



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

Estimativa do Potencial de Infiltração e Recarga de Água em Bacias
Hidrográficas Considerando a Qualidade do Solo

Najla Evangelista Sales

Itapetinga - BA
Dezembro/2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Estimativa do Potencial de Infiltração e Recarga de Água em Bacias
Hidrográficas Considerando a Qualidade do Solo

Autora: Najla Evangelista Sales
Orientador: José Wildes Barbosa dos Santos

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: “Tecnologias para Soluções de Problemas Socioambientais”

Itapetinga - BA
Dezembro/2020

551.48 Sales, Najla Evangelista

S155e Estimativa do potencial de infiltração e recarga de água em bacias hidrográficas considerando a qualidade do solo. / Najla Evangelista Sales. – Itapetinga, BA: UESB, 2020. 77fl.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: “Tecnologias para Soluções de Problemas Socioambientais”. Sob a orientação do Prof. D. Sc. José Wildes Barbosa dos Santos.

1. Hidrologia. 2. Conservação de água - Qualidade do solo. 3. Bacias hidrográficas - Indicador hidrológico. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais, *Campus* de Itapetinga. II. Santos, José Wildes Barbosa dos. III. Título.

CDD(21): 551.48

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Solo - Bacias hidrográficas - Indicador hidrológico
2. Hidrologia - Conservação de água
3. Solo – Qualidade - Conservação de água



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Programa Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UESB/RTR/PPG/PPGCA

NAJLA EVANGELISTA SALES

“ÍNDICE PARA ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO E RECARGA DE ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS A PARTIR DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DO SOLO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Itapetinga, BA. Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Aprovada em: 22/12/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Wildes Barbosa dos Santos (Orientador/UESB)

Prof. Dr. Paulúcio da Silva (UESB)

Profa. Dra . Crislene Viana da Silva (UESB)



Documento assinado eletronicamente por **Danilo Paulúcio Da Silva, Professor Titular**, em 22/12/2020, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Crislene Viana Da Silva, Professor Titular**, em 04/01/2021, às 14:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Wildes Barbosa Dos Santos, Professor Titular**, em 04/01/2021, às 19:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://seibahia.ba.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **00025771112** e o código CRC **E5F1221A**.

SUMARIO

	Páginas
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Hipótese	2
1.2 Objetivos Geral e Específicos.....	2
1.2.1 Objetivo Geral	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Bacias Hidrográficas.....	3
2.1.1 Conceitualização e abordagem	3
2.1.2 Planejamento e gestão	4
2.1.3 Recursos hídricos: geopolítica.....	5
2.2 Solo: um recurso fundamental	6
2.2.1 Importância e funcionalidade	6
2.2.2 Infiltração e conservação de água no solo	8
2.3 Indicadores, índices e sua importância	10
2.3.1 Políticas Públicas: Indicadores e índices	12
2.3.1.1 Indicadores e índices na área ambiental	13
2.3.1.2 Dinâmica da Água no Ambiente, Modelos Hidrológicos e a Importância dos Indicadores.....	14
2.3.2 Índice de Qualidade do solo	16
3. METODOLOGIA.....	21
3.1 Caracterização das áreas de estudo.....	21
3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Catolé	21
3.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas	22
3.2 Métodos e técnicas.....	23

3.2.1 Delimitação da área de estudo e Classificação supervisionada	23
3.2.2 Obtenção de dados e propriedades físicas do solo	24
3.2.3 Determinação do Índice de Qualidade do Solo relativo a Conservação de Água (IQSA)	24
3.2.5 Separação de Escoamento e Verificação de eficiência do IQSA	26
4. RESULTADOS	28
4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande.....	30
4.1.1 Índice de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água (IQSA)	32
4.1.2 Taxas de escoamento subterrâneo	33
4.2 Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas	33
4.2.1 Índice de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água (IQSA)	36
4.2.2 Taxas de Escoamento Subterrâneo	36
4.3 Comportamento hidrológico e IQSA.....	37
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXO I.....	48

