



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Maíse Soares de Moura

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE PROVISÃO DE SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS MÚLTIPLOS NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS,
MG**

Orientadora: Prof. Dra. Adriana Monteiro da Costa

BELO HORIZONTE
2023

Maíse Soares de Moura

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
MÚLTIPLOS NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS, MG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Prof. Dra. Adriana Monteiro da Costa

M929a Moura, Maíse Soares de.
2023 Avaliação da dinâmica de provisão de serviços ecossistêmicos múltiplos no alto curso do Rio das Velhas, MG [manuscrito] / Maíse Soares de Moura. – 2023.
141 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: . Adriana Monteiro da Costa.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2023.
Área de concentração: Análise Ambiental.
Inclui bibliografia.
Inclui anexos.

1. Serviços ambientais – Teses. 2. Ecossistemas - Minas Gerais – Teses. 3. Sustentabilidade – Teses. 4. Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. 5. Velhas, Rio das (MG) – Teses. I. Costa, Adriana Monteiro da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 577.4(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS
GERAIS INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS MÚLTIPLOS NO
ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS, MG"

MAÍSE SOARES DE MOURA

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **27 de abril de 2023**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Rachel Bardy Prado

EMBRABA

Teresa Cristina Tarle Pissarra

UNESP

Marília Carvalho de Melo

Universidade Vale do Rio Verde, UNINCOR e SEMAD

Cristiane Valéria de Oliveira

IGC/UFMG

Fábio Soares de Oliveira

IGC/UFMG

Adriana Monteiro da Costa –

Orientadora IGC/UFMG

Belo Horizonte, 27 de abril de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Marília Carvalho de Melo, Usuário Externo**, em 05/05/2023, às 17:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decretonº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 07/05/2023, às 06:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art.5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rachel Bardy Prado, Usuário Externo**, em 10/05/2023, às 17:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Usuário Externo**, em 13/05/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decretonº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Soares de Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 18/05/2023, às 00:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art.5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de](#)

[2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiane Valeria de Oliveira, Professora do Magistério Superior**, em 24/05/2023, às 14:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2276253** e o código CRC **C5536FBE**.

Ao grande amigo e exemplo desta e de outras vidas, José Alexandre.
Dedico a você esta tese e a pessoa melhor que consegui me tornar, em
grande parte por nossos caminhos terem se cruzado.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Adriana Monteiro da Costa, grande exemplo na ciência, que durante os últimos anos tive o prazer de acompanhar e aprender. Agradeço todos os puxões de orelha, todo o apoio e incentivo. Dizer que você foi fundamental para o desenvolvimento dessa tese restringe muito a importância que você teve e tem em minha vida profissional. Sorte de quem tem um exemplo de profissional igual a você como modelo.

Aos meus pais e meus irmãos, que desde que eu me candidatei à vida acadêmica me apoiam e abraçam conjuntamente comigo todos os meus sonhos. Sonhar sozinho é necessário, sonhar acompanhado traz alegria e sentido à vida. Minha vida é mais colorida e faz mais sentido por desde sempre e para sempre vocês estarem nela. Amo incondicionalmente e eternamente vocês.

Ao meu companheiro de vida, razão das melhores e mais fartas risadas, dono das melhores e piores piadas, dos conselhos mais duros, sinceros e meigos. Sorte a minha ter em meu marido meu melhor amigo e um grande exemplo de vida. Você trouxe paz para minha caminhada. Os dias mais difíceis ficam mais leves com você e os mais alegres ficam mais felizes e especiais. Na última década tenho certeza que você veio para ficar, mas depois dos dias 23 e 24/2 de 2022 o que eu sinto por você se tornou ainda mais grandioso, ultrapassa a parceria de casal e de amigo. Você é meu companheiro de vida independente das circunstâncias. Obs: você é o cientista de dados mais lindo e brilhante que o mundo conhece.

Às grandes irmãs que a vida me trouxe: Dani, Marcela e Regyane. Como vocês fizeram diferença em minha caminhada, como seguraram comigo a barra mais difícil que enfrentei. Dani, te agradeço imensamente por me ouvir por não largar a minha mão quando a minha companhia não era agradável nem para mim. Marcela, muito obrigada por aquela conversa no dia 19/06/2022 já te disse e repito acredito que foi o melhor presente que já ganhei de aniversário. Rê poderia te agradecer por uma imensidão de coisas, mas dentre tudo de bom que você me trouxe ser família do Igor e do Pedro será sempre o mais especial e importante.

Aos amigos e colegas que o IGC me trouxe, Amanda Isadora, Izabela, Marcelo, Dayane, Bárbara, Paula, Natália e tantos outros que dividiram comigo em algum ou vários momentos essa longa e instável jornada. Ao Victor, meu filho mais velho, a quem

sempre que posso descrevo carinhosamente como um dos grandes encontros que tive na UFMG, o dia que você acreditar o quanto é especial, certamente confiará mais em seu potencial.

À família Moura, minha avó, tios e tias, primos e primas, em especial a Eliete, Preto e a Thaís. Agradeço à minha tia Francisca e à minha dindinha Nice por todo apoio e orações. A Lena foi um grande presente que veio no momento mais difícil de minha vida. A toda família Louro pela presença e alegria do convívio, em especial à Ana, João Miguel, Lily e Rafa. Vocês trouxeram um brilho diferente ao meu olhar.

A grande amiga Adriana Monteiro da Costa pelo caminho que trilhamos fora da UFMG. Uma grande certeza da minha vida é que a amizade entre orientadores e orientandos não era possível e juro que tentei ao máximo manter essa afirmação. Você veio me mostrar, ensinar e colocar por terra um monte de convicções que jurava que morreriam comigo. Você é especial demais, a pessoa brava mais doce que eu conheço. Se as pessoas te vissem pelos meus olhos toda sua fama de brava cairia por terra. Sua caminhada até aqui não foi nada fácil, mas acredite você venceu e com louvor. Que a vida seja sempre leve para você.

A todos que por um descuido eu não citei, mas que caminharam comigo alguma parte dessa incrível jornada.

Por fim e da forma mais especial que meu coração conhece agradeço ao amor mais sincero que meu coração é capaz de sentir. Esse amor mudou minha vida, minha forma de pensar, de sentir e de agir. Até então sempre descrevi para os que me conhecem que trabalhar e estudar era o que dava rumo à minha vida e ditava os próximos passos. Você chacoalhou tudo: meu corpo, minha cabeça, meus sonhos, meus medos e minhas coragens. Deus te agradeço por tudo o que o Senhor me deu, mas se me permitisse agradecer só por uma ou por mil coisas, eu agradeceria uma ou mil vezes por ser a mãe do Antônio. Filho, te reafirmo o que você vem ouvindo desde quando morava dentro da minha barriga: “eu juro afeto e paz não vão te faltar”. Te amo!

Onde há amor e sabedoria, não existe temor nem ignorância.
(Francisco de Assis)

RESUMO

A importância dos ecossistemas e seus serviços para o bem-estar humano tem sido amplamente reconhecida, levando ao surgimento do conceito de Serviços Ecossistêmicos (SE). No entanto, existem desafios em definir terminologias, coletar dados de forma controlada e desenvolver métodos para avaliar a provisão real desses serviços. Esses desafios são particularmente evidentes em áreas com intensa atividade humana, como a bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas, que sofre impactos de diversas atividades humanas, comprometendo a provisão dos SE. Nesse contexto, esta tese tem como objetivo principal entender a dinâmica de provisão de SE na região do alto curso do Rio das Velhas. A tese aborda a importância da integração de conhecimentos e participação social nas pesquisas científicas sobre SE, contemplando aspectos ambientais, econômicos e sociais na aplicação prática da teoria. Utilizando o Potencial de Uso Conservacionista (PUC) como ferramenta de avaliação dos SE e planejamento territorial, a tese propõe estratégias para fomentar o abastecimento de múltiplos SE na região. A revisão de literatura realizada destacou a necessidade de ajustar os termos de busca para obter uma pesquisa mais abrangente, identificando a predominância de publicações exploratórias e a abrangência geográfica dos estudos. A análise do PUC revelou limitações na região do Alto Rio das Velhas devido ao seu meio físico, relacionado em especial com a interação das variáveis declividade, solo e litologia. Por meio da análise de componentes principais, foi possível identificar a influência da urbanização sobre qualidade da água, bem como as relações entre urbanização, intensificação agropecuária e a ocorrência de espécies ameaçadas de extinção. A análise de componentes principais também permitiu agrupar as sub-bacias em clusters, fornecendo insights para compreender a distribuição dos SE e orientar ações de preservação, pautados em instrumentos oficiais já existentes. A abordagem interdisciplinar adotada nesta tese contribui para o entendimento da relação entre atividades humanas e provisão de SE em uma região ecologicamente e socialmente importante. A integração de conhecimentos e perspectivas diversas é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de conservação e gestão adequadas para os ecossistemas e seus serviços.

Palavras-chave: serviços ambientais; Quadrilátero Ferrífero; ecossistema; sustentabilidade.

ABSTRACT

The importance of ecosystems and their services for human well-being has been widely recognized, leading to the emergence of the concept of Ecosystem Services (ES). However, there are challenges in defining terminologies, collecting data in a controlled manner, and developing methods to assess the actual provision of these services. These challenges are particularly evident in areas with intense human activity, such as the Upper Rio das Velhas watershed, which is impacted by various human activities, compromising the provision of ES. In this context, the main objective of this thesis is to understand the dynamics of ES provision in the upper course of the Rio das Velhas region. The thesis addresses the importance of integrating knowledge and social participation in scientific research on ES, encompassing environmental, psychological, and social aspects in the practical application of the theory. Using the Conservationist Use Potential (CUP) as a tool for assessing ES and territorial planning, the thesis proposes strategies to promote the supply of multiple ES in the region. The literature review highlighted the need to adjust search terms to obtain a more comprehensive research, identifying the predominance of exploratory publications and the geographic scope of the studies. The analysis of CUP revealed limitations in the Upper Rio das Velhas region due to its physical environment, especially related to the interaction of slope, soil, and lithology variables. Through principal component analysis, it was possible to identify the influence of urbanization and water quality, which decreases with the intensification of this anthropogenic process, as well as the relationships between urbanization, agricultural intensification, and the occurrence of threatened species were observed. Principal component analysis also allowed grouping sub-watersheds into clusters, providing insights to understand the distribution of ES and guide preservation actions, based on existing official instruments. The interdisciplinary approach adopted in this thesis contributes to understanding the relationship between human activities and ES provision in an ecologically and socially important region. The integration of diverse knowledge and perspectives is essential for the development of appropriate conservation and management strategies for ecosystems and their services.

Keywords: environmental services; Ferriferous Quadrilateral; ecosystem; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diretrizes para seleção de artigos e total de artigos selecionados em cada etapa	27
Figura 2 - Critérios para categorização dos artigos	28
Figura 3- Agrupamento dos trabalhos inseridos nas análises, considerando o ano de publicação	29
Figura 4 - Agrupamento dos trabalhos inseridos nas análises, considerando o local de publicação	30
Figura 5- Mapa mental elaborado com vista a contribuir na elucidação de como os estudos, ferramentas e partes interessadas se integram na pauta dos SE	39
Figura 6 - Localização do alto curso do Rio das Velhas, Minas Gerais	52
Figura 7- Representação espacial das variáveis do meio físico: declividade solos, litologia	55
Figura 8 - Potencial de Uso Conservacionista na bacia do Alto Rio das Velhas	57
Figura 9 - Atributos do Potencial de Uso Conservacionista para avaliação dos Serviços Ecosistêmicos, considerando como exemplo o Alto Curso do rio das velhas	61
Figura 10 - Interrelações entre os potenciais avaliados pela metodologia PUC, considerando manejos inadequados no desenvolvimento de atividades agropecuárias e os seus desserviços associados	63
Figura 11- Estabelecimentos rurais situados no alo curso do Rio das Velhas e suas extensões nas classes de PUC Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto	64
Figura 12 - Uso e ocupação da terra no alto curso do Rio das Velhas	66
Figura 13 - Espacialização da Matriz PUC para as classes de uso Mineração (A), Urbanização (B) e atividades agropecuárias (C)	68
Figura 14 - Localização do alto curso do Rio das Velhas, Minas Gerais	77
Figura 15- Recorte de sub-bacias utilizado para análise na provisão de SE no alto curso do Rio das Velhas	79
Figura 16 - Distribuição espacial dos agrupamentos das sub-bacias no alto curso do Rio das Velhas, considerando os resultados da PCA para o processo de clusterização	90
Figura 17- Distribuição espacial das classes de PUC no alto curso do Rio das Velhas	95
Figura 18 -PUC evidenciado nos agrupamentos definidos com perfil agropecuário	96
Figura 19- Esquema metodológico para aplicação do método PUC	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorização dos artigos quanto às abordagens e exemplos contribuições em cada uma das abordagens	32
Quadro 2 - Principais ferramentas utilizadas nas análises ambientais e as finalidades envolvidas em suas concepções	33
Quadro 3 - Base de dados utilizada para execução do método PUC.	53
Quadro 4 - Base de dados utilizada para execução do método PUC	81
Quadro 5 - Variáveis submetidas a análise de componentes principais, considerando a devida justificativa de inclusão de cada uma	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização básica dos municípios que compõem o alto curso do Rio das Velhas	52
Tabela 2 - Atributos do meio físico na bacia do Alto Velhas	54
Tabela 3 - Matriz PUC do alto curso do Rio das Velhas	65
Tabela 4 - Municípios pertencentes ao alto curso do Rio das Velhas, população estimada e IDGM	78
Tabela 5 - Relação das variáveis estudadas com os componentes principais PC1, PC2 e PC386	
Tabela 6 - Descrição dos componentes principais para cada uma das sub-bacias elencadas no estudo, bem como o resultado do processo de clusterização	88
Tabela 7- Percentual de cada classe de PUC considerando a área dos agrupamentos estabelecidos na presente pesquisa	96
Tabela 8 - Notas atribuídas para as classes de declividade	110
Tabela 9 - Notas atribuídas para as classes de solo	110
Tabela 10 - Notas atribuídas as classes de litologia	111

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
1.1.	Justificativa e proposta central da tese	18
1.2.	Objetivo geral	19
1.3.	Objetivos específicos	19
1.4.	Referências	22
2	PRINCIPAIS ABORDAGENS NA AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS: LACUNAS E DIRETRIZES PARA APLICAÇÃO DO CONCEITO	23
	RESUMO	23
	ABSTRACT	24
2.1.	Introdução	25
2.2.	Metodologia	26
2.3.	Resultados	29
2.3.1.	Critérios de busca e seleção da base de artigos	29
2.3.2.	Descrição geral da base de artigos.....	29
2.3.3.	Aplicação do conceito: principais abordagens	31
2.4.	Discussão	34
2.4.1.	Abordagem Conceitual: critérios de busca e seleção da base de artigos.....	34
2.4.2.	Análise descritiva da base de artigos consultados	35
2.4.3.	Aplicação do conceito: principais abordagens	36
2.5.	Conclusão	41
2.6.	Referências	42
3	POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS: UMA ANÁLISE DO MEIO FÍSICO E DO USO E COBERTURA DO SOLO PARA AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	47
	RESUMO	47
	ABSTRACT	48

3.1. Introdução	49
3.2. Metodologia	51
3.3. Resultados e discussão	54
3.3.1. Avaliação do meio físico da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas	54
3.3.2. Metodologia PUC para uma análise entre as sinergias para serviços hidrológicos, de suporte e provisão	59
3.3.3. Matriz PUC: uma análise do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e o uso e ocupação da terra no alto curso do rio das velhas	65
3.4. Conclusão	68
3.5. Referências	70
4 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA ENTENDER PARTICULARIDADES E IMPULSIONAR A PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS MÚLTIPLOS NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS	73
RESUMO	73
ABSTRACT	74
4.1. Introdução	75
4.2. Metodologia	76
4.2.1. Descrição da área de estudo.....	76
4.2.2. Seleção de variáveis e utilização de Sistema de Informação geográficas (SIG)	79
4.2.3. Análises estatísticas	81
4.3. Resultados e discussão	81
4.3.1. Variáveis selecionadas e suas relações com os SE.....	81
4.3.2. Perfil dos agrupamentos	88
4.3.3. Estratégias que fomentam a provisão de SE considerando as características das sub-bacias	92
4.4. Conclusões	100
4.5. Referências	102
ANEXO A – Detalhamento da metodologia PUC	110

1 INTRODUÇÃO GERAL

O papel crucial desempenhado pelos ecossistemas e suas funções é amplamente discutido nas literaturas científicas há décadas (WESTMAN, 1977; EHRLICH; MOONEY, 1983; COSTANZA et al., 1997). Westman (1977) traçou diretrizes no intuito de fomentar discussões relativas ao valor de se conservar os ecossistemas naturais como estratégia de manutenção dos benefícios que as sociedades obtêm desses ambientes. O mesmo autor destaca que os tomadores de decisões se baseiam em informações incompletas, não sendo possível vislumbrar as perdas ocasionadas pela perturbação dos ecossistemas. Assim, propõe a valoração dos prejuízos ambientais originados pela perturbação antrópica na dinâmica dos ecossistemas (WESTMAN, 1977).

O termo *Ecosystem Services*, traduzido como serviços ecossistêmicos (SE), apareceu pela primeira vez na literatura científica em uma publicação intitulada *Extinction, Substitution, Ecosystem Services* (EHRLICH; MOONEY, 1983), onde os autores abordaram os possíveis impactos da perda da biodiversidade e dos seus serviços prestados no bem-estar dos seres humanos. No entanto, a ampla difusão do conceito só aconteceu anos depois, quando dois importantes trabalhos para disseminação da temática foram publicados: 1) *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, em que os autores conceituaram os SE como sendo os benefícios para a população humana que derivam, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas e que estes benefícios são passíveis de serem valorados (COSTANZA et al., 1997); 2) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, no qual os SE foram definidos como as condições e processos que fornecem real suporte à vida, através dos quais ecossistemas naturais e as espécies que os compõem sustentam e atendem a vida humana (DAILY, 1997).

Tais publicações ampliaram as discussões em torno do tema e, no ano 2000, foi proposto, pelo secretário geral da Organização das Nações Unidas, um trabalho internacional para atender às necessidades de informações científicas sobre as vinculações entre a mudança nos ecossistemas e o bem-estar humano. O trabalho resultante dessa soma de esforços resultou em um novo marco para os estudos dos SE, em que foram contempladas diversas questões como, por exemplo: 1) como as mudanças nos ecossistemas afetaram o bem-estar humano; 2) como as mudanças dos ecossistemas afetarão as pessoas nas próximas décadas; 3) que tipos de respostas podem ser adotadas em escalas locais, nacionais ou globais para melhorar a gestão do ecossistema e, assim, contribuir para o bem-estar humano e o alívio da pobreza (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Uma etapa essencial para o responder a essas questões é a identificação dos diferentes benefícios a serem estudados, quantificados e fomentados. Dentre os diversos tipos de SE já descritos, considerando em especial a classificação adotada pela *Millennium Ecosystem Assessment*, é possível citar os relacionados ao sequestro de carbono, à beleza cênica, à biodiversidade e a recursos hídricos (DAILY, 1997; COSTANZA et al., 1997; BRAUMAN et al., 2007; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; GUSWA et al., 2014; WANG et al., 2018). Apesar da abordagem crescente sobre SE, a aplicação desses conceitos para o gerenciamento de recursos hídricos tem sido dificultada pela falta de definições e metodologias práticas (GRIZZETTI et al., 2016) e aplicáveis aos processos de gestão do território.

Essas dificuldades se estendem à falta de padrões que definam terminologias, dados confiáveis, métodos e requisitos para avaliação da real provisão dos SE (POLASKY; TALLIS; REYERS, 2015). De acordo com Polasky, Tallis e Reyers (2015), a incorporação de informações científicas em diferentes contextos, visando programas e projetos que se relacionam a provisão de SE, passaria idealmente por três etapas: 1) a definição de termos e abordagem; 2) a obtenção de dados e definição de métodos para avaliar a prestação de SE; e, por fim, 3) a definição de métodos para a valoração dos SE avaliados.

Quanto às metodologias para avaliar a provisão dos SE, estas ainda possuem gargalos que limitam a expansão da aplicabilidade do conceito, uma vez que existe uma lacuna entre modelos mais complexos e a inclusão destes no processo de tomada de decisão (DENNEDY-FRANK et al., 2016). Diferentes grupos buscam modelos simples para fornecer aos tomadores de decisões subsídios para o gerenciamento dos recursos hídricos (DENNEDY-FRANK et al., 2016), em uma linguagem aplicável e inclusiva a diferentes setores da sociedade.

Para a conversão da teoria em prática, uma integração de conhecimentos será necessária, perpassando diversas áreas de conhecimento e contemplando o engajamento transparente das partes interessadas (GUSWA et al., 2014). Assim, aspectos ambientais, econômicos e sociais devem ser incluídos nas pesquisas, bem como a participação de quem é localmente responsável pela gestão das condições mantenedoras dos SE e que, por sua vez, também são beneficiários desses serviços.

Os estudos, quando integrados, poderão orientar políticas de planejamento espacial de forma economicamente viável e socialmente justa, sem prejuízos às questões ambientais. Para tal, são necessárias, dentre outras abordagens, pesquisas considerando unidades de planejamento, como bacias hidrográficas, e também abordagens mais pontuais, envolvendo a sustentabilidade dos estabelecimentos rurais. Apoiados na fundamentação conceitual dos SE,

tais trabalhos poderão contribuir para o entendimento e mitigação de conflitos na gestão dos recursos naturais.

Dentre outras regiões caracterizadas por situação de conflito, a bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas se destaca por uma diversidade de usos e formas de ocupação territorial que acarreta pressões ambientais e gera variadas formas de danos para a qualidade e quantidade das águas (MENDES; COSTA, 2022; LEMOS, 2018), alterando a provisão de SE. No contexto do Alto Rio das Velhas, Lemos (2018) destaca que a presença das atividades humanas gerou fortes alterações nas paisagens, direcionadas em especial por três principais ações antrópicas, sendo elas: ocupação urbana e industrial, mineração e atividades agrícolas. O autor destaca que as pressões ambientais acarretam, nesse contexto, a degradação das áreas de mananciais, o que pode comprometer o abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte e a qualidade ambiental do curso d'água.

Assim, sob a ótica dos SE, o entendimento de como se relaciona a provisão dos SE na bacia do hidrográfica do Alto Rio das Velhas, bem como de que forma estes benefícios alteram e são alterados pelas ações antrópicas, pode auxiliar na criação de mecanismos efetivos que visem a mitigação de parte dos conflitos existentes na área.

1.1. Justificativa e proposta central da tese

A utilização sustentável dos recursos naturais é cada vez mais debatida academicamente e no cenário das políticas públicas. O conceito de SE assume mais protagonismo dentro de diversas abordagens no intuito de fomentar a conservação os recursos naturais e difundir a ideia de que os seres humanos dependem das dinâmicas existentes nos ecossistemas e, portanto, de uma gestão responsável destes recursos.

Um elevado número de artigos científicos, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e outras publicações científicas está disposto na literatura com diferentes abordagens, proposições de avaliação, quantificação e modelagem dos recursos naturais e os seus benefícios associados. De igual maneira, um grande número de instrumentos legais, projetos e programas foi criado visando fomentar a conservação e a utilização sustentável dos recursos naturais. Apesar disso, pouca comunicação existe para compreender como a ciência está efetivamente se convertendo em informações práticas para os responsáveis pela gestão dos recursos naturais.

A proposta deste estudo concentra-se em entender a dinâmica de provisão de SE na região do alto curso do Rio das Velhas. Inicialmente, como poderá ser compreendido no capítulo 2, os esforços deste trabalho foram focados em SE hídricos (SEH). No entanto, após a

finalização desta etapa inicial e de leituras complementares, fora adotada uma visão mais integrada, considerando mais de um benefício associado. Assim, a proposta é que o trabalho final da tese, em seus diferentes produtos, se encadeie da seguinte forma:

- Capítulo 1: o primeiro capítulo consiste em uma introdução geral, justificativa e objetivos da presente tese;
- Capítulo 2: revisão de literatura no intuito de explorar as principais sub-temáticas relacionadas aos SEH e entender quais são as principais abordagens utilizadas até o momento para tal;
- Capítulo 3: avaliação do potencial do meio físico da área de estudo para prestação de SE, para tanto, foi feita a utilização do método Potencial de Uso Conservacionista (PUC);
- Capítulo 4: identificar variáveis de podem ser integradas para avaliação da provisão de SE múltiplos no alto curso do Rio das Velhas, integrando-as através de métodos estatísticos e apresentar uma proposição de clusterização pautada no perfil das sub-bacias pertencentes a região de estudo.

1.2. Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é avaliar a dinâmica da provisão SE múltiplos no alto curso do Rio das Velhas.

1.3. Objetivos específicos

- Revisar literatura no intuito de explorar as principais temáticas relacionadas aos SEH e entender quais são as principais abordagens utilizadas até o momento;
- Entender os principais critérios para utilização de metodologias para avaliação de áreas quanto a provisão de SE;
- Avaliar a adequação da metodologia PUC como ferramenta para avaliação de áreas quanto aos seus potenciais para provisão SE;
- Identificar áreas com maior potencial de prestação de SE, através de um diagnóstico do meio físico, pelo método do PUC;
- Identificar variáveis públicas de fácil acesso e que se relacionam com a provisão de SE múltiplos no Alto Velhas;
- Integrar variáveis selecionadas, através de análises estatísticas, para propor um

grupamento das sub-bacias da área de estudo;

- A partir da integração das variáveis, identificar o perfil das sub-bacias na área de estudo.
- Considerando o perfil encontrado das sub-bacias, elencar estratégias e ferramentas já disponíveis e que podem se somar se integradas para ações que visem ampliar a provisão de SE.

Considerando todos os objetivos pretendidos nesta tese, o Fluxograma 1 indica as ideias centrais abarcadas pela tese em cada um dos seus capítulos, bem como indica a conexão entre eles.

Fluxograma 1 – Principais ideias abordadas em cada um dos capítulos



1.4. Referências

- BRAUMAN, K. A. et al. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, p. 67–98, 2007.
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. LK - <https://royalroads.on.worldcat.org/oclc/4592801201>. **Nature TA - TT -**, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.
- DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington: [I. Press, Ed.; Issue March 2016], 1997.
- DENNEDY-FRANK, P. J. et al. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions. **Journal of Environmental Management**, v. 177, p. 331–340, 2016.
- EHRlich, P. R.; MOONEY, H. A. Extinction, Substitution, Ecosystem Services. **BioScience**, v. 33, n. 4, p. 248–254, 1983.
- GRIZZETTI, B. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, v. 61, p. 194–203, 2016.
- GUSWA, A. J. et al. Hydrologic Modeling To Support Decision Making. **Water Resources Research**, v. 50, n. 10, p. 1–10, 2014.
- LEMOS, R. S. **A Integração Da Gestão Territorial a Partir Da Política Das Águas**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems WELL-BEING**. Island Pre ed. Washington, 2005.
- POLASKY, S.; TALLIS, H.; REYERS, B. Setting the bar: Standards for ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 24, p. 7356–7361, 2015.
- SILVA I. A. M.; COSTA, A. M. Temporal change in land use and land cover in the Alto Rio das Velhas Basin. **RA'E GA - O Espaço Geográfico Em Análise**, 55, 154–175. 2022.
- WANG, P. et al. Spatio-temporal variations of the flood mitigation service of ecosystem under different climate scenarios in the Upper Reaches of Hanjiang River Basin, China. **Journal of Geographical Sciences**, v. 28, n. 10, p. 1385–1398, 2018.
- WESTMAN, W. E. How Much Are Nature 's Services Worth? **Science**, v. 197, n. 4307, p. 960–964, 1977.

2 PRINCIPAIS ABORDAGENS NA AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS HIDROLÓGICOS: LACUNAS E DIRETRIZES PARA APLICAÇÃO DO CONCEITO

RESUMO

Os SE hídricos (SEH) referem-se ao conjunto de benefícios produzidos pela água e por sua dinâmica aos seres humanos. Para que o conceito de SEH seja considerado nos processos de decisões, algumas lacunas precisam ser preenchidas. Assim, este trabalho tem como objetivo principal realizar uma revisão de literatura para explorar as principais temáticas relacionadas aos SEH e entender quais são as principais abordagens utilizadas até o momento. Para tal, foi realizada uma revisão de literatura na base de periódicos da Capes, utilizando as principais indicações da metodologia PRISMA, os dados originados da revisão foram tabulados e analisados de forma exploratória. Primeiramente, foi identificada a necessidade de ajustar os termos de busca para obter uma pesquisa mais abrangente, uma vez que 36% dos artigos incluídos foram encontrados de forma complementar a busca inicial (feita com os termos previamente definidos). Além disso, constatou-se que as publicações utilizando o termo SEH tiveram início em 2007, com destaque para um trabalho de grande relevância para a temática. A análise temporal revelou que a maioria dos artigos estava concentrada no período de 2015 a 2019, sendo 2018 o ano mais expressivo. Quanto à natureza dos trabalhos, cerca de 70% eram de caráter exploratório, envolvendo a produção de dados e modelagens, enquanto 26% eram revisões bibliográficas. A localização geográfica dos estudos abrangeu múltiplos países em cerca de 32% dos artigos, com os Estados Unidos como o local mais abordado em aproximadamente 29% dos trabalhos. Por fim, os artigos exploratórios priorizaram aspectos biofísicos e socioambientais, não sendo encontrados estudos nas categorias econômica, socioeconômica e econômica-ambiental. Esses resultados fornecem uma visão abrangente sobre as pesquisas relacionadas aos SEH e destacam a importância de aprimorar as estratégias de busca, considerando diferentes abordagens e contextos geográficos.

Palavras-chave: recursos hídricos; gestão ambiental; modelagem hídrica; sustentabilidade, serviços ambientais.

ABSTRACT

Water Ecosystem Services (WES) refer to the set of benefits produced by water and its dynamics for humans. In order for the concept of WES to be considered in decision-making processes, some gaps need to be addressed. Therefore, the main objective of this study is to conduct a literature review to explore the main themes related to WES and understand the main approaches used so far. To do so, a literature review was conducted in the Capes journal database, using the main indications of the PRISMA methodology. The data from the review were tabulated and analyzed in an exploratory manner. Firstly, the need to adjust search terms to obtain a more comprehensive search was identified since 36% of the included articles were found in addition to the initial search (done with the previously defined terms). In addition, it was found that publications using the term WES began in 2007, with a highlight for a highly relevant work on the subject. Temporal analysis revealed that the majority of articles were concentrated in the period from 2015 to 2019, with 2018 being the most significant year. As for the nature of the works, about 70% were exploratory in nature, involving data production and modeling, while 26% were literature reviews. The geographical location of the studies covered multiple countries in about 32% of the articles, with the United States being the most addressed location in approximately 29% of the works. Finally, exploratory articles prioritized biophysical and socio-environmental aspects, with no studies found in the economic, socioeconomic, and economic-environmental categories. These results provide a comprehensive overview of research related to WES and highlight the importance of improving search strategies, considering different approaches and geographical contexts.

Keywords: water resources; environmental management; water modelling; sustainability; environmental services.

2.1. Introdução

As modificações antrópicas nos ecossistemas alteram a dinâmica dos processos naturais, o que repercute nos bens e serviços fornecidos por estes ambientes aos seres humanos (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Na tentativa de estreitar o relacionamento entre a sociedade e o meio ambiente, foi criado o termo Serviços ecossistêmicos (SE), que se refere aos bens e benefícios obtidos pelos seres humanos, através dos sistemas naturais (EHRlich; MOONEY, 1983; COSTANZA et al., 1997). A conceituação dos SE está intimamente relacionada à valoração destes bens e seus benefícios ambientais, sendo que a primeira estimativa apresentada na literatura apontou um valor na ordem de 33 trilhões de dólares anuais (COSTANZA et al., 1997). Recentemente, estima-se que esses valores se aproximem de 145 trilhões de dólares (COSTANZA et al., 2014).

Dentre os diversos tipos de SE existentes, podem-se destacar os Serviços Ecossistêmicos hídricos (SEH), que consistem no conjunto de benefícios produzidos pela água e por sua dinâmica aos seres humanos (BRAUMAN et al., 2007). Esses serviços são afetados por interações complexas e se relacionam com muitos componentes ambientais, de forma que as alterações antrópicas nos ecossistemas melhoram ou degradam o fornecimento desses serviços à medida que água se movimenta pela paisagem (BRAUMAN et al., 2007). Entender essa dinâmica e os fatores que a compõem é essencial, uma vez que diversos tipos de SEH são insubstituíveis e/ou a sua capacidade de provisionamento, por parte dos ecossistemas, pode ser alterada. Tal problemática torna urgente a inclusão de avaliações e a inserção de tal conceito no processo de governança e na gestão dos recursos hídricos (PENG et al., 2019).

Para que o conceito de SEH tenha aplicabilidade e seja convertido em um processo de gestão sustentável, são necessárias métricas que permitam quantificar e avaliar os benefícios obtidos pela sociedade por meio destes serviços (BRAUMAN et al., 2007; DENNEDY-FRANK et al., 2016), além de interpretações que englobam os aspectos ambientais, econômicos e sociais dos SEH. Dessa forma, é primordial o desenvolvimento de métodos padronizados, confiáveis, de baixo custo, facilmente implantados e que possam ser utilizados por tomadores de decisões para elencar prioridades (TELLMAN et al., 2018) para uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

Além dos aspectos relacionados ao conhecimento científico e ao processo de tomada de decisões, é primordial a inclusão de variáveis relacionadas à percepção e ao engajamento das demais partes interessadas/consumidoras na conservação dos recursos hídricos (WEST;

NOLAN; SCOTT, 2016) para que o conceito de SEH possa se traduzir em informações efetivamente aplicáveis. No entanto, ainda são raros os trabalhos que conseguem: 1) captar a amplitude da temática através da avaliação quantitativa dos SEH e de forma útil para os tomadores de decisões; e 2) capturar os aspectos e as percepções sociais em torno do tema.

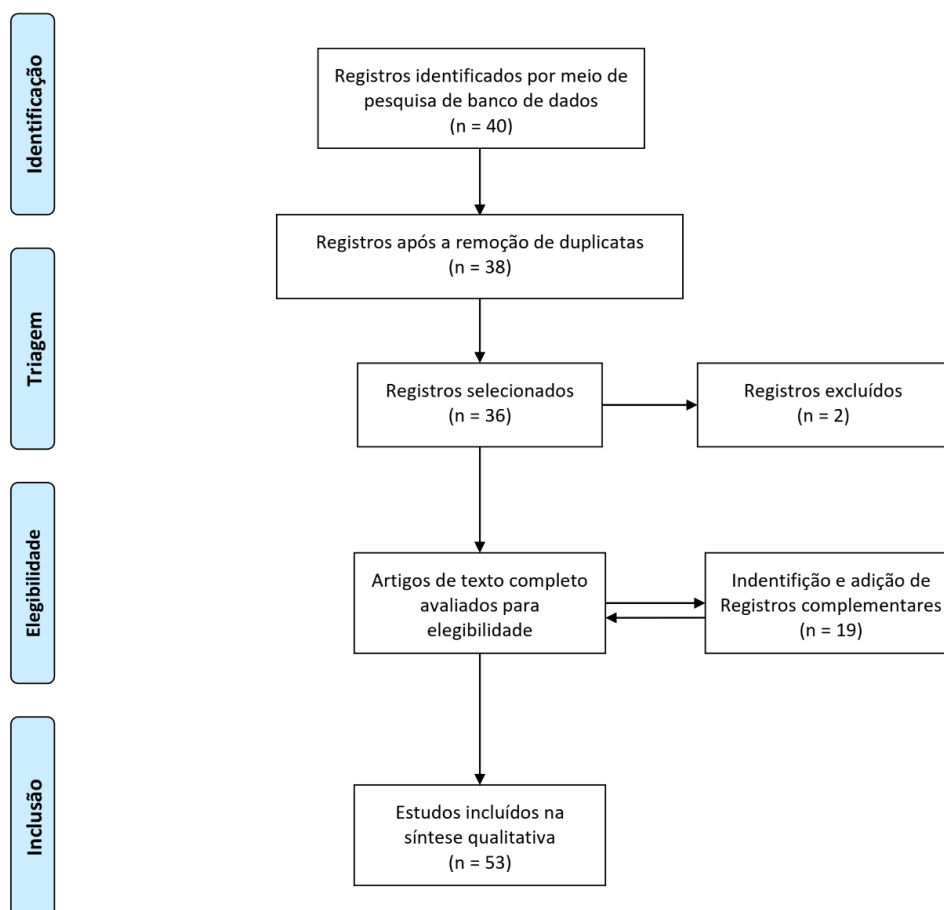
Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo principal realizar uma revisão de literatura para explorar as principais temáticas relacionadas aos SEH e entender quais são as principais abordagens utilizadas até o momento. Para tal, buscou-se responder a três perguntas norteadoras: 1) Quais são as principais abordagens científicas em torno do tema? 2) Quais são as principais métricas propostas na literatura? 3) Até que ponto, os tomadores de decisões e a sociedade estão incluídos nos processos de avaliação dos SEH?

2.2. Metodologia

Para atender aos objetivos propostos na pesquisa, foram identificados trabalhos disponibilizados pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), que consiste em uma biblioteca virtual, disponível gratuitamente para docentes e discentes das instituições de ensino do Brasil. O acervo do portal de periódicos da Capes conta com mais de 45 mil trabalhos completos e com mais de 130 bases de referências. Após consulta preliminar, foi definido o critério de busca como sendo “*hydrologic ecosystem services*”, o qual foi buscado no campo “assunto” da referida base de consulta.

Para a seleção de trabalhos, foram utilizadas as diretrizes propostas pelo PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Figura 1) (MOHER et al., 2009), com modificações pontuais. A primeira etapa consistiu na seleção inicial de trabalhos, através do termo de busca e plataforma já mencionados. Para a etapa seguinte, selecionou-se os artigos que passaram por revisões por pares. Na etapa de triagem, todos os artigos selecionados foram consultados através da leitura dos títulos e dos resumos, para seleção dos que se adequam ao escopo e aos objetivos pretendidos neste estudo.

Figura 1- Diretrizes para seleção de artigos e total de artigos selecionados em cada etapa.

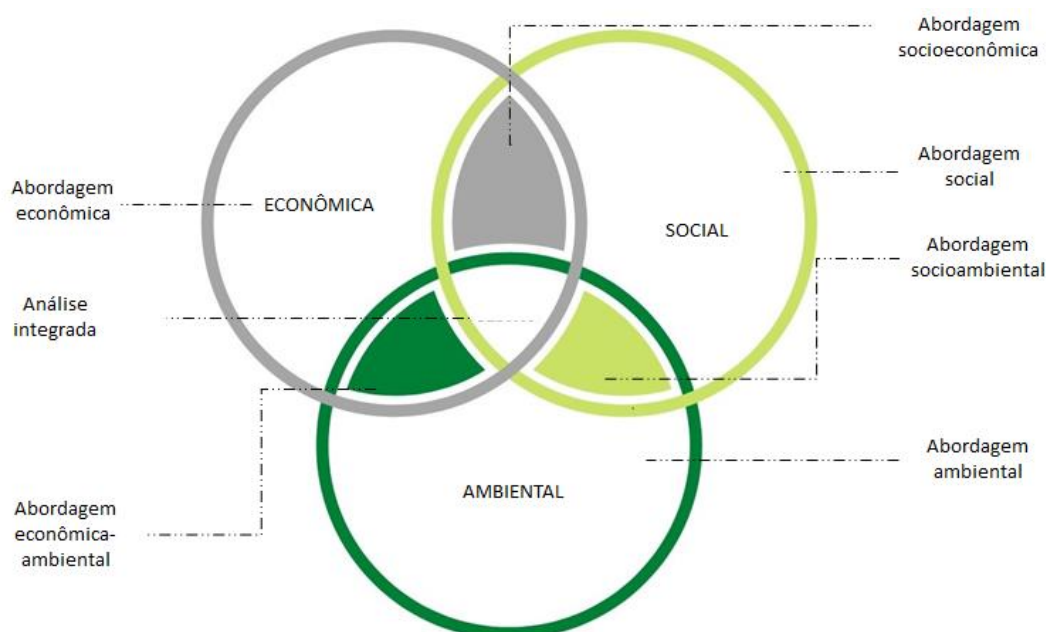


Fonte: adaptado de Moher et al. (2009) - as etapas de identificação e elegibilidade passaram por sutis modificações, sendo que a adição de novos trabalhos foi realizada na etapa de elegibilidade e não no processo de identificação dos artigos científicos.

