	1	0	2	2	5	1	2	5
Serviços de Provisão	Pecuária	2	0	3	3	1	1	5	1
	Alimento	5	0	5	3	2	1	4	4
	Madeira	2	0	3	5	2	1	3	5
	Mineral	2	5	1	2	2	5	2	1
	Energia	1	0	5	2	2	2	2	3
Serviços Culturais	Recreação e Lazer	3	3	1	0	4	1	1	5
	Turismo	3	3	1	0	5	1	2	5
	Patrimônio Cultural	3	3	1	0	5	1	1	5
	Patrimônio Natural	3	5	1	0	5	1	1	5
	Patrimônio Religioso	0	0	0	0	5	1	1	5

A espacialização das variáveis resultou na geração de camadas em formato raster para cada variável, onde cada poligonal de uso do solo correspondeu ao valor adotado na matriz de classificação. Assim, foi possível identificar as relações espaciais que as variáveis exercem com cada classe de uso do solo. Na espacialização das variáveis dos Serviços de Regulação, as variáveis de *regulação hídrica*, do *ar* e do *clima* estão mais evidentes nas áreas de vegetação nativa. A variável *regulação de doenças* se encontra maiores valores tanto nas áreas de vegetação nativa, como também na mancha urbana do município; e a variável *regulação de*

resíduos está mais evidente para as áreas de mineração. A **Figura 8** representa a espacialização de cada variável dos Serviços de Regulação.

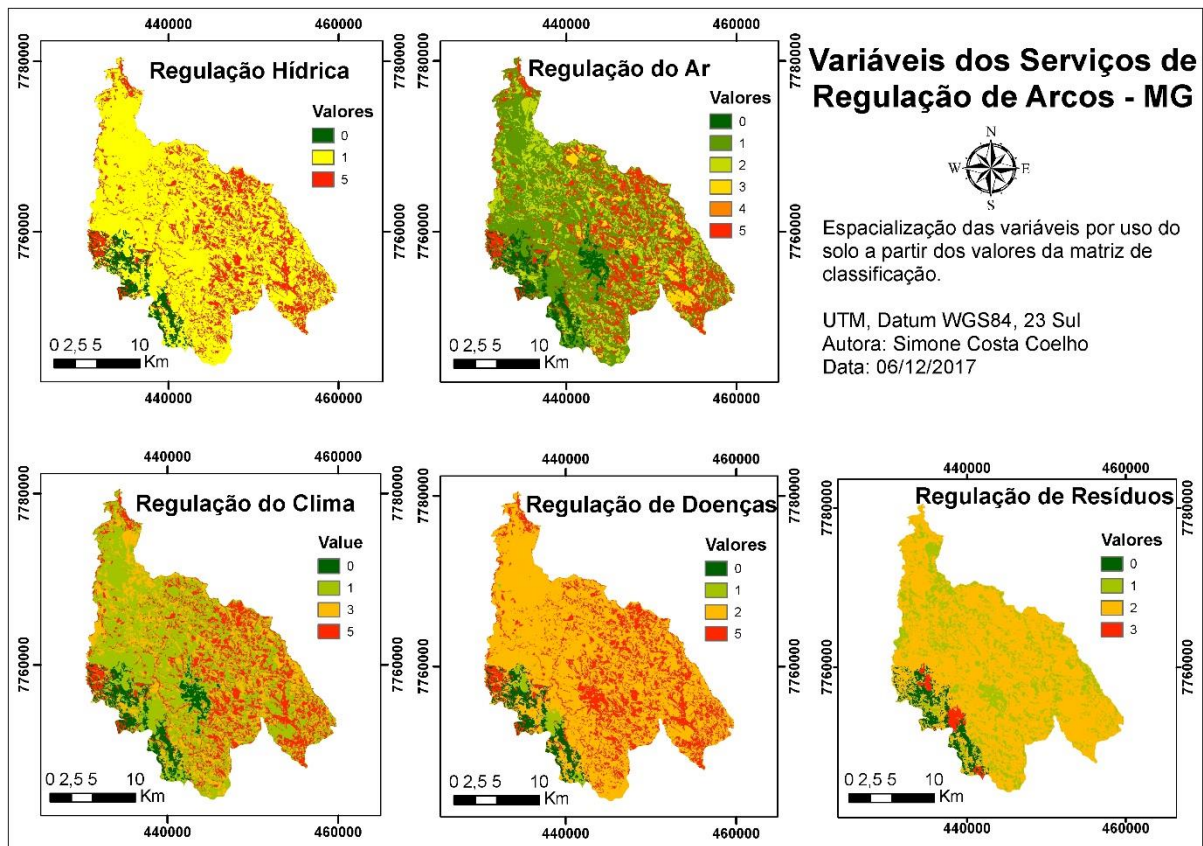


Figura 8: Espacialização das variáveis dos Serviços de Regulação por uso do solo de Arcos – MG.