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Localização da Bacia Hidrográfica do rio Catolé e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.....	21
Figura 2 Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método ML (MIRANDA, 2012).....	27
Figura 3 Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.....	28
Figura 4 Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande para os anos de 1973, 1986 e 2016.....	31
Figura 5 Mapa de Uso e Ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas para os anos de 1976, 1986 e 2019.....	35

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Valores de referência para os indicadores de qualidade de argissolo e latossolo.....	29
Tabela 2 Valores de Indicadores de Qualidade do solo Padronizados.....	30
Tabela 3 Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande.....	30
Tabela 4 IQSA para a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande para os anos de 1973, 1983 e 2016.....	32
Tabela 5 Percentual de escoamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande.....	33
Tabela 6 Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.....	34
Tabela 7 IQSA para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas para os anos de 1976, 1986 e 2019.....	36
Tabela 8 Percentual de escoamentos na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.....	37

RESUMO

SALES, N, E. Estimativa do Potencial de Infiltração e Recarga de Água em Bacias Hidrográficas Considerando a Qualidade do Solo: UESB, 2020 (Dissertação – Mestrado em Ciências Ambientais, Área de concentração em Tecnologias para Soluções de Problemas Socioambientais),¹

A crescente degradação de recursos naturais fundamentais, como o solo e água, tem sido intensificada pela alta demanda de produtos agrícolas e industriais, evidenciando a necessidade de encontrar formas eficazes de gerenciá-los. Neste sentido, o monitoramento do uso e ocupação do solo permite avaliar os efeitos das atividades antrópicas exercidas ao longo de um território, uma vez que diversos estudos já constataram que a qualidade do solo influencia diretamente na qualidade e quantidade de água em uma bacia hidrográfica. Por este motivo, o presente trabalho objetivou desenvolver um índice que reflita a dinâmica entre a qualidade do solo e a conservação de água em bacias hidrográficas (IQSA), visando o processo de infiltração e recarga. Para a estruturação do índice foi necessário a delimitação das áreas de estudo, assim como o mapeamento do uso e ocupação do solo em escala temporal, em ambiente SIG. O IQSA foi composto por propriedades físicas do solo relacionadas ao processo de infiltração e o tipo de cobertura vegetal. Após a simulação do IQSA, notou-se uma tendência decrescente ao longo dos anos em ambas as bacias hidrográficas, destacando os primeiros anos analisados com os maiores índices. Sendo assim, o ano de 1973, a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, apresentou um IQSA de 0,701, e a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, em 1976, um IQSA de 0,593, decrescendo nos anos posteriores. A partir das análises dos índices, observou-se que processo de redução da cobertura vegetal e o processo de antropização em escala temporal, colabora para a redução do potencial de infiltração de água no solo, e conseqüentemente no escoamento subterrâneo e recarga de água.

Palavras-chave: indicador hidrológico; conservação de água; hidrologia, SIG.

¹ Orientador: José Wildes Barbosa dos Santos, D. Sc., UESB.

ABSTRACT

SALES, N, E Estimation of Infiltration Potential and Water Recharge in Watersheds Considering Soil Quality: UESB, 2020 (Dissertation - Master in Environmental Sciences, Technology Concentration Area for Social and Environmental Problems)

The increasing degradation of fundamental natural resources, such as soil and water, has been intensified by the high demand for agricultural and industrial products, highlighting the need to find effective ways to manage them. In this sense, the monitoring of land use and occupation allows to assess the effects of anthropic activities carried out over a territory, since several studies have already found that soil quality directly influences the quality and quantity of water in a hydrographic basin. For this reason, the present study aimed to develop an index that reflects the dynamics between soil quality and water conservation in hydrographic basins (IQSA), aiming at the infiltration and recharge process. For the structuring of the index, it was necessary to delimit the study areas, as well as the mapping of land use and occupation on a temporal scale, in a GIS environment. The IQSA was composed of physical properties of the soil related to the infiltration process and the type of vegetation cover. After the IQSA simulation, a decreasing trend was noted over the years in both hydrographic basins, highlighting the first years analyzed with the highest rates. Thus, in 1973, the Catolé Grande River Watershed, presented an IQSA of 0.701, and the Ondas River Watershed, in 1976, an IQSA of 0.593, decreasing in later years. From the analysis of the indexes, it was observed that the process of reducing vegetation cover and the process of anthropization on a temporal scale, collaborates to reduce the potential for water infiltration in the soil, and consequently in the underground runoff and water recharge.