Todos os artigos selecionados para revisão foram catalogados e revisados em detalhes. Assim, na etapa de elegibilidade, foi realizada uma revisão sistemática, onde os artigos passaram por uma leitura minuciosa e as principais informações foram catalogadas. Para tal, foram planilhadas informações como, por exemplo, título, autoria, ano, país de execução da pesquisa, tipo de trabalho (revisão ou exploratório), principais objetivos/questões/hipóteses, métodos utilizados, principais bases de dados usadas, principais contribuições científicas e quais as definições adotadas. Posteriormente, foi realizada uma análise descritiva, onde os artigos foram categorizados e agrupados de acordo com a abordagem empregada para obtenção das informações publicadas

Para categorização, separou-se os artigos com análises exploratórias e artigos de revisão. Na sequência, os trabalhos foram agrupados de acordo com a lógica conceitual presente na Figura 2. Os artigos de caráter exploratório foram considerados aqueles que produziam informações a partir de dados gerados em suas próprias pesquisas (modelagens, coletas primárias de informações, questionários, proposição de modelos). As categorias para esse grupo de artigos são relativas à origem e à participação na produção dos dados, sendo que estas categorias são descritas como: econômica, social, ambiental, econômica-ambiental, socioambiental, socioeconômica e análise integral do conceito de SEH (estudos que contemplam abordagens econômicas, sociais e ambientais). Destaca-se que a categoria social – e a sua integração com as demais – relaciona-se com a participação, sendo que foram considerados os artigos que produziram dados através da participação de, pelo menos, algum setor da sociedade.

Figura 2 - Critérios para categorização dos artigos



Por fim, os artigos de revisão, como nem sempre foi possível identificar a origem das informações e dados neles apresentados, foram categorizados pela abrangência de suas discussões, adotando-se as mesmas categorias presentes na Figura 2 para a análise descritiva.

2.3. Resultados

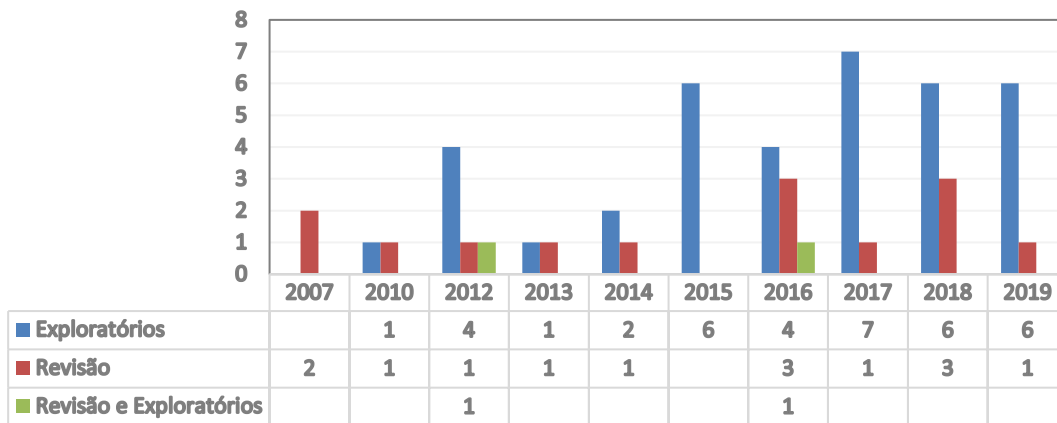
2.3.1. Critérios de busca e seleção da base de artigos

A busca inicial, referente ao termo “Hydrologic ecosystem services”, na base de publicações do Portal de Periódicos da Capes, resultou em 40 artigos revisados por pares. Após a exclusão das duplicidades e dos trabalhos que não se adequaram ao escopo da presente pesquisa, este número foi reduzido para 34 (Figura 1). Adicionalmente, foram realizadas buscas complementares a partir dos 34 artigos iniciais, de forma que mais 19 trabalhos foram incorporados e a base final de consulta foi composta por 53 publicações, que foram sistematicamente revisadas (Figura 1). Esses resultados indicam a necessidade de adequação dos termos de buscas, uma vez que 36% dos artigos incluídos na análise final foram adicionados de forma complementar para o atendimento dos objetivos propostos na pesquisa atual.

2.3.2. Descrição geral da base de artigos

A base de artigos avaliada demonstrou que as publicações referentes ao termo “Hydrologic ecosystem services” foram iniciadas em 2007 com o trabalho intitulado “*The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services*” (BRAUMAN et al., 2007), onde o termo foi cunhado. Foi possível observar, que os trabalhos consultados se concentraram majoritariamente no período de 2015 até 2019, onde cerca de 72% dos artigos foram publicados, sendo o ano de 2018 o mais expressivo (Figura 3).

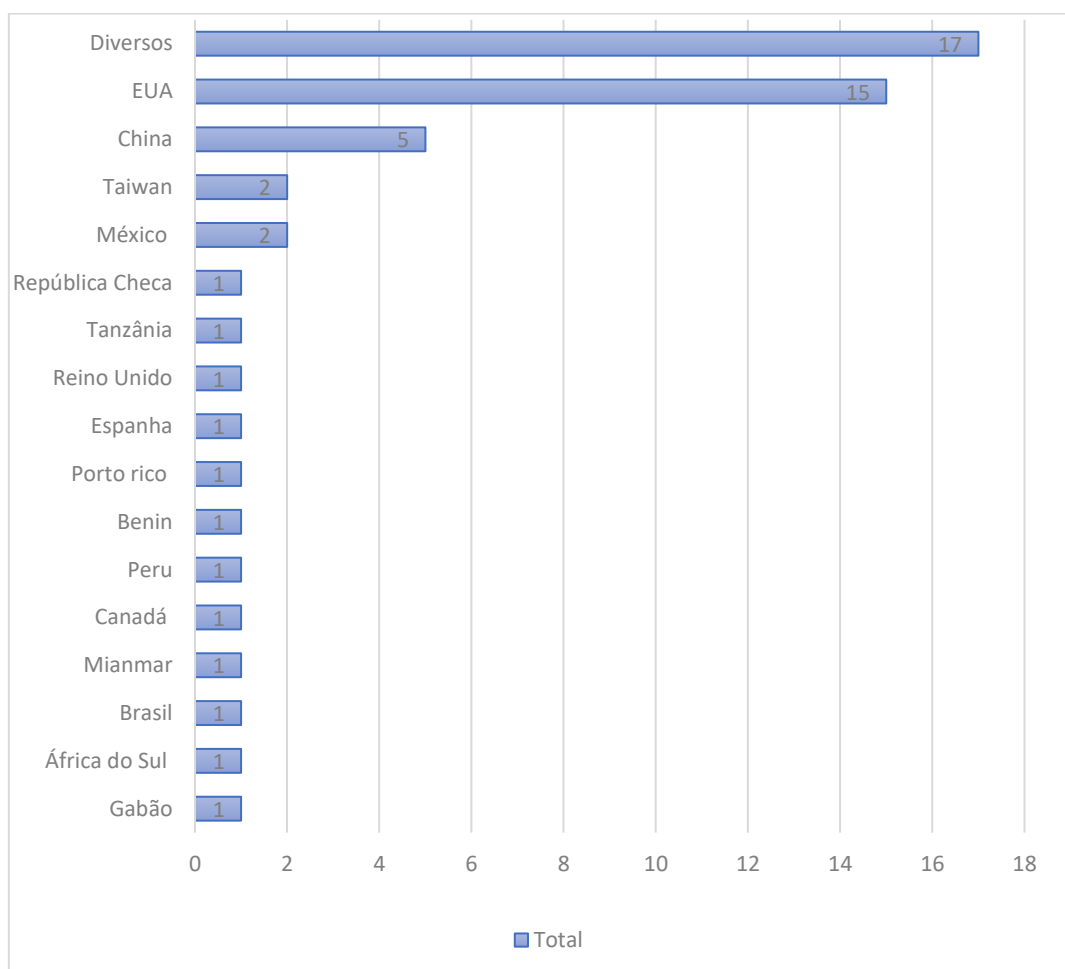
Figura 3- Agrupamento dos trabalhos inseridos nas análises, considerando o ano de publicação.



Os trabalhos caracterizados como exploratórios (produção de dados - modelagens, coleta primárias de informações, questionários, proposição de modelos) representaram cerca de 70% dos trabalhos consultados. Os trabalhos de revisão corresponderam a 26%. Cerca de 4% dos trabalhos avaliados apresentavam uma ampla revisão, dentro dos seus objetivos pretendidos, além de uma parte experimental (Figura 3).

No que se refere à localização geográfica dos estudos, os trabalhos foram agrupados de acordo com o país de sua realização, sendo que pesquisas onde as análises se empenharam em mais de um país (nomeados como diversos) representaram aproximadamente 32% dos artigos pesquisados, seguidas por cerca de 29% dos trabalhos onde os estudos foram concentrados exclusivamente nos Estados Unidos das Américas (EUA) (Figura 4).

Figura 4 - Agrupamento dos trabalhos inseridos nas análises, considerando o local de publicação.



2.3.3. Aplicação do conceito: principais abordagens

Os artigos definidos como exploratórios, quando categorizados de acordo com a origem dos dados (Quadro 1), mostraram-se majoritariamente inseridos na categoria ambiental, onde aspectos biofísicos foram amplamente contemplados e foram seguidos por aqueles que consideraram abordagens socioambientais. Não foram encontradas as categorias de artigos econômica, socioeconômica e econômica- ambiental.

Os artigos de revisão foram categorizados quanto à abordagem conceitual, ou seja, aspectos relacionados às categorias presentes na Figura 2. Foi observado que, em comparação com os artigos de produção de dados, os de revisão bibliográfica foram mais abrangentes, considerando os três pilares do conceito de SEH: ambiental, social e econômico (Quadro 1).

Quadro 1 - Categorização dos artigos quanto às abordagens e exemplos contribuições em cada uma das abordagens.

Abordagem	Artigos	%	Exemplo de contribuições
Artigos exploratórios			
Social	(CANO; HALLER, 2018; BREMER et al., 2015)	5,6	Tomadores de decisões e usuários dos SEH entrevistados apresentam similaridades na identificação da importância da vulnerabilidade dos SEH. Os entrevistados apresentaram sinergias na determinação dos fatores e responsáveis pelas mudanças de provisão dos SEH.
Ambiental	(GORDON et al., 2020; BIAN; LIU; DING, 2019; CHEN et al., 2019; CHIANG; CHUANG; HAN, 2019; KUSMER et al., 2019; PAN; CHOI, 2019a; PENG et al., 2019; TAFFARELLO et al., 2018; WANG et al., 2018; TELLMAN et al., 2018; GAO; YU, 2017; GOLDSTEIN et al., 2017; KALACSKA et al., 2017; MANDLE et al., 2017; QIU et al., 2017; USINOWICZ; QIU; KAMARAINEN, 2017; DENNEDY-FRANK et al., 2016; KRKOŠKA LORENCOVÁ et al., 2016; BRAUMAN, 2015; DUKU et al., 2015; QIU; TURNER, 2015; HOYER; CHANG, 2014; MAZARI-HIRIART et al., 2014; BAGSTAD et al., 2013a; BAI et al., 2013; JACKSON et al., 2013; JUJNOVSKY et al., 2012)	80,6	A composição e configuração da paisagem afetaram a oferta de serviços hidrológicos, mas a composição era consistentemente mais importante que a configuração para os SEH avaliados. Em comparação com as mudanças na escala anual, os resultados mostram variabilidades muito maiores em séries temporais mensais. As alterações no uso da terra nos SEH não são lineares.
Socioambiental	(PALTA et al., 2016; WEST; NOLAN; SCOTT, 2016; WILLAARTS; VOLK; AGUILERA, 2012)	8,3	Os SEH desempenham um importante papel na qualidade de vida em populações que vivem em situações de vulnerabilidade social e física.
Análise integrada	(UCHIDA et al., 2018; GREEN et al., 2015)	5,6	A eficácia de qualquer projeto que se relacione com SE depende do tamanho dos estabelecimentos rurais, de sua localização, do tipo de solo e outras características da bacia hidrográfica, logo, é necessário compreender os fatores biofísicos e os processos por estes.
Artigos de Revisão			

Ambiental	(GAO et al., 2018; ROBINNE et al., 2020; BONNESOEUR et al., 2019; FRANCESCONI et al., 2016; KEPNER et al., 2012)	29,4	Apontam consequências hidrológicas das mudanças no uso da terra e descreve o uso de modelagem e análise de cenário para informar a tomada de decisão.
Socioeconômica	(LE MAITRE et al., 2007)	5,9	Os proprietários de terras não serão capazes de financiar o custo total para adequação ambiental de suas terras, então uma abordagem sistêmica é necessária, que envolverá a participação de todas as partes interessadas e a aprovação compartilhada apropriada de custos e benefícios.
Socioambiental	(HANNA et al., 2018)	5,9	Os SE devem ser mais claramente definidos e representar com precisão o serviço que pretendem quantificar; Os estudos são majoritariamente concentrados na Europa, China e Estados Unidos.
Análise integrada	(QIU et al., 2018; CHANG; BONNETTE, 2016; GORDON; FINLAYSON; HARRISON-ATLAS; THEOBALD, 2010; GOLDSTEIN, 2016; GRIZZETTI et al., 2016; KEELER et al., 2012; BRAUMAN, 2015; BAGSTAD et al., 2013b; GORDON; FINLAYSON; FALKENMARK, 2010; BRAUMAN et al., 2007)	58,8	Diversas oportunidades são criadas ao adotar o conceito de SE, para capturar e integrar todos os efeitos (econômicos, ambiental e social) associada a novos planos de água e investimentos.

As principais metodologias utilizadas para execução dos trabalhos de caráter exploratório podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais ferramentas utilizadas nas análises ambientais e as finalidades envolvidas em suas concepções.

Principais metodologias	Artigos	Finalidade
InVEST ¹ - Integrated Valuation of Ecosystem Services and <i>Trade offs</i>	(PENG et al., 2019; QIU et al., 2017; BAI et al., 2013; GAO et al., 2017; MANDLE et al., 2017; DENNEDY-FRANK et al., 2016; KRKOŠKA LORENCOVÁ et al., 2016; QIU; TURNER, 2015; HOYER; CHANG, 2014)	Modelagem do fluxo de SE
SWAT ² - Soil and Water Assessment Tool	(CHIANG; CHUANG; HAN, 2019; TAFFARELLO et al., 2018; UCHIDA et al., 2018; GAO; YU, 2017; DENNEDY-FRANK	Modelagem hidrossedimentológica

¹ Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

² Disponível em: <https://swat.tamu.edu/>

	et al., 2016; DUKU et al., 2015; JUJNOVSKY et al., 2012)	
--	--	--

2.4. Discussão

2.4.1. Abordagem Conceitual: critérios de busca e seleção da base de artigos

Requeru-se a adequação dos critérios de busca pela constatação da necessidade de adição de artigos na base inicial de avaliação, o que pode ser explicado pelas variações de termos utilizados para descrever os mesmos SEH. Esta grande variabilidade conceitual, presente nos trabalhos consultados, reflete a flexibilidade de definições nas publicações referentes aos serviços prestados pelos ecossistemas (COSTANZA et al., 1997; WILSON; BOUMANS, 2002; BOYD; BANZHAF, 2006; PALTA et al., 2016; BRAUMAN et al., 2007; DE GROOT; WILSON; BOUMANS, 2002; HANNA et al., 2018), também já relatada na literatura por outros autores (BRAUMAN et al., 2007; HANNA et al., 2018). No entanto, reconhecemos que é complexo elencar uma única tipologia que seja adequada para a variabilidade de serviços prestados pelos ecossistemas (HANNA et al., 2018).

É importante destacar que nem todos os trabalhos consultados utilizaram o termo SEH. Variações como “serviços produzidos pela água” ou “serviços hídricos” também foram encontradas para designar o conjunto de processos e bens produzidos pela água e sua dinâmica. Para os autores que adotaram o termo SEH, a conceituação é um consenso, sendo a proposição inicial, apresentada por Brauman et al. (2007) aceita até o momento, onde os SEH, são definidos como os benefícios gerados para a sociedade e provenientes da água doce, em função da dinâmica dos ecossistemas terrestres (WILLAARTS; VOLK; AGUILERA, 2012; GUSWA et al., 2014; MAZARI- HIRIART et al., 2014; BRAUMAN, 2015; QIU; TURNER, 2015; CHANG; BONNETTE, 2016; HARRISON-ATLAS; THEOBALD; GOLDSTEIN, 2016; PALTA et al., 2016). Estes benefícios incluem o fornecimento de água doce, a qualidade da água, a mitigação de inundações e os serviços culturais relacionados à água (BRAUMAN et al., 2007).

A problemática conceitual aqui apresentada estende-se para além dos SEH e abrange a definição básica de SE, que ainda não é um consenso científico. Grande parte da comunidade científica defende que os SE sejam definidos como proposto pelo MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005), ou seja, como os benefícios que os humanos obtêm dos ecossistemas, contabilizando-se os benefícios diretos e indiretos. No entanto, para alguns

cientistas, os SE, devem computar somente os benefícios finais, processos ou bens produzidos pelos ecossistemas que beneficiam diretamente as pessoas (CICES, 2013) para evitar eventuais duplicidades na contabilização desses serviços. A falta de definição clara e objetiva referente ao tema, juntamente com as divergências encontradas na quantificação e avaliação dos SE, limita a aceitação e a incorporação do conceito nos processos de tomada de decisões (POLASKY; TALLIS; REYERS, 2015; BONNESOEUR et al., 2019).

2.4.2. Análise descritiva da base de artigos consultados

A organização dos artigos, de acordo com a cronologia, permitiu-nos entender o ponto de partida para conceituação do termo SEH e as bases que nortearam a sua concepção. O trabalho intitulado “The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services” (BRAUMAN et al., 2007) foi um marco conceitual para várias outras literaturas subsequentes (WILLAARTS; VOLK; AGUILERA, 2012; GUSWA et al., 2014; MAZARI-HIRIART et al., 2014; BRAUMAN, 2015; QIU; TURNER, 2015; CHANG; BONNETTE, 2016; HARRISON-ATLAS; THEOBALD; GOLDSTEIN, 2016; PALTA et al., 2016) e relacionadas com a temática dos SEH.

Neste trabalho, diversos aspectos foram considerados. Dentre eles, que a inclusão explícita dos beneficiários – usuários dos SEH – fornece uma maneira de avaliar a viabilidade de cenários distintos, que vão desde a manutenção de ecossistemas em seus estados naturais, até as mudanças em seus padrões e dinâmicas, incluídas suas possíveis consequências. Brauman et al. (2007) apresentam uma abordagem geral das funções dos ecossistemas responsáveis por produzir SEH e também um norte para uma avaliação mais geral destes serviços, para que estes possam ser convertidos em ferramentas e políticas úteis para aplicação prática do conceito. Observa-se que, nos últimos anos, o conceito vem sendo difundido e sua utilização ampliada, independentemente da utilização direta do termo SEH.

A crescente utilização do conceito de SEH (Figura 2) é condizente com o aumento de publicações que abordam SE de uma forma mais ampliada e que pode ser justificada pelo crescente interesse dos tomadores de decisões, que tentam incorporar tal conceito nos processos decisórios (HARRISON- ATLAS; THEOBALD; GOLDSTEIN, 2016). Uma vez que resultados são demandados, ocorre uma mobilização por parte da comunidade científica para atender às necessidades da sociedade. Apesar do crescente interesse por parte da comunidade científica e de tomadores de decisões, algumas lacunas ainda existem na avaliação dos SEH, as

quais se refletem na incapacidade de descrever, quantificar e mapear de forma consistente os fluxos de SE. Estas lacunas limitam a aplicação dos conceitos SEH para a formulação de políticas e utilização prática dos conhecimentos gerados (BAGSTAD et al., 2013a).

A tentativa de preencher esta lacuna pode explicar o motivo da alta concentração de trabalhos exploratórios e de caráter ambiental, com foco em contextos de avaliações, em especial no que se refere à caracterização e distribuição de processos biofísicos. Foi possível notar que parte significativa das avaliações não se concentram em um único país (Figura 4), o que permite uma avaliação mais abrangente dos SEH, mas, possivelmente, limita a inserção dos resultados nas políticas públicas. Outro número significativo de artigos concentrou-se em avaliar as sub-bacias dos EUA (Figura 4), o que já fora previamente relatado por demais trabalhos na literatura, concentrados na temática de SEH (HANNA et al., 2018). Essa concentração de pesquisas pode indicar maiores demandas por parte dos tomadores de decisões ou de outros núcleos da sociedade.

2.4.3. Aplicação do conceito: principais abordagens

A categorização dos artigos, de acordo com a abordagem adotada (Quadro 1), permitiu visualizar de uma forma mais ampla o estado da arte dos SEH, sendo possível identificar fragilidades e os aspectos que são mais contemplados nas pesquisas. Notou-se que grande parte dos esforços acadêmicos se concentram na obtenção de dados biofísicos, em detrimento de abordagens que contemplem ainda, de forma conjunta, aspectos econômicos e a participação social. Essas pesquisas, em grande parte, têm como foco avaliar os processos relacionados à quantidade ou qualidade de água (WILLAARTS; VOLK; AGUILERA, 2012; DUKU et al., 2015; DENNEDY- FRANK et al., 2016; TAFFARELLO et al., 2018; PAN; CHOI, 2019a). Muitas vezes, limitaram-se a interpretações restritas e suas discussões não incluem aspectos ecológicos e suas interações, os quais, notadamente, impactam na provisão dos SEH.

Na base de artigos consultada neste trabalho observou-se uma ampla utilização de modelos hidrológicos para simulação dos processos que envolvem a água e os seus benefícios. Eles variam em objetivos e em sua capacidade de mensurar os SEH. Através da modelagem, os cientistas buscam capturar as heterogeneidades nos parâmetros hidrológicos e meteorológicos, além de aprimorar a compreensão e a previsão dos processos hidrológicos (PAN; CHOI, 2019a). Assim, foi possível identificar alguns modelos utilizados para tal finalidade, dentre os quais cita-se: os modelos InVEST (BAI et al., 2013; HOYER; CHANG, 2014; QIU; TURNER,

2015; DENNEDY-FRANK et al., 2016; KRKOŠKA LORENCOVÁ et al., 2016; GAO et al., 2017; HOYER; MANDLE et al., 2017; QIU et al., 2017; PENG et al., 2019;), SWAT (JUJNOVSKY et al., 2012; DUKU et al., 2015; DENNEDY-FRANK et al., 2016; GAO; YU, 2017; TAFFARELLO et al., 2018; UCHIDA et al., 2018; CHIANG; CHUANG; HAN, 2019), *The Hydrologic Simulation Program-Fortran* (PAN; CHOI, 2019b, 2019a) e *Resource Investment Optimization System* (GOLDSTEIN et al., 2017).

Dois modelos são mais frequentemente utilizados por cientistas para avaliação dos SEH: o InVEST e o SWAT (Quadro 2). O InVEST é um modelo desenvolvido pelo projeto Capital Natural (DENNEDY-FRANK et al., 2016; SHARP et al., 2020) que possibilita a avaliação e a quantificação dos efeitos das mudanças nos ecossistemas na prestação dos SE e é projetado para avaliar 14 serviços finais, incluindo o armazenamento e sequestro de carbono, a produção de água, a retenção de nutrientes e a retenção de sedimentos. O InVEST apresenta seus resultados de forma espacialmente explícita e, quando comparado com outros modelos hidrológicos, é uma ferramenta relativamente simples para mensuração dos SEH, além de demandar poucos dados de entrada (SHARP et al., 2020).

Já o SWAT é um modelo mais robusto e mais complexo, semi-distribuído e baseado em processos, desenvolvido para simulações hidrossedimentológicas e que vem sendo empregado para avaliação dos SEH. Esse método usa bases de dados relacionados a solos, elevação, clima, uso e cobertura do solo para obtenção de seus resultados e tem uma série de calibrações de parâmetros para representação das condições específicas das sub-bacias estudadas (DENNEDY-FRANK et al., 2016). Um estudo comparando estas ferramentas – InVEST e SWAT – avaliou duas sub-bacias e apresentou resultados distintos a depender da área avaliada. Para um dos contextos, ambas ferramentas produziram resultados compatíveis. No entanto, para outra sub-bacia avaliada, os resultados da modelagem InVEST tiveram sua eficiência reduzida por não considerar o fluxo basal em sua avaliação (DENNEDY-FRANK et al., 2016), de forma que mais estudos são necessários para o entendimento da capacidade dessas duas metodologias em avaliar a provisão dos SEH.

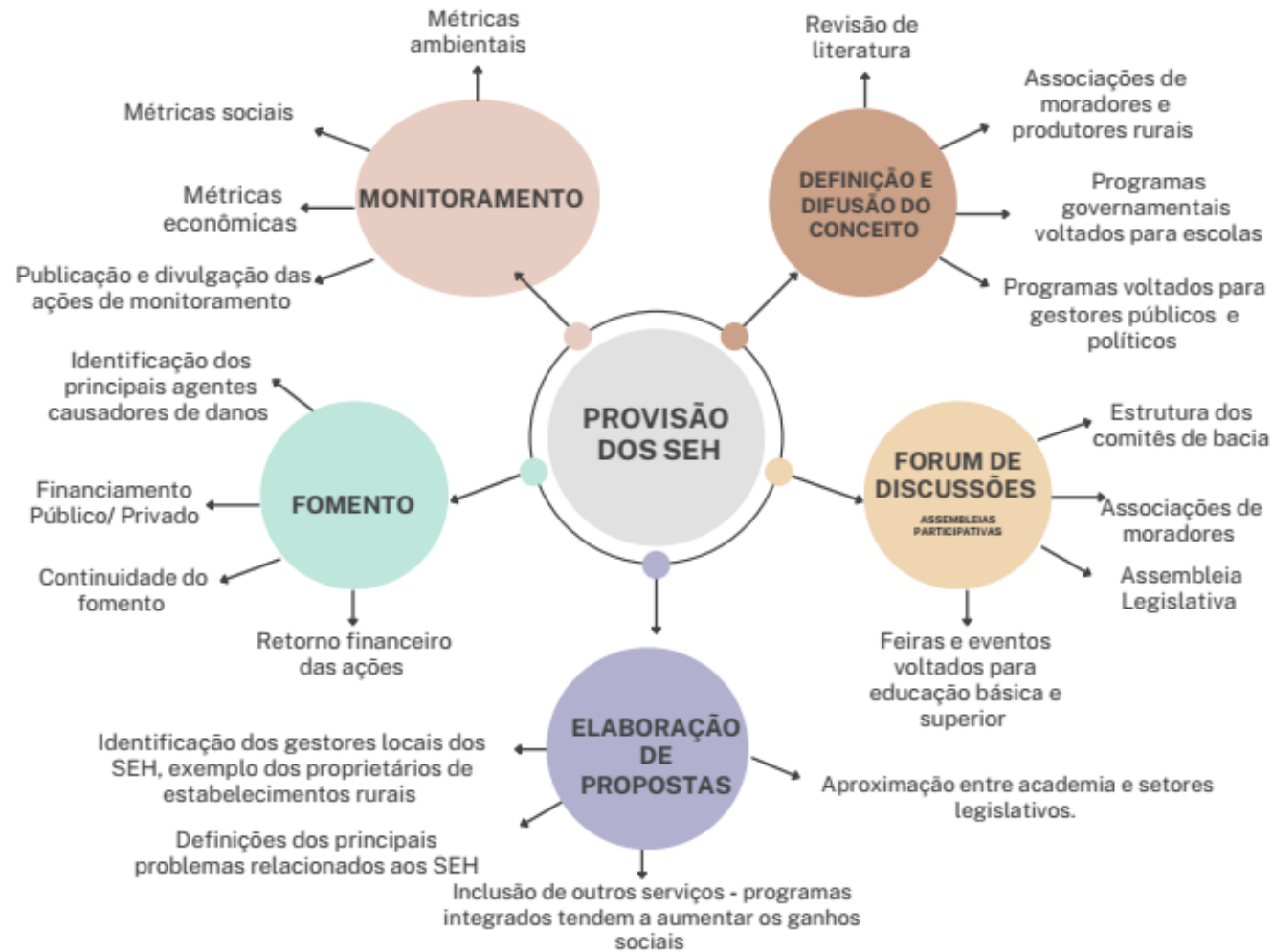
Foram encontradas, nos trabalhos de revisão, abordagens relativas a ambas as ferramentas. Em apenas uma delas os autores avaliaram exclusivamente a utilização do SWAT para mensuração dos SEH (FRANCESCONI et al., 2016). As abordagens foram mais amplas e tiveram aspectos ambientais, econômicos e sociais contemplados em grande parte das análises (BRAUMAN, 2015; BRAUMAN et al., 2007; GORDON; FINLAYSON; FALKENMARK,

2010; CHANG; BONNETTE, 2016; HARRISON- ATLAS; THEOBALD; GOLDSTEIN, 2016; QIU et al., 2018).

Essas abordagens que integram diferentes aspectos são especialmente importantes para que o conceito de SEH seja, de fato, posto em prática. A aplicabilidade das decisões relacionadas aos SE exigirão, ao longo do tempo, a integração de conhecimentos de vários campos, além do engajamento ativo e transparente das partes interessadas (GUSWA et al., 2014). Dessa forma, cientistas, tomadores de decisões e demais setores da sociedade, de modo integrado, precisam acordar quais as métricas e de qual forma os resultados precisam ser apresentados, para inclusão destas avaliações nas políticas públicas (DENNEDY-FRANK et al., 2016).

Alguns entraves ainda são encontrados para que essa avaliação possa conciliar ciência e política pública, uma vez que cientistas e tomadores de decisões têm focos diferentes ao se relacionarem com os SEH. Os primeiros se concentram em ligar as funções dos ecossistemas com os benefícios que eles produzem (DENNEDY-FRANK et al., 2016), o que pode gerar informações complexas e pouco tangíveis, além de serem restritas à abordagem ambiental. Já os tomadores de decisões buscam informações que possam facilmente ser incluídas nos processos de tomada de decisões (DENNEDY- FRANK et al., 2016), correndo o risco de simplificar demasiadamente as relações entre o homem, o ecossistema e seus benefícios. Certamente que uma interseção entre as demandas de cientistas e tomadores de decisões resultaria em uma maior aplicabilidade do conceito dos SEH, contemplando informações econômicas, sociais e ambientais. A Figura 5, esboça um esquema pautado nos conhecimentos provenientes da revisão sistemática de literatura, com vistas a contribuir na organização de ideias, para que os conceitos em torno das temáticas relacionadas aos SEH sejam passíveis de aplicação em práticas.

Figura 5- Mapa mental elaborado com vista a contribuir na elucidação de como os estudos, ferramentas e partes interessadas se integram na pauta dos SE



Para a inclusão do conceito de SEH nos processos decisórios, são necessárias algumas adaptações na forma como as pesquisas têm sido conduzidas. Grande parte dos estudos se concentram na abordagem ambiental, em detrimento de abordagens econômicas e da contemplação da percepção social, além de fornecerem informações pontuais e de forma não aplicável para os tomadores de decisões. Para conversão da teoria em prática, uma integração de conhecimentos será necessária, perpassando por diversas áreas e contemplando o engajamento transparente dos atores que se relacionam com a temática (GUSWA et al., 2014). Assim, aspectos ambientais, econômicos e sociais devem ser incluídos nas pesquisas, bem como a participação dos beneficiários dos serviços produzidos pelos ecossistemas. Por fim, os estudos, quando integrados, poderão orientar políticas de planejamento espacial de forma economicamente viável e socialmente justa, sem prejuízos às questões ambientais.

2.5. Conclusão

A inserção do conceito de SEH no processo de gestão dos recursos naturais pode implicar em ganhos para sociedade. Para tal, são necessários alguns ajustes na forma como as informações são constantemente produzidas nas pesquisas científicas, uma vez que as abordagens se concentram fortemente na produção de dados ambientais, não considerando aspectos econômicos e a participação social de forma integrada. As informações, em grande parte, são provenientes de modelagens complexas e os resultados não estão em formatos acessíveis para serem incluídos nos processos de tomadas de decisões. A base de artigos consultada revelou que raramente a sociedade vem sendo inserida nos processos de avaliação dos SEH, o que dificulta a aplicação do conceito. Assim, destaca-se que lacunas ainda precisam ser preenchidas: estas vão desde aspectos básicos, como uma utilização de termos claros, objetivos e de forma consensual para definição dos SEH, até a definição de métricas que sejam capazes de representar a complexidade dos ecossistemas, tendo seus resultados transcritos de forma prática para serem utilizadas por tomadores de decisão e entendidos pelos demais setores da sociedade.

2.6. Referências

BAGSTAD, K. J. et al. Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantifying actual services. **Ecosystem Services**, v. 4, p. 117–125, 2013a.

BAGSTAD, K. J. et al. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. **Ecosystem Services**, v. 5, p. 27–39, 2013b.

BAI, Y. et al. Modeling hydrological ecosystem services and tradeoffs: A case study in Baiyangdian watershed, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, n. 2, p. 709–718, 2013.

BIAN, Z.; LIU, L.; DING, S. Correlation between spatial-Temporal Variation in landscape patterns and surface water quality: A case study in the Yi River watershed, China. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 6, 2019.

BONNESOEUR, V. et al. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. **Forest Ecology and Management**, v. 433, n. June 2018, p. 569–584, 2019.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units: Ecological Economics of Coastal Disasters - Coastal Disasters Special Section. **Ecological Economics**, v. 63, n. January, p. 616- 626 ST-What are ecosystem services? The nee, 2006.

BRAUMAN, K. A. et al. The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 32, p. 67–98, 2007.

BRAUMAN, K. A. Hydrologic ecosystem services: linking ecohydrologic processes to human well-being in water research and watershed management. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 4, p. 345–358, 2015.

BREMER, L. L. et al. Opportunities and Strategies to Incorporate Ecosystem Services Knowledge and Decision Support Tools into Planning and Decision Making in Hawai'i. **Environmental Management**, v. 55, n. 4, p. 884–899, 2015.

CANO, D.; HALLER, A. Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú. **Espacio y Desarrollo**, v. 32, n. 31, p. 7–32, 2018.

CHANG, H.; BONNETTE, M. R. Climate change and water-related ecosystem services: impacts of drought in california, usa. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 2, n. 12, p. 1–19, 2016.

CHEN, D. et al. Decreased buffering capacity and increased recovery time for legacy phosphorus in a typical watershed in eastern China between 1960 and 2010.

Biogeochemistry, v. 144, n. 3, p. 273–290, 2019.

CHIANG, L. C.; CHUANG, Y. T.; HAN, C. C. Integrating landscape metrics and hydrologic modeling to assess the impact of natural disturbances on ecohydrological processes in the chenyan watershed, Taiwan.

International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, n. 2, 2019.

CICES. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003. **EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003**, n. December 2012, p. 1–17, 2013.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. LK - <https://royalroads.on.worldcat.org/oclc/4592801201>. **Nature TA - TT** -, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.

COSTANZA, R. et al. Changes in the global value of ecosystem services. **Global Environmental Change**, v. 26, n. 1, p. 152–158, 2014.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393–408, 2002.

DENNEDY-FRANK, P. J. et al. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions. **Journal of Environmental Management**, v. 177, p. 331–340, 2016.

DUKU, C. et al. Towards ecosystem accounting: A comprehensive approach to modelling multiple hydrological ecosystem services. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 19, n. 10, p. 4377–4396, 2015.

EHRlich, P. R.; MOONEY, H. A. Extinction, Substitution, Ecosystem Services. **BioScience**, v. 33, n. 4, p. 248–254, 1983.

FRANCESCONI, W. et al. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to model ecosystem services: A systematic review. **Journal of Hydrology**, v. 535, p. 625–636, 2016.

GAO, H. et al. Landscape heterogeneity and hydrological processes: a review of landscape-based hydrological models. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 9, p. 1461–1480, 2018.

GAO, J. et al. The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S148–S155, 2017.

- GAO, Q.; YU, M. Reforestation-induced changes of landscape composition and configuration modulate freshwater supply and flooding risk of tropical watersheds. **PLoS ONE**, v. 12, n. 7, p. 1–14, 2017.
- GOLDSTEIN, J. H. et al. Spatial planning for a green economy: National-level hydrologic ecosystem services priority areas for Gabon. **PLoS ONE**, v. 12, n. 6, p. 1–21, 2017.
- GORDON, B. L. et al. Field scale quantification indicates potential for variability in return flows from flood irrigation in the high altitude western US. **Agricultural Water Management**, v. 232, n. February, p. 106062, 2020.
- GORDON, L. J.; FINLAYSON, C. M.; FALKENMARK, M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 512–519, 2010.
- GREEN, P. A. et al. Freshwater ecosystem services supporting humans: Pivoting from water crisis to water solutions. **Global Environmental Change**, v. 34, p. 108–118, 2015.
- GRIZZETTI, B. et al. Assessing water ecosystem services for water resource management. **Environmental Science and Policy**, v. 61, p. 194–203, 2016.
- GUSWA, A. J. et al. Hydrologic Modeling To Support Decision Making. **Water Resources Research**, v. 50, n. 10, p. 1–10, 2014.
- HANNA, D. E. L. et al. A review of riverine ecosystem service quantification: Research gaps and recommendations. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 3, p. 1299–1311, 2018.
- HARRISON-ATLAS, D.; THEOBALD, D. M.; GOLDSTEIN, J. H. A systematic review of approaches to quantify hydrologic ecosystem services to inform decision-making. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management**, v. 12, n. 3, p. 160–171, 2016.
- HOYER, R.; CHANG, H. Assessment of freshwater ecosystem services in the tualatin and Yamhill basins under climate change and urbanization. **Applied Geography**, v. 53, p. 402–416, 2014.
- JACKSON, B. et al. Polyscape: A GIS mapping framework providing efficient and spatially explicit landscape-scale valuation of multiple ecosystem services. **Landscape and Urban Planning**, v. 112, n. 1, p. 74–88, 2013.
- JUJNOVSKY, J. et al. Assessment of water supply as an ecosystem service in a rural-urban watershed in southwestern Mexico City. **Environmental Management**, v. 49, n. 3, p. 690–702, 2012.
- KALACSKA, M. et al. Land cover, land use, and climate change impacts on endemic cichlid habitats in Northern Tanzania. **Remote Sensing**, v. 9, n. 6, p. 1–25, 2017.

- KEELER, B. L. et al. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 45, p. 18619–18624, 2012.
- KEPNER, W. G. et al. Hydrologic futures: using scenario analysis to evaluate impacts of forecasted land use change on hydrologic services. **Ecosphere**, v. 3, n. 7, p. art69, 2012.
- KRKOŠKA LORENCOVÁ, E. et al. Assessing impact of land use and climate change on regulating ecosystem services in the czech republic. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 2, n. 3, 2016.
- KUSMER, A. S. et al. Watershed Buffering of Legacy Phosphorus Pressure at a Regional Scale: A Comparison Across Space and Time. **Ecosystems**, v. 22, n. 1, p. 91–109, 2019.
- LE MAITRE, D. C. et al. Linking ecosystem services and water resources: Landscape-scale hydrology of the Little Karoo. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 5, p. 261–270, 2007.
- MANDLE, L. et al. Assessing ecosystem service provision under climate change to support conservation and development planning in Myanmar. **PLoS ONE**, v. 12, n. 9, p. 1–23, 2017.
- MAZARI-HIRIART, M. et al. Final opportunity to rehabilitate an urban river as a water source for Mexico City. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, 2014.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems WELL-BEING**. Island Pre ed. Washington, 2005.
- MOHER, D. et al. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **PLOS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 21 jul. 2009.
- PALTA, M. et al. Ecosystem services and disservices for a vulnerable population: Findings from urban waterways and wetlands in an American desert city. **Human Ecology**, v. 44, n. 4, p. 463–478, 2016.
- PAN, F.; CHOI, W. Impacts of climate change and urban expansion on hydrologic ecosystem services in the Milwaukee River basin. **Climate**, v. 7, n. 4, 2019a.
- PAN, F.; CHOI, W. A Conceptual Modeling Framework for Hydrologic Ecosystem Services. **Hydrology**, v. 6, 2019b.
- PENG, L. C. et al. Climate change impact on spatiotemporal hotspots of hydrologic ecosystem services: A case study of Chinan catchment, Taiwan. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 4, 2019.

POLASKY, S.; TALLIS, H.; REYERS, B. Setting the bar: Standards for ecosystem services. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 24, p. 7356–7361, 2015.

QIU, J. et al. Spatial fit between water quality policies and hydrologic ecosystem services in an urbanizing agricultural landscape. **Landscape Ecology**, v. 32, n. 1, p. 59–75, 2017.