As variáveis dos Serviços de Provisão obtêm valores mais expressivos na representação por uso do solo do município. A variável *alimento* possui os valores mais altos na maioria das classes de uso do solo, predominando nas áreas de agricultura e pastagem. A variável *energia* apresenta valores mais expressivos na classe de agricultura, pode-se associar esta relação devido as extensas áreas de plantação de cana-de-açúcar, que é matéria prima para geração de energia na produção do campo.

A variável *pecuária*, por sua vez, apresenta predominância nas áreas de pastagem, assim como o *minério* predomina nas áreas de mineração, e também, a variável *madeira* nas áreas de plantação de eucalipto.

A **Figura 9** representa as variáveis especializadas por classe de uso do solo conforme valores atribuídos na matriz de classificação.

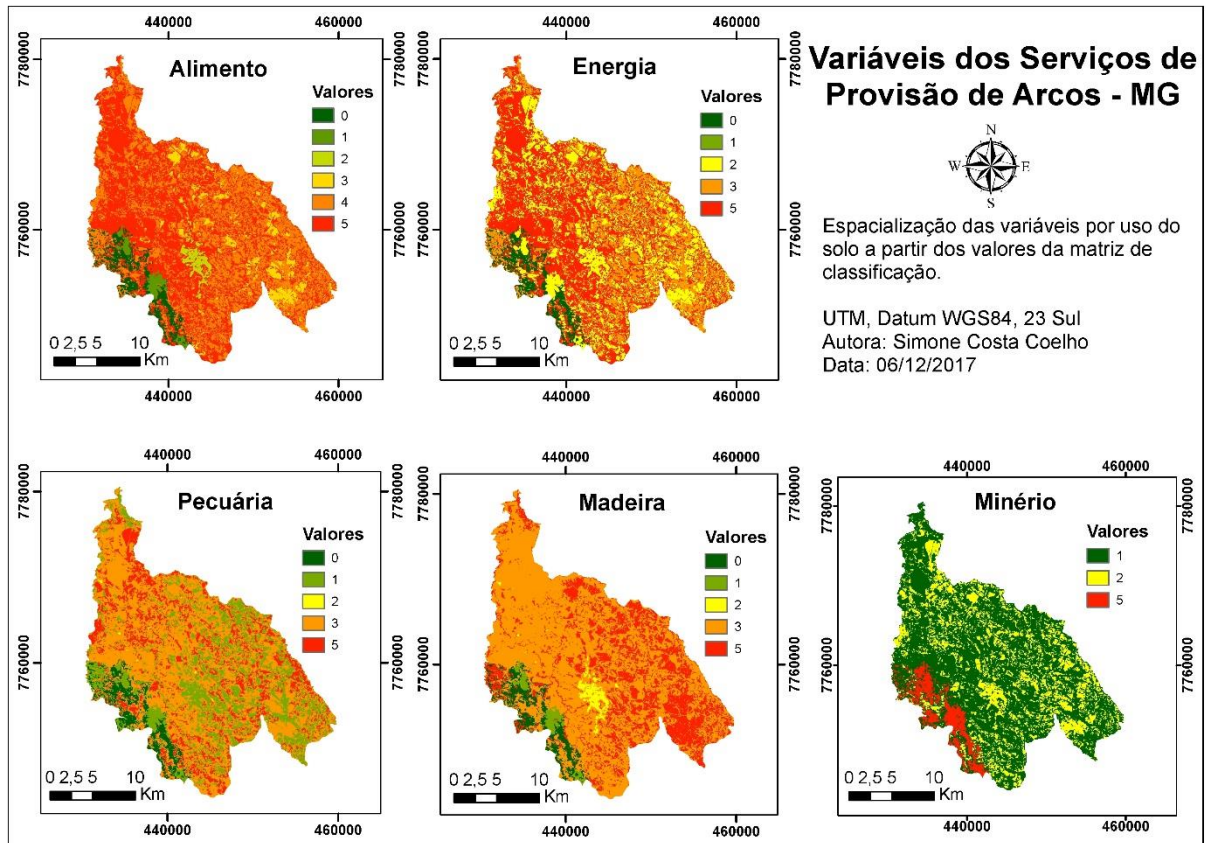


Figura 9: Espacialização das variáveis dos Serviços de Provisão por uso do solo de Arcos – MG.