Keywords: hydrological indicator; water conservation; hydrology, GIS.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente um dos desafios enfrentados pela sociedade é o uso sustentável de recursos naturais como solo e água, uma vez que a demanda exigida por produtos agrícolas e industriais intensifica a exploração e conseqüente degradação destes recursos. Pode-se destacar a atividade agrícola com ênfase na monocultura como um dos fatores de aceleração da degradação do solo, geralmente ocasionada pelo superpastejo e uso do fogo, há outros fatores como atividade pecuária e a construção de obras civis no meio rural também tem acarretado problemas de degradação ambiental (ALVES *et al.*, 2007). É importante ressaltar que a exploração predatória de recursos naturais leva a degradação do meio ambiente, o que evidencia a necessidade crescente de encontrar formas eficazes de gerenciá-los. Tratar bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento e gestão de recursos é uma proposta que vem sendo trabalhada no Brasil. O monitoramento ambiental nessas unidades busca caracterizar aspectos que auxiliam no diagnóstico de mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, possibilitando a avaliação dos efeitos das atividades antrópicas exercidas sobre os ecossistemas (FERNANDES *et al.*, 2011).

A degradação de remanescentes florestais e o manejo inadequado do solo, além de reduzir a qualidade do solo, interfere diretamente na recarga e na qualidade de água em uma bacia hidrográfica. Neste sentido, fatores ligados à superfície influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água no solo, no volume de escoamento superficial e produção de sedimentos que chega ao corpo hídrico, evidenciando que a conservação de água depende primeiramente de práticas adequadas de conservação do solo em toda a bacia hidrográfica (HONDA e DURIGAN, 2017). A disponibilidade natural de água tem sido pauta de diversas discussões não apenas na comunidade científica, mas também em diversos setores da sociedade. Problemas como desmatamento, modificação antrópica da paisagem e poluição tem sido gradativamente associados à escassez hídrica atual, deste modo é necessário entender a dinâmica da água no ambiente e suas relações com solo e atmosfera, afim de desenvolver soluções ou meios eficazes para gestão deste recurso, seja para monitoramento ou simulações hidrológicas.

Neste sentido, o desenvolvimento de modelos hidrológicos que permitam representar e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica por meio de equações matemáticas é importante, subsidiando o processo de gestão dessas áreas. Desde os anos 1990 há uma

crescente preocupação com a qualidade do solo e uso sustentável deste recurso, dando início a uma série de estudos que consistem na identificação de um índice que possa ser aplicável como Indicador de Qualidade do Solo (IQS), a fim de auxiliar na avaliação desse recurso em relação à degradação ambiental e julgar as práticas de manejo utilizadas (MELO FILHO *et al.*, 2007; VEZZANI& MIELNICZUK, 2009). A dinâmica da água no solo é um processo complexo, diversos estudos foram desenvolvidos no sentido de representa-lo por meio de modelos hidrológicos, entretanto, ainda não há estudos consolidados de índices que avaliem ou determinem o potencial hidrológico do solo, na escala de bacia hidrográfica, considerando a interação dos parâmetros físicos e bióticos, que contribuem na conservação de água no ambiente.

Diante do exposto, a necessidade de um índice que avalie a qualidade do solo levando em consideração o potencial de infiltração, que favorece a recarga de água subterrânea em uma dada bacia hidrográfica é relevante para auxiliar na gestão dos recursos hídricos em áreas que há um potencial de degradação significativo, funcionando como um instrumento prático no manejo sustentável e na tomada de decisões relacionadas a essas áreas.