QIU, J. et al. Evidence-Based Causal Chains for Linking Health, Development, and Conservation Actions. **BioScience**, v. 68, n. 3, p. 182–193, 2018.

QIU, J.; TURNER, M. G. Importance of landscape heterogeneity in sustaining hydrologic ecosystem services in an agricultural watershed. **Ecosphere**, v. 6, n. 11, p. 1–19, 2015.

ROBINNE, F. et al. Wild fire impacts on hydrologic ecosystem services in North American high-latitude forests: A scoping review. **Journal of Hydrology**, v. 581, n. August 2019, p. 124360, 2020.

SHARP, R. et al. **Guia do Usuário**. Disponível em: <<https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html>>. Acesso em: 29 dez. 2020.

TAFFARELLO, D. et al. Modeling freshwater quality scenarios with ecosystem-based adaptation in the headwaters of the Cantareira system, Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, n. 9, p. 4699–4723, 2018.

TELLMAN, B. et al. Opportunities for natural infrastructure to improve urban water security in Latin America. **PLoS ONE**, v. 13, n. 12, p. 1–28, 2018.

UCHIDA, E. et al. Integrating Watershed Hydrology and Economics to Establish a Local Market for Water Quality Improvement: A Field Experiment. **Ecological Economics**, v. 146, p. 17–25, 2018.

USINOWICZ, J.; QIU, J.; KAMARAINEN, A. Flashiness and Flooding of Two Lakes in the Upper Midwest During a Century of Urbanization and Climate Change. **Ecosystems**, v. 20, n. 3, p. 601–615, 2017.

WANG, P. et al. Spatio-temporal variations of the flood mitigation service of ecosystem under different climate scenarios in the Upper Reaches of Hanjiang River Basin, China. **Journal of Geographical Sciences**, v. 28, n. 10, p. 1385–1398, 2018.

WEST, A. O.; NOLAN, J. M.; SCOTT, J. T. Optical water quality and human perceptions of rivers: an ethnohydrology study. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 2, n. 8, 2016.

WILLAARTS, B. A.; VOLK, M.; AGUILERA, P. A. Assessing the ecosystem services supplied by freshwater flows in Mediterranean agroecosystems. **Agricultural Water Management**, v. 105, p. 21–31, 2012.

3 POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS: UMA ANÁLISE DO MEIO FÍSICO E DO USO E COBERTURA DO SOLO PARA AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

RESUMO

As ações humanas podem prejudicar os ecossistemas e afetar os Serviços Ecossistêmicos (SE) que beneficiam as pessoas. O Potencial de Uso conservacionista (PUC) é uma ferramenta útil para avaliar a capacidade de uma área em relação à recarga hídrica, uso agropecuário e resistência à erosão, o que ajuda a avaliar a provisão de SE. A análise conjunta do PUC e do uso da terra ajuda a identificar a adequação das áreas para usos atuais e é especialmente útil em áreas com conflitos ambientais, como a bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas. O objetivo deste trabalho é determinar as classes de PUC dominantes, entender a utilidade do método PUC para avaliar SE e avaliar o uso do solo, considerando a recarga hídrica, o uso agropecuário e a resistência à erosão. A avaliação integrada ajuda a entender as interrelações entre os SE e as ações humanas, identificando *trade-offs* e sinergias que ajudam na tomada de decisões. A avaliação dos atributos físicos indicou que a região da bacia do Alto rio da Velhas possui limitações quanto aos critérios estabelecidos pelo PUC, ou seja, a área é composta majoritariamente pelos potenciais Muito Baixo, Baixo e Médio. São dominantes a presença de declividades acentuadas, solos com maior fragilidade e litologias desfavoráveis quanto ao potencial de desnudação e fornecimento de nutrientes. O processo de expansão urbana impacta negativamente a provisão de SE, enquanto a manutenção de áreas agrícolas com manejo adequado pode mitigar os efeitos adversos. A matriz PUC é uma ferramenta importante para entender a distribuição de usos e ocupação do solo nas áreas de aptidões e limitações, auxiliando no ordenamento adequado do território e na implementação de políticas públicas que fomentem o incremento na provisão de SE.

Palavras-chave: sustentabilidade; Quadrilátero Ferrífero; serviços ambientais.

ABSTRACT

Human actions can harm ecosystems and affect Ecosystem Services (ES) that benefit people. The Conservationist Use Potential (CUP) is a useful tool for assessing an area's capacity regarding water recharge, agricultural use, and erosion resistance, which helps evaluate ES. The combined analysis of CUP and land use helps identify the suitability of areas for current uses and is especially valuable in areas with environmental conflicts, such as the Upper Rio das Velhas watershed. The aim of this study is to determine the dominant CUP classes, understand the utility of the CUP method for assessing ES, and evaluate land use, considering water recharge, agricultural use, and erosion resistance. Integrated assessment helps understand the interrelationships between ES and human actions, identifying trade-offs and synergies that aid in decision-making. The assessment of physical attributes indicated that the Upper Rio das Velhas watershed region has limitations according to the criteria established by CUP, meaning the area is predominantly composed of Very Low, Low, and Medium potentials. Steep slopes, more fragile soils, and unfavorable lithologies regarding the potential for erosion and nutrient supply are dominant factors. The urban expansion process negatively impacts ES provision, while the maintenance of agricultural areas with proper management can mitigate adverse effects. The CUP matrix is an important tool for understanding the distribution of land uses and occupation in areas of suitability and limitations, assisting in proper land management and the implementation of public policies that promote increased ES provision.

Keywords: Sustainability; Quadrilátero Ferrífero; environmental services.

3.1. Introdução

O desenvolvimento das sociedades, em diferentes contextos, se relaciona com a utilização dos recursos naturais, o que pode implicar na degradação ambiental e na diminuição da capacidade dos ecossistemas em provisionar os serviços essenciais aos seres humanos (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005), em especial, quando não há uma gestão adequada. Nesse sentido, os SE podem ser definidos como os benefícios resultantes das diversas dinâmicas dos ecossistemas e que são essenciais aos seres humanos (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; COSTANZA et al., 1997). É consensual que a degradação dos recursos naturais e, por consequência, dos SE afeta em especial a população em estado de vulnerabilidade social e contribui ainda mais para a disparidade social (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

Para conciliar aspectos econômicos, ambientais e sociais, diversas iniciativas e estratégias, nacionais e internacionais, foram criadas (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS, 2020; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2007; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Para o sucesso destas iniciativas, um ponto importante é que estas sejam precedidas por um planejamento, considerando as potencialidades e as fragilidades das áreas avaliadas frente às alterações humanas nos ecossistemas. Para tanto, estudos integrados permitem o entendimento do funcionamento do ambiente natural e de suas dinâmicas (ROSS, 1994), bem como a compreensão dos diferentes contextos que envolvem as ações antrópicas.

Diversos estudos utilizam essas ferramentas integradas, que se relacionam com a gestão dos recursos naturais e com os benefícios obtidos pelos seres humanos, porém sem utilizar o conceito de SE para aprofundarem suas análises e explicitar os ganhos através de uma gestão sustentável. Em Minas Gerais, diversas metodologias são postas como instrumentos de políticas públicas, com a proposição de uma utilização sustentável dos recursos naturais. Dentre estas metodologias, é possível citar o Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP), oficializado em Minas Gerais via Decreto Estadual nº 46.650/2014 (MINAS GERAIS, 2014). O ZAP, dentre outros objetivos, busca simultaneamente identificar áreas com potencial produtivo e entender as restrições técnicas e legais do uso e ocupação do solo. Dentre as etapas que compõem o ZAP, a etapa denominada Potencial do Uso Conservacionista (PUC) busca identificar as potencialidades e limitações do meio físico, principalmente em relação a recarga hídrica, usos agropecuários e resistência à erosão. Essa metodologia é baseada no uso de álgebra de mapas, com pesos atribuídos as variáveis declividade, solo e litologia (FREITAS et al., 2022; MUCIDA et al., 2022; COSTA et al., 2017, 2019a).

Dentre as formas de interpretações utilizando o PUC, destaca-se a possibilidade de realizar uma análise integrada ao diagnóstico do uso e ocupação atual do solo, a fim de mensurar qual é a sua

configuração em áreas com maior ou menor potencial para atividades agropecuárias, de recarga hídrica e resistência à erosão (COSTA et al., 2019b). Isto permite identificar, por exemplo, se o uso e ocupação da terra atual está em conformidade com o potencial de uso da área, de forma a garantir sua maior sustentabilidade. Tal análise, considerando a temática de SE, é extremamente útil, uma vez que é possível inferir a aptidão de áreas e classificá-las como mais ou menos propícias para prestação de SE que se relacionem com a disponibilidade de água, conservação dos solos e atividades agropecuárias, sobretudo em regiões onde existem conflitos na utilização dos recursos naturais.

Nesse sentido, a bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas se destaca por uma diversidade de usos e de formas de ocupação territorial que acarretam pressões ambientais e geram variadas formas de danos para a qualidade e quantidade das águas (MENDES; COSTA, 2022; LEMOS, 2018), alterando a provisão de SE. No Alto Rio das Velhas, Lemos (2018) a presença das atividades humanas gerou fortes alterações nas paisagens, direcionadas em especial por três principais ações antrópicas: ocupação urbana e industrial, mineração e atividades agrícolas.

Na referida área, em especial a expansão urbana e as atividades minerárias alteram e são destacadas como os grandes eixos dos conflitos para gestão sustentável dos recursos naturais (MENDES; COSTA, 2022; ERCOLI et al., 2020; LEMOS, 2018; COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS, 2015). Em uma pesquisa sobre o alto curso do Rio das Velhas, Mendes e Costa (2022) enfatizam que as mudanças de uso e cobertura da terra observadas na área de estudo apontam para a necessidade de proteção e preservação de áreas prioritárias de recarga, como a Serra do Gandarela, Serra do Rola Moça e Serra do Curral, que foram invadidas tanto pela especulação imobiliária quanto pela exploração mineral. Essas atividades têm o potencial de causar impactos ambientais significativos, afetando tanto o solo quanto os recursos hídricos.

Considerando as principais pressões ambientais apontadas na literatura com relação a área de estudo, cabe evidenciar que a expansão urbana gera sobre os ecossistemas condições como impermeabilidade do solo, poluição, condições desfavoráveis para microbiota do solo e plantas, podendo em alguns casos acarretar condições desfavoráveis para saúde humana (VRIES et al., 2013). Áreas submetidas a mineração também são destacadas na literatura gerando condições desfavoráveis a prestação de SE. Pereira et al. (2018) destacam que em áreas sob estas atividades econômicas, os solos podem não ser capazes de sustentar ecossistemas produtivos e funcionais.

Deve-se então entender que embora necessária, tanto a existência de áreas urbanas, quanto as minerárias, ações que busquem a sustentabilidade devem ser realizadas a fim de minimizar os impactos ambientais. Assim, os possíveis *trade-offs* devem ser considerados nestas análises, para que os manejos inadequados dos ecossistemas não gerem mais desserviços do que SE. Nesse sentido, a atividade agropecuária embora não seja a mais preponderante do alto curso do Rio das Velhas, pode figurar um

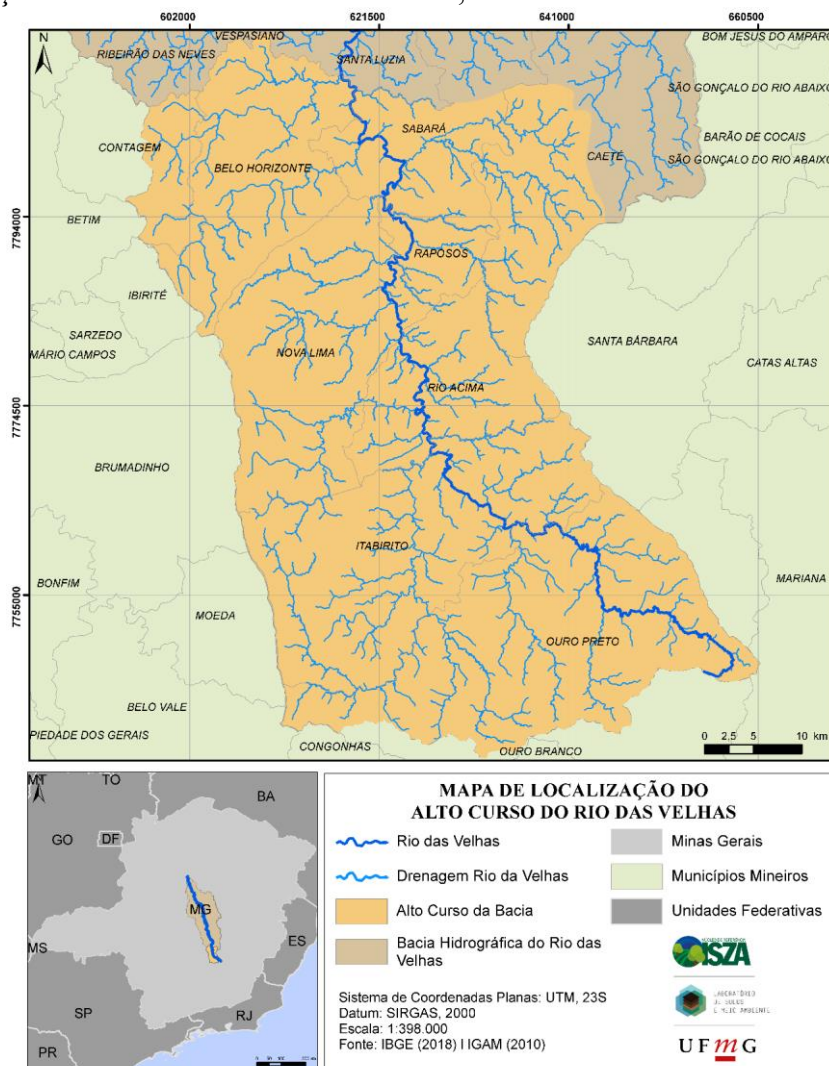
importante papel evitando que a expansão urbana nestas áreas gere, por exemplo, uma intensa impermeabilização do solo, dificultando processos como o da recarga hídrica. Desde que feita pautada em manejos adequados e em áreas propícias, comparando com outras atividades, a agropecuária pode favorecer a manutenção da prestação de uma maior gama de SE (PEREIRA et al., 2018).

Assim, objetivou-se analisar a relação entre o PUC e a distribuição de classes de uso e ocupação da terra que impactam o meio físico, bem como seu potencial para a prestação de serviços ecossistêmicos. Com isso, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos: 1) Identificar as classes dominantes de PUC no alto curso do Rio da Velhas; 2) Compreender como o método PUC pode ser utilizado na avaliação e planejamento adequado do território em relação aos SE; e 3) Analisar o uso e ocupação da terra nessas áreas, considerando aspectos como potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência aos processos erosivos, os quais estão relacionados com a prestação de SE.

3.2. Metodologia

A bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas (Figura 6), que tem como limítrofes os municípios de Ouro Preto na sua porção sul e os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará em sua porção norte, constitui 9,8% da bacia do Rio das Velhas, afluente da margem superior esquerda do Rio São Francisco, o que equivale a aproximadamente 2.739,74 km² (COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS, 2015). A área é caracterizada por uma alta concentração populacional e, segundo o censo demográfico de 2010, a população urbana correspondia a 3.113.707 habitantes e a rural a cerca de 12.573 habitantes. A maior densidade populacional está concentrada na região noroeste, que também é caracterizada por expressiva atividade econômica, principalmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Em toda sua extensão, o alto curso do Rio das Velhas é composto por 10 municípios, sendo que alguns estão integralmente inseridos na bacia estudada, enquanto outros o estão apenas parcialmente (Tabela 1).

Figura 6 - Localização do alto curso do Rio das Velhas, Minas Gerais



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018)

Tabela 1 - Caracterização básica dos municípios que compõem o alto curso do Rio das Velhas.

Município	% do município na bacia	População estimada	IDHM
Belo Horizonte	100	2.521.564	0,81
Itabirito	100	52.446	0,73
Nova lima	100	96.157	0,81
Raposos	100	16.429	0,73
Rio Acima	100	10.420	0,67
Caeté	42	45.047	0,728
Contagem	42	668.949	0,756
Ouro Preto	50	74.558	0,741
Sabará	63	137.125	0,731
Santa Luzia	4	15.426	0,682

Fonte: IBGE - Censo 2010/População estimada em 2020.

O alto curso do Rio Velhas, é caracterizado por verão úmido e moderadamente quente e o inverno é marcado por um período seco, que se estende entre maio e setembro. A temperatura média anual da região de estudo é de 18°C e a umidade relativa do ar apresenta valores médios na ordem de 75%,

ocorrendo os maiores valores entre os meses de novembro a abril e as menores entre os meses de julho a setembro (SANTOS, 2008).

No alto curso do Rio das Velhas, há a presença de vales estreitos e fortemente encaixados, com baixo grau de sinuosidade. A região também é marcada por uma sucessão de sinclinais suspensos e anticlinais escavados, configurando um relevo acidentado, com serras salientes e inúmeras gargantas (RAPOSO; BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2010). Quanto aos tipos de solos mais frequentes, a região estudada apresenta a predominância de CAMBISSOLOS, LATOSSOLOS e NEOSSOLOS (UFV, 2010). No que se refere à sua composição geológica, a região de estudo é composta pelo grande grupo do Quadrilátero Ferrífero e a sua litologia predominantemente por granitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos, xistos, filitos, itabiritos, sedimentos cenozoicos e cangas (SILVA, 2007).

Para obtenção e espacialização do PUC, foram utilizadas a metodologia e a conceituação propostas por Costa et al. (2017; 2019), para as quais foram realizadas uma álgebra de mapas e atribuições de pesos para as variáveis declividade, solo e litologia. As etapas para obtenção do PUC seguiram as indicações de Costa et al. (2019). Assim sendo, consistiram em: 1) pré-processamento das bases cartográficas; 2) atribuição de notas às variáveis ambientais (declividade, solos e litologias), conforme Costa *et al.* (2017); e 3) execução da álgebra de mapas e definição das classes de PUC. Todas as bases de dados utilizadas no trabalho podem ser observadas no Quadro 3. U melhor detalhamento quanto as notas atribuídas as classes das variáveis utilizadas, bem como outras informações complementares podem ser vistas no ANEXO A ao final da presente tese.

Quadro 3 - Base de dados utilizada para execução do método PUC.

Tipo de dado	Escalas numéricas	Fonte
Modelo digital de elevação	Resolução espacial de 30 metros	https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp
Mapa de solos	1:650.000	https://www.dps.ufv.br
Mapa de litologias	1:1.000.000	https://cprm.gov.br/publique/
Mapa de uso e Ocupação do solo	1:100.000	https://mapbiomas.org/

Para avaliação do uso e ocupação do solo, foi utilizado o mapeamento disponibilizado pelo projeto MapBiomas (MAPBIOMAS, 2019), considerando o ano de 2019. Por fim, a Matriz PUC foi obtida conforme proposto por Costa et al. (2017; 2019). Para isso, as informações do PUC e do mapeamento do uso e ocupação da terra foram analisadas conjuntamente.

3.3. Resultados e discussão

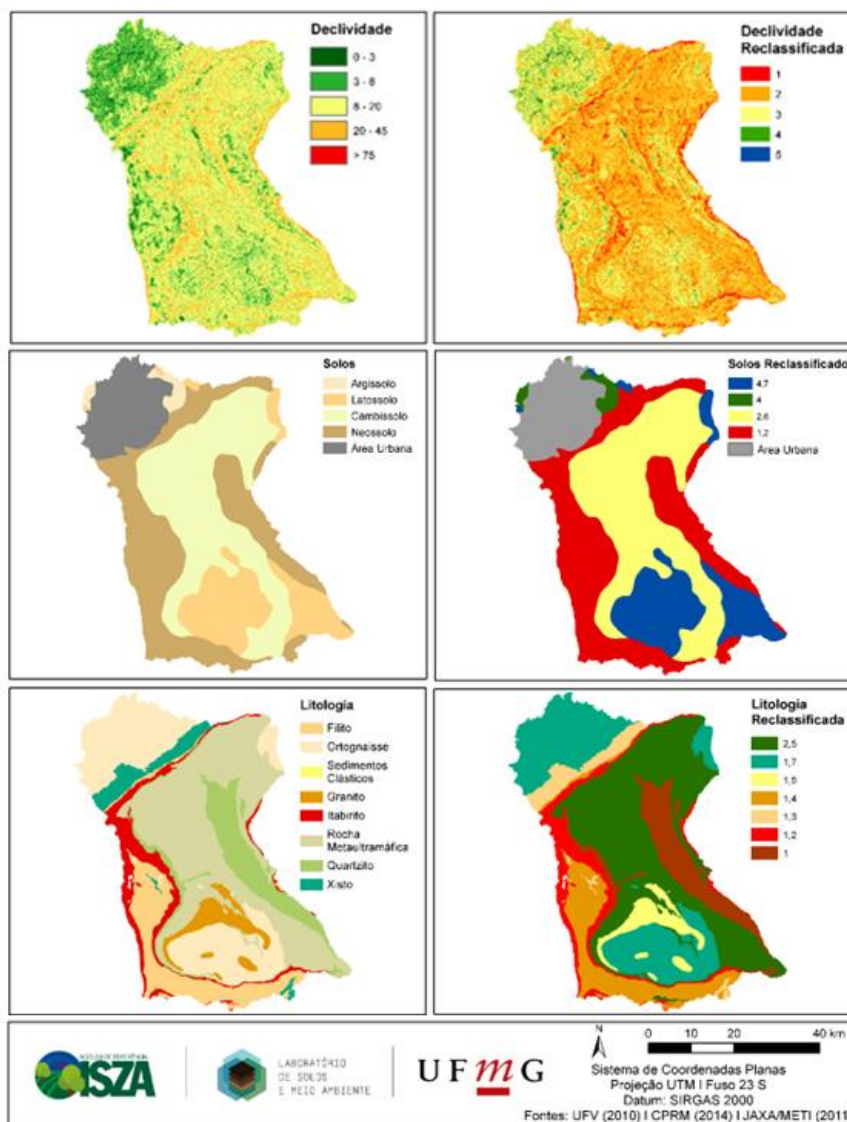
3.3.1. Avaliação do meio físico da bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas

O diagnóstico do meio físico do alto curso do Rio das Velhas, considerando as variáveis declividade, solo e litologia, pode ser observado na Tabela 2 e a sua distribuição espacial na Figura 7.

Tabela 2 - Atributos do meio físico na bacia do Alto Velhas.

Classes	Área (ha)	%
Declividade		
Plano	1.226,69	0,45
Suave ondulado	15.764,20	5,77
Ondulado	95.338,97	34,88
Forte ondulado	142.380,02	52,10
Montanhoso a Escarpado	18.595,42	6,80
Solos		
Área Urbana (sem classificação do solo)	34.318,47	12,55
Argissolo	4.844,36	1,77
Cambissolo	98.166,98	35,91
Latossolo	49.081,19	17,96
Neossolo	86.939,02	31,81
Litologia		
Filito	31.677,75	11,61
Granito	12.181,43	4,46
Itabirito	21.388,29	7,84
Ortognaisse	65.956,56	24,17
Quartzito	30.981,34	11,35
Rocha Metaultramáfica	99.138,45	36,33
Sedimentos Clásticos	98,76	0,04
Xisto	11.441,04	4,19

Figura 7- Representação espacial das variáveis do meio físico: declividade solos, litologia



Com relação à declividade, grande porção da bacia estudada encontra-se em áreas de declives acentuados (Tabela 2 e Figura 7). Isso pode comprometer o processo de recarga hídrica (COSTA et al., 2019a; TENENWURCEL et al., 2020), dificultar a mecanização (ENTEZARI et al., 2020) e o manejo agropecuário, além de favorecer processos erosivos (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010). A recarga hídrica relaciona-se intimamente com a velocidade de escoamento e o tempo de oportunidade de infiltração de água, que são influenciados pela declividade, e que também afeta o tipo de fluxo hídrico e sua direção.

Quanto aos solos, uma ressalva se faz necessária, uma porcentagem significativa da área, nominada na Tabela 2 como Área Urbana (sem classificação do solo), onde se encontra a região metropolitana de Belo Horizonte e maior concentração de pessoas na bacia, não possui informações quanto a classificação de solos (UFV et al., 2010). Problemas como deslizamento de terras, enchentes,

usos urbanos inadequados, são ancorados pela falta dessa informação básica (PEREIRA et al., 2018). Conhecer as classes de solos e suas principais características é um pilar básico para o planejamento adequado do território, não sendo uma questão exclusivamente agropecuária.

Os solos são suporte para desenvolvimento urbano e seus atributos, sobretudo físicos e mineralógicos, determinam o comportamento e interferem, por exemplo, na adequação das áreas para construção de estradas, edifícios e também na predisposição para inundações, deslizamentos de terra (PEREIRA et al., 2018; LI et al., 2014). Sendo assim, faz-se urgente a necessidade de disponibilização das informações de solos para o maior número de áreas possíveis. Destaca-se ainda que em áreas urbanas, os solos são submetidos a intensas pressões, diminuindo a quantidade e a qualidade dos SE que fornecem (PEREIRA et al., 2016), de forma que é necessário equacionar as sinergias e os *trade-offs* ao se considerar a escolha dos tipos de solo ao se intensificar os processos de urbanização.

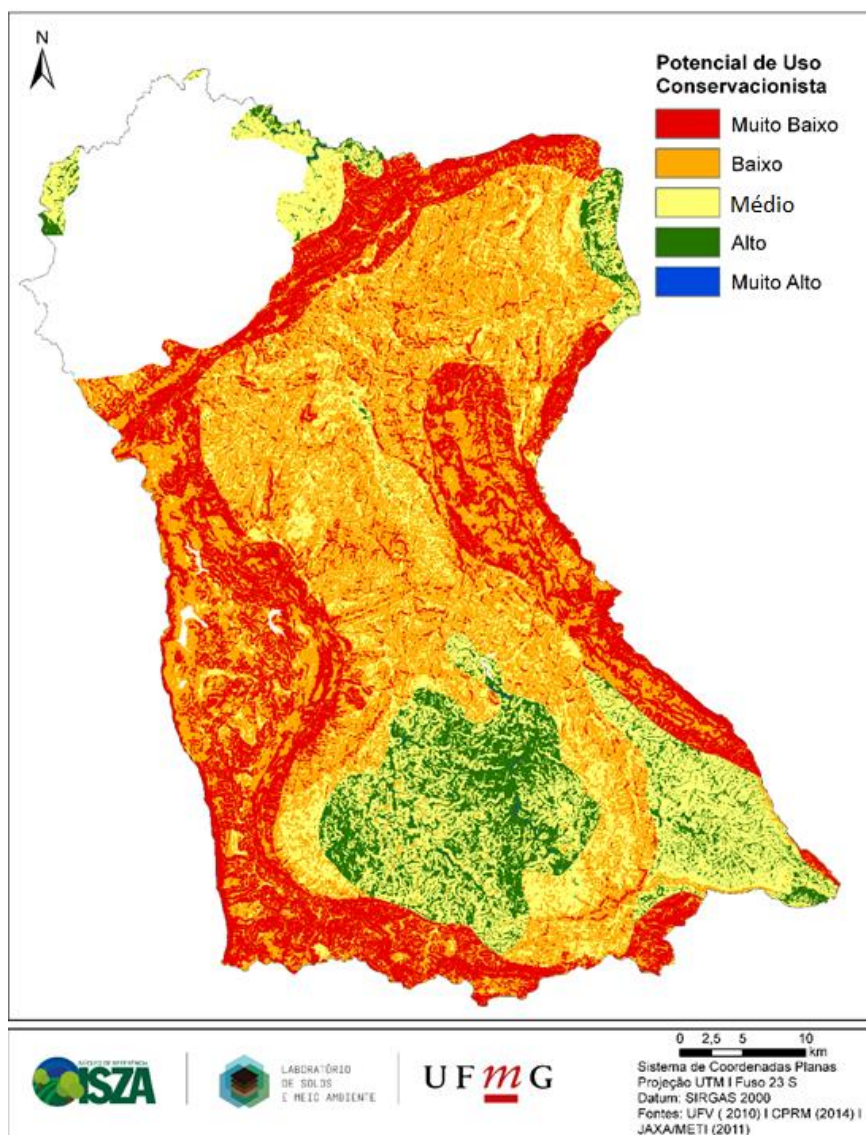
Ainda quanto aos solos, as classes predominantes na região são os Cambissolos e os Neossolos (Tabela 2, Figura 7), classes que, segundo Costa et al. (2017), possuem menor potencial, dentre os considerados no método PUC, por serem mais frágeis e quando utilizadas para ações antrópicas, carecem de práticas de manejo que visem a sua conservação. Tais práticas tendem a minimizar os possíveis efeitos adversos em virtude de manejos não sustentáveis. Quanto aos SE prestados pelo solo, Pereira et al. (2018) destacam que estes dependem das características naturais, bem como das práticas de manejo adotadas que, quando não sustentáveis, podem induzir a degradação do solo e a um grande número de desserviços ecossistêmicos. Por outro lado, práticas sustentáveis podem manter e melhorar a disponibilização de SE. Destacamos que, sobretudo em solos que já apresentam uma fragilidade natural elevada, os riscos de desserviços são mais pronunciados e, portanto, requerem práticas de manejos adequadas e assertivas, a depender do contexto ambiental e produtivo em que se inserem.

Quanto à litologia, o principal grupo geológico do Alto Velhas é o Quadrilátero Ferrífero, que se caracteriza como uma paisagem montanhosa e particular, marcada por forte condicionamento litológico, estrutural e tectônico, além da ocorrência abundante da formação de ferro e minério de ferro (DORR, 1969). Para essa variável, dois aspectos foram observados, seguindo a proposta do método PUC, o potencial de fornecimento de nutrientes e sua susceptibilidade aos processos do intemperismo, portanto, outros aspectos como fraturamento e porosidade das rochas não foram considerados. A região foi caracterizada, de uma forma geral, por baixas notas para ambos os quesitos (Figura 7). Em concordância com os resultados apresentados, a ocorrência significativa de rochas metaultramáficas, Ortognaisse, Quartzito e Filitos, já havia sido relatada na literatura (DA FONSECA; EVANGELISTA, 2013).

Uma análise integrada das variáveis declividade, solo e litologia pode ser observada na Figura 8. O estudo das interações dessas variáveis se faz necessário uma vez que, em diferentes contextos, as dinâmicas ambientais são alteradas. A título de exemplo, áreas agrícolas que utilizam o mesmo tipo de

solo, a depender da declividade, podem ser mais ou menos suscetíveis à ocorrência de processo erosivos. Assim, ferramentas integradas permitem uma visão mais realista das áreas avaliadas e, portanto, são úteis para o planejamento territorial e mitigação dos processos de degradação já existentes.

Figura 8 - Potencial de Uso Conservacionista na bacia do Alto Rio das Velhas.



A Figura 8, evidência que grande parte da área de estudo pode ser classificada com Muito Baixo ou Baixo PUC. A variável declividade, associada a ocorrência de solos mais frágeis como Cambissolos ou Neossolos, justificam em grande parte tal característica da região. A ocorrência das características supracitadas, embora possam favorecer outros tipos de SE, como mineração, que se concentra predominantemente em áreas de solos mapeadas com solos menos desenvolvidos, quando se avalia conjuntamente as variáveis e os potenciais propostos no método PUC são consideradas limitantes. Áreas de relevo movimentado e com solos com menor agregação e distribuição do arranjo poroso desfavoráveis

aos processos de drenagem e retenção de água, limitam a realização de práticas agrícolas (PEREIRA et al., 2018).

Com relação ao processo de recarga hídrica, o relevo mais inclinado faz com que o tempo de permanência de água sobre o solo seja diminuído, favorecendo a formação de fluxo de água e de carreamento de sedimentos (COSTA et al., 2019c; TENENWURCEL et al., 2020). O método PUC define como recarga hídrica, a retenção de água no espaço poroso do solo, em especial nos microporos, onde por capilaridade e adsorção a água é retida e depois disponibilizada para as plantas ou para alimentar o nível freático. Destaca-se então, que ao se considerar a recarga do aquífero, ou processo de recarga hídrica subterrânea, rochas que possuem uma baixa nota pelo método PUC, à exemplo dos itabiritos, desempenham um importante papel para a recarga do aquífero.

As áreas de PUC Médio, Alto e Muito Alto PUC, se encontram de forma marcante na poção sul da bacia, em especial na região do complexo do Bação e pequenas áreas nas porções norte e nordeste do alto curso do Rio das Velhas. Embora o mapa de solos da região classifique essa região como sendo predominantemente composta por Latossolos, há relatos na literatura da ocorrência de processos de voçorocamento na região do Bação (DRUMOND; BACELLAR, 2006). Tais ocorrências podem ser explicadas pela característica específica dos solos dessa região, que se diferem do comportamento típico dos Latossolos (SANTOS; SOBREIRA; MERGAREJO NETO, 2004).

Dessa forma, ao se analisar os resultados do método PUC para as classes Alto e Muito Alto, na área de estudo, dois aspectos em especial ficam evidenciados, sendo eles: i) a necessidade de conhecer as limitações dos métodos empregados, o que ocorre em todas as metodologias, no caso do PUC, as classes das variáveis analisadas representam um comportamento típico da classe, sendo que algumas exceções não correspondem a proposta do método; ii) a necessidade de se conhecer aspectos relacionados à área de estudo, por exemplo, no alto curso do Rio das Velhas, em especial nas suas classes de PUC Médio, Alto e Muito Alto do complexo Bação, áreas mapeadas como Latossolos se encontram em processo avançado de voçorocamento, o que é inerente as características naturais da área.

Por fim, destaca-se que a proposta do método é avaliar um conjunto de potencialidades específicas, sendo estas recarga hídrica, potencial agropecuário e resistência a processos erosivos, através da análise integrada das variáveis declividade, solo e litologia. Todavia, áreas descritas como de Muito Baixo ou Baixo potencial se relacionam a inúmeros outros serviços, à exemplo, as Serras do Curral, Piedade, Moeda e do Gandarela, prestam um importante papel, ligados por exemplo ao geoturismo beleza cênica, serviços culturais, dentre outros.

3.3.2. Metodologia PUC para uma análise entre as sinergias para serviços hidrológicos, de suporte e provisão

Na atualidade, há a necessidade de projetar e implementar políticas que conciliam a conservação ambiental com o desenvolvimento humano. Nesse contexto, diretrizes mundiais demandam alcançar um cenário de uso eficiente da terra agrícola e, ao mesmo tempo, ter aspectos da sustentabilidade, como conservação da biodiversidade, também contemplados (TSCHARNTKE et al., 2012). Alcançar tal limiar, em um contexto de aumento da população, constitui um desafio (TSCHARNTKE et al., 2012) e requer estratégias bem delimitadas e efetivas, além da adesão da sociedade em prol de ideias mais sustentáveis.

Várias dessas estratégias estão propostas na literatura e em marcos legais, visando que aspectos ecológicos estejam contemplados como mecanismos para fomentar e nortear ações que aproximem sociedade e meio ambiente (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2007; MINAS GERAIS, 2014). Desta forma, o debate se terras destinadas à conservação e produção devem ser segregadas ou se podem ser partilhadas com cultivos com práticas sustentáveis, de forma que a identificação de características-chaves quanto ao potencial de prestação de SE é fundamental (TSCHARNTKE et al. 2012), o que requer ferramentas integradas e de amplo alcance.

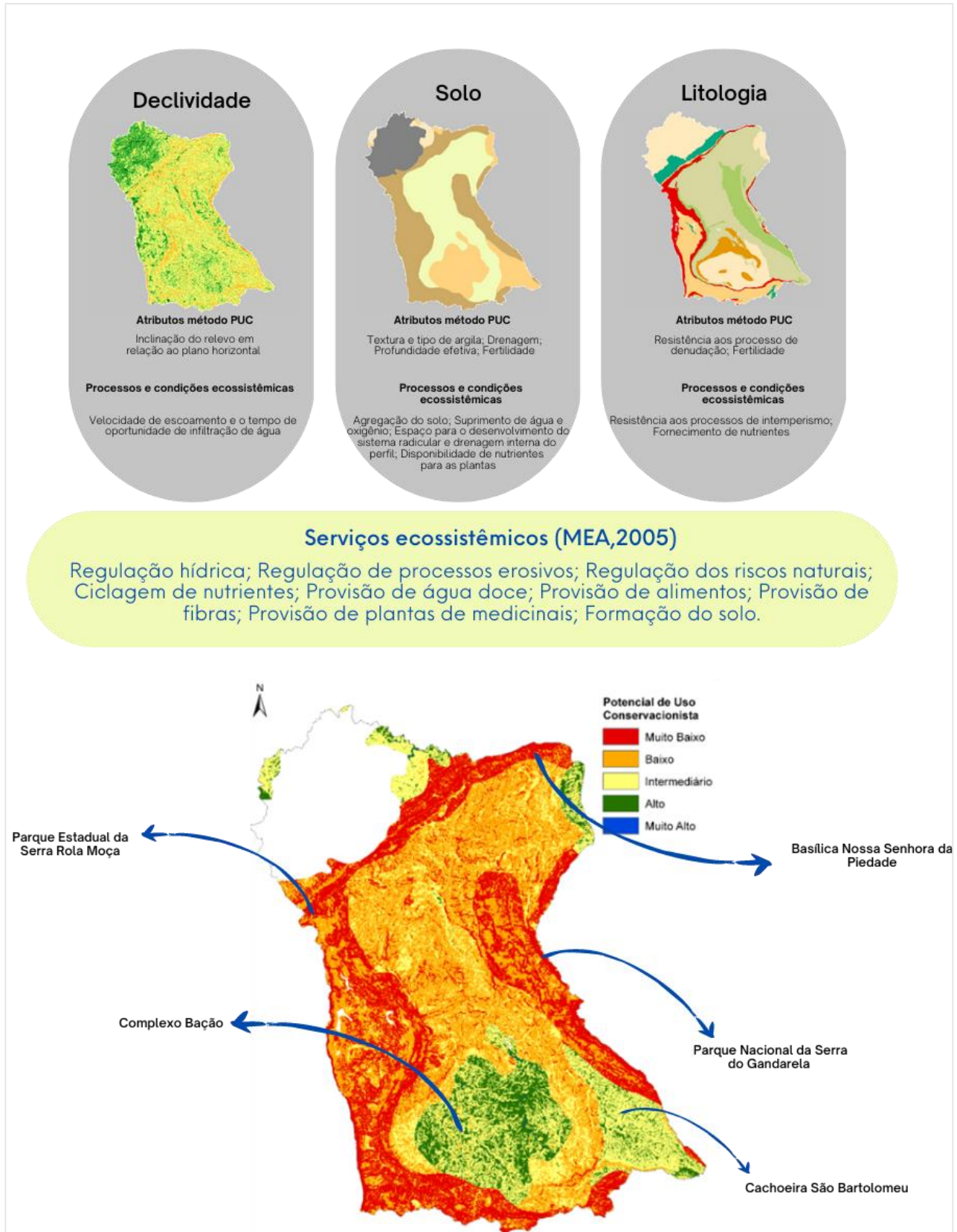
Neste sentido, os atributos do meio físico, suas potencialidades e limitações vêm sendo constantemente desconsiderados nos processos de tomada de decisão, em parte pela insuficiência de mecanismos científicos aplicáveis a situações práticas. Ao se tratar do método PUC, ferramenta desenvolvida em meio científico e oficializada para gestão do território no Estado de Minas Gerais, através de uma avaliação conjunta de variáveis, sob ótica dos SE, pode contribuir para a gestão dos recursos naturais.

Ferramentas integradas como o PUC, por serem de baixo custo, de fácil replicabilidade e por terem o aval científico, contribuem para o processo de democratização do conhecimento, com vistas a contribuir significativamente para gestão do território, com ganho real para sociedade. Assim, ao se estudarem os SE, é importante estabelecer como os diferentes atributos do capital natural se relacionam com os benefícios por estes desempenhados (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010; ADHIKARI; HARTEMINK, 2016) e como estes são afetados por ações antrópicas.

Na Figura 9, podem ser observadas algumas variáveis utilizadas na concepção do método PUC, como por exemplo textura e tipo de argila, bem como a relação destes atributos do meio físico com os processos e condições presentes nos ecossistemas que podem levar a provisão de SE, como agregação do solo e drenagem da água no perfil do solo. A referida figura também salienta alguns exemplos de SE que podem ser inferidos através da análise dos resultados do método PUC, considerando a classificação proposta pelo Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). Ainda considerando a Figura 9, o

arcabouço teórico e os resultados do PUC, é possível observar que a região do complexo Bação é onde se concentra de forma mais expressivas as classes de PUC Médio e Alto, em um contexto (Alto Velhas) onde se predomina as classes de PUC Baixo e Muito Baixo. Esta região, abriga diversas nascentes e rios que são importantes para o abastecimento de água das comunidades locais. Essa água é usada para consumo humano e irrigação de culturas agrícolas, em pequena escala.