Com a espacialização das variáveis dos Serviços Culturais, foi possível identificar uma tendência cultural do município de Arcos com algumas classes de uso do solo. A macha urbana, o afloramento rochoso e a vegetação nativa foram as classes de uso do solo que mais obtiveram valores expressivos em todas as variáveis consideradas neste tipo de serviço.

A relação dessas variáveis com a mancha urbana, compreende-se pela ocupação populacional, o desenvolvimento sociocultural, a centralização e acesso aos serviços de hospedagem, patrimônios históricos, religiosos e culturais.

Verifica-se a relação das variáveis dos Serviços Culturais com a vegetação nativa afloramento rochoso através do lazer, recreação e a procurar por estes espaços naturais como palco para práticas de esportes radicais (*rapel*, escaladas) e visitaçao turística, muito comum na região, onde a geomorfologia cárstica dada pela formação de grutas, dolinas, sumidouros, entre outras, favorecem o ecoturismo regional.

A **Figura 10** apresenta as variáveis dos Serviços Culturais, especializadas conforme a matriz de classificação.

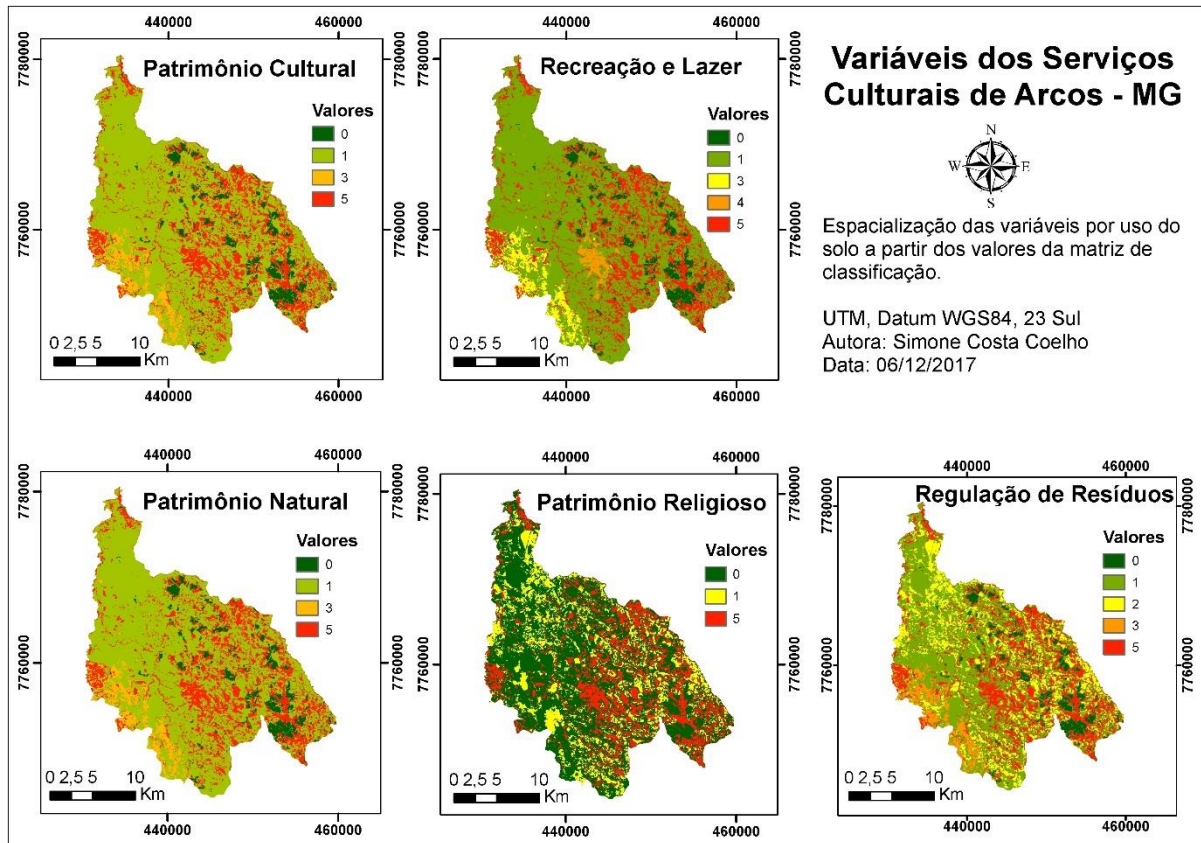


Figura 10: Espacialização das variáveis dos Serviços Culturais por uso do solo de Arcos – MG.