1.1 Hipótese

A vegetação, assim como as propriedades físicas do solo, atua como uma variável limitante, no processo de infiltração e recarga da água em uma bacia hidrográfica.

1.2 Objetivos Geral e Específicos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um índice que determine a influência da qualidade do solo no processo de infiltração e conservação de água em uma bacia hidrográfica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar em escala temporal o uso e ocupação do solo;
- Avaliar a relação entre o escoamento subterrâneo e o uso e ocupação do solo;
- Desenvolver um índice de qualidade do solo relativo a conservação e infiltração de água em uma bacia hidrográfica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bacias Hidrográficas

2.1.1 Conceitualização e abordagem

O conceito de bacia hidrográfica pode ser entendido como a interação entre rede hidrográfica e relevo. As diversas definições até hoje mencionadas permeiam esses dois aspectos, podendo assim ser entendida como uma área de captação natural de água precipitada, onde o escoamento é direcionado a um único ponto, chamado de exultório ou foz (TUCCI, 1997).

Em 1981, Christofolletti apresentou uma definição de bacia hidrográfica com uma nova perspectiva, denominando-a como uma área drenada por um rio ou sistema fluvial, fazendo uma analogia a um sistema aberto, em que ocorre a entrada e saída de energia e matéria. Assim, bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área delimitada topograficamente, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, funcionando como receptora natural de água da chuva, sendo drenada por um curso d'água principal e seus afluentes, convergindo o escoamento para um único ponto de saída (TEODORO et al, 2007).

No Brasil, em 1997 foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos, incorporando princípios e normas para a gestão destes recursos tendo como unidade de estudo e gestão as bacias hidrográficas. Apesar de constituir um sistema natural cujo referencial é a água, uma bacia hidrográfica na verdade atua como um conjunto de componentes naturais que interagem, como relevo, solos, subsolo, flora e fauna (ROSS e DEL PRETTE, 1998).

Segundo Santos (2004), o conceito de bacia hidrográfica é comumente usado, podendo ser entendida como um sistema natural bem delimitado no espaço em que as interações físicas podem ser analisadas facilmente, podendo ser interpretadas, a priori, pela observação do input e output ao longo do seu território. É importante ressaltar que as atividades humanas se desenvolvem na área de uma bacia hidrográfica, principalmente as que movem a economia. Sendo assim, todas as áreas sejam elas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Logo, no seu exutório

pode conter a representação de todos os processos que fazem parte do seu sistema, refletindo as formas de ocupação do território e utilização das águas que para ali convergem.

Tendo em vista a importância da água na sociedade industrial moderna, a bacia hidrográfica passa a funcionar como um referencial geográfico para planejamento, manejo ou aproveitamento de recursos naturais. Nesse sentido, a problemática relacionada à água consolidou-se na evolução da própria sociedade, onde a água passa a ser tratada como um recurso a ser explorado, favorecendo, especialmente, as atividades econômicas (SILVA *et al.*, 2015).

2.1.2 Planejamento e gestão

A ausência de planejamento no uso dos recursos naturais traz consequências negativas como a má conservação do solo e da água, erosão, perdas ambientais e econômicas. Neste sentido, as bacias hidrográficas, apresentam características próprias que permitem a análise dos efeitos de uso e ocupação do solo, ou seja, permitem uma análise integrada de ecossistemas (CARVALHO *et al.*, 2012).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas e do tipo da cobertura vegetal existente, e assim as ações antrópicas que intervêm no meio natural afetam seu comportamento hidrológico (LIMA, 1976; TONELLO, 2005). Deste modo, nota-se que as características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica são fundamentais nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração e a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, o escoamento superficial e subsuperficial. Portanto, se uma bacia hidrográfica possui uma forma alongada e alta densidade de drenagem, em condições normais de pluviosidade, espera-se uma menor ocorrência de cheias, entretanto, com o relevo acidentado, associado a solos rasos e desmatamentos frequentes, pode causar cheias (OLSZEWSKI *et al.*, 2011).