Figura 9 - Atributos do Potencial de Uso Conservacionista para avaliação dos Serviços Ecosistêmicos, considerando como exemplo o Alto Curso do rio das velhas.



Contudo, destaca-se que, assim como outras metodologias, em áreas consideradas de baixo potencial, outros SE estão associados e não são abarcados pelo método PUC. Assim, na Figura 9, é possível observar que o Parque Estadual Serra do Rola Moça se encontra sobre a classe predominante de PUC Muito Baixo, com a presença de solos rasos e pouco desenvolvidos, em áreas de declividade acentuada. Embora essa área apresente baixo potencial para recarga hídrica, uso agropecuário e resistência a processos erosivos, apresenta potencial para a provisão de SE relacionados à preservação da biodiversidade e dos habitats naturais, proporcionando a manutenção de espécies endêmicas da região e a proteção de espécies ameaçadas de extinção. É uma importante área de lazer e turismo, proporcionando oportunidades para a prática de atividades ao ar livre, como caminhadas e observação da fauna e flora local.

A mesma análise pode ser aplicada à área onde se localiza a Basílica Nossa Senhora da Piedade, que constitui um ponto turístico importante. A região também oferece trilhas para caminhadas, cachoeiras e rios para pesca, entre outras atrações voltadas para a religiosidade. A Cachoeira de São Bartolomeu é uma importante atração turística na região, atraindo visitantes que desejam desfrutar da beleza natural da área, o que favorece o comércio local. O Parque Nacional da Serra do Gandarela, dentre outros serviços, destaca-se pela biodiversidade da região, que é fundamental para a polinização de diversas culturas agrícolas, incluindo frutas, verduras e grãos.

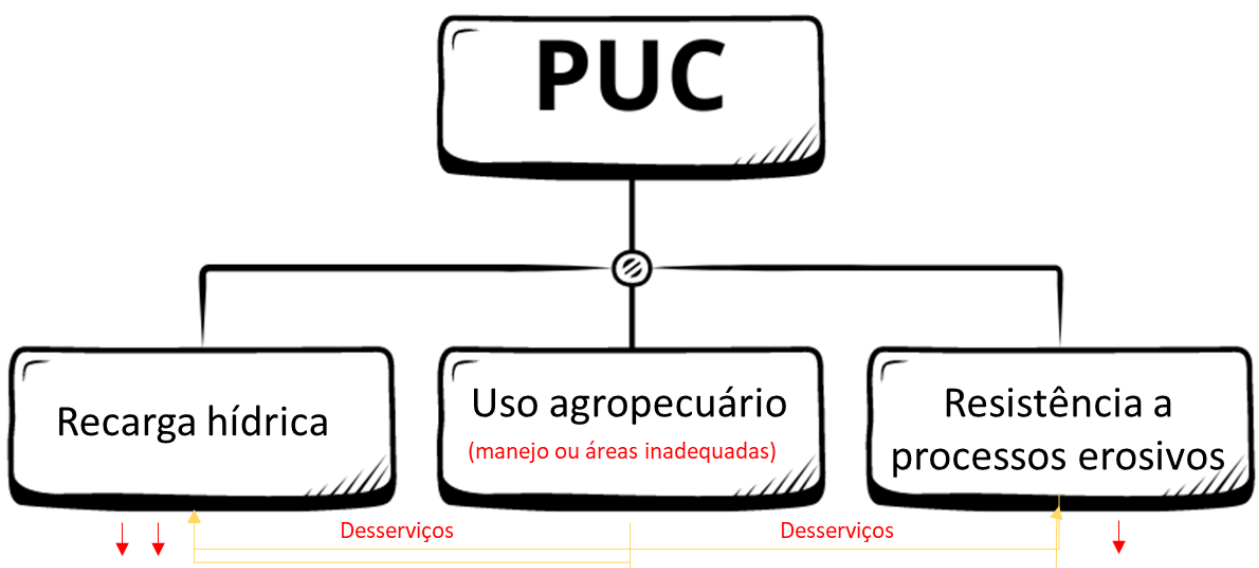
Entender quais serviços são ou não englobados nas análises voltadas para a temática dos SE, auxilia no entendimento que a gestão do SE pode ser pautada na análise de sinergias e *trade-offs*, equalizando os ganhos conjuntos e as possíveis perdas em se adotar determinado planejamento do território. Neste sentido, outra discussão aplicada ao escopo do presente trabalho é que a utilização das áreas para agricultura e pecuária, tem efeito de causalidade nos dois outros potenciais também avaliados pelo método PUC e, portanto, em seus SE relacionados. O referido uso (agropecuário) apesar de se relacionar com a produção de um benefício, também pode alterar a dinâmica e a provisão dos SE, sobretudo em situações de manejos não sustentáveis, salientando que ações mais ou menos conservacionista têm diferentes impactos para a provisão de SE (PEREIRA et al., 2018).

Considerando as interrelações entre os diversos tipos de SE e as ações antrópicas, a identificação de *trade-offs* e sinergias permite que os formuladores de políticas ambientais entendam melhor as consequências ocultas de preferir determinadas ações de ordenamento do território a outras. Exemplificando de forma simplista, a expansão urbana pode esbarrar em áreas de uso agrícola, escolher a primeira opção pode atender a uma série de necessidades voltadas para o crescimento populacional. Todavia, considerando que as hipotéticas áreas agrícolas tenham um manejo adequado, estas fornecem condições mais favoráveis para a biodiversidade, recarga hídrica, além de não impermeabilizar o solo, de forma que a conversão destas áreas em uso urbano limita a provisão de uma série de SE.

Neste sentido, embora já abordado em algumas literaturas, o protagonismo do produtor rural na gestão do capital natural (SHERREN; FISCHER; FAZEY, 2012; SMITH; SULLIVAN, 2014; TILMAN et al., 2002), é apenas tangenciado nas pesquisas relativas à interface dos SE e seus mecanismos de provisão e conservação. Logo, para a manutenção dos SE e efetividade de políticas públicas com esse intuito, é necessário compreender os valores e as motivações dos produtores rurais (SMITH; SULLIVAN, 2014), responsáveis pela gestão pontual de parcela significativa de áreas com potencial para a prestação de SE. O conceito de SE pode ser útil no processo de aproximação entre pesquisa e produtores rurais, elucidando, por exemplo, que os benefícios indiretos obtidos pela conservação do solo contemplam inúmeros outros serviços, como por exemplo os hídricos. Em consequência disto, metodologias como o PUC quando empregadas na ótica de SE e do capital natural, permitem uma discussão ampla.

Na concepção do método em pauta, há uma série de discussões embutidas, por exemplo, ao tratar de processos como o da recarga hídrica e da suscetibilidade aos processos erosivos. É necessário compreender que o potencial de resistência à erosão influencia na perda de profundidade dos solos e nos níveis de estoques de nutrientes e matéria orgânica (DOMINATI; PATTERSON; MACKAY, 2010). Ainda é possível explicar como a perda de solo pode interferir no processo de recarga hídrica, uma vez que o solo através de seu capital natural influencia nos processos de retenção de água, através de seus poros. De forma que, a perda do solo, através de processos erosivos, acarreta redução da água retida, gerando assim mais um desserviço (Figura 10).

Figura 10 - Interrelações entre os potenciais avaliados pela metodologia PUC, considerando manejos inadequados no desenvolvimento de atividades agropecuárias e os seus desserviços associados.

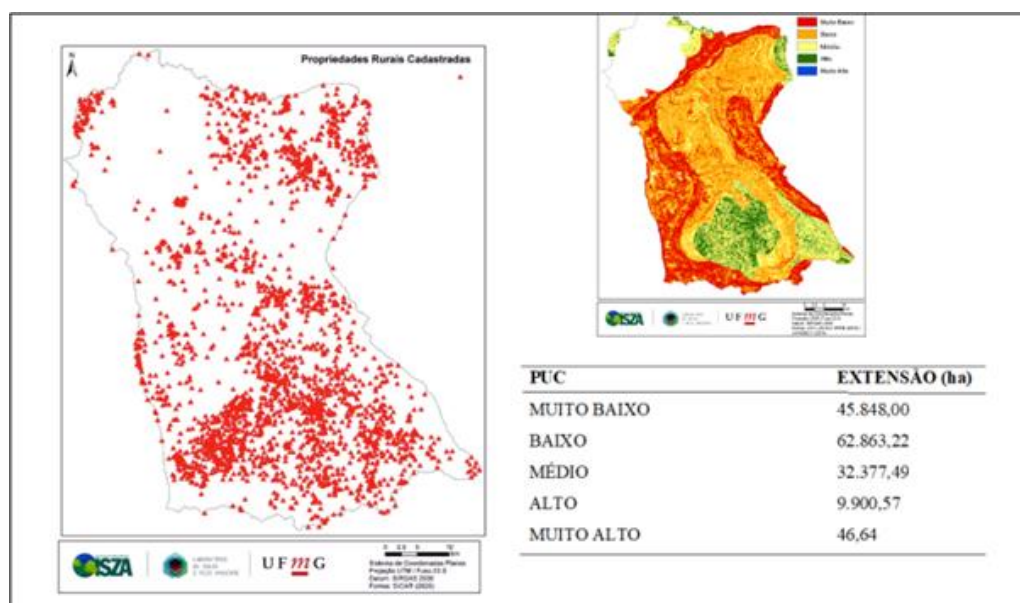


Considerando as discussões apresentadas, muito além de entender o uso e cobertura da terra é necessário entender como as áreas são efetivamente manejadas. Ao tratar especificamente do uso agropecuário o manejo é um ponto chave para equalizar o entendimento se há a prestação de um serviço ou desserviço, porém fica evidenciado que tal classe de uso pode ser um ponto chave para gerir melhor a prestação dos SE e do capital natural. No alto curso do Rio das Velhas, os principais eixos de alterações do ecossistema são a expansão urbana e a mineração, todavia, são usos que limitam mais uma série de ações visando a conservação e a mitigação de SE perdidos, quando comparados com as atividades agropecuárias.

A expansão urbana na área é uma realidade (MENDES; COSTA, 2023), trazendo uma perspectiva de solos impermeáveis, redução na capacidade de infiltração de água, redução da recarga hídrica, aumento dos fluxos de enxurrada, dentre outras alterações (COSTA et al., 2019; PEREIRA et al., 2018). Uma possibilidade para atenuar tal cenário eminente é diminuir a conversão de áreas rurais para áreas urbanas, através de iniciativas que favoreçam a manutenção de pequenos produtores agropecuários, com incentivos financeiros e com assistência técnica adequada de forma a favorecer manejos que levem à provisão de SE.

Atualmente, considerando o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural, o alto curso do Rio das Velhas possui cerca de 2.731 estabelecimentos rurais inscritos em sua base de dados (BRASIL, 2019 – Figura 11), distribuídos principalmente em áreas de PUC Muito Baixo, Baixo, Médio por esta ser uma condição predominante na área de estudo. Tais classes de PUC são áreas sensíveis e carecem de assertividade nas ações para que desserviços não sejam potencializados e SE não sejam perdidos.

Figura 11- Estabelecimentos rurais situados no alo curso do Rio das Velhas e suas extensões nas classes de PUC Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.



O alto curso do Rio da Velhas possui uma intensa complexidade, que vai desde a presença intensiva da urbanização e da mineração, além de estar inserida, no quadrilátero ferrífero, de forma que a área se encontra quase que em sua totalidade em uma classe especial de conservação e conta com unidades de conservação. Destaca-se que ferramentas que são pautadas em critérios científicos e robustos, quando replicáveis e de simples execução, podem auxiliar os tomadores de decisões na gestão e no direcionamento de recursos de forma sustentável e efetiva, visando o provisionamento dos SE, em especial quando lidas conjuntamente com as informações de uso e ocupação da terra.

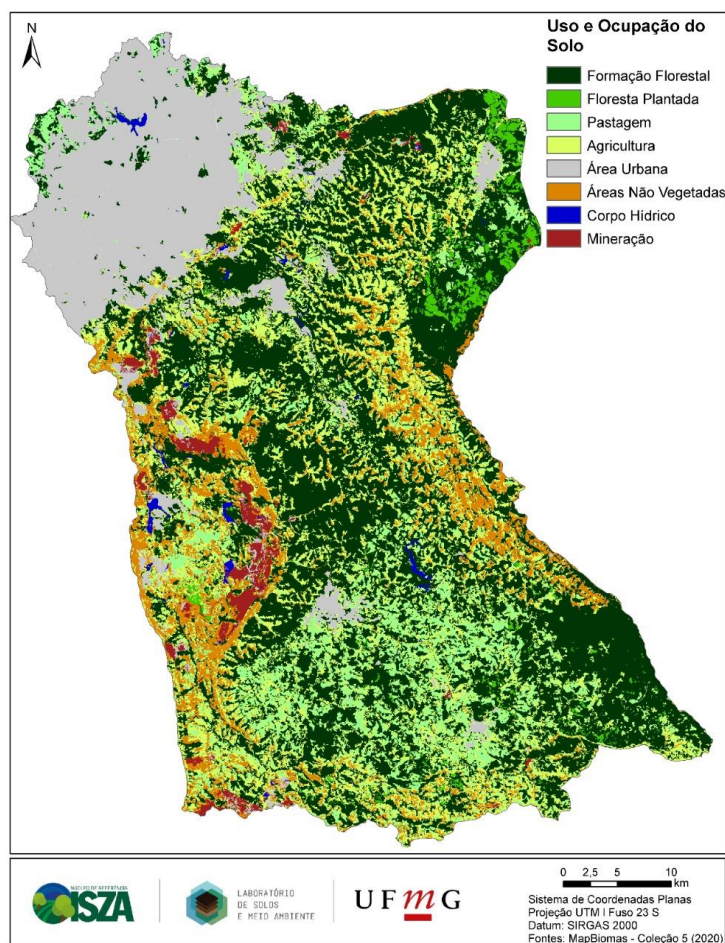
3.3.3. Matriz PUC: uma análise do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e o uso e ocupação da terra no alto curso do rio das velhas

Os resultados do PUC foram lidos conjuntamente com as classes de uso e cobertura do solo, a tal análise é dada o nome Matriz PUC (Tabela 3). Quanto ao uso e ocupação do solo, parte considerável da área de estudo é classificada como formação florestal (Figura 12, Tabela 3), o que segundo alguns autores favorece à recarga hídrica (TENENWURCEL et al., 2020) e outros SE. Cerca de 64% das áreas de formação florestal estão associadas aos PUCs Médio, Baixo e Muito Baixo, onde se pressupõe condições menos favoráveis a recarga hídrica, como considerada no método PUC. Além dos SE compreendidos pelo método PUC outros SE são positivamente influenciados pela vegetação florestal, no entanto, é importante entender que tais áreas ainda são inseridas de forma homogênea na maioria dos estudos, desconsiderando por exemplo, o ciclo de desenvolvimento da vegetação, a complexidade de espécies relacionadas, a evapotranspiração, o que pode gerar distorções nos resultados quanto a efetiva prestação de SE.

Tabela 3 - Matriz PUC do alto curso do Rio das Velhas.

Classes de uso/PUC	Muito Alto (%)	Alto (%)	Médio (%)	Baixo (%)	Muito Baixo (%)	Total (%)
Formação Florestal	0,01	3,40	13,74	19,50	11,18	47,84
Floresta Plantada	0,00	0,18	0,62	0,73	0,39	1,93
Pastagem	0,01	2,11	3,49	2,43	1,15	9,20
Agricultura	0,02	2,05	5,60	10,35	6,51	24,52
Área Urbana	0,02	0,44	1,47	1,80	1,01	4,75
Áreas não vegetadas	0,00	0,06	0,79	4,18	4,58	9,61
Corpo Hídrico	0,01	0,05	0,11	0,09	0,06	0,32
Mineração	0,00	0,01	0,16	0,92	0,74	1,82
Total	0,06	8,30	25,99	40,01	25,63	100,00

Figura 12 - Uso e ocupação da terra no alto curso do Rio das Velhas.



Assim, ainda que com parte considerável da bacia ocupada por formação florestal, uma série de problemas quanto à degradação dos recursos naturais já foram relatadas na bacia em questão (LEMOS, 2018). Lemos (2018) destaca que a presença das atividades humanas gerou fortes alterações nas paisagens, direcionadas em especial por três principais ações antrópicas: ocupação urbana e industrial, mineração e atividades agrícolas. Quanto à recarga hídrica, as manchas urbanas contribuem para uma maior superfície de escoamento superficial, uma vez que nesses locais os sistemas de drenagem urbana, a pavimentação de ruas e a infraestrutura urbana impedem que a água da chuva se infiltre no solo (COSTA et al., 2019c; TENENWURCEL et al., 2020).

Em referência à Tabela 3, importante ressalva faz-se necessária: as diferentes ações se distinguem quanto aos níveis de pressão ambiental. Embora a mineração corresponda a um pequeno percentual da área de estudo, o impacto ambiental gerado por esta atividade se sobrepõe aos gerados pelas demais (LEMOS; MAGALHÃES JUNIOR, 2019). É importante destacar que em áreas destinadas às atividades de mineração os solos podem não ser capazes de sustentar ecossistemas produtivos e funcionais (PEREIRA et al., 2018). O processo minerário implica na supressão da vegetação ou impedimento de

sua regeneração, solos são removidos e remanescentes ficam expostos, o que pode acelerar os processos erosivos e acarretar o assoreamento dos corpos hídricos (MECHI e SANCHES, 2010).

Cabe destacar também que a extração minerária e a cadeia produtiva na qual está inserida gera empregos e supri necessidades também relacionadas com o desenvolvimento e bem-estar das sociedades. Logo, fica exposto um *trade-offs*, se por um lado a mineração se relaciona com o desenvolvimento da sociedade, em contrapartida pode gerar imensas áreas de conflitos, sejam eles ambientais, sociais e até mesmo econômicos (DANTAS e FREITAS, 2014). Logo, torna-se necessário o entendimento dos contextos, ambientais, econômicos e sociais no qual as atividades minerárias estão presentes.

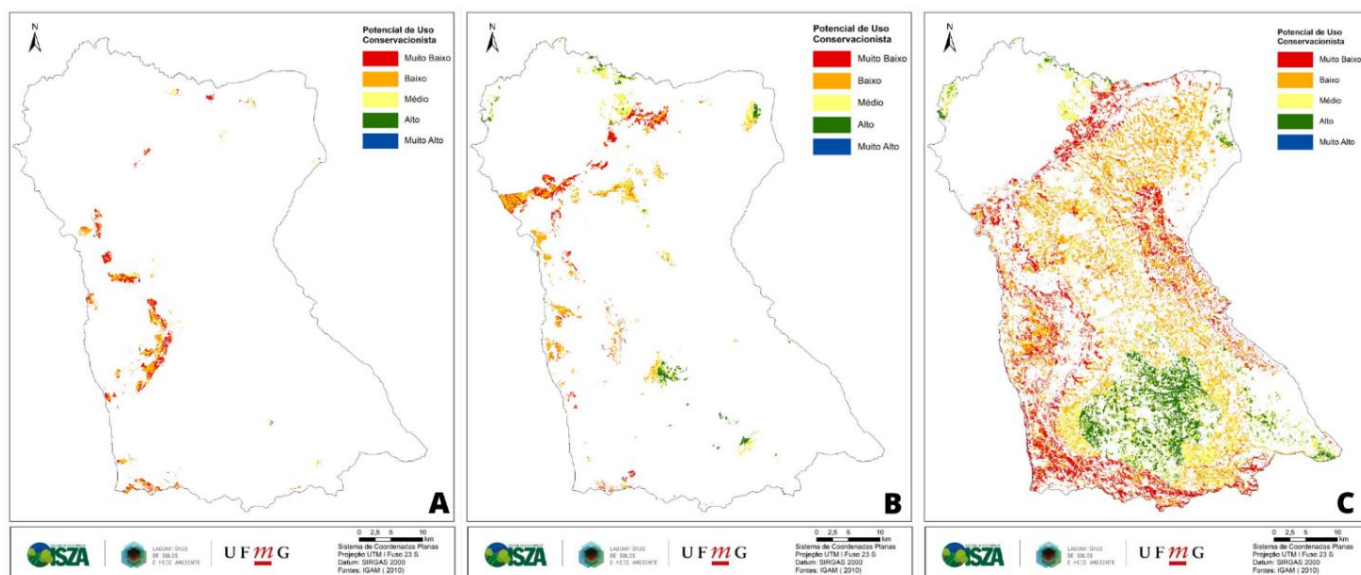
Com relação a área de estudo, como apontado no Plano Diretor dos Recursos Hídricos do Rio das Velhas um dos principais desafios é tornar a gestão de recursos hídricos eficiente na região (COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS, 2015). Dois pontos podem ser destacados, com relação aos conflitos hídricos nessas áreas: 1) a captação de Bela Fama, localizada no município de Nova Lima, é a principal fonte de abastecimento para grande parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte; 2) a situação das águas subterrâneas é crítica, uma vez que são permitidas outorgas com grandes volumes de captação para mineração, o que provoca o rebaixamento do lençol freático (COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS, 2015).

Fica evidenciado que embora região no qual a mineração está inserida seja classificada predominantemente pelas classes de PUC Muito Baixo e Baixo, esta despenha um importante papel relacionado ao contexto hídrico da região. Assim, em especial no que se refere a análise dos litotipos, algumas alterações são necessárias ao método PUC, em especial ao considerar somente aspectos relacionados a fertilidade e a resistência a desnudação. Com relação aos itabiritos, presentes na região onde se concentra as atividades minerárias, já foram apontados quanto ao importante papel para recarga de aquíferos, onde a infiltração de águas pluviais é favorecida sobre os espessos horizontes intemperizados, eficiente quando recoberto por coberturas lateríticas (BEATO, MONSORES, BERTACHINI, 2017).

Já as atividades agropecuárias ocupam cerca de 29,89% da área de estudo, sendo distribuídas de forma mais pronunciada nas áreas de potencial muito baixo, baixo e médio. Uma vez que essas áreas se caracterizam como áreas de maior fragilidade, o manejo torna-se um importante fator a ser considerado. Portanto, a adoção de práticas pautadas no uso sustentável do solo é indispensável. Destaca-se que o uso inadequado dos solos agrícolas é responsável por uma perda gradual de sua capacidade produtiva, além da degradação dos recursos hídricos por sedimentos e poluentes (PERAZZOLI; PINHEIRO; KAUFMANN, 2013), tendo por consequência prejuízos ao setor agrícola e ao meio ambiente, com reflexos econômicos e sociais (LELIS; CALIJUR, 2010; PERAZZOLI; PINHEIRO; KAUFMANN, 2013).

Em uma área tão complexa e com tantos fatores que demandam atenção, um ponto chave talvez seja distinguir áreas mais e menos prováveis de alteração, por exemplo, áreas classificadas como mineração, uso urbano e unidade de conservação de proteção integral dificilmente terão grandes alterações ao longo do tempo. Em contrapartida, áreas classificadas como Floresta Plantada, Pastagem, Agricultura e Áreas não vegetadas podem ser mais facilmente convertidas em outros usos, por exemplos urbanos. A Figura 13, apresenta de forma visual algumas informações presentes na Matriz PUC, indicando a uma significativa parcela da área sob usos voltados para atividades agropecuárias e que podem ser importantes para priorização de políticas que visem a provisão de SE.

Figura 13 - Espacialização da Matriz PUC para as classes de uso Mineração (A), Urbanização (B) e atividades agropecuárias (C).



3.4. Conclusão

A avaliação dos atributos físicos da região da bacia do Alto rio da Velhas possui limitações quanto aos critérios estabelecidos pelo PUC. A área é composta, em grande parte, por declividades acentuadas, solos que possuem maior fragilidade e litologias desfavoráveis quanto ao potencial de desnudação e fornecimento de nutrientes.

Relacionando os atributos avaliados pelo PUC com os SE, foi possível observar que a metodologia possui robustez científica, é replicável e de fácil execução, sendo, assim, adequada para o planejamento territorial e para democratização das informações ambientais. Entender que algumas ações antrópicas interferem mais na provisão dos SE do que outras pode favorecer o processo de tomada de decisão. No alto curso do Rio das Velhas o processo de expansão urbana vem impactando consideravelmente a

provisão de SE, a manutenção das áreas que atualmente são agrícolas, apoiadas em manejos adequados pode auxiliar a mitigar a efeitos adversos a disponibilização de tais serviços.

Por fim, fica evidenciado que a matriz PUC permite o entendimento de como se distribuem os diferentes usos e ocupação do solo nas áreas de maiores aptidões e limitação no Alto Velhas, sendo tal aspecto muito importante para o ordenamento adequado do território e o entendimento da configuração entre usos adequados ou não e as potencialidades e fragilidades das áreas.

3.5. Referências

- ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma*, v. 262, p. 101–111, 2016.
- BEATO, D. A. C.; MONSORES, A. M.; BERTACHINI, A. C. Potencial aquífero nos metassedimentos do Quadrilátero Ferrífero – Região da APA SUL RMBH – MG. *Revista Águas Subterrâneas, Suplemento* – XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas: Resumo Executivo**. Belo Horizonte, 2015.
- COSTA, A. M. et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. *Geografias*, v. 14, n. 1, p. 118–134, 2017.
- COSTA, A. M. et al. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG. *Geografias*, v. 27, n. 2, p. 127–147, 2019a.
- COSTA, A. M. et al. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. *Perspectiva Geográfica*, v. 14, n. 20, p. 107–122, 2019b.
- COSTA, A. M. et al. Groundwater recharge potential for sustainable water use in urban areas of the Jequitiba River Basin, Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 10, 2019c.
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *LK* - <https://royalroads.on.worldcat.org/oclc/4592801201>. *Nature TA - TT* -, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.
- DA FONSECA, G. M.; EVANGELISTA, H. J. Rochas ultramáficas plutônicas do greenstone belt Rio das Velhas na porção central do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista Escola de Minas*, v. 66, n. 1, p. 67–75, 2013.
- DANTAS, F. A.; FREITAS, L. S. Sustentabilidade da Indústria Mineral do Município de PEDRA LAVRADA-PB: um estudo a partir do uso do ISM- índice de sustentabilidade da mineração. *Revista Universo Contábil*, v. 10, n. 2, p. 144-160, 2014.
- DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, v. 69, n. 9, p. 1858–1868, 2010.
- DORR, J. V. N. **Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil**. WASHINGTON, 1969.
- DRUMOND, F. N.; BACELLAR, L. de A. P. Caracterização hidrossedimentológica e dos processos evolutivos de voçoroca em área de rochas gnáissicas do alto Rio das Velhas (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia* - Ano 7, n. 2, 2006.
- ENTEZARI, M. et al. Estimation of groundwater recharge level in karstic aquifers using modified APLIS model. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 13, n. 4, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Paying farmers for environmental services**. Rome: [s.n.].

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE; SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográfica**. 2018.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. CICES V5. 1. Guidance on the Application of the Revised Structure. **Fabis Consulting**, n. January, p. 53, 2018.

LELIS, T. A.; CALIJUR, M. L. Modelagem hidrossedimentológica de bacia hidrográfica na região sudeste. **Revista Ambiente e Água**, v. 5, 2010.

LEMOS, R. S. **A Integração Da Gestão Territorial a Partir Da Política Das Águas**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

LEMOS, R. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmica territorial, transformações ambientais e implicações no manancial de abastecimento público da Região Metropolitana de Belo Horizonte - bacia hidrográfica do alto Rio das Velhas, Minas Gerais. **GeoTextos**, v. 15, n. 1, p. 181–204, 2019.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no estado de São Paulo. **Revista de Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, São Paulo, 2010

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems WELL-BEING**. Island Pre ed. Washington: [s.n.].

MINAS GERAIS. **DECRETO 46650 Zoneamento Ambiental Produtivo**. Disponível em: <<https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=46650&comp=&ano=2014>>. Acesso em: 15 out. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **Comissão Mundial Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente#:~:text=Atendendo a essa necessidade%2C foi,vida sustentáveis nas comunidades locais.>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso da terrasobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia - SC. **Revista Arvore**, v. 37, n. 5, p. 859–869, 2013.

PEREIRA, P. et al. Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 5, p. 7–13, 2018.

PROJETO MAPBIOMAS. **Mapa de uso e ocupação do solo**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/download>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/mg – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**, p. 34–50, 2010.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, p. 63–74, 1994.

SANTOS, G. B. DOS. **Geomorfologia Fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero - MG: Paleoníveis Depositionais e a Dinâmica Atual.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos,** 2018.

SANTOS, C. A., SOBREIRA, F. G., MARGAREJO NETO, M. Condicionantes do meio físico nas formas erosivas das bacias do Ribeirão Carioca, Córrego do Bação e Córrego Carioca, no município de Itabirito, MG. In: **Simpósio Brasileiro de cartografia geotécnica e geoambiental - ABGE**, 5. CD Anais... São Paulo: ABGE, 2004.

SILVA, F. R. **A Paisagem Do Quadrilátero Ferrífero, MG: Potencial Para O Uso Turístico Da Sua Geologia E Geomorfologia.** [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SMITH, H.; SULLIVAN, C. Ecosystem services within agricultural landscapes—Farmers’ perceptions. **Ecological Economics**, v. 98, p. 72–80, 1 fev. 2014.

TILMAN, D. et al. 2 Tilman. **Nature**, v. 418, n. August, p. 671–677, 2002.

TENENWURCEL, M. A. et al. An improved model for the evaluation of groundwater recharge based on the concept of conservative use potential: A study in the river Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020.

TSCHARNTKE T, P et al. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes: eight hypotheses. **Biological Reviews**, 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.** Mapa col. 1: 600.000. Projeção Policônica, 2010.

4 SELEÇÃO DE VARIÁVEIS PARA ENTENDER PARTICULARIDADES E IMPULSIONAR A PROVISÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS MÚLTIPLOS NO ALTO CURSO DO RIO DAS VELHAS

RESUMO

A necessidade de analisar a provisão de SE surge da tentativa de equilibrar as ações humanas planejadas e seus impactos nos ecossistemas. A bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas tem uma variedade de usos e ocupações territoriais que podem comprometer a provisão dos SE. As atividades humanas, como a ocupação urbana e industrial, mineração e atividades agrícolas, foram responsáveis por alterações significativas nas paisagens da região. O objetivo deste capítulo é entender particularidades dentro da área de estudo e propor diferentes estratégias para fomentar a provisão de SE. Para isso, foram selecionadas variáveis relacionadas à provisão de SE e realizada uma análise exploratória dos dados, seguida de uma análise por componentes principais (PCA) e de uma *clusterização*. O estudo envolveu a seleção de variáveis para análise de SE múltiplos, resultando na exclusão de algumas devido a inconsistências e baixa relevância. A utilização da análise de componentes principais (PCA) permitiu reduzir as variáveis em três dimensões, sendo a PC1 a que apresentou maior variação e revelou uma forte influência das variáveis área urbanizada e IQE, indicando que áreas urbanas possuem maior quantidade de pontos de IQE ruim. A relação entre a diminuição da qualidade da água e a urbanização foi observada como uma preocupação na região do Alto Rio das Velhas, enquanto as variáveis relacionadas a áreas rurais apresentaram uma relação inversa com as variáveis urbanas. A análise de componentes principais também revelou que a PC1 não indicou impacto negativo das práticas agrícolas na qualidade da água, possivelmente devido à predominância de agricultura familiar de menor impacto. A PC2 mostrou uma relação positiva entre urbanização, intensificação agropecuária e espécies de flora ameaçadas de extinção. Já a PC3 indicou uma relação entre mineração e serviços de provisão de minerais, destacando a necessidade de equilíbrio entre a extração mineral e os impactos nos ecossistemas. A utilização da PCA simplificou os dados complexos, identificando as principais fontes de variação entre as variáveis e revelando as interações e oposições entre os SE estudados. Com base nessa análise, as sub-bacias foram agrupadas em quatro clusters, revelando padrões de uso do solo e SE. O agrupamento das sub-bacias pode ser útil para compreender a distribuição dos SE e orientar ações de preservação.

Palavras-chave: políticas públicas; pagamento por serviços ambientais; Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT

The need to analyze the provision of Ecosystem Services (ES) arises from the attempt to balance planned human actions and their impacts on ecosystems. The Upper Rio das Velhas watershed has a variety of land uses and occupations that can compromise ES provision. Human activities such as urban and industrial development, mining, and agricultural activities have been responsible for significant alterations in the region's landscapes. The objective is to understand specific characteristics within the study area and propose different strategies to promote ES provision. For this purpose, variables related to ES provision were selected, and an exploratory data analysis was conducted, followed by a Principal Component Analysis (PCA) and clustering. The study involved the selection of variables for the analysis of multiple ES, resulting in the exclusion of some due to inconsistencies and low relevance. The use of Principal Component Analysis (PCA) allowed for the reduction of variables into three dimensions, with PC1 showing the highest variation and revealing a strong influence of variables such as urbanized area and water quality index (IQE), indicating that urban areas have a higher number of points with poor IQE. The relationship between decreasing water quality and urbanization was observed as a concern in the Upper Rio das Velhas region, while variables related to rural areas showed an inverse relationship with urban variables. Principal Component 2 (PC2) showed a positive relationship between urbanization, agricultural intensification, and threatened plant species. Principal Component 3 (PC3) indicated a relationship between mining and mineral provision services, highlighting the need for a balance between mineral extraction and its impacts on ecosystems. The use of PCA simplified complex data, identifying the main sources of variation among variables and revealing interactions and oppositions between the studied ES. Based on this analysis, the sub-watersheds were grouped into four clusters, revealing land use and ES patterns. The grouping of sub-watersheds can be useful in understanding the distribution of ES and guiding preservation actions.

Keywords: public policies; payment for environmental services; Quadrilátero Ferrífero.

4.1. Introdução

A tentativa de equilíbrio entre ações antrópicas planejadas e seus impactos nos ecossistemas, gera uma necessidade real de análise quanto a provisão de SE múltiplos, suas sinergias e seus *trade-offs* (ZENG et al., 2022; SCHROTER et al., 2014). O entendimento de que as variadas e complexas interações dos componentes ambientais não são sinérgicas, gera um importante paradoxo, o que priorizar e quais estratégias são passíveis de uso em diferentes contextos? Neste sentido, a temática dos SE é abordada em uma série de instrumentos e políticas públicas, tais como leis, decretos e programas governamentais, entre outros (MINAS GERAIS, 2022; BRASIL 2021; CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS 21, 2015; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015; 2013; CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA, 1992).

Muitas vezes, esses instrumentos são elaborados de forma desconexa e sem uma aplicação prática integrada, o que pode dificultar a implementação das políticas na promoção da conservação dos ecossistemas e dos serviços que eles oferecem. (HAINES-YOUNG, et al., 2013; SCHRÖTER et al., 2014; MAES et al., 2016). Um exemplo disso é a existência de várias leis e regulamentações relacionadas aos recursos hídricos, como a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) e a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (BRASIL, 2012), que têm relação direta com a conservação de SE como a regulação do fluxo de água, a manutenção da qualidade da água e a preservação da biodiversidade, que quando lidas de forma integrada podem potencializar os ganhos ambientais.

Outro importante aspecto é a disponibilidade de bases de dados e ferramentas que sejam simples, acessíveis e passíveis de replicação por gestores, de forma a reduzir subjetividades na seleção de áreas, permitindo maior escalabilidade (PETTORELLI et al., 2016). Neste sentido, o IDE-Sisema (Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) é um sistema de informação geográfica do estado de Minas Gerais que integra dados sobre meio ambiente e recursos hídricos (IDE-SISEMA, 2023). Dentre as ferramentas que se enquadram em tal contexto, o método denominado Potencial de Uso conservacionista (PUC), consiste em uma proposição que busca o entendimento do meio físico, como subsídio ao ordenamento e planejamento do uso da terra em bacias hidrográficas (MUCIDA et al., 2022; FREITAS et al., 2022; TENENWURCEL et al., 2020 COSTA et al., 2019; COSTA et al., 2017). Tal metodologia é fundamentada por meio de critérios técnicos e objetivos e busca levantar as potencialidades e limitações, considerando as variáveis físicas: declividade, solo e litologia (COSTA et al., 2017, 2019). O PUC vem sendo utilizado em pesquisas científicas (MUCIDA et al., 2022; FREITAS et al., 2022; TENENWURCEL et al., 2020 COSTA et al., 2019; COSTA et al., 2017), políticas públicas (MINAS GERAIS, 2022) e para fins acadêmicos, em teses, dissertações e monografias como ferramenta para planejar o ordenamento territorial, proposição de áreas prioritárias para provisão

SE. O PUC pode ser uma importante ferramenta, associada a outros dados para pautar o planejamento do território de forma assertiva e com ganhos sociais em especial em áreas que sofrem pressões ambientais.

Nesse sentido, a bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas se destaca por uma diversidade de usos e de formas de ocupação territorial que acarretam pressões ambientais e geram variadas formas de danos para a qualidade e quantidade das águas (LEMOS, 2018; MENDES; COSTA, 2022), alterando a provisão dos serviços disponibilizados pelos ecossistemas. No Alto Rio das Velhas, Lemos (2018) destaca que a presença das atividades humanas gerou fortes alterações nas paisagens, direcionadas em especial por três principais ações antrópicas: ocupação urbana e industrial, mineração e atividades agrícolas.

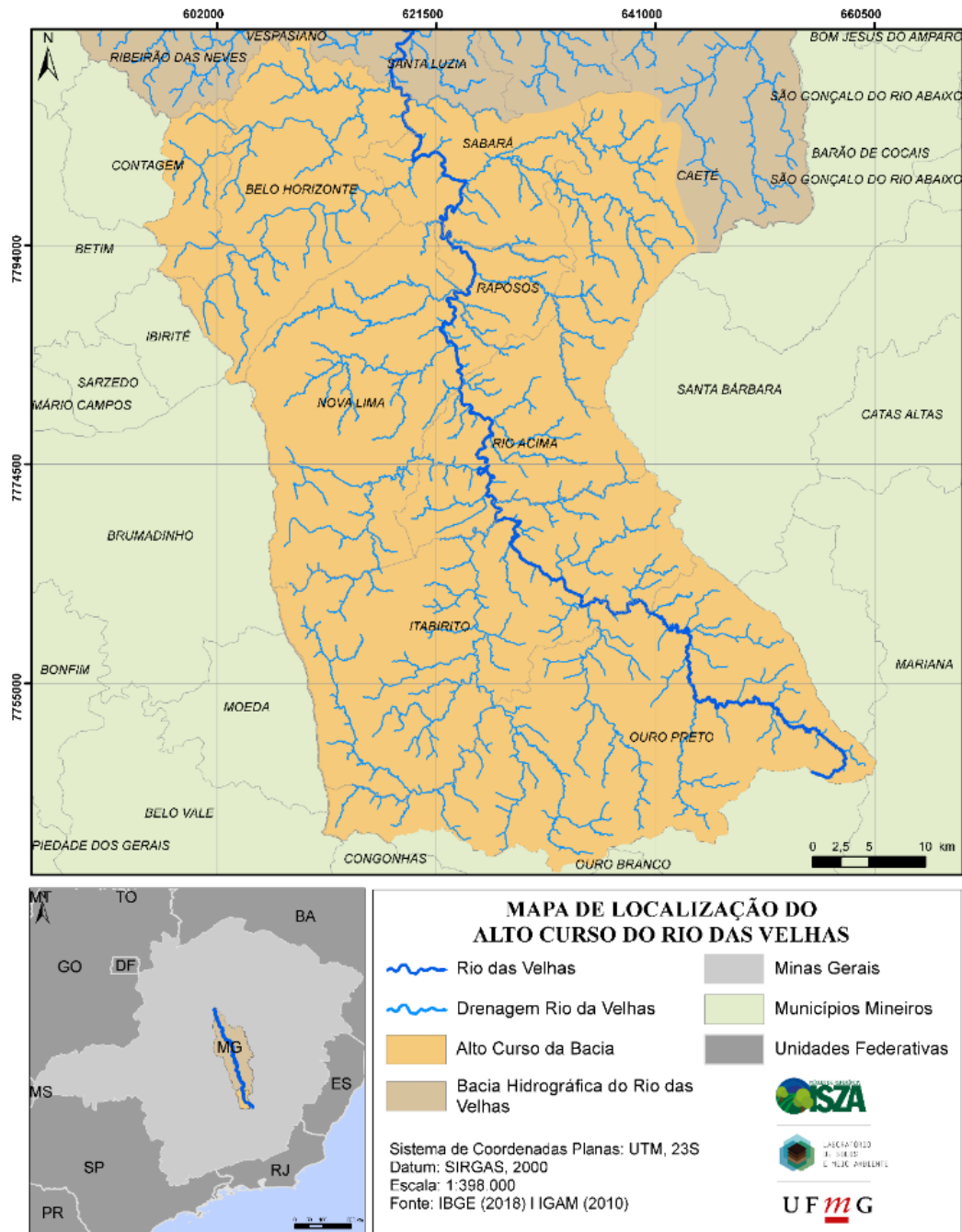
Diante do exposto, este trabalho se propõe a testar a hipótese que a partir de bases de dados e ferramentas públicas e operações de baixo custo é possível entender e orientar ações que visem impulsionar a provisão de SE múltiplos no alto curso do Rio das Velhas. Diante disso, o objetivo é selecionar quais variáveis podem ser integradas estatisticamente para entender as particularidades dentro da área estudo, a partir dessa integração buscou-se definir o perfil das sub-bacias que compõem o Alto Velhas e propor diferentes estratégias, já oficiais, a serem utilizadas para fomentar a provisão de SE.