A álgebra de mapas realizada com as variáveis dos Serviços Culturais resultou em um *raster* com valores de pixel que variam de 0 a 5. Para classificação do mapa foi adotado o método classificatório “*Equal Interval*” no qual divide as três classes de igual intervalos. Desta forma, a classe de Baixo Potencial equivaleu a valores entre 0 e 1,66; Médio Potencial corresponde a valores entre 1,66 a 3,33; e Alto Potencial correspondeu a valores entre 3,33 a 5. A **Figura 11** representa o mapa resultante da análise espacial para Serviços Culturais.

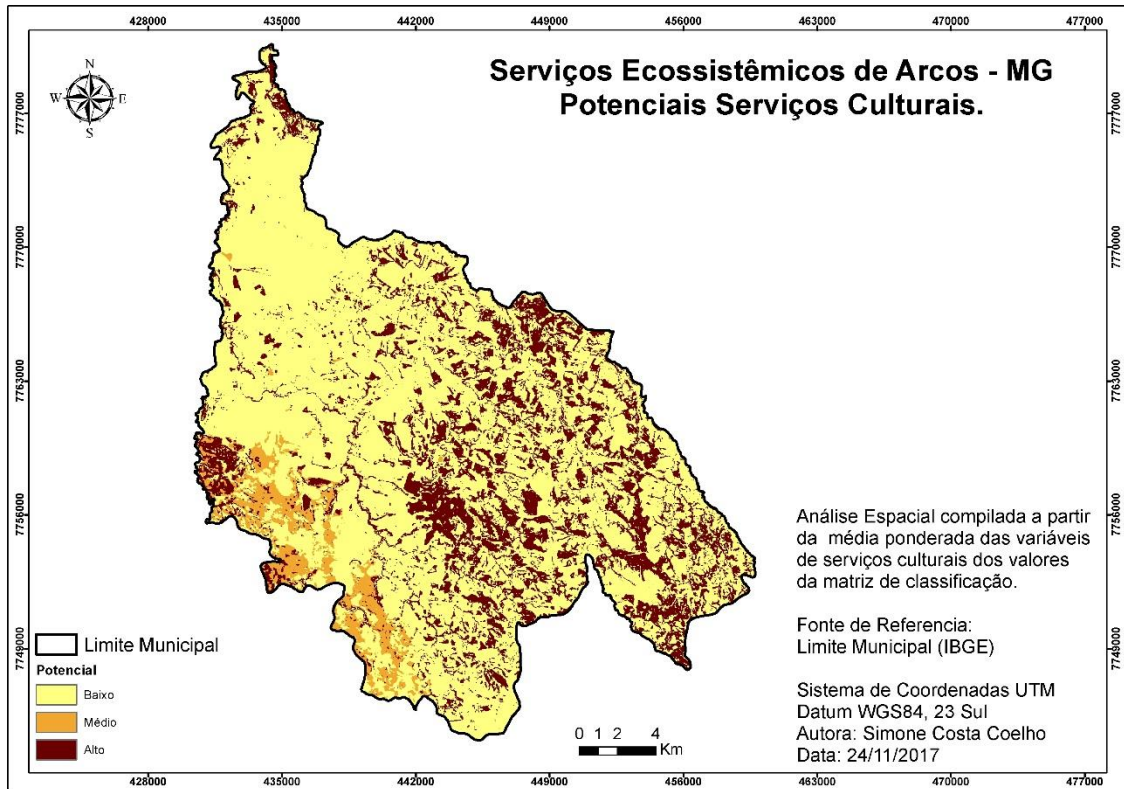


Figura 11: Mapa de Potenciais Serviços Culturais de Arcos – MG.

O resultado da álgebra de mapas realizada com as variáveis dos Serviços de Regulação correspondeu em um *raster* com valores de pixel que variam de 0 a 4,51. A classe de Baixo Potencial equivaleu a valores entre 0 e 1,5; Médio Potencial corresponde a valores entre 1,50 a 3,01; e Alto Potencial correspondeu a valores entre 3,01 a 4,51. A **Figura 12** apresenta o mapa resultante da análise espacial para Serviços de Regulação.