Partindo deste ponto de vista, é evidente a necessidade de conservação e recuperação das bacias hidrográficas para garantir os seus múltiplos usos uma vez que a degradação dos ecossistemas naturais e o manejo inadequado do solo reduzem a oferta de água e agravam os conflitos diante da escassez (FALKENMARK e MOLDEN, 2008; BALAJI *et al.*, 2012). Há diversos estudos que demonstram que a infiltração é severamente reduzida em áreas de pastagens ou cultivos com solos compactados e sem práticas de conservação, além disso, a energia cinética causada pelo impacto direto das gotas da chuva desagrega as partículas do solo, que além de causar o encrostamento da superfície do solo, produz sedimentos que são carregados diretamente para os rios pelo escoamento superficial (TAROLLI e SOFIA, 2016). Nessas áreas antropizadas, sem práticas de conservação e pouca cobertura vegetal,

em períodos chuvosos, geralmente há picos de vazão, ocasionando enchentes. Entretanto, volume concentrado de água que escoar superficialmente, mesmo que seja quantificado como parte da produção hídrica, permanece disponível por um período muito curto de tempo, evidenciando a escassez de água no período de estiagem (FAO 2003, FALKENMARK e ROCKSTROM, 2008; FALKENMARK *et al.* 2014).

No planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica a vegetação é um importante indicador a ser avaliado, uma vez que sofre influência de fatores climáticos, edafológicos e bióticos, exercendo um papel importante na estabilização dos ambientes, protegendo o solo de processos erosivos, proporcionando melhor infiltração e acúmulo das águas pluviais. Além disso, algumas variáveis como solo podem sofrer o efeito da alteração na cobertura vegetal. A alteração na cobertura vegetal pode implicar, direta ou indiretamente, no ciclo hidrológico negativamente, reduzindo a capacidade de infiltração e acumulação natural desse recurso nos aquíferos, além de aumentar a possibilidade de erosão hídrica pela ausência de interceptação das gotas de chuva, aumentando sua energia cinética (ALMEIDA *et al.*, 2012). Assim, a presença de vegetação em uma bacia hidrográfica é importante, uma vez que a interceptação é um processo hidrológico que deve ser considerado no balanço hídrico, sendo significativa no recebimento e redistribuição das chuvas e ainda, parte da precipitação fica temporariamente retida, onde posteriormente é evaporada para atmosfera, e outra parte chega ao solo, como fluxo que escoar pelo tronco das árvores (ARCOVA *et al.*, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

2.1.3 Recursos hídricos: geopolítica

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão tem sido trabalhada em muitos países e regiões com o intuito de descentralizar a gestão das águas (TUNDISI, 2006). O modelo de gestão francês, considerado um dos mais bem-sucedidos da Europa central, tem como base a ampla participação dos usuários de água e a cobrança pelo uso, onde os comitês são responsáveis pela arrecadação e destinação dos recursos. Em 1964, a França afastou-se do modelo tradicional administrativo (regiões, departamentos, comunas ou municípios), abordando o quadro geográfico natural do ciclo da água para resolver problemas relacionados a este recurso. Nesse contexto surgiu a bacia hidrográfica como unidades de gestão, dividindo o país em regiões hidrográficas, cujo curso d'água e seus afluentes exercem certa importância. Para a melhor administração destas regiões, criou-se os Comitês e Agências financeiras para cada bacia hidrográfica. Em 1991 as Agências financeiras foram renomeadas como Agência das Águas, e em 1992 instituída a Lei da Águas nº 92-3 (MACHADO, 2003; CERQUEIRA *et al.*, 2016).