4.2. Metodologia

4.2.1. Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas abrange uma área de aproximadamente 2.739,74 km² e constitui 9,8% da bacia do Rio das Velhas. Localizada entre os municípios de Ouro Preto, Belo Horizonte, Contagem e Sabará, a região possui uma alta concentração (Figura 14 e Tabela 4), outras informações relativas à área de estudo podem ser consultadas no capítulo 3 da presente tese.

Figura 14 - Localização do alto curso do Rio das Velhas, Minas Gerais.



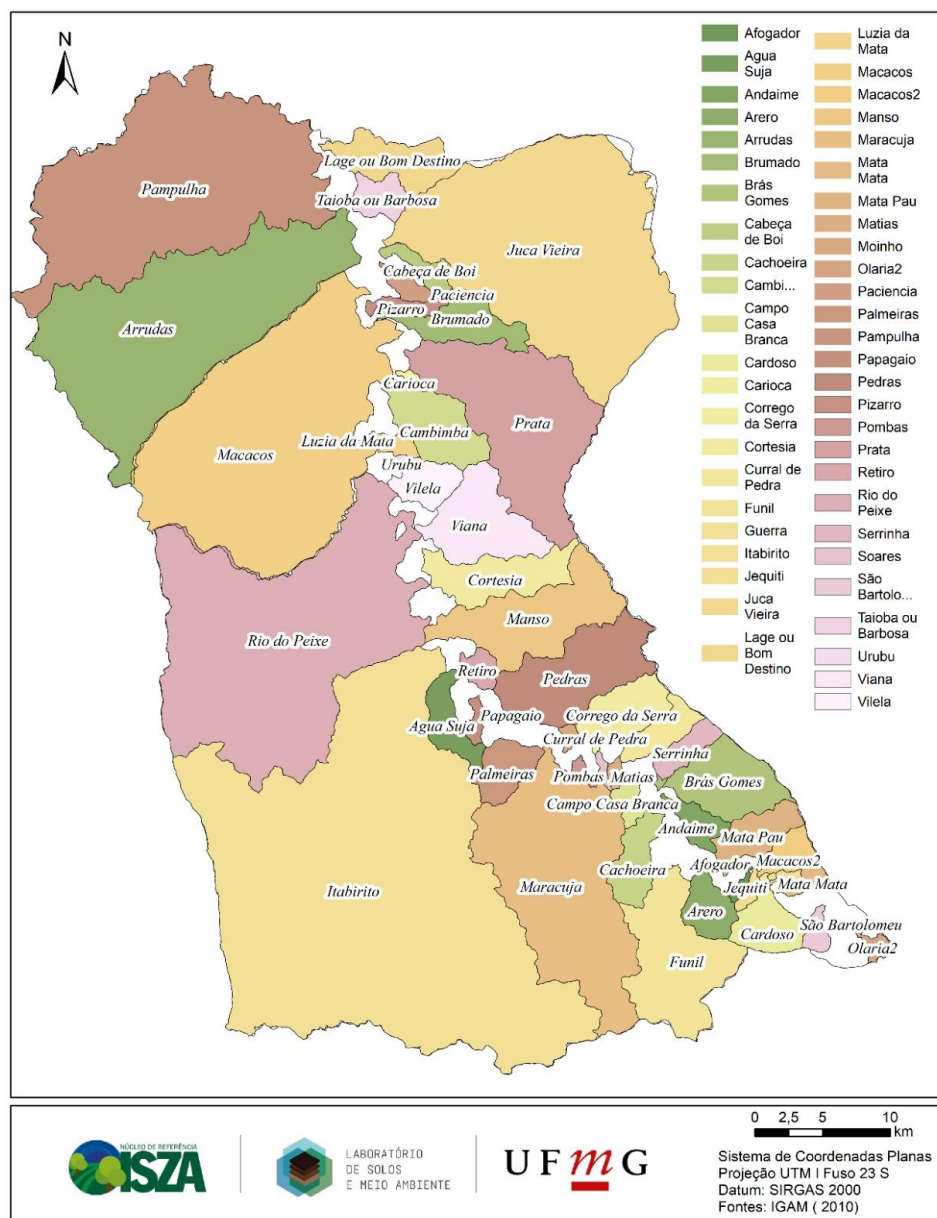
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018)

Tabela 4 - Municípios pertencentes ao alto curso do Rio das Velhas, população estimada e IDGM

Município	População estimada	IDHM
Belo Horizonte	2.521.564	0,81
Itabirito	52.446	0,73
Nova Lima	96.157	0,81
Raposos	16.429	0,73
Rio Acima	10.420	0,67
Caeté	45.047	0,728
Contagem	668.949	0,756
Ouro Preto	74.558	0,741
Sabará	137.125	0,731

Com relação ao uso e ocupação do solo, foi utilizada a coleção de número 7 disponibilizada pelo projeto Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2022), sendo mais recente do que a utilizada no capítulo anterior. Para esta pesquisa, as análises foram realizadas considerando divisões internas no Alto Velhas. Para tal, o recorte de sub-bacias apresentado na Figura 15 foi utilizado. Destaca-se que para todas as avaliações o tamanho de cada uma delas foi ponderado, reduzindo o efeito da heterogeneidade de dimensões espaciais. Para delimitação das sub-bacias, estabeleceu-se como critério as que desaguavam diretamente no Rio das Velhas.

Figura 15- Recorte de sub-bacias utilizado para análise na provisão de SE no alto curso do Rio das Velhas.



4.2.2. Seleção de variáveis e utilização de Sistema de Informação geográficas (SIG)

Para a seleção das variáveis a serem inseridas na análise, partiu-se da premissa que a utilização de dados públicos e metodologias oficiais é uma abordagem importante para o desenvolvimento de estratégias que visam o fornecimento de SE, de forma democrática e possível de ser utilizada por gestores na efetivação de políticas públicas. Foi realizada uma ampla consulta nos dados disponibilizados pelo Governo do Estado de Minas Gerais, através da infraestrutura de dados espaciais (IDE-Sisema – link de acesso: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>). Foram consultados também os arquivos do Atlas digital disponibilizado pelo Instituto Pristino (<https://institutopristino.org.br/atlas/>). Nessa consulta, foram selecionadas variáveis que se relacionavam com a provisão de SE, ou com a implantação de

programas que visem prestação de SE, nas suas mais variadas faces, como os serviços de provisão (produção de alimentos, água, minerais, madeira), serviços de regulação (qualidade da água, erosão do solo, ameaças naturais), serviços de suporte (ciclagem da água, nutrientes, formação do solo) e serviços culturais (diversidades culturais, valores educacionais, religiosos, recreação e ecoturismos).

Não obstante a ideia inicial de englobar de forma mais ampla os diversos tipos de SE, a inclusão destes depende da disponibilidade e qualidade dos dados existentes. Importante é destacar que as variáveis não são os SE propriamente dito e sim aspectos que se relacionam com a provisão destes. O critério para seleção das variáveis foram: Variáveis que se relacionam com a provisão de algum tipo de SE, considerando os serviços de provisão, regulação, suporte ou cultural. Por exemplo, o uso e ocupação da terra interfere amplamente em diversos tipos de SE, logo, as classes de usos foram avaliadas; Representatividade dos dados na região de estudo. Por exemplo, algumas variáveis, como presença de comunidades quilombolas e indígenas, não foram incorporadas ao estudo por serem raras ou ausentes na região; Consistência dos dados. Quando possível e necessário a base de dados foi tratada, excluindo duplicidades ou erros indiscutivelmente identificáveis; outro aspecto considerado para seleção das variáveis analíticas foi a presença de metadados suficientemente descritivos. Para algumas variáveis, no momento das buscas, tal conjunto de informações não estava disponível, logo estas não foram incluídas na pesquisa; Recorte dos dados. Algumas camadas disponíveis tinham sido trabalhadas em recortes que não possibilitavam o acesso as informações considerando o limite do Alto Velhas. Quando necessário, informações presentes em uma base de dados foram decompostas em mais de uma variável. Para avaliação do uso e cobertura do solo, cada classe de uso foi considerada como uma variável independente.

Após esta etapa, todas as variáveis selecionadas foram visualizadas espacialmente através do software Arcgis (ESRI, 2020) e as informações das bases de dados consultadas foram tabuladas considerando as subdivisões apresentadas na Figura 14. Realizou-se uma ampla análise exploratória dos dados, partindo da premissa que para integração dos resultados, como proposto na pesquisa, identificar a correlação e o entendimento como se dá a relação das variáveis ambientais e o que elas representam, é essencial. Para as análises estatísticas subsequentes, foram selecionadas variáveis que apresentavam maiores correlações com outras variáveis. Os resultados obtidos na análise exploratória podem ser observados no material suplementar (ANEXO B).

Ainda em ambiente SIG, como visto no capítulo anterior, foi realizada a especialização do método PUC, sendo que as bases utilizadas para tal podem ser observadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Base de dados utilizada para execução do método PUC

Tipo de dado	Escalas numéricas	Fonte
Modelo digital de elevação	Resolução espacial de 30 metros	https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp
Mapa de solos	1:650.000	https://www.dps.ufv.br
Mapa de litologias	1:1.000.000	https://cprm.gov.br/publique/

4.2.3. Análises estatísticas

Os testes estatísticos foram realizados utilizando a linguagem de programação Python na plataforma Google Colaboratory. Inicialmente, todos os resultados foram ponderados pelo tamanho da sub-bacia estudada e foi realizada uma análise exploratória dos dados, com exclusões e normalizações, para atender aos pressupostos dos testes selecionados, sendo que a função *StandardScaler* foi utilizada para esse fim. Dois testes a priori foram realizados para examinar a adequação dos dados para a análise desejada: o teste de esfericidade de Bartlett e o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Variáveis que possuíam baixa correlação não entraram nas análises subsequentes, mas foram incorporadas às discussões gerais da pesquisa.

Após a conclusão da análise exploratória, os dados foram submetidos à análise por componentes principais (PCA). O PCA é um método estatístico que pode ser utilizado para identificar padrões em uma base de dados com múltiplas variáveis. Esse método permite determinar se as variáveis podem ser explicadas em termos de um número menor de fatores (CHU et al., 2018). Assim o PCA teve como objetivo a redução de dimensionalidade, tornando o processo analítico possível. Em posse dos resultados obtidos via PCA, foi realizada a clusterização das sub-bacias através do algoritmo K-Means, que é geralmente o método de agrupamento mais conhecido e usado. Outros aspectos estatísticos relevantes podem ser observados no ANEXO B.

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Variáveis selecionadas e suas relações com os SE

O processo de seleção de variáveis indicou que, embora seja amplo o número de bases passíveis de ser utilizadas nos estudos de SE múltiplos, grande parte possui inconsistências ou são pouco representativas para a área de estudo. A exemplo, uma variável que não foi incluída, no estudo atual, foi

a presença de comunidades quilombolas, que se relacionam com a proteção de ecossistemas como a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica e o Cerrado (COELHO-JUNIOR et al., 2020; IBGE, 2020) e de seus serviços prestados. Na área de estudo, há duas comunidades quilombolas: Mangueiras e Luizes. Muito embora seja notória a importância da inclusão de variável desta natureza, pelo perfil do Alto Velhas, estas não foram diretamente incluídas nos processos analíticos. No entanto, destacamos a existência e importância da presença dessas comunidades tradicionais para manutenção do abastecimento de SE de diversas naturezas.

É possível citar também a tentativa de incluir a distribuição espacial de escolas relacionadas ao programa Jovens Mineiros Sustentáveis, que visa fomentar a educação ambiental em escolas municipais. No entanto, tal análise foi limitada devido à baixa adesão das escolas ao programa. Em toda a área de estudo, há apenas uma escola participando efetivamente do programa, o que limita sua incorporação à pesquisa. Neste sentido, é necessário que a sociedade se esforce para aprimorar os mecanismos de educação ambiental tanto formal quanto informalmente, uma vez que é necessário diminuir a lacuna de conhecimento entre os pesquisadores e o público em geral (PALACIOS-AGUNDEZ et al., 2022).

Ainda com relação ao processo de seleção de variáveis aptas ou não para inclusão nas análises estatísticas, um ponto importante que merece menção, é a falta de informações sobre a classificação de solos para grande parte da área urbana do alto curso do Rio das Velhas (UFV, 2010). Isso impossibilitou, em grande parte a inserção do PUC no processo analítico estatístico. Ferramentas integradas como PUC são indispensáveis para uma análise holística sobre a provisão dos SE, uma vez que o solo, por meio de feedbacks e interconexões complexas, é vital para a manutenção de diversos serviços como os relacionados à água e à produção de alimentos (ADHIKARI E HARTEMINK, 2016; JÓNSSON; DAVÍÐSDÓTTIR, 2016; BIRGÉ et al., 2016; DOMINATI et al., 2010).

Ainda com relação aos resultados referentes à escolha das variáveis, inicialmente foi feita a tentativa de correlacionar estatisticamente 42 variáveis (ANEXO B). No entanto, muitas destas não foram incluídas devido à baixa correlação com as demais. Isso ocorreu porque tinham importância pontual na área estudada sendo difícil relacioná-las com o escopo geral analítico.

A partir dos resultados da análise exploratória dos dados, as variáveis que foram efetivamente incluídas nas análises estatísticas via PCA e clusterização podem ser observadas no Quadro 5. Para tais variáveis, os resultados dos testes de esfericidade de Bartlett e do teste KMO atendem aos pressupostos estatísticos, sendo 0,0 e 0,63, respectivamente, indicando que a realização de PCA é adequada. O teste de esfericidade de Bartlett confirmou que as variáveis em estudo não eram ortogonais ou independentes, mas correlacionadas. Assim como o teste de esfericidade, o KMO é usado para comparar coeficientes de correlação entre variáveis. O resultado KMO é um valor entre 0 e 1; quando mais próximo a 1 significa

que a correlação entre as variáveis é mais forte e as variáveis originais são mais adequadas para análise fatorial.

Quadro 5 - Variáveis submetidas a análise de componentes principais, considerando a devida justificativa de inclusão de cada uma.

Variável	Justificativa	Fonte
Agricultura	<p>A agricultura é a principal fonte de produção de alimentos para a população global e, portanto, é um SE essencial de provisão.</p> <p>Áreas de agricultura também fornecem outros serviços importantes, quando bem manejadas, como a regulação do clima, através da captura de carbono do ar, e a purificação da água, através da filtragem natural da água do solo.</p> <p>No entanto, é importante ressaltar que a agricultura pode ter impactos negativos nos ecossistemas e na provisão de SE. Por exemplo, a intensificação da agricultura pode levar à perda de biodiversidade, à degradação do solo e à poluição da água.</p>	MAPBIOMAS
Área prioritárias para investigação científica	<p>A identificação de áreas prioritárias para a pesquisa científica pelo Instituto Biodiversitas pode contribuir para a melhoria da compreensão dos ecossistemas e a identificação de estratégias de conservação e manejo da biodiversidade, o que pode ter um impacto direto na provisão de SE. Pesquisas científicas podem contribuir com a identificação de estratégias de conservação e manejo da biodiversidade que favoreçam a provisão SE, o que pode ter um impacto direto na qualidade de vida das populações locais e na sustentabilidade ambiental</p>	Instituto Biodiversitas
Área urbanizada	<p>As áreas urbanizadas são caracterizadas pela intensa presença de edifícios, infraestruturas, pavimentação e outras estruturas construídas pelo homem, que impactam os ecossistemas e seus serviços prestados. No entanto, é possível implementar práticas de planejamento urbano que busquem maximizar os benefícios para a sociedade e o meio ambiente. Para promover a provisão de SE em tal contexto, é importante implementar práticas de planejamento que considerem a importância da natureza em áreas urbanas. Isso pode incluir o aumento da cobertura vegetal, a promoção de áreas verdes urbanas, o uso de materiais sustentáveis e o investimento em transporte sustentável. Além disso, é importante envolver a comunidade local na gestão e manutenção dessas áreas, incentivando a participação e a conscientização sobre a importância da natureza em áreas urbanas.</p>	MAPBIOMAS
Mineração	<p>A mineração é uma atividade econômica que envolve a extração de recursos minerais do subsolo, como minérios de ferro, ouro, dentre outros minerais que são importantes no bem-estar da sociedade. No entanto a extração e possibilidade de utilização destes minerais está fortemente ligada a impactos diversos em outros tipos de SE e alterações significativas nos ecossistemas.</p>	MAPBIOMAS
Pastagem	<p>As áreas sob pastagem representam uma das principais formas de uso da terra, a provisão de SE por essas áreas está fortemente</p>	MAPBIOMAS

	condicionada ao manejo adotado e a ao estado de conservação destas áreas. Uma série de SE podem ser relacionados a áreas sob pastagem em especial relacionados produção de carne, leite e outros produtos de origem animal, além destes serviços podem também ser fornecidos em pastagens bem manejadas, como aqueles relacionados a regulação do ciclo hidrológico, contribuindo para a conservação da água e prevenção de enchentes e seca.	
Pontos de IQA ruim	O índice de qualidade da água (IQA) é uma ferramenta utilizada para avaliar a qualidade da água em um determinado ambiente, e é calculado com base em diversos parâmetros, como oxigênio dissolvido, pH, turbidez, dentre outros. O IQA é utilizado para monitorar a qualidade da água e para avaliar a efetividade de medidas de proteção e recuperação de ecossistemas aquáticos. A água é um recurso fundamental para a manutenção da biodiversidade e do funcionamento dos ecossistemas, e a qualidade da água afeta diretamente a capacidade dos ecossistemas aquáticos de fornecer SE.	Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)
Pontos de ocorrência de espécies de flora com algum grau de ameaça de extinção	Os pontos de ocorrência de espécies de flora com algum grau de ameaça de extinção são locais onde há registros de espécies vegetais que estão em risco de desaparecer da natureza. A ocorrência de espécies de flora ameaçadas está diretamente relacionada à provisão de SE, uma vez que as plantas desempenham papéis fundamentais na manutenção dos ecossistemas e na oferta de diversos benefícios para a sociedade.	Centro Nacional de Conservação da Flora
Pontos de ocorrência minerais	Os ecossistemas naturais podem ser fontes de minerais, como metais e minérios, que são extraídos da crosta terrestre. Os pontos de ocorrência mineral referem-se às áreas em que há presença de recursos minerais, sendo que na região há predominância do minério de ferro, que podem ser utilizados em diversos setores, como a indústria automotiva, aeroespacial, eletrônica, construção civil, entre outros	Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais
Quantidade de estabelecimentos para recompor APP	As informações sobre a recomposição de Áreas de Preservação Permanente (APPs) disponíveis no Cadastro Ambiental Rural (CAR) são fundamentais para a implementação de políticas públicas relacionadas aos SE. As APPs são áreas protegidas por lei que têm como objetivo garantir a proteção dos recursos hídricos, a conservação da biodiversidade, a estabilidade geológica, o equilíbrio ecológico e o bem-estar das populações humanas. No entanto, muitos imóveis rurais possuem áreas de APPs desmatadas ou degradadas, o que compromete a provisão desses SE. O CAR é uma ferramenta importante para identificar as áreas de APPs e monitorar a recomposição dessas áreas, permitindo a implementação de políticas públicas que visem à recuperação dessas áreas e à promoção da provisão de SE	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
Quantidade de estabelecimentos rurais com CAR	O Cadastro Ambiental Rural (CAR) pode ser uma ferramenta importante para auxiliar em políticas públicas que visem à provisão de SE. O CAR é um registro eletrônico obrigatório para todos os residentes rurais do Brasil, que tem como objetivo	Sistema de Cadastro Ambiental Rural

	<p>promover a regularização ambiental dos residentes e a conservação dos recursos naturais. Ao realizar o cadastro, o proprietário ou possuidor rural deve informar como APPs, de reserva legal (RL) e de uso restrito, bem como as áreas de produção agrícola ou pecuária. Essas informações são essenciais para avaliar a situação ambiental do imóvel rural e planejar ações para a conservação dos recursos naturais e a promoção da provisão de SE. Com base nas informações do CAR, é possível identificar áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, proteção de mananciais e outras ações de proteção ambiental. Além disso, é possível incentivar a adoção de práticas de conservação do solo e da água, a recuperação de áreas degradadas, o uso de agroflorestas e outras iniciativas para a promoção da provisão de SE. O número de imóveis rurais com o CAR indica onde há predominância de estabelecimento rurais e ainda fornece informações que são valiosas ao se implementar políticas públicas que visem os SE.</p>	
--	--	--

Todas as variáveis avaliadas estatisticamente foram reduzidas em 3 dimensões pela PCA e a Tabela 5 mostra a representatividade dos componentes principais (PCs), sendo que a PC1 é a dimensão principal que explica a maior variação nos dados originais, seguida por PC2 e PC3 (MINGOTI, 2013). Neste sentido, os resultados indicam que as variáveis área urbanizada e IQE têm uma carga positiva forte em PC1, de forma que elas têm uma forte influência na variação capturada por essa dimensão principal. Ou seja, por este componente fica evidenciado, que em áreas urbanas, há tendência de mais pontos de IQE ruim.

Na literatura, a relação entre a diminuição da qualidade da água e os processos de urbanização já foram relatados (PRIYADARSHINI et al., 2022) e consiste em uma preocupação e necessidade de remediação no alto curso do Rio das Velhas (ERCOLI; MATIAS; ZAGO, 2020). Ainda de acordo com a PC1, os contextos mais relacionados às áreas rurais lidos através das variáveis agricultura, pastagem, quantidade de estabelecimentos para recompor APP e quantidade de estabelecimentos rurais com CAR tiveram relação negativa com a PC1. Isso indica relação inversa com as outras duas variáveis outrora citadas.

Tabela 5 - Relação das variáveis estudadas com os componentes principais PC1, PC2 e PC3.

Variável	PC1	PC2	PC3
Agricultura	-0.65	0.58	0.16
Área prioritárias para investigação científica	-0.51	-0.58	0.17
Área urbanizada	0.67	0.57	-0.15
Mineração	0.35	-0.09	0.86
Pastagem	-0.60	0.59	0.23
Pontos de IQE ruim	0.65	0.62	0.12
Pontos de ocorrência de espécies de flora ameaçadas	0.53	0.58	0.27
Pontos de ocorrência minerais	0.28	-0.17	0.88
Quantidade de estabelecimentos para recompor APP	-0.71	0.34	0.11
Quantidade de estabelecimentos rurais com CAR	-0.69	0.48	0.15
Porcentagem de variância explicada	0.340	0.250	0.176
Porcentagem de variância acumulada	0.340	0,59	0,766

Embora na literatura seja constantemente debatido o efeito de práticas agrícolas, sobretudo as não sustentáveis, sobre os recursos hídricos, a PC1 não indica tais resultados neste trabalho. De forma geral, discute-se que práticas agrícolas não sustentáveis, como o uso excessivo de fertilizantes ou pesticidas, podem levar à poluição e afetar a qualidade do solo e da água por meio de lixiviação e escoamento superficial (LINDERHOF; STIJN; REINHARD, 2021). No entanto, ao se avaliar os estabelecimentos rurais dispostos no CAR, fica evidenciado um perfil mais voltado para pequenos agricultores onde se predomina possivelmente um contexto de agricultura familiar. Embora haja um percentual importante de APP a ser recuperada, tem o potencial poluidor reduzido ao se comparar com grandes produtores.

Já PC2 se relacionou positivamente com as variáveis agropecuária, áreas prioritárias para investigação científica, área urbanizada, mineração, pastagem, pontos de IQE ruim e com as espécies de flora ameaçadas de extinção. Observa-se que quando há aumento dos processos de urbanização e intensificação de atividades agropecuárias, há também o aumento de espécies de flora ameaçadas de extinção. A base de dados relacionada a flora foi produzida pelo Centro Nacional de Conservação da Flora, que é referência nacional em geração, coordenação e difusão de informação sobre biodiversidade e conservação da flora brasileira ameaçada de extinção (CNC FLORA, 2015). A citada base de dados foi subsídio para a publicação oficial denominada Livro Vermelho da Flora do Brasil, que é reconhecido como um importante instrumento de proteção aos projetos para a preservação de espécies ameaçadas de extinção (NAKAJIMA et al., 2012).

Segundo a Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Biodiversidade e SE (IPBES), aproximadamente um milhão de espécies flora e fauna estão com algum grau de ameaça de extinção (IPBES, 2019). A tendência é que ecossistemas mais complexos sustentem uma maior gama de

SE, de variadas naturezas. Estimativas preliminares que nortearam os estudos dos SE indicam que a biodiversidade se relaciona à grandeza de três trilhões de dólares (DAILY et al., 1997; COSTANZA et al., 1997). A diversidade de espécies da flora reflete diretamente nos nichos e agregam-se diversamente ao capital natural fornecendo bens para serviços às pessoas que vivem dentro e ao redor desses nichos (PANYADEE et al., 2022). É facilmente compreensível que o processo de urbanização e atividades agrícolas mudam o padrão do uso e ocupação da terra favorecendo a maior pressão sobre as espécies nativas.

Ainda com relação a PC2 e a avaliação da biodiversidade, a variável Área Prioritária - Investigação Científica se relaciona a um estudo que é norteador para o licenciamento ambiental em Minas Gerais, que pode ser visto na publicação Biodiversidade em Minas Gerais: Atlas de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2005). Segundo a mesma publicação, cerca de 29% do território mineiro elencado como prioritário para conservação carecem de investigação científica adicionais. A região de estudo, por estar inserida no contexto do quadrilátero ferrífero, é reconhecida pelo seu alto grau de endemismo de anfíbios e plantas, alta riqueza de vertebrados, ambiente único no Estado (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2005), e é coerente que as investigações científicas se concentrem em regiões com maior conservação, ou seja, aquelas menos relacionadas à urbanização e agricultura.

Por fim, a PC3 se relaciona positivamente com as variáveis pontos de ocorrência minerais e mineração, que tem uma forte relação com os SE de provisão de minerais. Todavia, de forma recorrente são listados na literatura pelos impactos causados em outros SE também fornecidos pelo ambiente. Os *trade-offs* relacionados a tal atividade não devem ser subestimados. Deve-se buscar cada vez mais métodos de extração e desenvolvimento da atividade para se encontrar um equilíbrio entre a extração de minerais e os ecossistemas. Dentre os principais aspectos relacionados às atividades minerárias de forma negativa destaca-se SE relacionados a biodiversidade e a as modificações no capital natural do solo. Sendo que o tipo de mineral extraído pode influenciar fortemente nas perturbações ecossistêmicas causadas (ZENG et al., 2022).

Por fim, destaca-se que estudo dos componentes PC1, PC2 e PC3 indicaram um interessante panorama relacionado ao alto curso do Rio das Velhas. O primeiro componente relaciona inversamente as áreas urbanas e as áreas agropecuárias. O segundo componente, PC2, traz importantes indicativos sobre as pressões exercidas pela urbanização e agropecuária sobre a biodiversidade. A terceira indica forte relação com os componentes ligados aos serviços de provisão de minerais e, portanto, mineração. A PCA se mostrou uma importante ferramenta auxiliando na simplificação de um conjunto de dados complexos, identificando as principais fontes de variação entre as diferentes variáveis e auxiliando no entendimento e identificação de como os diferentes serviços se relacionam e se opõem.

4.3.2. Perfil dos agrupamentos

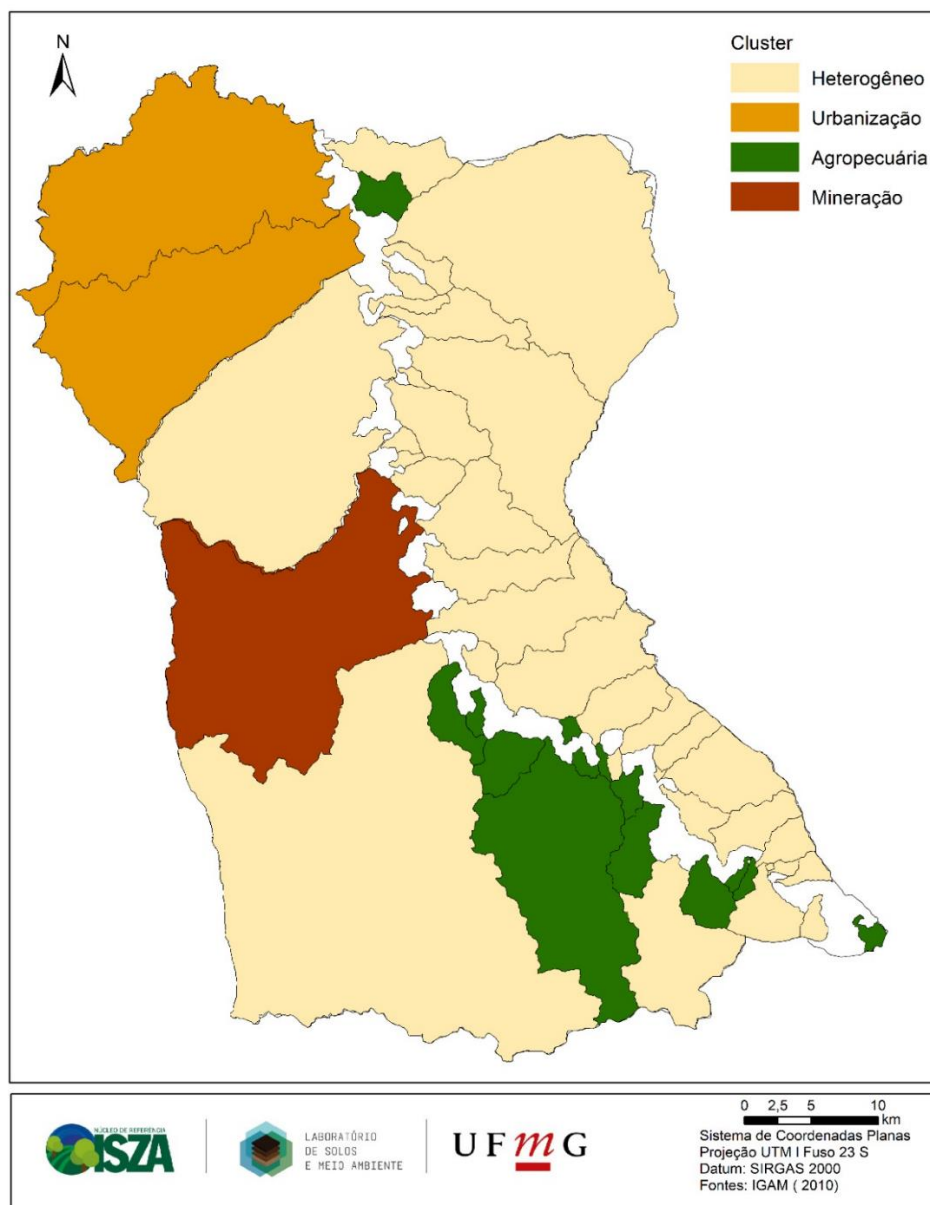
Com base nos resultados da PCA, as sub-bacias foram categorizadas em 4 grupos pelo processo de *clusterização* (*clusters* 0, 1, 2 e 3). O número de grupos foi obtido através do resultado do método *elbow* (resultado gráfico no apêndice). O resultado da *clusterização* pode ser observado na Tabela 6 e Figura 16. Este processo de agrupamento no estudo de bacias hidrográficas é uma ferramenta útil para a identificação de padrões e tendências nas relações entre diferentes perfis de provisão de SE. No estudo dos SE, tal técnica auxilia para que políticas possam formular melhores estratégias de desenvolvimento sustentável para diferentes perfis de sub-bacia (YANG et al., 2021).

Tabela 6 - Descrição dos componentes principais para cada uma das sub-bacias elencadas no estudo, bem como o resultado do processo de *clusterização*.

Sub Bacia	PC1	PC2	PC3	Cluster	Perfil
Afogador	-4.624.140	3.050.035	0.878991	2	Agropecuário
Água Suja	-1.335.796	0.494777	-0.151712	2	Agropecuário
Andaime	-0.858478	-0.088658	-0.287850	0	Heterogêneo
Arero	-1.198.818	0.239986	-0.196692	2	Agropecuário
Arrudas	4.337.824	2.186.001	-1.413.420	1	Urbanizado
Brumado	-0.017598	-0.904981	-0.627907	0	Heterogêneo
Brás Gomes	1.068.380	-1.809.972	0.182163	0	Heterogêneo
Cabeça de Boi	-0.625631	0.185958	-0.422262	0	Heterogêneo
Cachoeira	-1.327.796	0.549491	-0.067101	2	Agropecuário
Cambimba	0.860480	-1.610.156	-0.880371	0	Heterogêneo
Campo Casa Branca	-3.426.245	2.309.899	0.682143	2	Agropecuário
Cardoso	0.202684	-1.070.735	-0.679049	0	Heterogêneo
Carioca	0.723575	-1.421.389	-0.828477	0	Heterogêneo
Córrego da Serra	0.369195	-1.178.867	0.000192	0	Heterogêneo
Cortesia	-0.784630	-0.269048	-0.392697	0	Heterogêneo
Curral de Pedra	0.190624	-1.103.793	0.041597	0	Heterogêneo
Funil	-0.495589	-0.225693	1.705.410	0	Heterogêneo
Guerra	0.162861	-1.275.958	-0.742224	0	Heterogêneo
Itabirito	1.032.418	0.756888	2.273.521	0	Heterogêneo
Jequiti	-1.159.047	0.159011	-0.242597	2	Agropecuário
Juca Vieira	1.951.164	1.690.787	-0.443233	0	Heterogêneo
Lage ou Bom Destino	0.993547	1.158.153	-0.406900	0	Heterogêneo

Luzia da Mata	0.401993	-1.083.680	-0.728553	0	Heterogêneo
Macacos	2.146.978	0.050989	1.646.387	0	Heterogêneo
Macacos2	1.024.148	-1.793.167	-0.937449	0	Heterogêneo
Manso	0.403335	-1.084.590	0.013726	0	Heterogêneo
Maracujá	-0.617310	3.140.183	1.878.506	2	Agropecuário
Mata Mata	0.466885	-1.263.076	-0.719373	0	Heterogêneo
Mata Pau	0.517971	-1.337.856	-0.777118	0	Heterogêneo
Matias	-0.623420	-0.272595	-0.393686	0	Heterogêneo
Moinho	-2.038.929	0.510811	-0.036076	2	Agropecuário
Olaria2	-1.545.499	0.407613	-0.162195	2	Agropecuário
Paciência	-0.845316	-0.010208	-0.380309	0	Heterogêneo
Palmeiras	-2.034.864	1.164.918	0.191009	2	Agropecuário
Pampulha	6.860.161	6.210.500	-1.491.103	1	Urbanizado
Papagaio	-2.270.992	1.023.968	0.141280	2	Agropecuário
Pedras	0.518213	-1.287.605	0.869813	0	Heterogêneo
Pizarro	0.144247	-1.065.166	-0.681867	0	Heterogêneo
Pombas	-1.425.053	0.320949	-0.153484	2	Agropecuário
Prata	0.790510	-1.512.765	-0.773387	0	Heterogêneo
Retiro	-0.186712	-0.614010	-0.490107	0	Heterogêneo
Rio do Peixe	3.290.884	-1.684.670	7.419.304	3	Minerário
Serrinha	-0.136222	-0.832098	-0.587704	0	Heterogêneo
Soares	-3.163.191	1.857.197	0.418259	2	Agropecuário
São Bartolomeu	0.529281	-1.359.574	-0.782592	0	Heterogêneo
Taioba ou Barbosa	-0.031621	1.822.939	0.150313	2	Agropecuário
Urubu	0.563986	-1.197.300	-0.790032	0	Heterogêneo
Viana	0.966875	-0.981056	-0.586533	0	Heterogêneo
Vilela 2	0.254680	-0.952388	-0.238554	0	Heterogêneo

Figura 16 - Distribuição espacial dos agrupamentos das sub-bacias no alto curso do Rio das Velhas, considerando os resultados da PCA para o processo de *clusterização*.



Na Tabela 6 e Figura 15, percebe-se que quanto maior é o valor da PC1, mais urbanizada é a sub-bacia, como é o caso das sub-bacias Pampulha e Arrudas que concentram o maior contingente populacional da área de estudo contemplando os municípios de Belo Horizonte e Contagem. Em contrapartida, quanto maior é a grandeza negativa dos resultados quanto à PC1, maior é o perfil agropecuário das sub-bacias. Dentre as bases de dados consultadas no IDE-Sisema, a informação dos aglomerados rurais da região do Alto Velhas corrobora com os observados neste trabalho, dos oito agrupamentos rurais de toda região, cinco se concentram na região agrupada segundo perfil agropecuário. É importante destacar que a média de tamanho dos estabelecimentos rurais na região é de cerca de sete

módulos fiscais, sendo assim um perfil de pequenos produtores relacionados ao comércio local e à subsistência. O papel da agricultura familiar na preservação dos SE é lido de forma distinta quando se compara com grandes produções, sendo que a primeira tem sido relacionada a menor pressão ecossistêmica, menos intensiva e prejudicial ao meio ambiente (GUZMÁN et al., 2022).

Dentre as sub-bacias do alto curso do Rio das Velhas, a nominada Rio do Peixe foi categorizada por sua forte relação com a mineração, situando-se entre os municípios de Nova Lima, Itabirito e Rio Acima. Esta região é de extrema importância para a biodiversidade local e para os SE que são prestados. Na sub-bacia do Rio do Peixe são encontradas 18 barragens de rejeito pertencentes à PNSB (Programa Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010)³, todas ligadas à extração de algum mineral, em especial o minério de Ferro.

Da totalidade, oito possuem alto dano potencial associado. A classificação do dano é referente à Lei nº 12.334/2010 (BRASIL, 2010) que estabelece, em seu art. 7º, que as barragens sejam classificadas por Dano Potencial Associado (alto, médio ou baixo), em função do potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de eventual ruptura da barragem. Destaca-se ainda que outras bacias da região também são influenciadas pela mineração, de forma que quanto maior o valor do PC3, maior é a vocação minerária da área, como é o caso das sub-bacias Itabirito e Macacos. Em regiões de mineração, os impactos diretos e da infraestrutura associada interagem com a provisão de diversos tipos de SE.

Perdas irreversíveis de áreas naturais e danos a ecossistemas terrestres e aquáticos únicos são causados globalmente pela exploração de commodities minerais, por exemplo, devido à remoção de substratos, alterações em aquíferos, destruição de nascentes e concentração de poluentes em cursos d'água (PALMER et al. 2010; MURGUÍA et al. 2016). Além disso, os danos ao SE ao longo da vida da mina não se limitam aos terrenos de uma mina, mas podem se estender espacial e temporalmente pela paisagem (SONTER et al., 2017). Estabelecer planos de gestão de SE para todos os estágios da mineração (do planejamento ou fechamento da mina) requer planejamento específico por meio do engajamento das partes interessadas (ICMM, 2019).

Já às sub-bacias categorizadas como heterogêneas via PCA possuem maior diversidade intragrupo. Ao analisar os componentes principais, é possível observar que aquelas que possuem maiores valores positivos de PC1 como a sub-bacia Juca Vieira estão mais fortemente ligadas a áreas urbanas, que engloba a área urbana de Caeté e parcialmente a de Sabará. Já aquelas como a sub-bacia Casa Branca, Soares, Papagaio possuem valores mais negativos na PC1 e estão mais fortemente ligadas às atividades agropecuárias. As que possuem maiores valores de PC3 estão mais fortemente influenciados pelas

³ As barragens que possuem um dos pré-requisitos devem ser inseridas no PNSB: altura da barragem ≥ 15 m; capacidade total do reservatório $\geq 3.000.000$ m³; reservatório que contém resíduos perigosos; e DPA alto ou médio

práticas minerárias, Funil e Itabirito. Importante destacar que algumas sub-bacias, especialmente as que são categorizadas como heterogêneas, podem possuir a influência de mais de um eixo de interação com os SE, como é o caso da sub-bacia Macacos que é fortemente influenciada pelo processo de urbanização e também pela mineração.