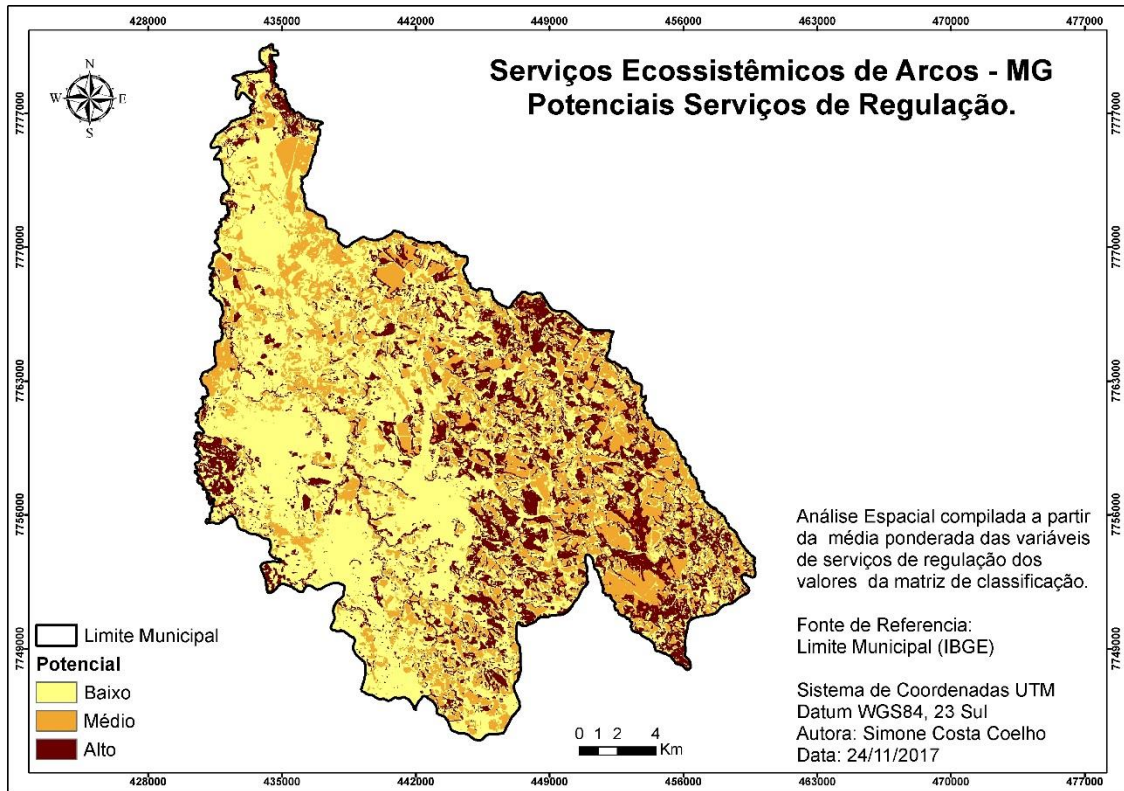


Figura 12: Mapa de Potenciais Serviços de Regulação de Arcos - MG.

A álgebra de mapas realizada com as variáveis dos Serviços de Provisão resultou em um raster de valores entre 1 e 3,43. A classe de Baixo Potencial consistiu a valores entre 1 e 1,81; Médio Potencial corresponde a valores entre 1,81 a 2,62; e Alto Potencial correspondeu a valores entre 2,62 a 3,43. A **Figura 13** representa o mapa resultante da análise espacial para Serviços de Provisão.