Em casos de rios transfronteiriços, o conceito de bacia hidrográfica para planejamento e gestão dos recursos hídricos é uma questão complexa, uma vez que envolve fatores geopolíticos, e em alguns casos, culturais. Apesar do sucesso da experiência francesa de gestão das águas, algumas bacias hidrográficas internacionais dependem de recursos hídricos compartilhados, sendo objetos de conflitos até os dias atuais. Neste contexto, a gestão da água na Ásia Central, que apesar na abundância hídrica, tem sido território de conflitos. A gestão das águas transfronteiriças, por estar ligada a política energética e à segurança torna-se uma tarefa complicada, uma vez que as cinco republicas buscam independência energética e tentam consolidar uma posição importante neste cenário geopolítico. Os conflitos nesta região são decorrentes das deficiências da transição da União Soviética para Estados-Nação independentes, criando um terreno frágil e de disputas intensas pelo acesso aos recursos hídricos. O cenário de integração regional tem sido prejudicado por sistemas políticos autoritários, além da intervenção de outros atores regionais que buscam interesses próprios (ABDOLVAND *et al.*, 2014).

No caso do Brasil, não há conflitos expressivos em relação à gestão de recursos hídricos, a administração é feita baseado no modelo francês, por meio de Comitês de Bacias Hidrográficas. Apesar do país ter um potencial hídrico significativo, com cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta e 18% de água superficial, algumas regiões tem sofrido com a desigualdade na distribuição deste recurso. Visto que a extensão territorial do país e a disponibilidade de água nem sempre é proporcional, neste sentido, a região Norte detém aproximadamente 80% do volume total de águas do país, em contrapartida, o Nordeste tem disponível apenas 5% deste volume. Além da desigualdade regional na distribuição hídrica do país, desde 2012 diversos municípios têm sofrido com as reduções da pluviosidade, evidenciando um cenário complexo de escassez hídrica, causando impactos graves na oferta de água para o abastecimento público e outros usos, como a irrigação no setor de agricultura e produção de energia elétrica. Diante deste cenário é evidente a necessidade de discutir soluções e formas eficazes de gerenciar este recurso, além de investimentos tecnológicos e científicos relacionados a conservação de água no país (JACOBI *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2018).

2.2 Solo: um recurso fundamental

2.2.1 Importância e funcionalidade

O solo é um recurso natural essencial para a humanidade, contribuindo, direta e indiretamente, na produção de alimentos, na biodiversidade da flora e ainda na manutenção do ciclo hidrológico. Segundo Doran e Parkin (1996), o solo pode atuar em seis funções

críticas: Ciclagem de materiais orgânicos para liberação de nutrientes, que posteriormente serão reutilizados na síntese de nova matéria orgânica (ou seja, um ciclo); Estocagem e gradual liberação de água e nutrientes; Divisão da água da chuva que chega à superfície do solo: escoamento superficial e infiltração; Manutenção da diversidade de habitat necessária aos seres vivos do solo; Sustentação das raízes e resistência à erosão provocada pelo vento e água; Divisão (partição) da energia superficial, importante em processos globais.

O processo de formação e origem do solo está diretamente relacionado com o intemperismo e fatores como clima, material parental, relevo, organismos vivos e tempo. Nesse processo ao ocorrer a degradação e transformação de diversos materiais orgânicos e inorgânicos, possibilita a geração de características de solos diversas (LAL, 2005; LEPSCH, 2010).

O solo exerce a função de estoque e transporte de água, ou seja, exerce um papel importante no processo de infiltração e escoamento superficial. O solo funciona como um filtro e reservatório de água, logo, a transformação de áreas florestais ou de campos nativos com vegetação permanente em áreas agrícolas ou urbanas pode levar a uma diminuição da capacidade do solo em armazenar e infiltrar água, o que vem ocasionando problemas na atualidade (MOTTA & BARCELOS, 2007). Segundo Lima (2008), o uso do solo exerce influência sobre a infiltração e ainda, por meio do manejo integrado de bacias hidrográficas, pode-se alterar a capacidade de infiltração.

O solo, por exercer diversas funções, pode ser considerado a base de manutenção da vida, ou seja, um recurso vivo e fundamental para o funcionamento integral dos ecossistemas. Desta forma, o seu uso e manejo devem ser tratados com cautela, prevenindo a sua degradação e perda do potencial de produção e da prevenção de outros serviços dos ecossistemas para futuras gerações (BARRIOS; COUTINHO; MEDEIROS, 2011).