O agrupamento de sub-bacias hidrográficas, considerando os padrões uso e ocupação do solo, informações do CAR, qualidade da água, biodiversidade, dentre outros pode ser um importante norteador para entender um padrão de distribuição de SE e ainda nortear o planejamento de ações assertivas que visem a manutenção e o incremento destes.

4.3.3. Estratégias que fomentam a provisão de SE considerando as características das sub-bacias

O processo de agrupar sub-bacias hidrográficas de acordo com características comuns pode ser uma importante contribuição na definição de estratégias que visem fomentar a provisão de SE múltiplos, uma vez que tal recorte se relaciona a unidades territoriais importantes para a compreensão do ciclo hidrológico e dos processos ambientais associados (ZENG et., 2022). A gestão dos SE é um processo complexo que envolve a tomada de decisões em diferentes níveis e escalas, atores e interesses (ZENG et., 2022).

Além disso, a gestão destes serviços requer uma abordagem interdisciplinar que envolve diferentes áreas do conhecimento, tais como a ecologia, a economia, a sociologia, dentre outras. A complexidade da pauta é inerente as diversas possibilidades de interação entre a biodiversidade, os processos ecológicos e as atividades humanas, e são influenciados por fatores como clima, solo, relevo e histórico de uso do solo. Para além, está relacionada com a necessidade de considerar múltiplos aspectos, tais como as interações entre os componentes do ecossistema, as demandas e necessidades das comunidades locais, as políticas públicas e as leis ambientais existentes.

Este estudo objetivou auxiliar em estratégias que visem a provisão de SE, assim, ancorados nos resultados que já foram apresentados, nos respaldos oferecidos pela literatura e também em um conjunto de iniciativas e estratégias (desconexas e algumas não utilizadas na temática dos SE) oficiais do Estado de Minas Gerais. Desta forma, considerando os agrupamentos outrora citados, diferentes contextos podem requerer estratégias diversas, conhecer as possibilidades e o território pode contribuir na assertividade das ações fomentadas.

Considerando a área de estudo em sua totalidade, algumas ferramentas podem ser comuns, como por exemplo o incentivo para que mais escolas municipais estejam associadas ao Programa Jovem Mineiro, que tem dentre as suas áreas de atuação, possui temáticas voltadas para o meio ambiente. Nessa área, são oferecidos cursos de formação para jovens que desejam atuar em atividades relacionadas à

gestão ambiental, como o monitoramento de recursos hídricos, a gestão de resíduos sólidos e a preservação de ecossistemas degradados. Com isso, o programa contribui para a formação de profissionais capacitados para atuar na conservação dos ecossistemas e na promoção dos SE. A inserção dos conceitos voltados para os SE ainda é muito incipiente quando se considera a conscientização pública, pois ainda carece de maior reconhecimento entre cidadãos e educadores (BARRACOSA et al. 2019). Dessa forma, iniciativas como a do Estado de Minas Gerais podem auxiliar, na educação escolar, a disseminação de tal conceito, suas questões relacionadas e como a vida da sociedade é impactada pela forma como ocorre a relação antrópica com os ecossistemas.

Outra estratégia que pode ser comum em muitos contextos é a adesão a Programas desenvolvido pelo Instituto Estadual de Florestas, como por exemplo uma estratégia que visa parcerias locais para implementação de viveiros florestais, com o objetivo de promover a identificação de matrizes, coleta e beneficiamento de sementes de espécies nativas da flora, produção e destinação de mudas de espécies nativas e exóticas para fins de recuperação e restauração de ecossistemas, considerando a arborização rural e urbana (CAVENDER-BARES et al., 2022; PANYADEE et al., 2022). O importante papel desempenhado pelas árvores na produção de SE é reconhecido na literatura, sendo que estas contribuem para o bem-estar humano sequestrando e armazenando gases de efeito estufa, filtrando poluentes do ar, proporcionando benefícios estéticos e recreativos, fornecendo madeira, alimentos e outros produtos comercializáveis e criando habitat para inúmeras outras espécies (CAVENDER-BARES et al., 2022; IPBES, 2019; BINDER et al., 2017; NOWAK et al., 2014).

Ao se considerar especificamente as sub-bacias mais voltadas para a agropecuária, diversas estratégias podem fomentar a provisão de SE, dentre elas a criação de programas de pagamento por serviços ambientais (PSA). Embora cientes de todas as discussões em torno das definições conceituais, nesta pesquisa Serviços Ambientais e Ecossistêmicos serão considerados sinônimos. Tais programas, PSA, consistem em uma política eficaz na conservação dos SE e são cada vez mais aplicados globalmente (YU et al., 2020; WUNDER, 2005, WUNDER, 2015). Em Minas Gerais, a criação da Lei nº 4.041/2022 institui a Política Estadual de Serviços Ambientais (PESA) que prevê que provedores de serviços ambientais poderão receber recursos financeiros ou outras formas de remuneração ou incentivos pelos importantes serviços prestados (BRASIL, 2022) e tende a favorecer a criação deste tipo de política.

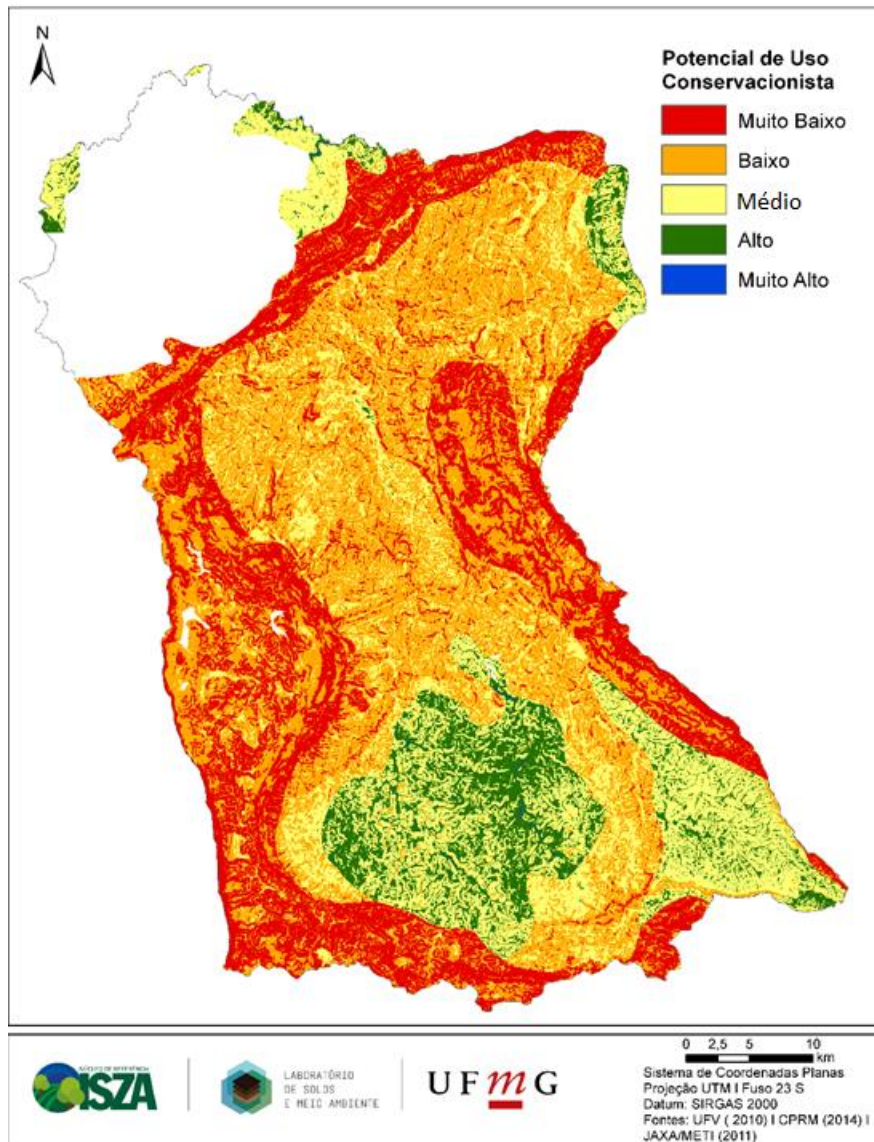
Na literatura, há inúmeros artigos que discorrem sobre critérios que influenciam na efetividade de tais programas, sendo possível citar: a identificação dos SE prioritários, o estabelecimento de critérios de elegibilidade, a definição dos valores a serem pagos, a criação de um fundo específico, monitoramento e avaliação e a inclusão de diversos setores da sociedade (YU et al., 2020; WUNDER 2005; 2015; ENGEL, 2016; BÖRNER et al. 2017). Considerando alguns destes critérios, algumas ferramentas e estratégias já

oficiais de Minas Gerais, ainda não utilizadas em tal contexto, podem direcionar e influenciar na assertividade de implementação de tais programas.

Neste sentido, o uso das metodologias oficiais do Estado de Minas Gerais, como o Zoneamento Ambiental e Produtivo, os Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e o Potencial de Uso Conservacionista, consiste em estratégia importante para direcionar programas de PSA. O Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) é uma metodologia que tem como objetivo orientar o planejamento territorial e a gestão ambiental, considerando as características e potencialidades de cada região. Ele considera as informações sobre o meio ambiente, os recursos naturais, a produção agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico, a fim de identificar as áreas prioritárias para a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável (MINAS GERAIS, 2020). Dessa forma, o ZAP pode ser utilizado para identificar as áreas que prestam SE relevantes e, conseqüentemente, orientar os programas de PSA.

Criado no escopo do ZAP, a metodologia PUC, através das variáveis declividade, solo e litologia, infere sobre o potencial das áreas para recarga hídrica, para atividade agropecuárias e a resistência aos processos erosivos. A aplicação do método PUC para toda área de estudo mostrou resultados coerentes com os encontrados por (MUCIDA et al., 2021), que aferiu para Minas Gerais, as potencialidades e as fragilidades utilizando a mesma metodologia. Ambos os estudos indicam que grande parte do alto curso do Rio das Velhas se encontra em condições de menores valores de PUC. Menores valores de PUC indicam contextos de maiores fragilidades e menor potencial para recarga hídrica, aptidão para usos agropecuários e maior suscetibilidade a processos erosivos (MUCIDA et al., 2022; FREITAS et al., 2022; TENENWURCEL et al., 2020 COSTA et al., 2019). Os resultados da metodologia PUC podem ser vistos na Figura 17.

Figura 17- Distribuição espacial das classes de PUC no alto curso do Rio das Velhas.

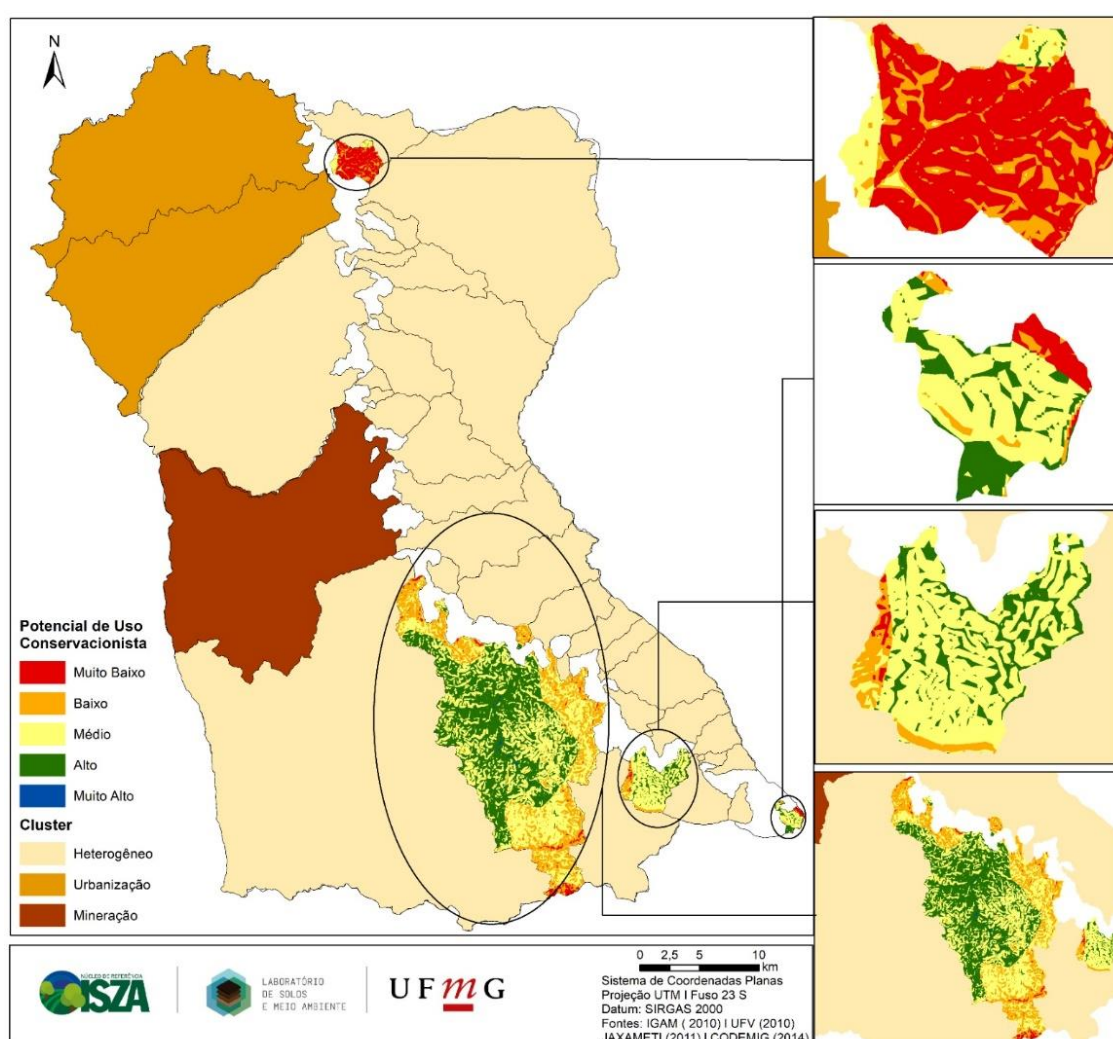


Embora grande parte da área de estudo seja classificada por PUC Muito Baixo e Baixo (aproximadamente 70%), ao analisar área segundo a definição dos agrupamentos aqui propostos (Figura 17 e Tabela 6), um cenário diferenciado para aquelas sub-bacias com maior vocação agropecuária é notada, como visto na Tabela 7 e na Figura 18. Que evidencia que maiores valores de PUC estão associados nestas áreas, quando comparada as demais, de forma que a adoção de manejos adequados pode favorecer além da atividade agropecuária, o processo de recarga hídrica e diminuir a perda o capital natural associado ao solo.

Tabela 7- Percentual de cada classe de PUC considerando a área dos agrupamentos estabelecidos na presente pesquisa.

Perfil	PUC				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Agropecuário	4,64	18,63	44,82	31,68	0,23
Heterogêneo	28,01	41,79	24,09	6,09	0,024
Mineração	34,033	56,191	9,745	0,031	0
Urbanização	32,99	23,03	36,02	7,62	0,33

Figura 18 -PUC evidenciado nos agrupamentos definidos com perfil agropecuário.



A avaliação dos resultados do PUC, pode definir as áreas a serem priorizadas para a implementação de programas de PSA, considerando tanto os potenciais avaliados no método como os serviços prioritários a serem fomentados. Para além, o Programa de Regularização Ambiental (PRA) foi criado pela Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012) com o objetivo de promover a regularização ambiental de imóveis rurais que apresentam passivos ambientais em relação à proteção da vegetação nativa e de

áreas de preservação permanente. O PRA também prevê a elaboração de um plano de recuperação ambiental para a regularização das áreas com passivos ambientais e contém as informações sobre as áreas degradadas, as medidas a serem adotadas para a recuperação ambiental e o prazo para a sua implementação. O documento é elaborado pelo proprietário do imóvel e submetido à análise e aprovação dos órgãos ambientais competentes. Neste sentido, embora já abordado em algumas literaturas, o protagonismo do produtor rural na gestão do capital natural (SHERREN; FISCHER; FAZEY, 2012; SMITH; SULLIVAN, 2014; TILMAN et al., 2002) é apenas tangenciado nos programas relativos à interface dos SE e seus mecanismos de provisão e conservação. Logo, para a manutenção do capital natural e suas interrelações – que resultam em SE e efetividade de políticas públicas –, é necessário compreender os valores e as motivações dos produtores rurais (SMITH; SULLIVAN, 2014) responsáveis pela gestão pontual de parcela significativa de possíveis áreas prestadoras de SE. É importante destacar que governos e corporações detêm o poder decisório em nível macro, enquanto, os agricultores tomam inúmeras decisões no nível micro (SHERREN; FISCHER; FAZEY, 2012). Desta forma, mecanismos que capturem o entendimento e as perspectivas dos agricultores são necessárias, uma vez que, com o processo de intensificação dos sistemas produtivos, em nível global, as decisões individuais por parte dos detentores de terras agrícolas têm impacto nas condições ambientais (SHERREN; FISCHER; FAZEY, 2012).

Dentre as iniciativas oficiais de Minas Gerais, O Programa Diálogos com o Produtor Rural tem como objetivo aproximar os órgãos de governo e o homem do campo, de forma a apoiar o agronegócio para a prática de ações sustentáveis. Por meio dos diálogos, que ocorrem de forma essencialmente presencial, são identificadas e esclarecidas as dúvidas do setor no município ou região, dando ênfase aos serviços ambientais. Já metodologia denominada Indicadores de Sustentabilidade de Agroecossistemas (ISA), contempla abordagens ambientais, econômicas e sociais, no âmbito do estabelecimento rural, de seus gestores e dependentes (FERREIRA et al., 2012; EPAMIG, 2023).

Para a concepção do ISA, baseou-se em uma série de trabalhos na temática de indicadores de sustentabilidade e sobre avaliação de impactos ambientais para o setor agropecuário e florestal. Apoiado na análise de 21 indicadores propostos e com base em limiares pré-definidos, é realizado um diagnóstico da adequação do estabelecimento rural, pautado nos critérios de sustentabilidade e englobando análises da diversidade de renda, evolução patrimonial, segurança alimentar, escolaridade, segurança do trabalho, qualidade da água superficial, diversificação da paisagem agrícola e áreas de preservação permanente, dentre outros (FERREIRA et al., 2012). Considerando sua utilização em programas de PSA, os sistemas de produção que apresentam os melhores indicadores de sustentabilidade podem ser reconhecidos e remunerados, ou ainda, avaliações periódicas do ISA podem indicar a assertividade das práticas adotadas.

Considerando agora os ambientes mais urbanizados para implementação de políticas que visem a provisão de SE, destaca-se que embora mais da metade da população mundial viva em contextos urbanos, a atenção dada aos ecossistemas urbanos na literatura sobre SE ainda é relativamente modesta em comparação com outros ecossistemas como áreas úmidas ou florestas (ERCOLI; MATIAS; ZAGO, 2020). De acordo com Gómez-Baggethun e Barton, 2013 a pesquisa de SE em ecossistemas urbanos ainda representa uma fronteira aberta. Para aumentar a resiliência e a qualidade de vida nas cidades, é crucial considerar a interface entre os custos econômicos e os impactos socioculturais.

Dentre os serviços prestados em tal contexto, podemos citar a redução da poluição do ar, o fornecimento de sombra e frescor, a redução de enchentes, o controle de doenças transmitidas por vetores, a promoção da biodiversidade e a melhoria do bem-estar mental e físico das pessoas. Esses serviços são essenciais para a saúde pública, a economia local e a qualidade de vida dos habitantes das cidades (BOLUND; HUNHAMM, 1999; GÓMEZ-BAGGETHUN; BARTON, 2013). Neste sentido, o conceito de ecossistemas urbanos é definido como áreas densamente povoadas onde as estruturas e infraestruturas construídas cobrem grande parte da superfície terrestre (ERCOLI; MATIAS; ZAGO, 2020). No entanto, a interpretação ecológica dos sistemas urbanos também deve incluir áreas menos densamente povoadas devido a fluxos e influências recíprocas entre áreas densamente e esporadicamente povoadas (RUSSO; CIRELA, 2021).

A saúde e o bem-estar humano são impactados pelas mudanças nas condições ecológicas que resultam das atividades humanas em ambientes urbanos. Para garantir a sustentabilidade, é necessário compreender plenamente as intervenções humanas, tanto diretas quanto indiretas, que afetam os processos ecológicos e o estado do ecossistema. Dentre as estratégias oficializadas pelo estado de Minas Gerais, uma iniciativa denominada Bolsa Reciclagem tem como objetivo o repasse financeiro a cada três meses para catadores de matérias recicláveis. Esses trabalhadores são fundamentais para a cadeia de reciclagem, que contribui para reduzir a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários (SANT'ANA; METELLO, 2016). Além disso, a reciclagem diminui os custos de energia (IPEA, 2010; RIBEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2013) e emissões atmosféricas (SILVA, 2017; BURNEO et al., 2020) através da exploração de matérias-primas virgens. Isso minimiza os impactos ambientais e na saúde causados pela disposição inadequada do lixo.

Outra abordagem que engloba ecossistemas urbanos e seus benefícios para as sociedades, em Minas Gerais, são as diversas unidades de conservação em áreas urbanas, como parques municipais, estaduais e nacionais, reservas biológicas, áreas de proteção ambiental, entre outras. Essas áreas são importantes para a preservação da biodiversidade, controle do uso da terra e educação ambiental. A região metropolitana de Belo Horizonte abriga dezenas de unidades de conservação, como o Parque Estadual da Serra do Rola Moça e APA Sul RMBH-Região Metropolitana de Belo Horizonte, dentre

outras municipais administradas pela Fundação de Parques Municipais, a exemplo do Parque Municipal das Mangabeiras. As Unidades de Conservação são um dos principais pilares da conservação das espécies e da salvaguarda das funções dos ecossistemas (RODRIGUES et al., 2004). A criação e o fortalecimento de Unidades de Conservação urbanas e estratégias educacionais que aproximem a sociedade destes espaços, contribuem para que os ideias de sustentabilidade.

Desta forma, desde o reconhecimento das comunidades quilombolas como categoria social, as comunidades rurais dentro e ao redor das Unidades de Conservação têm sido estimuladas a mobilizar sua identidade para fins econômicos e políticos (PENNA-FIRME; BRONDÍZIO, 2007; LIFSCHITZ, 2008). As comunidades quilombolas Mangueiras e Luizes, em Belo Horizonte, possuem uma importância histórica e cultural significativa para a cidade e para o país. Elas foram formadas por descendentes de escravos que trabalharam nas minas de ouro de Minas Gerais. Essas comunidades se estabeleceram na região da Serra do Curral, próxima ao centro de Belo Horizonte. Infelizmente, as referidas comunidades enfrentam muitos desafios, como a falta de infraestrutura, acesso limitado a serviços básicos como saúde e educação, e a pressão do crescimento urbano que ameaça a sua existência. É importante que o Estado e a sociedade reconheçam a importância dessas comunidades e trabalhem para garantir a sua preservação e desenvolvimento sustentável.

Uma outra possibilidade para a ampliação na provisão de SE urbanos é a criação de espaços verdes voltados para produção de alimentos (ARTMANN, 2009; ARTMANN; SARTISON, 2018, BARTHEL et al., 2019, EDMONDSON et al., 2020). Além de contribuir para a produção de alimentos, é amplamente aceito que a agricultura urbana pode controlar microclimas (OBERNDORFER et al., 2007), aumentar a polinização (LIN et al., 2015), aumentar a biodiversidade (CLUCAS; FELDPAUSCH-PARKER 2018), melhorar as relações sociais (PARK et al., 2019), melhorar a saúde humana (BROWN; JAMETON, 2000) e o bem-estar (RUSSO; CIRELLA, 2019). Neste sentido, a prefeitura de Belo Horizonte incentiva a plantação de hortas urbanas e comunitárias na cidade e fornece mudas e sementes. Além disso, auxilia no desenvolvimento de quintais produtivos, oferecendo oficinas de formação e apoia o processo de organização para a comercialização quando a produção excede o consumo doméstico. A prefeitura também orienta sobre cultivo de alimentos dentro dos princípios da agroecologia, sem uso de agrotóxicos e com baixo consumo de água, buscando a produção sustentável de alimentos saudáveis e recuperando o meio ambiente.

Por fim, será apresentado brevemente algumas possibilidades para que ações que visem a provisão de SE possam ser empregadas em ambientes marcados pela mineração. A mineração pode ter um impacto significativo nos ecossistemas locais, no entanto, há algumas maneiras de aumentar o fornecimento de SE em áreas de mineração. Neste sentido a restauração de ecossistemas degradados é uma maneira

importante de aumentar a provisão de serviços em áreas de mineração. Essa estratégia pode incluir o plantio de árvores, a reintrodução de espécies nativas e a implementação de práticas de mais sustentáveis.

Além disso, as empresas de mineração podem adotar práticas para redução do uso de produtos químicos tóxicos, a utilização de métodos menos invasivos e a reutilização de materiais. As mineradoras podem ainda fazer o uso de tecnologias inovadoras, como drones, sensores e inteligência artificial, o que pode ajudar a monitorar e avaliar os impactos ambientais da mineração e implementar medidas de mitigação.

Neste sentido, os maiores empreendimentos estão inclusos nas previsões da PNSB, que tem dentre os objetivos garantir a segurança das barragens e prevenir acidentes que possam causar danos socioambientais (BRASIL, 2010). A segurança das barragens é essencial para proteger os SE que suas áreas associadas podem oferecer, como a regulação do fluxo de água, a proteção contra enchentes, a geração de energia limpa e a poluição. A PNSB exige que as empresas responsáveis pelas barragens realizem estimativas de risco, planos de segurança e monitoramento constante, entre outras medidas de segurança. Essas medidas ajudam a proteger os ecossistemas que dependem das barragens, bem como as comunidades que vivem nas áreas vizinhas

Outro ponto importante, é a colaboração com as comunidades locais que pode ajudar a identificar as necessidades e desejos locais e implementar soluções que beneficiam tanto o meio ambiente quanto as pessoas. Por fim, as empresas de mineração podem compensar os impactos ambientais por meio de programas de compensação financeira, como a criação de áreas protegidas ou o financiamento de projetos de restauração ambiental.

Assim, ficam evidenciadas inúmeras possibilidades e ferramentas já existentes e que se alinham aos princípios de sustentabilidade e a gestão adequada dos ecossistemas e seus serviços, de forma que com o conhecimento das bases de dados já disponibilizadas, o perfil das áreas de compõem a região e as políticas públicas já criadas e oficializadas é possível vislumbrar direcionamentos assertivos e que se somem a gestão adequada do capital natural e dos seus benefícios para a sociedade.

4.4. Conclusões

Com base nos objetivos propostos, este estudo demonstrou que a integração de bases de dados e ferramentas públicas para compreender a dinâmica da provisão de SE na bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas pode ser uma promissora estratégia para gestão adequada dos recursos naturais. A análise de componentes principais (PCA) reduziu as variáveis em três dimensões, com a PC1 revelando a influência da área urbanizada e da qualidade da água (IQE), indicando que áreas urbanas possuem mais pontos de

IQE ruim. Houve uma relação negativa entre a qualidade da água e a urbanização na região do Alto Rio das Velhas, enquanto as variáveis relacionadas a áreas rurais mostraram uma relação inversa com as variáveis urbanas.

A PCA também mostrou que a PC1 não indicou um impacto negativo das práticas agrícolas não sustentáveis na qualidade da água, possivelmente devido à predominância de agricultura familiar de menor impacto. A PC2 revelou uma relação positiva entre urbanização, intensificação agropecuária e espécies de flora ameaçadas de extinção. Já a PC3 indicou uma relação entre mineração e serviços de provisão de minerais, destacando a necessidade de equilíbrio entre a extração mineral e os impactos nos ecossistemas.

A utilização da PCA simplificou os dados complexos, identificando as principais fontes de variação entre as variáveis e revelando interações e oposições entre as variáveis estudadas. Com base nessa análise, as sub-bacias foram agrupadas em quatro clusters, revelando padrões de uso do solo e SE, sendo que essa abordagem pode auxiliar na compreensão da distribuição dos SE e orientar a implementação de instrumentos de gestão ambiental já existentes.

A gestão dos SE requer uma abordagem interdisciplinar, com estratégias como programas de educação ambiental, parcerias locais para recuperação de ecossistemas, programas de PSA e utilização de metodologias oficiais para identificar áreas prioritárias de conservação. Em ambientes urbanos, os ecossistemas urbanos desempenham papéis importantes na redução da poluição do ar e no fornecimento de bem-estar. Recomenda-se a criação de espaços verdes e hortas urbanas para promover a produção de alimentos sustentáveis. Nas áreas de mineração, a restauração de ecossistemas degradados e a adoção de práticas sustentáveis são essenciais para aumentar a provisão de SE.

A integração estatística das variáveis permitiu definir o perfil das sub-bacias e propor diferentes estratégias oficiais para fomentar a provisão de SE múltiplos na região. Assim, esse trabalho contribuiu para uma melhor gestão e uso sustentável dos ecossistemas e seus serviços na região, visando a promoção do bem-estar humano e a conservação do capital natural, ou seja, identificar as características específicas de cada sub-bacia em relação à provisão de SE.

4.5. Referências

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services - A global review. **Geoderma**, v. 262, p. 101–111, 2016.

ARTMANN, M. Spatial dimensions of soil sealing management in growing and shrinking cities—A systemic multi-scale analysis in Germany. **Erdkunde**, p. 249–264, 2013.

ARTMANN, M.; SARTISON, K. O papel da agricultura urbana como uma solução baseada na natureza: uma revisão para o desenvolvimento de uma estrutura de avaliação sistêmica. **Sustentabilidade**, 2018.

BARRACOSA, H., C. B. et al. Ocean literacy to mainstream ecosystem services concept in formal and informal education: the example of coastal ecosystems of southern Portugal. **Frontiers in Marine Science**, p. 1-10, 2019.

BARTHEL et al., Global Urbanization and Food Production in Direct Competition for Land: Leverage places to Mitigate Impacts on SDG2 and on the Earth System. **The Anthropocene Review**, 2019.

BINDER S. et al. Assessment and Valuation of Forest Ecosystem Services: State of the Science Review. **General Technical Report**, United States Department of Agriculture, 2017.

BIRGÉ, H. E., BEVANS, R. A., ALLEN, C. R., ANGELER, D. G., BAER, S. G., Wall, D. H. Adaptive management for soil ecosystem services. **J. Environ. Manage.** 183, 371–378, 2016.

BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. **Ecol. Econ.**, p. 293–301, 1999.

BÖRNER, J. The effectiveness of payments for environmental services. **World Dev.** 96, 359–374, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. **Diário Oficial da União, Brasília**, Brasília, DF, 21 set. 2010. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais e cria o Cadastro Nacional de PSA. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 14 jan. 2021. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da**

União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**, DF, 28 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 12 abr. 2023.

BROWN, K. H.; JAMETON A. L. Jameton Public health implications of urban agriculture **J. Public Health Policy**, 2000.

BURNEO, D.; CANSINO, J. M.; YÑIGUEZ, R. Environmental and socioeconomic impacts of urban waste recycling as part of circular economy. The case of cuenca (Ecuador). **Sustain**, 2020.

CAVENDER-BARES J. M et al. The hidden value of trees: Quantifying the ecosystem services of tree lineages and their major threats across the contiguous US. **PLOS Sustain Transform**, 2022.

CENTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA FLORA. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Livro Vermelho da Flora do Brasil**, 2013. Disponível em: <http://www.cncflora.jbrj.gov.br/portal>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

CHU, K. et al. Modified Principal Component Analysis for Identifying Key Environmental Indicators and Application to a Large-Scale Tidal Flat Reclamation. *Water* **2018**, *10*, 69. <https://doi.org/10.3390/w10010069>.

CLUCAS, I. D. PARKER, A.M. FELDPAUSCH-PARKER A. systematic review of the relationship between urban agriculture and biodiversity **Urban Ecosystems**, 2018.

COELHO-JUNIOR, M. G. et al. Brazil's policies threaten Quilombola communities and their lands amid the COVID-19 pandemic. **Ecosystems and People**, v. 23, p. 384-386, 2020.

CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP). Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas - **COP 21**, Paris, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/cop21>. Acesso em: 12 abr. 2023.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO DAS VELHAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas: Resumo** Executivo. Belo Horizonte: [s.n.].

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** TA - TT -, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.

COSTA, A. M. et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Revista GEOgrafias**, v. 14, nº1, p. 118-133, junho, 2017.

COSTA, A. M. et al. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte-MG. **Revista GEOgrafias**, v. 27, p. 127-147, 2019

CONVENÇÃO SOBRE DIVERSIDADE BIOLÓGICA. Convenção sobre Diversidade Biológica. Rio de Janeiro, 1992.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington, 1997.

DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, n. 9, p. 1858–1868, 2010.

EDMONDSON, I. et al. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. **Sci. Rep.**, 2016.

EMATER - MG. **Metodologia criada pela EPAMIG e aplicada pela EMATER-MG auxilia na gestão sustentável de propriedades rurais de minas gerais**. Disponível em: <http://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=23080>. Acesso em: 30 dez. 2020.

ENGEL, S. The devil in the detail: a practical guide on designing payments for environmental services. **Int. Rev. Environ. Resour. Econ.** 9, 131–177, 2016,

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.6.1, Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, Inc., 2018.

EPAMIG. **Projeto de adequação socioeconômica e ambiental das propriedades rurais**.

ERCOLI, R. F.; MATIAS, V. R. S.; ZAGO, V. C. P. Urban Expansion and Erosion Processes in an Area of Environmental Protection in Nova Lima, Minas Gerais State, Br

FERREIRA, J. M. L. et al. Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, v. 33, p. 12–25, 2012. azil. *Frontiers in Environmental Science*, V. 8, P. 1-16, 2020.

FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. Biodiversidade em Minas Gerais: Atlas de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade. Belo Horizonte: **Fundação Biodiversitas**, 2005.

FREITAS, L. D. et al. How Far Can Nature-Based Solutions Increase Water Supply Resilience to Climate Change in One of the Most Important Brazilian Watersheds? *Earth*, 3, p. 748-767, 2022.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecol. Econ.*, 86, P. 235–245, 2013.

GUZMÁN, G. I. et al. The close relationship between biophysical degradation, ecosystem services and family farms decline in Spanish agriculture (1992–2017). *Ecosystem Services*, v. 56, 2022.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), Version 4.3. **Report to the European Environment Agency EEA/BSS/07/007**. Retrieved from www.cices.eu, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base de Informações Geográficas e Estatísticas sobre os indígenas e quilombolas para enfrentamento à Covid-19, 2020.

INTERGOVERNMENTAL PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES (IPBE). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA (IPEA). Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos. Brasília, Brazil: Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. 2010.

IDESISEMA. WebGIS - Ferramenta de Consulta Espacial. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 12 abr. 2023.

LEMOS, R. S. **A integração da gestão territorial a partir da política das águas**. Orientador: Dr. Antônio Pereira Magalhaes Junior. 2018. 259 f. Tese (doutorado) – Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

JÓNSSON, J. Ö. G., and DAVÍÐSDÓTTIR, B. Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricult. Syst.* 145, 24–38, 2016.

LINDERHOF, V.; DE LANGE, T.; REINHARD, S. The Dilemmas of Water Quality and Food Security Interactions in Low- and Middle-Income Countries. *Frontiers in Water*, v. 3, p. 736760, 1 nov. 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/frwa.2021.736760>. Acesso em: 15 abr. 2023.

LIFSCHITZ, J. A. Percursos de uma neocomunidade quilombola: entre a “modernidade” Afro e a “tradição” Pentecostal. *Afro-Ásia*, p. 53–173. 2008.

LIN, B. B. et al. Urban Agriculture as a Productive Green Infrastructure for Environmental and Social Well-Being. In **Greening Cities**, Springer, P.Y. Tan, C.Y. Jim (Eds.), Singapore, 2017.

MAES, J. et al. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU Biodiversity Strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, 14-23, 2016.

MAPBIOMAS. MapBiomas Collection 5.0 [tipo de dado]. São Paulo: MapBiomas, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 13 de abril de 2023.

MEA. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. **Earthscan**, 2013.

MENDES, I. A. da S.; COSTA, A. M. Mudança temporal no uso e cobertura da terra na bacia do alto rio das Velhas. **RA'EGA**, Curitiba, PR, v. 55, p. 154–175, dez. 2022.

MINAS GERAIS. **Assembleia Legislativa. Projeto de Lei nº 4.041, de 2022**. Institui a Política Estadual de Serviços Ambientais em Minas Gerais, cria o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 2022.

MINAS GERAIS. Comitê Gestor do Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP). Deliberação nº 24, de 30 de agosto de 2022: **COMITÊ GESTOR DO ZONEAMENTO AMBIENTAL E PRODUTIVO**, Belo Horizonte, 30 de agosto de 2022.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG. P. 297, 2013.

MODESTO JUNIOR, E. N.; GOMES, P. W. P.; MURIBECA, A. J. B.; ASSIS, R. N.; SOUZA, R. F. Perfil sensorial e de qualidade do mel comercializado no município de Salvaterra – Ilha do Marajó – Pará. *Enciclopédia Biosfera*, v. 10, n. 19, p. 1448-57, 2014.

MUCIDA, D. P et al., 2023. Designing optimal agrosilvopastoral landscape by the potential for conservation use in Brazil, *Sustainable Horizons*, Volume 5, 2023, 100045, ISSN 2772-7378, <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100045>.

NAKAJIMA, J. N. et al. Comparative analysis of red lists of the Brazilian flora: Asteraceae. **Rodriguésia**, 63(1), 039-054, 2012.

NOWAK, D. et al. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. **Environmental Pollution**, 2014.

OBERNDORFER, E. et al. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. **BioScience**, p. 823-833, 2007.

PALACIOS-AGUNDEZ, I. et al. Teaching the ecosystem service concept: experience from academia. **Ecology and Society**, 27(3), 2, 2022. <https://doi.org/10.5751/ES-13286-270302>.

PANYADEE, P. et al. Sustainability Ethnobotany and Ecosystem Services in a Tidal Forest in Thailand. **Sustainability**, v. 14, p. 6322, 2022.

PENNA-FIRME, R.; BRONDÍZIO, E. The risks of commodifying poverty: rural communities, quilombola identity, and nature conservation in Brazil. **Habitus**, v. 5, n. 2, p. 355-373, 2007.

PARK, M. K. et al. Urban food systems that involve trees in Northern America and Europe: A scoping review. **Urban For. Urban Greening**, 2019.

PETTORELLI, N. et al. Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. **Remote Sens. Ecol. Conserv.**, 2, 122–131, <https://doi.org/10.1002/rse2.15>, 2016.

PRIYADARSHINI, I. et al. Water pollution reduction for sustainable urban development using machine learning techniques. **Cities**, 130, 103970, 2022.

RODRIGUES, A. S. L. et al. Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. **Nature**, p. 640–643, 2004.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/mg – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**, p. 34–50, 2010.

RIBEIRO, L. C. S.; FREITAS, L. F. S.; CARVALHO, J. T. A.; OLIVEIRA FILHO, J. D. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: Um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do estado do Rio De Janeiro. Nov. **Econ**, p.191-214, 2014.

RUSSO, A.; CIRELLA, G. T. Urban Ecosystem Services: New Findings for Landscape Architects, Urban Planners, and Policy makers. **Land**, 2021.

SANT'ANA, D.; METELLO, D. Reciclagem e inclusão social no Brasil: balanço e desafios. Pereira, B. C. J.; Goes, F. L. (Org.) **Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional**. Rio de Janeiro, Brazil: Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. 2016.

SCHRÖTER, Matthias et al. Ecosystem Services as a Contested Concept: a Synthesis of Critique and Counter-Arguments. **Conservation Letters**, [S.l.], v. 7, n. 6, p. 514-523, nov. 2014. Wiley Online Library. <HTTP://DX.DOI.ORG/10.1111/CONL.12111>.

SHERREN, K.; FISCHER, J.; PRICE, R. Using photography to elicit grazier values and management practices relating to tree survival and recruitment. **Land Use Policy**, p. 1056–1067, 2010.