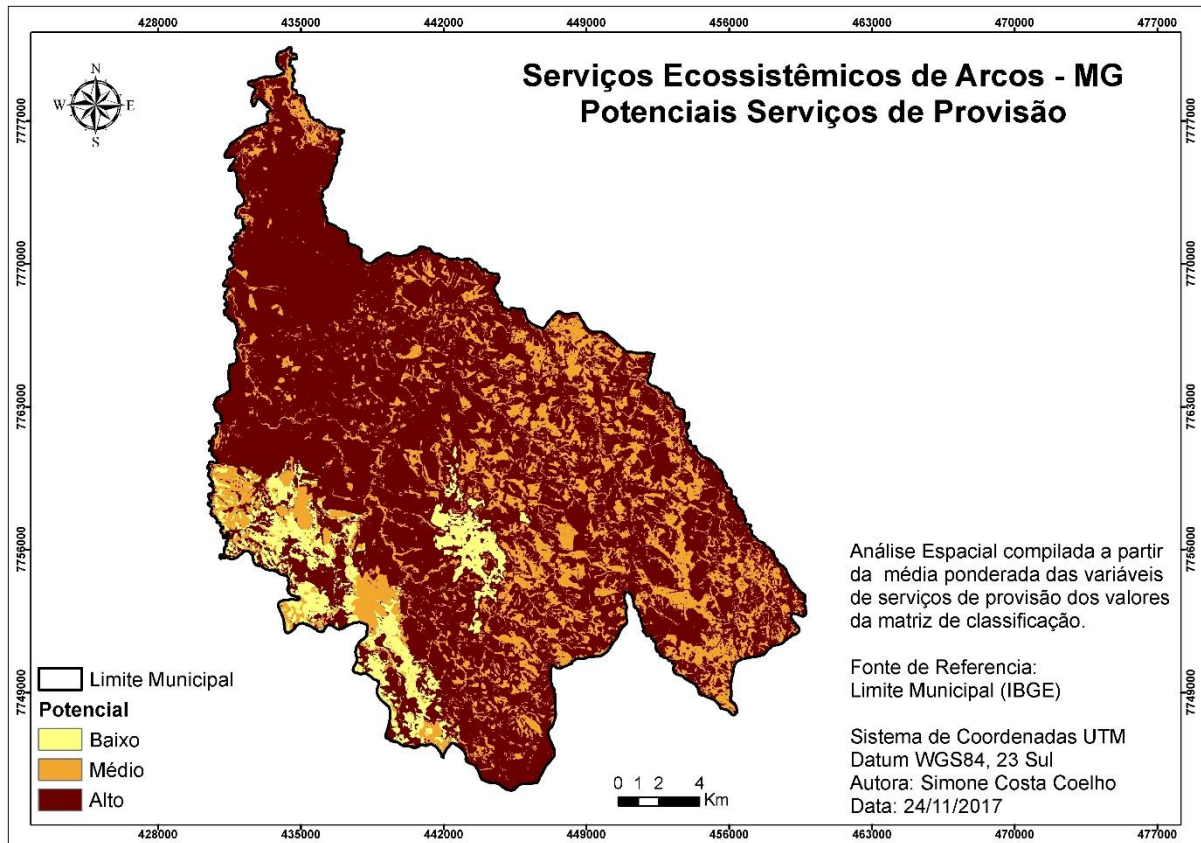


Figura 13: Mapa de Potenciais Serviços de Provisão de Arcos - MG.

Com os mapas gerados a partir da análise espacial da matriz de classificação, foi possível obter uma identificação espacial dos potenciais SE. Os Serviços de Provisão, apresentaram predominância na área territorial de Arcos, dado pelas extensas áreas agrícolas, plantação de eucalipto, áreas de mineração e pastagem. Outras classes do uso do solo também apresentaram potenciais para SE, e estão brevemente descritas a seguir.

A classe de vegetação natural presente no território de Arcos, está presente em todos os tipos de serviços ecosistêmicos analisados. Embora esta classe esteja mais evidente nos serviços culturais, representado pelas atividades turísticas, o lazer, o bem-estar, entre outras atividades que a natureza proporciona; pode-se observar uma forte tendência desta classe aos serviços provisão e de regulação. Isto ocorre, porque a vegetação natural é muito importante para a regulação do clima e do ar, configurando potencialidades nos serviços de regulação, e também, está estreitamente interligada à manutenção dos mananciais do município, uma vez que as matas ciliares exercem papel fundamental na proteção dos rios e das nascentes, assim como as Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal, Áreas de Proteção Ambiental, entre outras

categorias vigentes na legislação brasileira, em prol da preservação e manutenção das fitofisionomias de vegetação.

A mancha urbana do município está estreitamente interligada aos serviços culturais, onde as manifestações culturais, religiosas descrevem o modo de vida, e também, as relações socioterritoriais.

A classe de afloramento rochoso, localizada à sudoeste (SW) do município, demonstrou grande potencial aos serviços culturais. Suas formações cársticas exercem forte influência turística para o município, através da prática aos esportes radicais, como o *rapel* e escalada, que são comuns nesta região.