A capacidade de ciclagem de nutrientes do solo é importantíssima no desenvolvimento de atividades econômicas, como a agricultura e pecuária. Neste caso, um processo importante é a decomposição de resíduos, uma vez que ela libera nutrientes para a solução do solo, em pastagens, por exemplo, o que não é incorporado pelo animal, retorna ao solo, como resíduo a ser decomposto, e com ele nutrientes como fósforo (ANGHINONI *et al.*, 2011).

Em 2012, Silva observou em seu estudo a capacidade de infiltração de água em diferentes usos do solo, onde na área de mata preservada a taxa de infiltração foi satisfatória, nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, onde o solo sofre compactação pelo uso de máquinas e processos de queimada, a infiltração apresenta valores elevados dado ao processo de remoção do solo para a replantação. Baixos índices de infiltração foram verificados na área de pasto e plantio de abacaxi, um atribuído ao pisoteio do gado, compactando o solo, e outro

ao uso de herbicida que, inibe o desenvolvimento da vegetação, diminuindo a oferta de matéria orgânica.

A morfologia de um solo pode ser descrita como um conjunto de características, tanto do seu perfil, como de sua superfície, funcionando como um sistema trifásico, formado basicamente por três fases: sólida, líquida e gasosa. Sendo assim, este sistema é composto por matéria mineral, matéria orgânica, água e ar. As propriedades físicas do solo (textura, estrutura, distribuição e tamanho dos poros) influenciam diretamente no armazenamento de água, sendo assim o fenômeno de retenção de água no solo acontece devido a capilaridade e adsorção, ligado à afinidade entre as partículas sólidas e a água, ocorrendo apenas quando há a presença de interfaces água-ar, também chamadas de meniscos (RAMOS, 2017).

2.2.2 Infiltração e conservação de água no solo

A infiltração de água no solo é caracterizada pela passagem de água, ao longo do perfil do solo, através da interface solo-atmosfera sob a forma de chuva ou irrigação. A infiltração é considerada um fenômeno complexo, sendo influenciada por diversas variáveis relacionadas as características físicas e morfológicas do solo, como por exemplo a textura, estrutura e declive (REZENDE e SCALOPPI, 1985; WALKER & SKOGERBOE, 1987).

Reichert *et al.* (1992) argumenta que a textura do solo afeta sensivelmente o salpico de partículas com impacto das gotas de chuva, o que contribui para uma redução da porosidade da camada superficial do solo, causando o selamento superficial e reduzindo a taxa de infiltração. Com o impacto das gotas, ocorre uma dispersão físico-química das argilas do solo, causando o selamento superficial, reduzindo a infiltração e intensificando o escoamento superficial (MORIN e VAN WINKEL, 1996).

Neste sentido, o selamento superficial influencia negativamente o processo de infiltração de água no solo, sendo intensificado pela ausência de cobertura vegetal e processos de erosão. Segundo Alves & Cabeda (1999) a infiltração de água pode ser considerada um dos fenômenos que melhor refletem as condições físicas internas do solo, pois uma boa qualidade estrutural leva a uma distribuição de tamanho de poros favorável ao crescimento de raízes e à capacidade de infiltração de água no solo. Outro fator que influencia o processo de infiltração de água no solo é a cobertura vegetal, além disso, a presença de árvores aumenta o aporte de matéria orgânica dos solos, o que conserva a umidade, aumenta a capacidade de absorção e infiltração de água, fazendo com que o risco de erosão seja reduzido e estimulando a atividade biológica (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001).

Alves *et al.* (2007) observou que valores mais altos da infiltração em áreas com cobertura vegetal estão associados à influência que esta exerce sobre as propriedades físicas do solo, manifestando-se essencialmente por meio da proteção de sua parte aérea contra o impacto das gotas de chuva, que ocasiona o encrostamento, e estabilizador de substâncias orgânicas excretadas pelas raízes, principalmente aquelas sintetizadas pelos microrganismos do solo no processo de decomposição. Em seu trabalho, Alves observou que após seis meses da combinação de prática mecânica mais uso de matéria orgânica, a mobilização do solo foi o fator que sobressaiu quanto ao aumento da infiltração de água.