SILVA, F. R. **a Paisagem Do Quadrilátero Ferrífero, Mg: Potencial Para O Uso Turístico Da Sua Geologia E Geomorfologia**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

SILVA, S. et al. A. Situação social das catadoras e dos catadores de material reciclável. Brasília, Brazil: Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA). 2013.

SILVA, S. P. A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária. Rio de Janeiro, Brazil: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 2018.

SMITH, H. F.; SULLIVAN, C. A. Ecosystem services within agricultural landscapes – Farmers' perceptions. **Ecological Economics, Amsterdam**, v. 98, p. 72-80, 2014.

SONTER, L. J., et al. Mining drives extensive deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Communications**, 8, 1–7, 2017.

TENENWURCEL, M. A et al. L. An improved model for the evaluation of groundwater recharge based on the concept of conservative use potential: A study in the river Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12041001>.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). **Mapeamento de solos de Minas Gerais. Departamento de Solos**. Softwares. Disponível em: <https://dps.ufv.br/software/>. Acesso em: 13 de abril 2023.

WUNDER, S. Payments for Environmental Services: Some Nuts and Bolts. **Center for INTERNATIONAL FORESTRY RESEARCH (CIFOR)**, 2005.

WUNDER, S. Revisiting the concept of payments for environmental services. **Ecol. Econ.** 117, 234–243, 2015.

YANG, Q. et al. Environmental regulation, pollution reduction and green innovation: The case of the chinese water ecological civilization City pilot policy. **Economic Systems**, 45(4), Article 100911, 2021.

YU, H. et al. From payments for ecosystem services to eco-compensation: Conceptual change or paradigm shift? **Science of the Total Environment**, 2020.

ZENG J, et al., Trade-Off and Synergies of Ecosystem Services Values of a Representative Resources-Based Urban Ecosystem: A Coupled Modeling Framework Applied to Panzhuhua City, China. **Remote Sensing**. 2022; 14(20):528.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos propostos, esta tese buscou oferecer subsídios para a elaboração de políticas públicas que visem a conservação dos serviços ecossistêmicos no alto curso do Rio das Velhas, por meio do uso de base de dados e ferramentas analíticas oficiais, gratuitas e facilmente disponíveis, que democratizam informações e contribuem para a sustentabilidade das bacias hidrográficas. O estudo identificou áreas com maior potencial de prestação de serviços ecossistêmicos, avaliou a adequação da metodologia PUC como ferramenta para avaliação desses serviços, e identificou variáveis públicas de fácil acesso que se relacionam com a provisão de serviços ecossistêmicos múltiplos.

Destacou-se que o conceito de serviços ecossistêmicos deve ser incorporado ao processo de gestão dos recursos naturais, com ajustes na forma como as informações são produzidas nas pesquisas científicas. É necessário considerar aspectos econômicos e a participação social de forma integrada, além de definir métricas capazes de representar a complexidade dos ecossistemas e de tornar os resultados práticos e compreensíveis para tomadores de decisão e a sociedade em geral.

A matriz PUC foi considerada uma ferramenta importante para entender a distribuição dos diferentes usos e ocupação do solo nas áreas de maiores aptidões e limitações no Alto Velhas, o que é fundamental para o ordenamento adequado do território e a implementação de políticas públicas que fomentem o incremento na provisão de serviços ecossistêmicos.

A integração de bases de dados e ferramentas públicas para compreender a dinâmica da provisão de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do Alto Rio das Velhas foi considerada uma estratégia promissora para a gestão adequada dos recursos naturais. A análise estatística das variáveis permitiu a definição do perfil das sub-bacias e a proposição de estratégias para fomentar a prestação de serviços ecossistêmicos múltiplos na região.

ANEXO A – Detalhamento da metodologia PUC

Todas as etapas da metodologia PUC podem ser encontradas em publicações científicas, permitindo a replicação do método em diferentes contextos. Para atribuir notas às diferentes classes de declividade, solo e litologia, utilizaram-se as informações do artigo intitulado "*Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais*", disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439>. As notas para cada classe de declividade podem ser encontradas na Tabela 8.

Tabela 8 - Notas atribuídas para as classes de declividade

Declividade (%)	Tipos de forma	Nota PUC
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso a Escarpado	1

Já as notas atribuídas as classes da variável solo podem ser observadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Notas atribuídas para as classes de solo

Classe de solo	Nota PUC
Latossolo	4,7
Cambissolo	2,6
Argissolo	4,0
Vertissolo	1,9
Plintossolo	2,4
Planossolo	1,6
Gleissolo	2,0
Organossolo	1,2
Chernossolo	2,4
Espodossolo	1,0
Nitossolo	5,0
Luvissolo	2,3
Neossolo	1,2

Tabela 10 - Notas atribuídas as classes de litologias

Litologia	Nota PUC
Agalmatolito	1,4
Andesito	2,5
Anfibolito	2,7
Anortositos	2,4
Arcósio	1,2
Ardósia	1,4
Arenito	1,1
Argilito	1,3
Basalto	3,1
BombaseBrechas Vulcânicas	2,5
Calcário	4,1
Calxisto	4,9
Charnockito	1,8
Conglomerado	1,1
Dacito	2,1
Diabásio	2,9
Diamictito	1,2
Diorito	2,3
Paragnaisse	1,7
Pelito	1,5
Peridotito	2,6
Piroxenito	3,2
Quartzitos	1
Quartzo-Diorito	1,7
Quartzomonzonito	1,6
Riolito	1,8
RochaMetaultramáfica	2,5
RochasUltramáficasAlcalinas	2,4
SedimentosClásticos	1,2
SedimentosInconsolidados(colúvioalúvioeelúvio)	1,2
Sienito.	2
Silito	1,2
Sub-grauvacas.	1,3
Tonalito	1,9
Traquito.	2
Xisto.	1,3
Dolomito.	3,9
Dunito	2,7
Enderbito	2
Estauroлита	2,9
Evaporito	4

Filito	1,4
Folhelho	1,8
Fonolito	2,1
FormaçãoFerrífera	1,2
Gabro	2,7
Gnaisse	1,7
Granito	1,5
Granodiorito	1,7
Granulito	2,1
Grauvaca	1,3
Itabirito	1,2
Kimberlito.	2,6
Marga	5
Mármore.	4,2
Meta-arenitos	1,2
Meta-argilito	1,4
Metabásicas	2,8
Metaconglomerado	1,5
Metadiamicrito	1,2
Metagrauvaca	1,2
Metapelitos	1,4
Metassedimentosclásticos	1,2
Metassilito.	1,3
Metaultramáfica	2,5
Metavulcânica	2,8
Migmatitos	2,7
Milonitos	1,3
Monzogranito	1,5
Monzonito	1,9
NefelinaSienito	1,8
Ortognaisse	1,7
Dolomito.	3,9
Dunito	2,7
Enderbito	2
Estaurolita	2,9
Evaporito	4
Filito	1,4
Folhelho	1,8
Fonolito	2,1
FormaçãoFerrífera	1,2
Gabro	2,7
Gnaisse	1,7
Granito	1,5
Granodiorito	1,7

Granulito	2,1
Grauvaca	1,3
Itabirito	1,2
Kimberlito.	2,6
Marga	5
Paragnaisse	1,7
Pelito	1,5
Peridotito	2,6
Piroxenito	3,2
Quartzitos	1
Quartzo-Diorito	1,7
Quartzomonzonito	1,6
Riolito	1,8
RochaMetaultramáfica	2,5
RochasUltramáficasAlcalinas	2,4
SedimentosClásticos	1,2
SedimentosInconsolidados(colúvioalúvioeelúvio)	1,2
Sienito.	2
Siltito	1,2
Sub-grauvacas.	1,3
Tonalito	1,9
Traquito.	2
Xisto.	1,3

Para além é importante ressaltar que foram realizados pré-processamentos nos dados vetoriais e matriciais, incluindo a padronização do sistema de coordenadas para a projeção plana Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e *datum* SIRGAS2000, a fim de permitir cálculos de área mais confiáveis. O pré-processamento envolveu o uso de um retângulo envolvente para evitar perdas de informações nas bordas dos *rasters* ao recortar a área de estudo. As notas PUC para às classes de declividade, solos e litologias, foram inseridos na Tabela de Atributos e rasterizados usando a ferramenta *polygon to raster*. Para a álgebra de mapas, foram utilizadas as indicações encontradas na publicação intitulada “*Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte – MG*”. O esquema metodológico pode ser visto na Figura 19, onde as variáveis declividade, solo e litologia correspondem respectivamente a 50%, 39% e 11% dos resultados.

Figura 19- Esquema metodológico para aplicação do método PUC



ANEXO B – Script em linguagem python, desenvolvido no google colaborat

O Anexo 2 consiste nas operações executadas no ambiente do Google Colaboratory, utilizando a linguagem Python. A disponibilização do script tem como objetivo facilitar o acesso e promover a democratização das informações relacionadas à incorporação do conceito de SE em tomadas de decisões, projetos e políticas públicas. Além disso, proporciona à comunidade científica a oportunidade de replicar os métodos utilizados.

5.1.1. Script Google Colaboratory

```
import pandas as pd
from factor_analyzer import FactorAnalyzer
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

%matplotlib inline

baseCompleta = pd.read_csv('baseConsolidada.csv', index_col='Unnamed: 0')

_tmp = baseCompleta.copy()

colunas = list(_tmp.columns)[2:43]

colunas

['Area Prioritaria - Extremamente Alta (ha)',
'Area Prioritaria - Muito Alta (ha)',
'App Recomposição - Qtd Imóveis',
'Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
'Area Prioritaria - Manejo (ha)',
'Area de Drenagem - Area (ha)',
'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
'Area de Uso - Mineração (ha)',
'Area de Uso - Outras Lavouras Temporárias (ha)',
'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
'Area de Uso - Rio, Lago e Oceano (ha)',
'Area de Uso - Soja (ha)',
'Area de Uso - Café (ha)',
'Area de Uso - Floresta Plantada (ha)',
'Area de Uso - Formação Campestre (ha)',
'Area de Uso - Formação Florestal (ha)',
'Area de Uso - Formação Savanica (ha)',
'Area de Uso - Mosaíco de usos agropecuária (ha)',
'Area de Uso - Outras Lavouras Perenes (ha)',
'Area de Uso - Pastagem (ha)',
'Area de Uso - sem informação (ha)',
'Area de Uso - Área urbanizada (ha)',
'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',
'Car - Qtd Imóveis',
'Área de uso restrito que precisa de recomposição - - Area (ha)',
'IQE - Bom (ha)',
'IQE - Médio (ha)',
'IQE - Ruim (ha)',
'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',
'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',
'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência',
'Nascentes - Qtd',
```

```
'PUC - Alto (ha)',
'PUC - Baixo (ha)',
'PUC - Muito Alto (ha)',
'PUC - Muito Baixo (ha)',
'PUC - Médio (ha)',
'Recomposição RL - Qtd Imoveis',
'Sítios Arqueológicos - Qtd',
'UC - Area (ha)',
'Ocorrência Minerais - Qtd']
```

```
ColunasQtd = [ 'App Recomposição - Qtd Imoveis',
               'Car - Qtd Imoveis',
               'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',
               #'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',
               'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência',
               'Nascentes - Qtd',
               'Recomposição RL - Qtd Imoveis',
               #'Sítios Arqueológicos - Qtd'
             ]
```

```
ColunasHa = ['Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
             'Area de Drenagem - Area (ha)',
             #'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
             'Area de Uso - Mineração (ha)',
             'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
             'Area de Uso - Área urbanizada (ha)', 'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',

             'PUC - Médio (ha)', 'Area de Uso - Agropecuaria e silvicultura (ha)',
             'PUC - Alto e Muito Alto (ha)', 'PUC - Baixo e Muito Baixo (ha)',
             'Area de Uso - Areas Naturais (ha)']
```

```
baseCompletaTradado = baseCompleta.copy()
```

```
for c in colunas:
```

```
    baseCompletaTradado[c] = baseCompleta[c] / baseCompleta['Area Total (ha)']
```

trata as colunas quantitativas/area total

```
baseCompletaTradado.columns
```

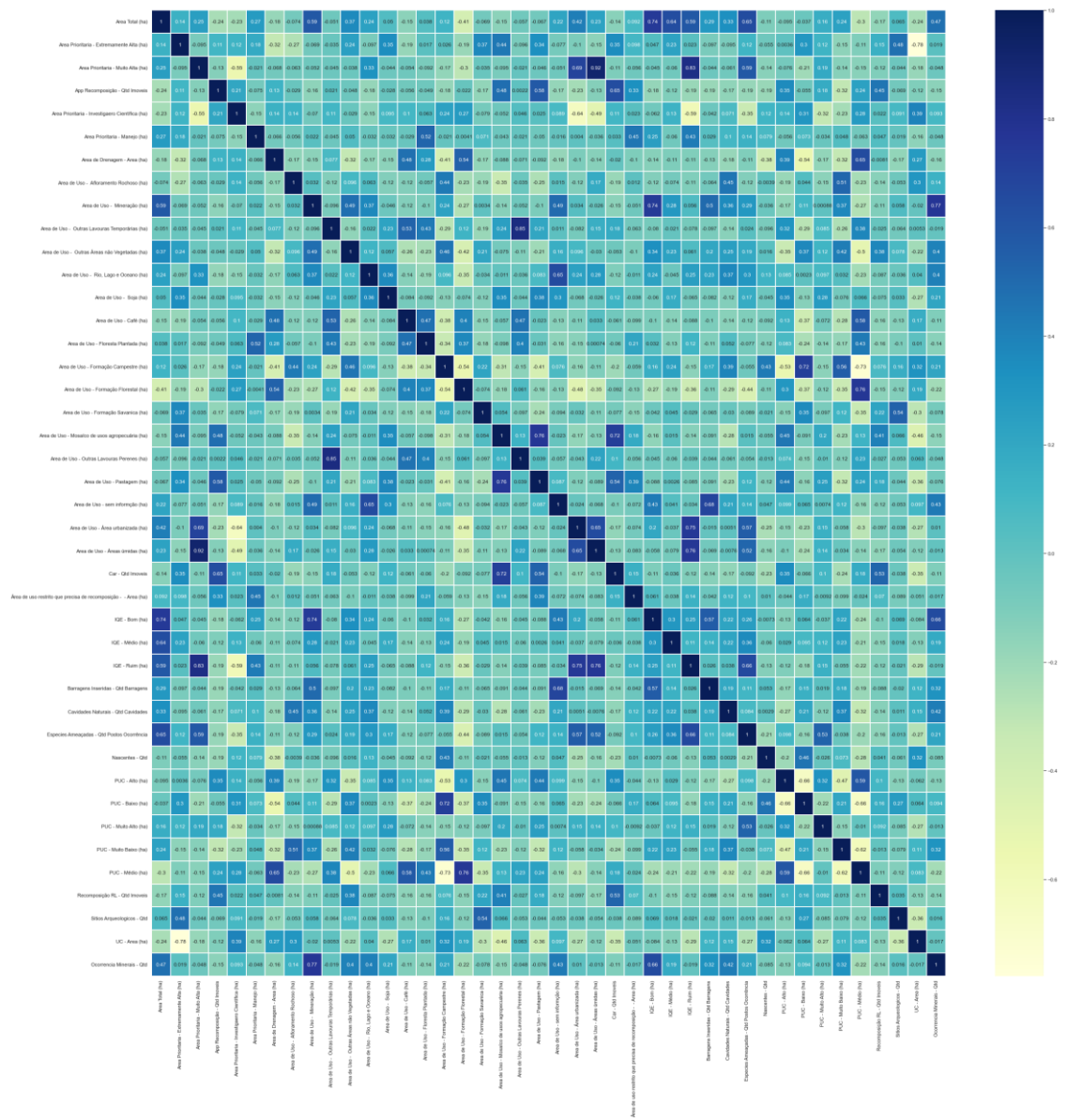
```
Index(['Sub Bacia', 'Area Total (ha)',
       'Area Prioritaria - Extremamente Alta (ha)',
       'Area Prioritaria - Muito Alta (ha)', 'App Recomposição - Qtd Imoveis',
       'Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
       'Area Prioritaria - Manejo (ha)', 'Area de Drenagem - Area (ha)',
       'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
       'Area de Uso - Mineração (ha)',
       'Area de Uso - Outras Lavouras Temporárias (ha)',
       'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
       'Area de Uso - Rio, Lago e Oceano (ha)', 'Area de Uso - Soja (ha)',
       'Area de Uso - Café (ha)', 'Area de Uso - Floresta Plantada (ha)',
       'Area de Uso - Formação Campestre (ha)',
       'Area de Uso - Formação Florestal (ha)',
       'Area de Uso - Formação Savanica (ha)',
       'Area de Uso - Mosaíco de usos agropecuária (ha)',
       'Area de Uso - Outras Lavouras Perenes (ha)',
       'Area de Uso - Pastagem (ha)', 'Area de Uso - sem informação (ha)',
       'Area de Uso - Área urbanizada (ha)', 'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',
       'Car - Qtd Imoveis',
       'Área de uso restrito que precisa de recomposição - - Area (ha)',
```

```
'IQE - Bom (ha)', 'IQE - Médio (ha)', 'IQE - Ruim (ha)',  
'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',  
'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',  
'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência', 'Nascentes - Qtd',  
'PUC - Alto (ha)', 'PUC - Baixo (ha)', 'PUC - Muito Alto (ha)',  
'PUC - Muito Baixo (ha)', 'PUC - Médio (ha)',  
'Recomposição RL - Qtd Imóveis', 'Sitios Arqueologicos - Qtd',  
'UC - Area (ha)', 'Ocorrência Minerais - Qtd'],  
dtype='object')
```

Correlação das variáveis

```
import seaborn as sns
```

```
plt.figure(figsize=(40,40))  
sns.set(font_scale=1)  
sns_plot = sns.heatmap(baseCompletaTradado.corr(), linewidths=.1, linecolor='#ffffff',  
,  
cmap='YlGnBu', xticklabels=1, yticklabels=1, annot=True)
```




```

import pandas as pd
from factor_analyzer import FactorAnalyzer
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

%matplotlib inline

baseCompleta = pd.read_csv('baseConsolidada.csv', index_col='Unnamed: 0')

_tmp = baseCompleta.copy()

colunas = list(_tmp.columns)[2:43]

colunas

['Area Prioritaria - Extremamente Alta (ha)',
'Area Prioritaria - Muito Alta (ha)',
'App Recomposição - Qtd Imoveis',
'Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
'Area Prioritaria - Manejo (ha)',
'Area de Drenagem - Area (ha)',
'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
'Area de Uso - Mineração (ha)',
'Area de Uso - Outras Lavouras Temporárias (ha)',
'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
'Area de Uso - Rio, Lago e Oceano (ha)',
'Area de Uso - Soja (ha)',
'Area de Uso - Café (ha)',
'Area de Uso - Floresta Plantada (ha)',
'Area de Uso - Formação Campestre (ha)',
'Area de Uso - Formação Florestal (ha)',
'Area de Uso - Formação Savanica (ha)',
'Area de Uso - Mosaíco de usos agropecuária (ha)',
'Area de Uso - Outras Lavouras Perenes (ha)',
'Area de Uso - Pastagem (ha)',
'Area de Uso - sem informação (ha)',
'Area de Uso - Área urbanizada (ha)',
'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',
'Car - Qtd Imoveis',
'Área de uso restrito que precisa de recomposição - - Area (ha)',
'IQE - Bom (ha)',
'IQE - Médio (ha)',
'IQE - Ruim (ha)',
'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',
'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',
'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência',
'Nascentes - Qtd',
'PUC - Alto (ha)',
'PUC - Baixo (ha)',
'PUC - Muito Alto (ha)',
'PUC - Muito Baixo (ha)',
'PUC - Médio (ha)',
'Recomposição RL - Qtd Imoveis',
'Sitios Arqueologicos - Qtd',
'UC - Area (ha)',
'Ocorrencia Minerais - Qtd']

ColunasQtd = [ 'App Recomposição - Qtd Imoveis',
               'Car - Qtd Imoveis',
               'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',

```

```

    #'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',
    'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência',
    'Nascentes - Qtd',
    'Recomposição RL - Qtd Imóveis',
    #'Sítios Arqueológicos - Qtd'
]

```

```

ColunasHa = ['Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
             'Area de Drenagem - Area (ha)',
             #'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
             'Area de Uso - Mineração (ha)',
             'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
             'Area de Uso - Área urbanizada (ha)', 'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',

             'PUC - Médio (ha)', 'Area de Uso - Agropecuaria e silvicultura (ha)',
             'PUC - Alto e Muito Alto (ha)', 'PUC - Baixo e Muito Baixo (ha)',
             'Area de Uso - Areas Naturais (ha)']

```

```
baseCompletaTradado = baseCompleta.copy()
```

```

for c in colunas:
    baseCompletaTradado[c] = baseCompleta[c] / baseCompleta['Area Total (ha)']

```

trata as colunas quantitativas/area total

```
baseCompletaTradado.columns
```

```

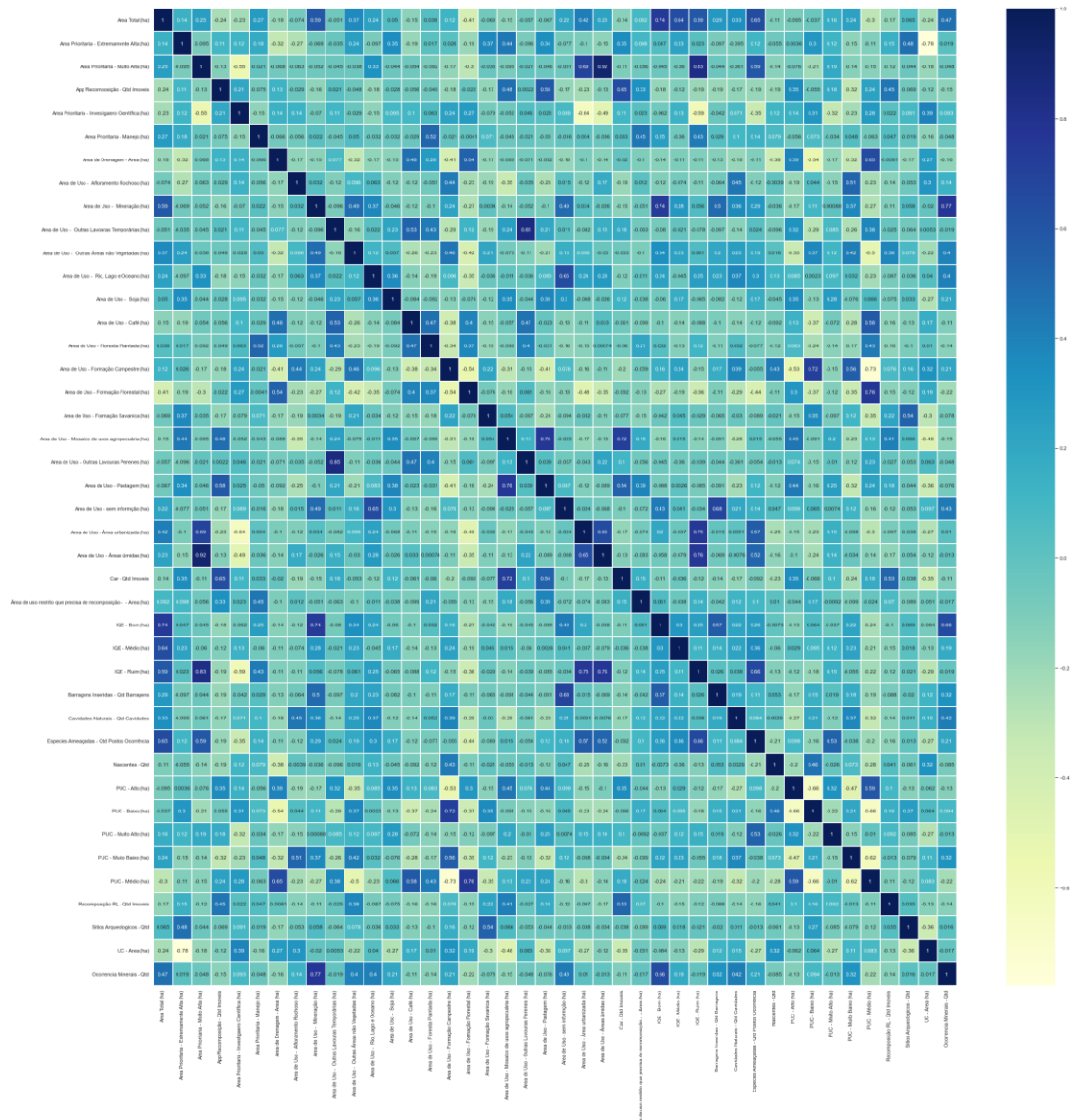
Index(['Sub Bacia', 'Area Total (ha)',
       'Area Prioritaria - Extremamente Alta (ha)',
       'Area Prioritaria - Muito Alta (ha)', 'App Recomposição - Qtd Imóveis',
       'Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
       'Area Prioritaria - Manejo (ha)', 'Area de Drenagem - Area (ha)',
       'Area de Uso - Afloramento Rochoso (ha)',
       'Area de Uso - Mineração (ha)',
       'Area de Uso - Outras Lavouras Temporárias (ha)',
       'Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',
       'Area de Uso - Rio, Lago e Oceano (ha)', 'Area de Uso - Soja (ha)',
       'Area de Uso - Café (ha)', 'Area de Uso - Floresta Plantada (ha)',
       'Area de Uso - Formação Campestre (ha)',
       'Area de Uso - Formação Florestal (ha)',
       'Area de Uso - Formação Savanica (ha)',
       'Area de Uso - Mosaíco de usos agropecuária (ha)',
       'Area de Uso - Outras Lavouras Perenes (ha)',
       'Area de Uso - Pastagem (ha)', 'Area de Uso - sem informação (ha)',
       'Area de Uso - Área urbanizada (ha)', 'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',
       'Car - Qtd Imóveis',
       'Área de uso restrito que precisa de recomposição - - Area (ha)',
       'IQE - Bom (ha)', 'IQE - Médio (ha)', 'IQE - Ruim (ha)',
       'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',
       'Cavidades Naturais - Qtd Cavidades',
       'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência', 'Nascentes - Qtd',
       'PUC - Alto (ha)', 'PUC - Baixo (ha)', 'PUC - Muito Alto (ha)',
       'PUC - Muito Baixo (ha)', 'PUC - Médio (ha)',
       'Recomposição RL - Qtd Imóveis', 'Sítios Arqueológicos - Qtd',
       'UC - Area (ha)', 'Ocorrência Minerais - Qtd'],
      dtype='object')

```

Correlação das variáveis

```
import seaborn as sns
```

```
plt.figure(figsize=(40,40))
sns.set(font_scale=1)
sns_plot = sns.heatmap(baseCompletaTradado.corr(), linewidths=.1, linecolor='#ffffff',
,
cmap='YlGnBu', xticklabels=1, yticklabels=1, annot=True)
```



Teste análise fatorial

```
tmp_columns = [
'App Reconstrução - Qtd Imóveis',#2
'Car - Qtd Imóveis',#2
'Area de Uso - Mosaico de usos agropecuária (ha)',# 'Area de Uso - Agropecuaria e si
lvicultura (ha)',#2
'Area de Uso - Pastagem (ha)',
```

```

#'Barragens Inseridas - Qtd Barragens',
##'Recomposição RL - Qtd Imoveis',#2
#'% Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',#3
#'% Area de Drenagem - Area (ha)',#1

'Area de Uso - Mineração (ha)',#M
'Ocorrencia Minerais - Qtd',#M
#'% Area de Uso - Outras Áreas não Vegetadas (ha)',

'Area de Uso - Área urbanizada (ha)',#U
#'Area de Uso - Áreas úmidas (ha)',#U
#'Area Prioritaria - Muito Alta (ha)',#U
'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência',
'Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)',
'IQE - Ruim (ha)'
#'% PUC - Médio (ha)',#1

#'IQE - Bom (ha)', 'IQE - Médio (ha)', 'IQE - Ruim (ha)',

#'% PUC - Alto e Muito Alto (ha)',#1
#'% PUC - Baixo e Muito Baixo (ha)',#1
#'% Area de Uso - Areas Naturais (ha)',#3
#'Nascentes - Qtd'
]
#puc, car(App Recomposição, Car, Recomposição RL), area urbana

```

CAR: 'App Recomposição - Qtd Imoveis por Area Total (ha)', 'Car - Qtd Imoveis por Area Total (ha)', '% Area de Uso - Agropecuaria e silvicultura (ha)'

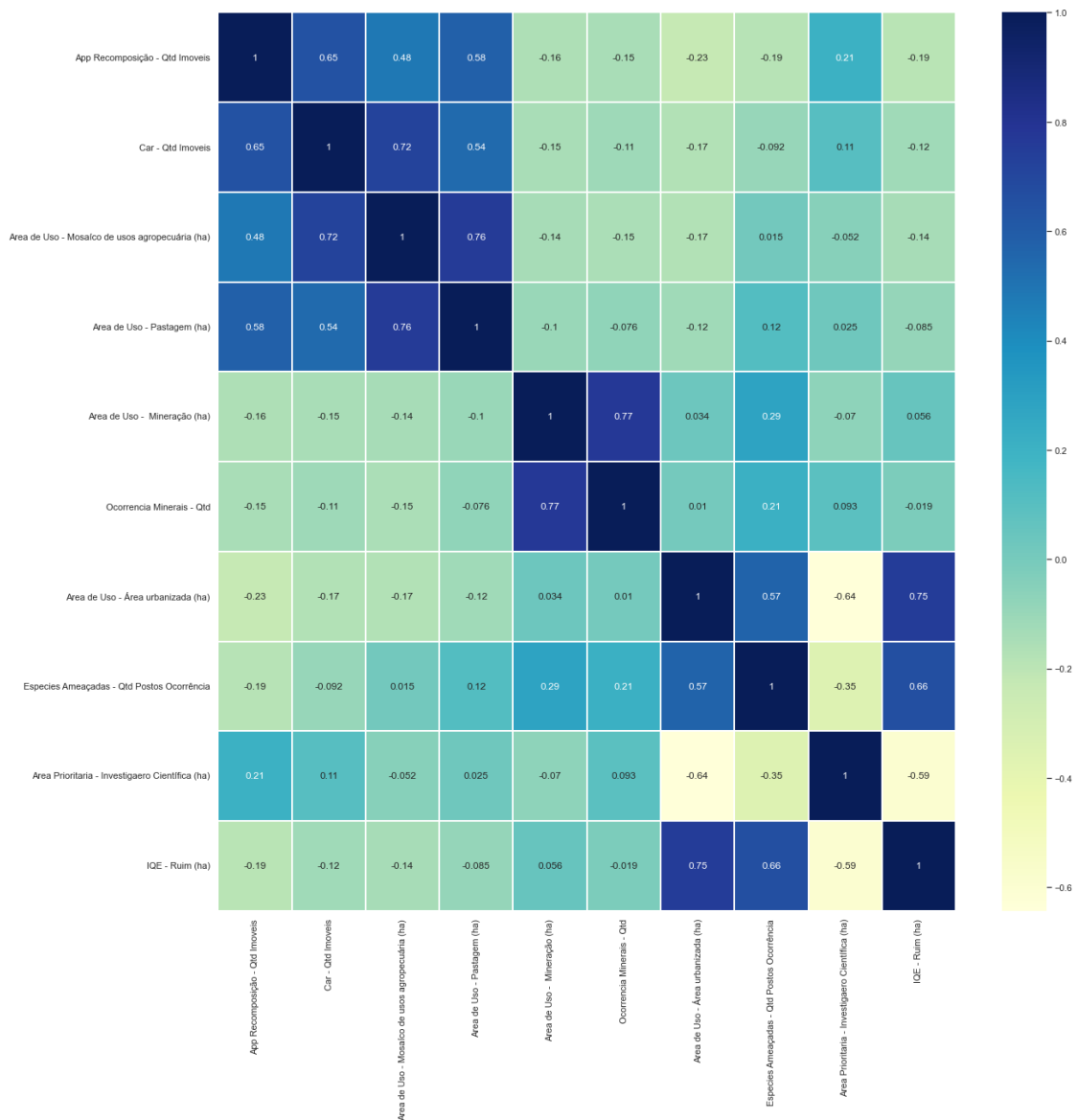
URBANO: 'Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência por Area Total (ha)', '% Area de Uso - Área urbanizada (ha)', '% Area de Uso - Areas Naturais (ha)'

```
import seaborn as sns
```

```

plt.figure(figsize=(20,20))
sns.set(font_scale=1)
sns_plot = sns.heatmap(baseCompletaTradado[tmp_columns].corr(), linewidths=.1, linecolor='#ffffff',
                        cmap='YlGnBu', xticklabels=1, yticklabels=1, annot=True)

```



```
#normalizar variaveis
```

```
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
std = StandardScaler()
```

```
tmp_base = std.fit_transform(baseCompletaTradado[tmp_columns])
tmp_base = pd.DataFrame(tmp_base, columns=tmp_columns)
```

```
#Teste de Adequação - teste de esfericidade de Bartlett
```

```
from factor_analyzer.factor_analyzer import calculate_bartlett_sphericity
chi_square_value, p_value = calculate_bartlett_sphericity(tmp_base)
chi_square_value, round(p_value, 4)
```

```
(268.3989787711599, 0.0)
```

```
#Teste de Adequação - teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)
```

```
from factor_analyzer.factor_analyzer import calculate_kmo
kmo_all, kmo_model = calculate_kmo(tmp_base)
kmo_model
```

```
0.62228346853441
```

```

from sklearn.decomposition import PCA
# Set the n_components=3
principal=PCA(n_components=3)
principal.fit(tmp_base[tmp_columns])
x=principal.transform(tmp_base[tmp_columns])

# Check the dimensions of data after PCA
print(x.shape)

(49, 3)

#sum(principal.explained_variance_ratio_)
principal.explained_variance_ratio_

array([0.33684524, 0.24567992, 0.17511362])

sum(principal.explained_variance_ratio_)

0.7576387761463621

import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.cluster import KMeans

bPCA = pd.DataFrame(principal.transform(tmp_base[tmp_columns]), columns=['PC1', 'PC2',
'PC3'])

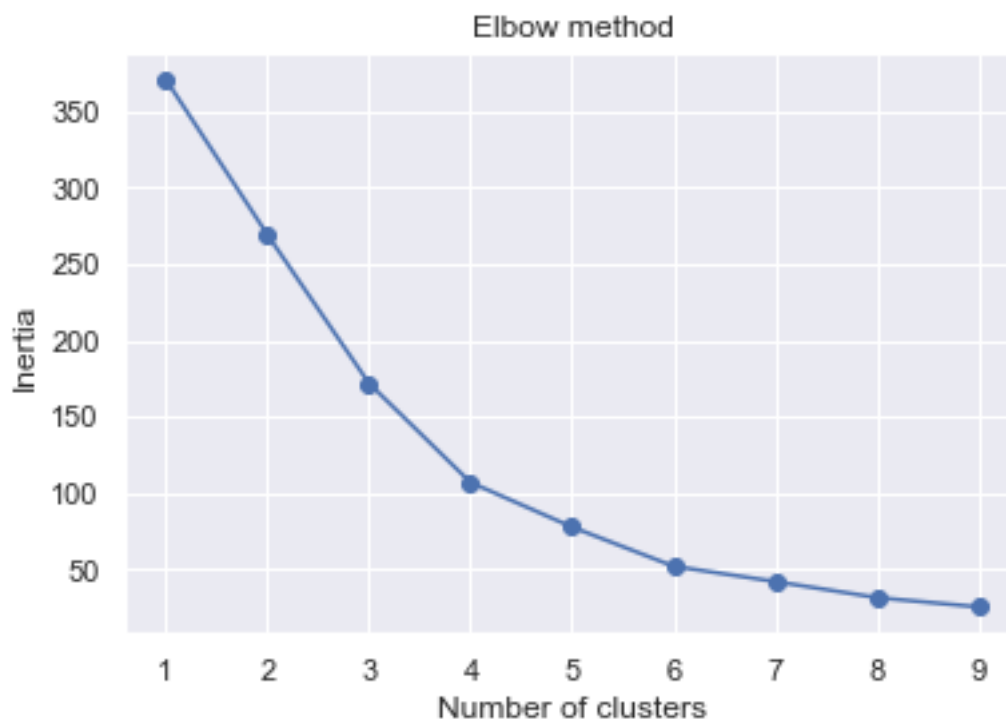
inertias = []

for i in range(1,10):
    kmeans = KMeans(n_clusters=i)
    kmeans.fit(bPCA)
    inertias.append(kmeans.inertia_)

plt.plot(range(1,10), inertias, marker='o')
plt.title('Elbow method')
plt.xlabel('Number of clusters')
plt.ylabel('Inertia')
plt.show()

C:\Users\alexandre.menezes\Anaconda3\lib\site-packages\sklearn\cluster\_kmeans.py:103
6: UserWarning: KMeans is known to have a memory leak on Windows with MKL, when there
are less chunks than available threads. You can avoid it by setting the environment v
ariable OMP_NUM_THREADS=1.
    warnings.warn(

```



```
kmeans = KMeans(n_clusters=4)
kmeans.fit(bPCA)
```

```
KMeans(n_clusters=4)
```

```
bPCA['cluster'] = kmeans.labels_
bPCA['Sub Bacia'] = baseCompleta['Sub Bacia']
bPCA['cluster'] = bPCA['cluster'].astype('str')
```

```
import plotly.express as px
fig = px.scatter_3d(bPCA, x='PC1', y='PC2', z='PC3', color='cluster', text='Sub Bacia')
fig.show()
```

```
{
  "config": {
    "plotlyServerURL": "https://plot.ly"
  },
  "data": [
    {
      "hovertemplate": "cluster=2<br>PC1=%{x}<br>PC2=%{y}<br>PC3=%{z}<br>Sub Bacia=%{text}<extra></extra>",
      "legendgroup": "2",
      "marker": {
        "color": "#636efa",
        "symbol": "circle"
      },
      "mode": "markers+text",
      "name": "2",
      "scene": "scene",
      "showlegend": true,
      "text": [
        "Afogador",
        "Agua Suja",
        "Arero",
        "Cachoeira",
        "Campo Casa Branca",
        "Jequititi",
        "Maracuja",
        "Moinho",
        "Olaria2",
        "Palmeiras",
        "Papagaio",
        "Pombas",
        "Soares",
        "Taioba ou Barbosa"
      ],
      "type": "scatter3d",
      "x": [
        -4.624140041406848,
        -1.3357960399634452,
        -1.1988175078687224,
        -1.327795715150497,
        -3.426245359849772,
        -1.1590471970373373,
        -0.617309752996906,
        -2.0389290199945305,
        -1.5454992249457142,
        -2.0348643460160387,
        -2.2709919789219053,
        -1.4250531610354433,
        -3.1631913789446324,
        -3.16212748913417e-2
      ],
      "y": [
        3.050034613474283,
        0.4947771353518027,
        0.23998631839830956,
        0.5494909168526694,
        2.3098986099671897,
        0.15901068169003663,
        3.140183152538044,
        0.5108111811588861,
        0.4076134478963023,
        1.1649182802254217,
        1.0239676635145818,
        0.32094864488606667,
        1.8571970824932595,
        1.8229393173163975
      ],
      "z": [
        0.8789909950045622,
        -0.1517119089734078,
        -0.19669222193471,
        -6.710144996828116e-2,
        0.6821427384879157,
        -0.24259667949173994,
        1.8785061567628394,
        -3.607561957768275e-2,
        -0.1621948718828047,
        0.19100907644675086,
        0.14128043593239595,
        -0.15348405122543604,
        0.4182593573632395,
        0.15031315950061194
      ]
    },
    {
      "hovertemplate": "cluster=1<br>PC1=%{x}<br>PC2=%{y}<br>PC3=%{z}<br>Sub Bacia=%{text}<extra></extra>",
      "legendgroup": "1",
      "marker": {
        "color": "#EF553B",
        "symbol": "circle"
      },
      "mode": "markers+text",
      "name": "1",
      "scene": "scene",
      "showlegend": true,
      "text": [
        "Andaime",
        "Brumado",
        "Brás Gomes",
        "Cabeça de Boi",
        "Cambimba",
        "Cardoso",
        "Carioca",
        "Corrego da Serra",
        "Cortesia",
        "Curral de Pedra",
        "Funil",
        "Guerra",
        "Itabirito",
        "Juca Vieira",
        "Lage ou Bom Destino",
        "Luzia da Mata",
        "Macacos",