Estes resultados mostram que os atores locais no município de Arcos têm transformado a paisagem privilegiando usos de solo que estão na grande maioria associados a serviços de provisão. Os conceitos de serviços ecossistêmicos pretendem mostrar que a natureza tem valor econômico e que usos menos intensivos da paisagem, associados a serviços de regulação e culturais, podem ser complementados via Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos através da matriz brasileira de serviços ecossistêmicos ou dos mecanismos presentes no código florestal. As próximas décadas serão decisivas para compreender se o conceito de serviços ecossistêmicos pode contribuir para o manejo sustentável dos recursos naturais do Brasil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que o município de Arcos exerce papel fundamental no desenvolvimento dos Serviços de Provisão, onde predomina a produção de alimentos, cereais e leguminosas dada pela agricultura; produção de carne de corte através da pecuária; e a extração mineral dada pelas jazidas de calcário existente no município.

No entanto, a vegetação natural e o afloramento rochoso apresentaram grandes potenciais aos Serviços Culturais. Pode-se concluir, que essas áreas são adequadas para o insumo ao Pagamento de Serviços Ecossistêmicos, através da preservação e manutenção das mesmas.

O uso de técnicas do Geoprocessamento, Sistemas de Informação Geográficas e Sensoriamento Remoto permitiram gerar bases geográficas que subsidiou a avaliação espacial do território e sua dinâmica quanto a abordagem ecossistêmica.

A utilização de imagem orbital com a resolução espacial de 10 m, foi imprescindível na qualidade dos resultados quanto ao grau de precisão e acurácia dos produtos construídos. Além disso, foi possível gerar mapeamentos compatíveis a escala de 1:50.000, com nível de detalhamento bastante satisfatório.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACALMO, J. et al. **Ecosistemas e o bem-estar humano: Estrutura para uma avaliação.** Relatório do grupo de trabalho da Estrutura Conceptual da Avaliação do Milênio dos Ecosistemas. World Resources Institute, 2003. Disponível em: <http://millenniumassessment.org/documents/document.63.aspx.pdf> Acessado em 06 jun. 2017.

ALMEIDA. A. S., SANTOS. R. L., CHAVES J. M. **Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo no município de Jeremoabo- BA: Uso do Algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER).** ANAIS XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba – Paraná, Brasil. 30 de abril a 05 de maio de 2011. INPE 7255p. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0787.pdf> Acessado em 12 out. 2017.

ATANAZIO, R. **Geoprocessamento aplicado em projeto de pagamento por Serviços Ecosistêmicos (PSE) no município de Apucarana, PR.** Monografia apresentada ao curso de Especialização em Geoprocessamento do Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento – CIEG – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2010. Disponível em <http://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34312/RENATO%20ATANAZIO.pdf?sequence=1> Acessado em 21 jul. 2017.

BALNEVARA. P., URIARTE. M., LEN~ERO, ALTESOR, A., DECLERCK. F., GARDNER. T, HALL. JEFFERSON, LARA. A., LATERRA. P., PENÃ. C. M., MATOS. D.M.S, VOGL. A.L., DUQUE. L. P. R., ARREOLA. L. F., BORRERO. A. P. C., GALEGO. F., JAIN. M., LITTLE. C., XAVIER. R. O., PARUELO J. M., PEINADO. J. E., POORTER. L., ASCARRUNZ. N., CORREA. F., SANTINHO. M. B. C., SANCHES. A. P. H., VALLEJOS.M. **Ecosystem services research in Latin America: The state of the art. Review Article.** 1 set. 2012. Disponível em: www.elsevier.com/locate/ecoser Acessado em 10 out. 2017.

BUCKART, B, KANDZIORA. M., HOU. Y., MULLER. F. **Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification.** Official journal of the International Association for Landscap Ecology. LANDSCAPE ONLINE 34:1-32 (2014), DOI 10.3097/LO.201434. 2014. Disponível em: <http://www.landscapeonline.de/wp-content/uploads/DOI103097-LO201434.pdf> Acessado em 10 out. 2017.

CECAV – Centro e Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Base cartográfica georreferenciada de cavernas.** Cadastro Nacional de Informações de Cavernas - CANIE. 2017. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/cecav/canie.html> acesso em jun. 2017.

DAVIS, C.; FONSECA, F. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográficos.** Curso de Especialização em Geoprocessamento do departamento de Cartografia, Instituto de Geociências – Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Companhia Nacional de Desenvolvimento – CONAB. Brasília – DF. 2005. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf Acessado em 11 out. 2017.

FILHO, J. L.; IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informação Geográficas com ênfase em banco de dados**. XV JAI- Jornada de Atualização Informática, XVI Congresso da SBC, Recife-PE, 4 a 9 ago. 1996.

FMI Panamá: **Problemas e Apêndice Estatístico de 2000 selecionados**. /<http://www.imf.org/external/bares/ft/scr/2000/cr0044.pdf>S.

GUEDES.G.C.S, BRONDZIO.E.. **Revisitando a hierarquia das áreas urbanas na Amazônia brasileira: uma abordagem a vários níveis**. População e Meio Ambiente 30, 159-192. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Cadastro Central de Empresas por Município**.2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/quadros/brasil/2015> Acessado em 20 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Dados demográficos: população, renda, educação, serviços públicos e meio ambiente**.2014.Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acessado em 17 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Produção Agrícola Municipal**.2015.Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9119-producao-agricola-municipal-cereais-leguminosas-e-oleaginosas.html> Acessado em 18 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Agropecuário**. 2006. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/2017-np-censo-agropecuaria/9827-censo-agropecuaria.html?&t=resultados> Acessado em 21 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Demográfico**. 2010. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/2098-np-censo-demografico/9662-censo-demografico-2010.html?&t=downloads> Acessado em 21 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Bases Cartográficas Contínuas**. 2015. <http://mapas.ibge.gov.br/interativos/arquivos/downloads>Acessado em 21 jul. 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Atividade Econômica** . Disponível em:<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/993#resultado> Acessado em 13 ago. 2017.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Manual técnico de classificação de imagem**. DPI – Departamento de Processamento de Imagem. São Paulo. 2006. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acessado em 12 out. 2017.

MATRIZ BRASILEIRA DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS. **Incentivos Econômicos para Serviços Ecológicos no Brasil**. p.33-56. Rio de Janeiro: Forest Trends (ed.) 2015. ISBN 978-1-932928-58-7. Disponível em: http://www.fundovale.org/wp-content/uploads/2016/04/incentivoseconomicosparaservicosecosistemicos_book.pdf Acessado em 07 abr. 2017.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** INPE – 8984-PUD/62, 2002. 7-17p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br> Acessado em 11 out. 2017.

MOURA, A. C. M. **Reflexões metodológicas como subsidio para estudos ambientais baseado em analise multicritérios.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abr. 2007, INPE, p.2899-2906. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf> Acessado em 24 jul. 2017.

MUNIZ, F.; FERNANDES, E. **Análise da expansão das áreas de cavas de mineração nos municípios de Arcos e Pains (MG) utilizando imagens de satélite.** Anais 32º Congresso Brasileiro de Espeleologia, Barreiras – BA, 11-14 julho de 2013 – Sociedade Brasileira de Espeleologia ISSN 2178-2113. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/32cbeanais.asp> Acessado em 19 fev. 2017.

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica. **Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** DECRETO Nº 89.817, DE 20 DE JUNHO DE 1984. Brasília – Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm Acessado em: 12 out. 2017.

SANTOS, A. L. **Geoprocessamento aplicado a identificação de áreas de fragilidade ambiental no Parque Estadual Serra do Rola Moça.** Monografia apresentada ao curso de Especialização em Geoprocessamento do departamento de Cartografia, Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/AMANDA.pdf> Acessado em 25 jul. 2017.

UNEP. Programa Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Banco Mundial de Áreas Protegidas.** 2009.UNEP-WCMC, Cambridge, Reino Unido. Disponível em: <https://web.unep.org/>

USGS, United States Geological Survey. **Aquisição de imagem do satélite Sentinel-2, ESA – Agency Spacial Eropean.** Zona 23 Sul, LIC_T23KMT_A010860_20170721T131244. 21 jul. 2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acessado em 17 set. 2017.

YOUNG, C. E. F.& BAKKER, L. B. D. **Instrumentos econômicos e pagamentos por serviços ambientais no Brasil.** In: Forest Trends (ed.) Incentivos Econômicos para Serviços Ecosistêmicos no Brasil. p.33-56. Rio de Janeiro: Forest Trends. 2015. ISBN 978-1-932928-58-7. Disponível em: http://www.ie.ufrj.br/images/gema/Gema_Artigos/Young_Bakker_PSA_livro_vf.pdf Acessado em 26 jun. 2017.