```

```

Macacos2", "Manso", "Mata Mata", "Mata Pau", "Matias", "Paciencia", "Pedras", "Pizarro", "Pra
ta", "Retiro", "Serrinha", "São Bartolomeu", "Urubu", "Viana", "Vilela"], "type": "scatter3d"
, "x": [-0.8584776155137734, -1.7598222374900385e-2, 1.0683800824326404, -0.62563148297499
64, 0.8604802572040229, 0.20268392226062307, 0.7235747174525441, 0.36919488126826105, -0.7
846295233719913, 0.190623896963665, -0.4955893136124825, 0.16286104526156753, 1.032417758
7041137, 1.9511638604172996, 0.993546890412036, 0.40199306097964266, 2.14697776495252, 1.0
241484602577993, 0.40333493326770553, 0.46688534064374176, 0.5179709608721332, -0.6234200
847001236, -0.8453164404541731, 0.5182132030119927, 0.14424692823754937, 0.79051045632884
03, -0.18671200515812297, -0.13622222566027153, 0.5292810651547465, 0.5639855479097122, 0.
9668754627811271, 0.2546802871792706], "y": [-8.865754857600436e-2, -0.9049812235020427, -
1.8099719069594054, 0.18595786354941138, -1.610156372501083, -1.0707349987523227, -1.4213
891074265925, -1.178866755977798, -0.2690480964349143, -1.1037933773233815, -0.2256929125
4731094, -1.2759581218254024, 0.7568877354089534, 1.690786806676731, 1.1581530518648042, -
1.0836802490052437, 5.0989440320207746e-2, -1.7931670450066082, -1.084589805410364, -1.26
30757521480727, -1.3378555785695756, -0.2725952563236937, -1.0207731904004924e-2, -1.2876
045118126844, -1.0651656185589906, -1.512765170312657, -0.6140103451100637, -0.8320981377
410565, -1.3595743210921212, -1.1972995244570284, -0.9810558307169006, -0.952387551638901
], "z": [-0.28784991180161656, -0.62790696367977, 0.1821630060875971, -0.4222617812836347,
-0.8803706552063636, -0.6790490186916884, -0.8284766224350196, 1.916588235568799e-4, -0.3
926971161393779, 4.1596544340073316e-2, 1.705409666887128, -0.7422240907917796, 2.2735213
694488214, -0.4432328460630164, -0.4069000508541359, -0.7285526464368057, 1.6463866136634
866, -0.9374490014101073, 1.372593254400245e-2, -0.7193733784936776, -0.7771177642075051,
-0.39368591782703255, -0.3803089284613438, 0.8698127708662116, -0.681867474640923, -0.773
3870499456013, -0.49010689945897395, -0.5877036374403206, -0.7825919924597604, -0.7900324
837972028, -0.586533464284613, -0.23855443448686975]}, {"hovertemplate": "cluster=0<br>PC
1=%{x}<br>PC2=%{y}<br>PC3=%{z}<br>Sub Bacia=%{text}<extra>/</extra>", "legendgroup": "0"
, "marker": {"color": "#00cc96", "symbol": "circle"}, "mode": "markers+text", "name": "0", "sce
ne": "scene", "showlegend": true, "text": ["Arrudas", "Pampulha"], "type": "scatter3d", "x": [4
.33782365176364, 6.860160537970041], "y": [2.1860013204060573, 6.210499543517313], "z": [-1
.4134196888454567, -1.4911031944138653]}, {"hovertemplate": "cluster=3<br>PC1=%{x}<br>PC
2=%{y}<br>PC3=%{z}<br>Sub Bacia=%{text}<extra>/</extra>", "legendgroup": "3", "marker": {"
color": "#ab63fa", "symbol": "circle"}, "mode": "markers+text", "name": "3", "scene": "scene",
"showlegend": true, "text": ["Rio do Peixe"], "type": "scatter3d", "x": [3.290883939156733],
"y": [-1.6846699558725047], "z": [7.4193043350363315]}, "layout": {"legend": {"title": {"te
xt": "cluster"}, "tracegroupgap": 0, "margin": {"t": 60}, "scene": {"domain": {"x": [0, 1], "y":
[0, 1]}, "xaxis": {"title": {"text": "PC1"}, "yaxis": {"title": {"text": "PC2"}}, "zaxis": {"ti
tle": {"text": "PC3"}}, "template": {"data": {"bar": [{"error_x": {"color": "#2a3f5f"}, "erro
r_y": {"color": "#2a3f5f"}, "marker": {"line": {"color": "#E5ECF6", "width": 0.5}, "pattern": {
"fillmode": "overlay", "size": 10, "solidity": 0.2}}, "type": "bar"}], "barpolar": [{"marker":
{"line": {"color": "#E5ECF6", "width": 0.5}, "pattern": {"fillmode": "overlay", "size": 10, "so
lidity": 0.2}}, "type": "barpolar"}], "carpet": [{"aaxis": {"endlinecolor": "#2a3f5f", "gridc
olor": "white", "linecolor": "white", "minorgridcolor": "white", "startlinecolor": "#2a3f5f"
}, "baxis": {"endlinecolor": "#2a3f5f", "gridcolor": "white", "linecolor": "white", "minorgri
dcolor": "white", "startlinecolor": "#2a3f5f"}, "type": "carpet"}], "choropleth": [{"colorbar
": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "choropleth"}], "contour": [{"colorbar": {"outli
newidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [[0, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46039f"], [0.
2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444444, "#bd37
86"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0.6666666666666666, "#ed7953"], [0.777777777777777
8, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fdca26"], [1, "#f0f921"]], "type": "contour"}], "contou
rcarpet": [{"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "contourcarpet"}], "heatmap
": [{"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [[0, "#0d0887"], [0.111111111
1111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333333333333, "#9c179e"], [0.4
4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0.6666666666666666, "#ed795
3"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fdca26"], [1, "#f0f921"]], "typ
e": "heatmap"}], "heatmapgl": [{"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [[
0, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333
333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0
.6666666666666666, "#ed7953"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fcd
a26"], [1, "#f0f921"]], "type": "heatmapgl"}], "histogram": [{"marker": {"pattern": {"fillmod
e": "overlay", "size": 10, "solidity": 0.2}}, "type": "histogram"}], "histogram2d": [{"colorbar
": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [[0, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46
039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444

```



```

444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0.6666666666666666, "#ed7953"], [0.77777
77777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fdca26"], [1, "#f0f921"], "type": "histogra
m2d"}, {"histogram2dcontour": [{"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [
0, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333
3333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [
0.6666666666666666, "#ed7953"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fd
ca26"], [1, "#f0f921"]], "type": "histogram2dcontour"}], "mesh3d": [{"colorbar": {"outlinewi
dth": 0, "ticks": ""}, "type": "mesh3d"}], "parcoords": [{"line": {"colorbar": {"outlinewidth"
: 0, "ticks": ""}, "type": "parcoords"}], "pie": [{"automargin": true, "type": "pie"}], "scatte
r": [{"marker": {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scatter"}], "scatter3
d": [{"line": {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "marker": {"colorbar": {"outli
newidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scatter3d"}], "scattercarpet": [{"marker": {"colorbar": {"o
utlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scattercarpet"}], "scattergeo": [{"marker": {"colorb
ar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scattergeo"}], "scattergl": [{"marker": {"col
orbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scattergl"}], "scattermapbox": [{"marker"
: {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scattermapbox"}], "scatterpolar": [
{"marker": {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scatterpolar"}], "scatter
polargl": [{"marker": {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "scatterpolargl"
}], "scatterternary": [{"marker": {"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "type": "sc
atterternary"}], "surface": [{"colorbar": {"outlinewidth": 0, "ticks": ""}, "colorscale": [[0
, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.333333333
333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0.
6666666666666666, "#ed7953"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fdca
26"], [1, "#f0f921"]], "type": "surface"}], "table": [{"cells": {"fill": {"color": "#EBF0F8"},
"line": {"color": "white"}}, "header": {"fill": {"color": "#C8D4E3"}, "line": {"color": "white"
}}, "type": "table"}], "layout": {"annotationdefaults": {"arrowcolor": "#2a3f5f", "arrowhea
d": 0, "arrowwidth": 1}, "autotypenumbers": {"strict": "coloraxis": {"colorbar": {"outlinewidth"
: 0, "ticks": ""}, "colorscale": {"diverging": [[0, "#8e0152"], [0.1, "#c51b7d"], [0.2, "#de
77ae"], [0.3, "#fb6d41"], [0.4, "#fde0ef"], [0.5, "#f7f7f7"], [0.6, "#e6f5d0"], [0.7, "#b8e186"
], [0.8, "#7fbc41"], [0.9, "#4d9221"], [1, "#276419"]], "sequential": [[0, "#0d0887"], [0.11111
11111111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#7201a8"], [0.3333333333333333, "#9c179e"],
[0.4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555555556, "#d8576b"], [0.6666666666666666, "#e
d7953"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.8888888888888888, "#fdca26"], [1, "#f0f921"]],
"sequentialminus": [[0, "#0d0887"], [0.1111111111111111, "#46039f"], [0.2222222222222222, "#
7201a8"], [0.3333333333333333, "#9c179e"], [0.4444444444444444, "#bd3786"], [0.5555555555
555556, "#d8576b"], [0.6666666666666666, "#ed7953"], [0.7777777777777778, "#fb9f3a"], [0.88
8888888888888888, "#fdca26"], [1, "#f0f921"]], "colorway": ["#636efaf", "#EF553B", "#00cc96", "#
ab63fa", "#FFA15A", "#19d3f3", "#FF6692", "#B6E880", "#FF97FF", "#FECB52"], "font": {"color"
: "#2a3f5f"}, "geo": {"bgcolor": "white", "lakecolor": "white", "landcolor": "#E5ECF6", "showl
akes": true, "showland": true, "subunitcolor": "white"}, "hoverlabel": {"align": "left"}, "hov
ermode": "closest", "mapbox": {"style": "light"}, "paper_bgcolor": "white", "plot_bgcolor": "#
E5ECF6", "polar": {"angularaxis": {"gridcolor": "white", "linecolor": "white", "ticks": ""},
"bgcolor": "#E5ECF6", "radialaxis": {"gridcolor": "white", "linecolor": "white", "ticks": ""}
}, "scene": {"xaxis": {"backgroundcolor": "#E5ECF6", "gridcolor": "white", "gridwidth": 2, "li
necolor": "white", "showbackground": true, "ticks": "", "zerolinecolor": "white"}, "yaxis": {"
backgroundcolor": "#E5ECF6", "gridcolor": "white", "gridwidth": 2, "linecolor": "white", "sho
wbackground": true, "ticks": "", "zerolinecolor": "white"}, "zaxis": {"backgroundcolor": "#E5
ECF6", "gridcolor": "white", "gridwidth": 2, "linecolor": "white", "showbackground": true, "ti
cks": "", "zerolinecolor": "white"}}, "shapedefaults": {"line": {"color": "#2a3f5f"}}, "terna
ry": {"aaxis": {"gridcolor": "white", "linecolor": "white", "ticks": ""}, "baxis": {"gridcolor"
: "white", "linecolor": "white", "ticks": ""}, "caxis": {"gridcolor": "#E5ECF6", "caxis": {"gridcolor": "w
hite", "linecolor": "white", "ticks": ""}, "title": {"x": 5.0e-2}, "xaxis": {"automargin": tru
e, "gridcolor": "white", "linecolor": "white", "ticks": "", "title": {"standoff": 15}, "zerolin
ecolor": "white", "zerolinewidth": 2}, "yaxis": {"automargin": true, "gridcolor": "white", "li
necolor": "white", "ticks": "", "title": {"standoff": 15}, "zerolinecolor": "white", "zerolin
ewidth": 2}}}}}}

```

```

basefinal = tmp_base[tmp_columns].merge(bPCA, how='inner', left_index=True, right_index=True)
basefinal

```

	App Recomposição - Qtd Imoveis	Car - Qtd Imoveis \
0	3.283860	3.358683
1	0.312923	0.912910
2	0.000160	0.553017
3	0.015501	0.723360
4	-0.953681	-1.021992
5	-0.098213	-0.454986
6	-0.710189	-0.885731
7	-0.343718	1.354260
8	-0.398517	0.145225
9	-0.962473	-1.113015
10	2.275216	0.275067
11	-0.450998	-0.398227
12	-0.988012	-1.147814
13	0.113484	-0.607487
14	0.085144	1.340266
15	0.709770	-0.690216
16	-0.190985	0.336077
17	0.951698	-0.681391
18	-0.081917	0.202083
19	0.502588	-0.005318
20	-0.519607	0.229469
21	-0.491168	0.001815
22	-0.844489	-1.147814
23	-0.746301	-0.692988
24	-0.934765	-1.038981
25	-0.037794	-0.267367
26	0.098941	0.655961
27	-0.644940	-0.747123
28	-0.704201	-0.625738
29	-0.374503	0.356938
30	3.374198	0.729234
31	0.938229	0.972146
32	0.034349	0.941803
33	0.161522	0.630222
34	-0.889863	-0.768886
35	2.051528	0.670495
36	-0.181276	-0.524897
37	-0.087155	-0.595432
38	0.989308	0.468774
39	-0.824565	-1.001372
40	-0.611713	-0.293233
41	-0.745950	-0.664391
42	0.027847	-0.060214
43	1.190158	3.600976
44	-0.503561	-0.927775
45	-0.377605	0.053597
46	-0.865802	-0.648241
47	-0.773171	-0.896891
48	-0.779290	-0.604857

	Area de Uso - Mosaico de usos agropecuária (ha) \
0	2.460582
1	0.785895
2	-0.144692
3	0.880172
4	-1.114524
5	-0.212411
6	-1.420587
7	0.482564
8	1.412931
9	-0.929086

10	1.684029
11	-0.600691
12	-0.506099
13	-0.961685
14	-0.258443
15	-0.737257
16	0.861130
17	-1.457779
18	0.176538
19	1.279586
20	-0.300135
21	0.491078
22	0.276597
23	-0.433428
24	-1.478286
25	-1.036325
26	1.917391
27	-1.262839
28	-0.859636
29	0.485170
30	-0.330793
31	1.143763
32	0.821776
33	1.476358
34	-0.658704
35	0.670008
36	-0.630748
37	-0.506936
38	0.598738
39	-0.965394
40	-0.234996
41	-1.089490
42	-0.586421
43	1.377015
44	-0.848319
45	1.794430
46	-0.481736
47	-0.851381
48	-0.176926

	Area de Uso - Pastagem (ha)	Area de Uso - Mineração (ha) \
0	2.140456	-0.359289
1	0.487293	-0.359289
2	0.562198	-0.359289
3	0.271077	-0.359289
4	-0.662845	-0.222599
5	-0.666460	-0.359289
6	-0.712262	-0.359289
7	-0.514030	-0.359289
8	1.261859	-0.359289
9	-0.794012	-0.359289
10	4.053551	-0.359289
11	-0.564096	-0.359289
12	-0.713679	-0.359289
13	-0.486592	0.699930
14	-0.521466	-0.359289
15	-0.778809	0.737239
16	0.273349	-0.039008
17	-0.842369	-0.359289
18	0.250503	1.738666
19	-0.028113	-0.359289
20	-0.348904	0.152250

21	-0.201403	0.591179
22	-0.711384	-0.359289
23	-0.562908	2.357504
24	-0.812989	-0.359289
25	-0.590701	-0.359289
26	2.338084	-0.078822
27	-0.019595	-0.359289
28	-0.685874	-0.359289
29	-0.177358	-0.359289
30	0.231065	-0.311494
31	-0.307351	-0.359289
32	-0.758371	-0.359289
33	2.128035	-0.359289
34	-0.317859	-0.359289
35	1.433755	-0.359289
36	-0.544077	-0.037353
37	-0.692305	-0.359289
38	0.410127	-0.359289
39	-0.702319	-0.239420
40	0.299106	-0.359289
41	-0.575790	5.809248
42	-0.496724	-0.359289
43	1.051643	-0.359289
44	-0.623970	-0.359289
45	0.830334	0.795243
46	-0.783019	-0.359289
47	-0.608608	-0.327124
48	-0.216194	0.231083

	Ocorrencia Minerais - Qtd	Area de Uso - Área urbanizada (ha)	\
0	-0.334653	-0.297659	
1	-0.334653	-0.062202	
2	-0.334653	-0.297659	
3	-0.334653	-0.297659	
4	-0.068920	4.738913	
5	-0.334653	-0.297659	
6	1.264387	-0.297659	
7	-0.334653	0.448366	
8	-0.334653	-0.276373	
9	-0.334653	-0.297659	
10	-0.334653	-0.297659	
11	-0.334653	-0.297659	
12	-0.334653	-0.250293	
13	-0.334653	-0.293917	
14	-0.334653	-0.277560	
15	-0.334653	-0.297659	
16	2.322386	-0.272412	
17	-0.334653	-0.297659	
18	1.371815	-0.083971	
19	-0.334653	-0.297659	
20	-0.334653	0.027991	
21	-0.334653	0.112411	
22	-0.334653	-0.212240	
23	0.095953	0.346206	
24	-0.334653	-0.297659	
25	0.613320	-0.297659	
26	0.430195	-0.004722	
27	-0.334653	-0.297659	
28	-0.334653	-0.297659	
29	-0.334653	-0.297659	
30	-0.334653	-0.278724	
31	-0.334653	-0.274062	

32	-0.334653	-0.062844
33	-0.334653	-0.285737
34	-0.334653	4.812900
35	-0.334653	-0.297659
36	1.677421	-0.290887
37	-0.334653	-0.297659
38	-0.334653	-0.297659
39	-0.334653	-0.244668
40	-0.334653	-0.297659
41	5.679555	0.218386
42	-0.334653	-0.297659
43	-0.334653	-0.297659
44	-0.334653	-0.297659
45	-0.334653	-0.136367
46	-0.334653	-0.083596
47	-0.334653	-0.170774
48	-0.334653	-0.297659

	Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência \
0	-0.374030
1	-0.374030
2	-0.374030
3	-0.374030
4	0.808216
5	-0.374030
6	-0.374030
7	-0.374030
8	-0.374030
9	-0.374030
10	-0.374030
11	-0.374030
12	-0.374030
13	-0.374030
14	-0.374030
15	-0.374030
16	-0.374030
17	-0.374030
18	1.128568
19	-0.374030
20	0.993739
21	-0.374030
22	-0.374030
23	1.940854
24	-0.374030
25	-0.022570
26	4.304830
27	-0.374030
28	-0.374030
29	-0.374030
30	-0.374030
31	-0.374030
32	-0.374030
33	-0.374030
34	4.073079
35	-0.374030
36	-0.374030
37	-0.374030
38	-0.374030
39	-0.374030
40	-0.374030
41	1.086852
42	-0.374030

43	-0.374030
44	-0.374030
45	-0.374030
46	-0.374030
47	0.647649
48	-0.374030

	Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)	IQE - Ruim (ha) \
0	0.317927	-0.271591
1	0.317889	-0.271591
2	0.317889	-0.271591
3	0.317889	-0.271591
4	-2.146856	1.330279
5	0.317889	-0.271591
6	0.317889	-0.271591
7	0.317889	-0.271591
8	0.317889	-0.271591
9	0.317889	-0.271591
10	0.317889	-0.271591
11	0.317889	-0.271591
12	0.317889	-0.271591
13	0.317889	-0.271591
14	0.317889	-0.271591
15	0.317889	-0.271591
16	0.317889	-0.271591
17	0.317889	-0.271591
18	0.317889	1.347498
19	0.317889	-0.271591
20	-1.071936	2.966588
21	-3.680414	-0.271591
22	0.317889	-0.271591
23	0.317889	0.555909
24	0.317889	-0.271591
25	0.317889	-0.271591
26	0.317889	-0.271591
27	0.317889	-0.271591
28	0.317889	-0.271591
29	0.317889	-0.271591
30	0.317889	-0.271591
31	0.317889	-0.271591
32	0.317889	-0.271591
33	0.317889	-0.271591
34	-3.799524	5.749732
35	0.317889	-0.271591
36	0.317889	-0.271591
37	0.317889	-0.271591
38	0.317889	-0.271591
39	0.317889	-0.271591
40	0.317889	-0.271591
41	0.317889	-0.271591
42	0.317889	-0.271591
43	0.317889	-0.271591
44	0.317889	-0.271591
45	-3.288427	-0.271591
46	0.317889	-0.271591
47	0.317889	-0.271591
48	0.317889	-0.271591

	PC1	PC2	PC3	cluster	Sub Bacia
0	-4.624140	3.050035	0.878991	2	Afogador
1	-1.335796	0.494777	-0.151712	2	Agua Suja
2	-0.858478	-0.088658	-0.287850	1	Andaime

3	-1.198818	0.239986	-0.196692	2	Arero
4	4.337824	2.186001	-1.413420	0	Arrudas
5	-0.017598	-0.904981	-0.627907	1	Brumado
6	1.068380	-1.809972	0.182163	1	Brás Gomes
7	-0.625631	0.185958	-0.422262	1	Cabeça de Boi
8	-1.327796	0.549491	-0.067101	2	Cachoeira
9	0.860480	-1.610156	-0.880371	1	Cambimba
10	-3.426245	2.309899	0.682143	2	Campo Casa Branca
11	0.202684	-1.070735	-0.679049	1	Cardoso
12	0.723575	-1.421389	-0.828477	1	Carioca
13	0.369195	-1.178867	0.000192	1	Corrego da Serra
14	-0.784630	-0.269048	-0.392697	1	Cortesia
15	0.190624	-1.103793	0.041597	1	Curral de Pedra
16	-0.495589	-0.225693	1.705410	1	Funil
17	0.162861	-1.275958	-0.742224	1	Guerra
18	1.032418	0.756888	2.273521	1	Itabirito
19	-1.159047	0.159011	-0.242597	2	Jequiti
20	1.951164	1.690787	-0.443233	1	Juca Vieira
21	0.993547	1.158153	-0.406900	1	Lage ou Bom Destino
22	0.401993	-1.083680	-0.728553	1	Luzia da Mata
23	2.146978	0.050989	1.646387	1	Macacos
24	1.024148	-1.793167	-0.937449	1	Macacos2
25	0.403335	-1.084590	0.013726	1	Manso
26	-0.617310	3.140183	1.878506	2	Maracuja
27	0.466885	-1.263076	-0.719373	1	Mata Mata
28	0.517971	-1.337856	-0.777118	1	Mata Pau
29	-0.623420	-0.272595	-0.393686	1	Matias
30	-2.038929	0.510811	-0.036076	2	Moinho
31	-1.545499	0.407613	-0.162195	2	Olaria2
32	-0.845316	-0.010208	-0.380309	1	Paciencia
33	-2.034864	1.164918	0.191009	2	Palmeiras
34	6.860161	6.210500	-1.491103	0	Pampulha
35	-2.270992	1.023968	0.141280	2	Papagaio
36	0.518213	-1.287605	0.869813	1	Pedras
37	0.144247	-1.065166	-0.681867	1	Pizarro
38	-1.425053	0.320949	-0.153484	2	Pombas
39	0.790510	-1.512765	-0.773387	1	Prata
40	-0.186712	-0.614010	-0.490107	1	Retiro
41	3.290884	-1.684670	7.419304	3	Rio do Peixe
42	-0.136222	-0.832098	-0.587704	1	Serrinha
43	-3.163191	1.857197	0.418259	2	Soares
44	0.529281	-1.359574	-0.782592	1	São Bartolomeu
45	-0.031621	1.822939	0.150313	2	Taioba ou Barbosa
46	0.563986	-1.197300	-0.790032	1	Urubu
47	0.966875	-0.981056	-0.586533	1	Viana
48	0.254680	-0.952388	-0.238554	1	Vilela

```
baseFinalCorr = basefinal.corr()
baseFinalCorr.shape
```

```
(13, 13)
```

```
baseFinalCorr_2 = np.round(baseFinalCorr[~baseFinalCorr.index.isin(['PC1', 'PC2', 'PC3'])][['PC1', 'PC2', 'PC3']],2)
baseFinalCorr_2.sort_values(by='PC1')
```

	PC1	PC2	PC3
App Recomposição - Qtd Imóveis	-0.71	0.34	0.11
Car - Qtd Imóveis	-0.69	0.48	0.15
Area de Uso - Mosaíco de usos agropecuária (ha)	-0.65	0.58	0.16
Area de Uso - Pastagem (ha)	-0.60	0.59	0.23
Area Prioritaria - Investigaero Científica (ha)	-0.51	-0.58	0.17

Ocorrencia Minerais - Qtd	0.28 -0.17 0.88
Area de Uso - Mineração (ha)	0.35 -0.09 0.86
Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência	0.53 0.58 0.27
IQE - Ruim (ha)	0.65 0.62 -0.12
Area de Uso - Área urbanizada (ha)	0.67 0.57 -0.15

```
_tmp2 = basefinal.merge(baseCompletaTradado[['PUC - Alto (ha)', 'PUC - Baixo (ha)', 'PUC - Muito Alto (ha)', 'PUC - Muito Baixo (ha)', 'PUC - Médio (ha)']], how='inner', left_index=True, right_index=True)
_tmp2
```

	App Composição - Qtd Imoveis	Car - Qtd Imoveis \
0	3.283860	3.358683
1	0.312923	0.912910
2	0.000160	0.553017
3	0.015501	0.723360
4	-0.953681	-1.021992
5	-0.098213	-0.454986
6	-0.710189	-0.885731
7	-0.343718	1.354260
8	-0.398517	0.145225
9	-0.962473	-1.113015
10	2.275216	0.275067
11	-0.450998	-0.398227
12	-0.988012	-1.147814
13	0.113484	-0.607487
14	0.085144	1.340266
15	0.709770	-0.690216
16	-0.190985	0.336077
17	0.951698	-0.681391
18	-0.081917	0.202083
19	0.502588	-0.005318
20	-0.519607	0.229469
21	-0.491168	0.001815
22	-0.844489	-1.147814
23	-0.746301	-0.692988
24	-0.934765	-1.038981
25	-0.037794	-0.267367
26	0.098941	0.655961
27	-0.644940	-0.747123
28	-0.704201	-0.625738
29	-0.374503	0.356938
30	3.374198	0.729234
31	0.938229	0.972146
32	0.034349	0.941803
33	0.161522	0.630222
34	-0.889863	-0.768886
35	2.051528	0.670495
36	-0.181276	-0.524897
37	-0.087155	-0.595432
38	0.989308	0.468774
39	-0.824565	-1.001372
40	-0.611713	-0.293233
41	-0.745950	-0.664391
42	0.027847	-0.060214
43	1.190158	3.600976
44	-0.503561	-0.927775
45	-0.377605	0.053597
46	-0.865802	-0.648241
47	-0.773171	-0.896891
48	-0.779290	-0.604857

Area de Uso - Mosaico de usos agropecuária (ha) \	
0	2.460582
1	0.785895
2	-0.144692
3	0.880172
4	-1.114524
5	-0.212411
6	-1.420587
7	0.482564
8	1.412931
9	-0.929086
10	1.684029
11	-0.600691
12	-0.506099
13	-0.961685
14	-0.258443
15	-0.737257
16	0.861130
17	-1.457779
18	0.176538
19	1.279586
20	-0.300135
21	0.491078
22	0.276597
23	-0.433428
24	-1.478286
25	-1.036325
26	1.917391
27	-1.262839
28	-0.859636
29	0.485170
30	-0.330793
31	1.143763
32	0.821776
33	1.476358
34	-0.658704
35	0.670008
36	-0.630748
37	-0.506936
38	0.598738
39	-0.965394
40	-0.234996
41	-1.089490
42	-0.586421
43	1.377015
44	-0.848319
45	1.794430
46	-0.481736
47	-0.851381
48	-0.176926
Area de Uso - Pastagem (ha)	Area de Uso - Mineração (ha) \
0	2.140456
1	0.487293
2	0.562198
3	0.271077
4	-0.662845
5	-0.666460
6	-0.712262
7	-0.514030
8	1.261859
9	-0.794012

10	4.053551	-0.359289
11	-0.564096	-0.359289
12	-0.713679	-0.359289
13	-0.486592	0.699930
14	-0.521466	-0.359289
15	-0.778809	0.737239
16	0.273349	-0.039008
17	-0.842369	-0.359289
18	0.250503	1.738666
19	-0.028113	-0.359289
20	-0.348904	0.152250
21	-0.201403	0.591179
22	-0.711384	-0.359289
23	-0.562908	2.357504
24	-0.812989	-0.359289
25	-0.590701	-0.359289
26	2.338084	-0.078822
27	-0.019595	-0.359289
28	-0.685874	-0.359289
29	-0.177358	-0.359289
30	0.231065	-0.311494
31	-0.307351	-0.359289
32	-0.758371	-0.359289
33	2.128035	-0.359289
34	-0.317859	-0.359289
35	1.433755	-0.359289
36	-0.544077	-0.037353
37	-0.692305	-0.359289
38	0.410127	-0.359289
39	-0.702319	-0.239420
40	0.299106	-0.359289
41	-0.575790	5.809248
42	-0.496724	-0.359289
43	1.051643	-0.359289
44	-0.623970	-0.359289
45	0.830334	0.795243
46	-0.783019	-0.359289
47	-0.608608	-0.327124
48	-0.216194	0.231083

	Ocorrência Minerais - Qtd	Area de Uso - Área urbanizada (ha) \
0	-0.334653	-0.297659
1	-0.334653	-0.062202
2	-0.334653	-0.297659
3	-0.334653	-0.297659
4	-0.068920	4.738913
5	-0.334653	-0.297659
6	1.264387	-0.297659
7	-0.334653	0.448366
8	-0.334653	-0.276373
9	-0.334653	-0.297659
10	-0.334653	-0.297659
11	-0.334653	-0.297659
12	-0.334653	-0.250293
13	-0.334653	-0.293917
14	-0.334653	-0.277560
15	-0.334653	-0.297659
16	2.322386	-0.272412
17	-0.334653	-0.297659
18	1.371815	-0.083971
19	-0.334653	-0.297659
20	-0.334653	0.027991

21	-0.334653	0.112411
22	-0.334653	-0.212240
23	0.095953	0.346206
24	-0.334653	-0.297659
25	0.613320	-0.297659
26	0.430195	-0.004722
27	-0.334653	-0.297659
28	-0.334653	-0.297659
29	-0.334653	-0.297659
30	-0.334653	-0.278724
31	-0.334653	-0.274062
32	-0.334653	-0.062844
33	-0.334653	-0.285737
34	-0.334653	4.812900
35	-0.334653	-0.297659
36	1.677421	-0.290887
37	-0.334653	-0.297659
38	-0.334653	-0.297659
39	-0.334653	-0.244668
40	-0.334653	-0.297659
41	5.679555	0.218386
42	-0.334653	-0.297659
43	-0.334653	-0.297659
44	-0.334653	-0.297659
45	-0.334653	-0.136367
46	-0.334653	-0.083596
47	-0.334653	-0.170774
48	-0.334653	-0.297659

	Especies Ameaçadas - Qtd Postos Ocorrência \
0	-0.374030
1	-0.374030
2	-0.374030
3	-0.374030
4	0.808216
5	-0.374030
6	-0.374030
7	-0.374030
8	-0.374030
9	-0.374030
10	-0.374030
11	-0.374030
12	-0.374030
13	-0.374030
14	-0.374030
15	-0.374030
16	-0.374030
17	-0.374030
18	1.128568
19	-0.374030
20	0.993739
21	-0.374030
22	-0.374030
23	1.940854
24	-0.374030
25	-0.022570
26	4.304830
27	-0.374030
28	-0.374030
29	-0.374030
30	-0.374030
31	-0.374030

32	-0.374030
33	-0.374030
34	4.073079
35	-0.374030
36	-0.374030
37	-0.374030
38	-0.374030
39	-0.374030
40	-0.374030
41	1.086852
42	-0.374030
43	-0.374030
44	-0.374030
45	-0.374030
46	-0.374030
47	0.647649
48	-0.374030

	Area Prioritaria - Investigaero Cientifica (ha)	IQE - Ruim (ha) \
0	0.317927	-0.271591
1	0.317889	-0.271591
2	0.317889	-0.271591
3	0.317889	-0.271591
4	-2.146856	1.330279
5	0.317889	-0.271591
6	0.317889	-0.271591
7	0.317889	-0.271591
8	0.317889	-0.271591
9	0.317889	-0.271591
10	0.317889	-0.271591
11	0.317889	-0.271591
12	0.317889	-0.271591
13	0.317889	-0.271591
14	0.317889	-0.271591
15	0.317889	-0.271591
16	0.317889	-0.271591
17	0.317889	-0.271591
18	0.317889	1.347498
19	0.317889	-0.271591
20	-1.071936	2.966588
21	-3.680414	-0.271591
22	0.317889	-0.271591
23	0.317889	0.555909
24	0.317889	-0.271591
25	0.317889	-0.271591
26	0.317889	-0.271591
27	0.317889	-0.271591
28	0.317889	-0.271591
29	0.317889	-0.271591
30	0.317889	-0.271591
31	0.317889	-0.271591
32	0.317889	-0.271591
33	0.317889	-0.271591
34	-3.799524	5.749732
35	0.317889	-0.271591
36	0.317889	-0.271591
37	0.317889	-0.271591
38	0.317889	-0.271591
39	0.317889	-0.271591
40	0.317889	-0.271591
41	0.317889	-0.271591
42	0.317889	-0.271591

43			0.317889	-0.271591
44			0.317889	-0.271591
45			-3.288427	-0.271591
46			0.317889	-0.271591
47			0.317889	-0.271591
48			0.317889	-0.271591

	PC1	PC2	PC3	cluster	Sub Bacia \
0	-4.624140	3.050035	0.878991	2	Afogador
1	-1.335796	0.494777	-0.151712	2	Agua Suja
2	-0.858478	-0.088658	-0.287850	1	Andaime
3	-1.198818	0.239986	-0.196692	2	Arero
4	4.337824	2.186001	-1.413420	0	Arrudas
5	-0.017598	-0.904981	-0.627907	1	Brumado
6	1.068380	-1.809972	0.182163	1	Brás Gomes
7	-0.625631	0.185958	-0.422262	1	Cabeça de Boi
8	-1.327796	0.549491	-0.067101	2	Cachoeira
9	0.860480	-1.610156	-0.880371	1	Cambimba
10	-3.426245	2.309899	0.682143	2	Campo Casa Branca
11	0.202684	-1.070735	-0.679049	1	Cardoso
12	0.723575	-1.421389	-0.828477	1	Carioca
13	0.369195	-1.178867	0.000192	1	Corrego da Serra
14	-0.784630	-0.269048	-0.392697	1	Cortesia
15	0.190624	-1.103793	0.041597	1	Curral de Pedra
16	-0.495589	-0.225693	1.705410	1	Funil
17	0.162861	-1.275958	-0.742224	1	Guerra
18	1.032418	0.756888	2.273521	1	Itabirito
19	-1.159047	0.159011	-0.242597	2	Jequiti
20	1.951164	1.690787	-0.443233	1	Juca Vieira
21	0.993547	1.158153	-0.406900	1	Lage ou Bom Destino
22	0.401993	-1.083680	-0.728553	1	Luzia da Mata
23	2.146978	0.050989	1.646387	1	Macacos
24	1.024148	-1.793167	-0.937449	1	Macacos2
25	0.403335	-1.084590	0.013726	1	Manso
26	-0.617310	3.140183	1.878506	2	Maracuja
27	0.466885	-1.263076	-0.719373	1	Mata Mata
28	0.517971	-1.337856	-0.777118	1	Mata Pau
29	-0.623420	-0.272595	-0.393686	1	Matias
30	-2.038929	0.510811	-0.036076	2	Moinho
31	-1.545499	0.407613	-0.162195	2	Olaria2
32	-0.845316	-0.010208	-0.380309	1	Paciencia
33	-2.034864	1.164918	0.191009	2	Palmeiras
34	6.860161	6.210500	-1.491103	0	Pampulha
35	-2.270992	1.023968	0.141280	2	Papagaio
36	0.518213	-1.287605	0.869813	1	Pedras
37	0.144247	-1.065166	-0.681867	1	Pizarro
38	-1.425053	0.320949	-0.153484	2	Pombas
39	0.790510	-1.512765	-0.773387	1	Prata
40	-0.186712	-0.614010	-0.490107	1	Retiro
41	3.290884	-1.684670	7.419304	3	Rio do Peixe
42	-0.136222	-0.832098	-0.587704	1	Serrinha
43	-3.163191	1.857197	0.418259	2	Soares
44	0.529281	-1.359574	-0.782592	1	São Bartolomeu
45	-0.031621	1.822939	0.150313	2	Taioba ou Barbosa
46	0.563986	-1.197300	-0.790032	1	Urubu
47	0.966875	-0.981056	-0.586533	1	Viana
48	0.254680	-0.952388	-0.238554	1	Vilela

	PUC - Alto (ha)	PUC - Baixo (ha)	PUC - Muito Alto (ha) \
0	0.400202	0.000000	0.000000
1	0.243781	0.370867	0.000041
2	0.211530	0.078663	0.000127

3	0.154377	0.111520	0.000220
4	0.002502	0.101130	0.000138
5	0.000000	0.737623	0.000000
6	0.085440	0.163232	0.000019
7	0.000000	0.600670	0.000000
8	0.132476	0.337588	0.000000
9	0.000000	0.638337	0.000000
10	0.000733	0.507966	0.000000
11	0.171086	0.054564	0.000000
12	0.000000	0.771349	0.000000
13	0.027431	0.473504	0.000000
14	0.000602	0.521908	0.000000
15	0.039393	0.325673	0.000000
16	0.025522	0.420073	0.000000
17	0.188432	0.000000	0.000000
18	0.130831	0.287290	0.000569
19	0.318091	0.000000	0.000000
20	0.045109	0.490309	0.000100
21	0.096857	0.084498	0.002520
22	0.004090	0.696224	0.000000
23	0.001154	0.556566	0.000000
24	0.147392	0.081882	0.000000
25	0.000037	0.599248	0.000000
26	0.401197	0.132579	0.003660
27	0.126887	0.078237	0.000000
28	0.145549	0.017469	0.000928
29	0.000000	0.680325	0.000000
30	0.057181	0.674795	0.002520
31	0.258681	0.053109	0.000185
32	0.000000	0.675793	0.000000
33	0.400809	0.185032	0.000524
34	0.028955	0.001081	0.001239
35	0.056650	0.566921	0.000000
36	0.010112	0.486130	0.000092
37	0.000112	0.727495	0.000000
38	0.390176	0.199339	0.000492
39	0.000073	0.482055	0.000000
40	0.035986	0.497061	0.000000
41	0.000303	0.552803	0.000000
42	0.077106	0.277051	0.000000
43	0.000362	0.509011	0.000000
44	0.088687	0.054324	0.000000
45	0.004975	0.184814	0.000000
46	0.003358	0.653310	0.000000
47	0.001397	0.536991	0.000000
48	0.003325	0.577100	0.000000

	PUC - Muito Baixo (ha)	PUC - Médio (ha)
0	0.000000	0.599807
1	0.022962	0.362350
2	0.004716	0.704964
3	0.018634	0.715248
4	0.146562	0.037087
5	0.094092	0.168285
6	0.456166	0.294512
7	0.281873	0.117457
8	0.007757	0.522179
9	0.272148	0.089515
10	0.021862	0.469439
11	0.000006	0.773698
12	0.066761	0.161890
13	0.324709	0.174356

14	0.338376	0.139114
15	0.361041	0.272582
16	0.285504	0.268291
17	0.000000	0.811568
18	0.321887	0.259182
19	0.000000	0.681909
20	0.208651	0.247386
21	0.257748	0.234171
22	0.132373	0.167314
23	0.242712	0.196280
24	0.005068	0.765189
25	0.275278	0.125429
26	0.013775	0.448685
27	0.000590	0.791851
28	0.125974	0.709919
29	0.059465	0.260210
30	0.037696	0.227808
31	0.093370	0.589670
32	0.086442	0.237765
33	0.013549	0.400087
34	0.000000	0.113303
35	0.008513	0.367916
36	0.286231	0.207095
37	0.087710	0.184683
38	0.005975	0.404019
39	0.403106	0.114372
40	0.053271	0.413682
41	0.334819	0.095871
42	0.378808	0.265470
43	0.013299	0.477328
44	0.000000	0.856643
45	0.700979	0.109232
46	0.175188	0.168144
47	0.380567	0.081044
48	0.193329	0.226245

```
_tmp3 = np.round(_tmp2[['PC1', 'PC2', 'PC3', 'PUC - Muito Baixo (ha)', 'PUC - Baixo (ha)', 'PUC - Médio (ha)', 'PUC - Alto (ha)', 'PUC - Muito Alto (ha)']].corr(),2)
```

```
import seaborn as sns
```

```
plt.figure(figsize=(20,20))
```

```
sns.set(font_scale=1)
```

```
sns_plot = sns.heatmap(_tmp3, linewidths=.1, linecolor='#ffffff',
                        cmap='YlGnBu', xticklabels=1, yticklabels=1, annot=True)
```