A presença de cobertura vegetal em sistemas de pastejo integrados com agricultura podem manter a taxa de infiltração de água no solo inalterada, como foi verificado por Lanzasova *et al.* (2007) com o cultivo de milho, em razão do elevado aporte e manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, sugerindo que a quantidade de resíduos de milho foi suficiente para prevenir prejuízos à infiltração induzido pela frequência do pastejo. O que não ocorreu com o cultivo de soja, apesar do fato do sistema radicular ser mais desenvolvido proporcionando maior macroporosidade em relação ao milho, o aporte de resíduos produzido pela soja é consideravelmente menor, o que não favoreceu a infiltração de água.

Lima (2008) ainda afirma que a textura refere-se à proporção mineral contidos no solo (areia, silte, argila), entretanto, a estrutura refere-se ao arranjo desses componentes. Sendo assim a estrutura pode ser afetada pela textura, matéria orgânica e atividade biológica, por exemplo. A estrutura do solo pode assim, definir, a distribuição e tamanho dos poros, conduzindo o aumento ou redução da porosidade, que pode ou não contribuir para a melhoria de outras características do solo como infiltração, armazenamento de água e aeração.

Araújo *et al.* (2009) avaliou a capacidade de infiltração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na chapada do Araripe, associando a capacidade de infiltração com a matéria orgânica, utilizada como indicador de modificações na estrutura dos solos. As maiores capacidades de infiltração foram observadas nas áreas de floresta úmida, com maior teor de matéria orgânica, e as menores nos demais grupos de áreas antropizadas, com menor teor de matéria orgânica. Nas áreas de floresta preservada, a serrapilheira, a matéria orgânica e as raízes das árvores protegem o solo dos impactos das gotas chuva, contribuem com a elevada capacidade de infiltração e ajudam a manter o solo coeso, reduzindo o perigo do transporte de sedimentos.

É importante ressaltar que existem fatores que reduzem a magnitude de infiltração severamente, tal como manejo inadequado do solo, atividade exercida na área, principalmente as que causam compactação do solo, a formação ou presença do selamento superficial, fenômeno motivado pela pequena porosidade desta camada e à dominância de

poros de pequeno diâmetro. Miguel *et al.* (2009) em seus experimentos observou a redução gradativa da infiltração a cada passagem do gado avaliada, confirmando que há ocorrência de compactação do solo em função do pisoteio do gado, destacando o controle da taxa de lotação animal e oferta de forragem como um modo sustentável para o desenvolvimento da atividade pecuária, visando a conservação do solo. Tais práticas evidenciam o efeito de mitigação da cobertura vegetal sobre a qualidade física do solo.

Diante do exposto, é evidente que a infiltração de água no solo é um processo importante, principalmente por estar relacionado a disponibilidade e qualidade de água no cenário atual. A infiltração de água no solo é responsável pelo reabastecimento de aquíferos e manutenção do fluxo de base dos rios, além de ser muito importante para propiciar uma maior permanência de água em uma bacia hidrográfica. Além disso, as condições de preservação ambiental estão intimamente relacionadas ao reabastecimento dos aquífero (MORAIS, 2012).

A armazenagem e movimentação de água no solo é resultado da interação das características do solo, onde a ocorrência adequada do processo de infiltração promove a disponibilidade de água para culturas, recarga dos aquíferos subterrâneos, ocorrência e magnitude moderada do escoamento superficial e, conseqüentemente, no manejo do solo e água, portanto, um dos mais importantes componentes do funcionamento eficiente do ciclo hidrológico (BORTOLINI, 2016).

O desmatamento ou substituição da mata nativa por pastagem pode reduzir a capacidade de infiltração e aumentar as perdas de umidade do solo nessas áreas, o que é capaz de reduzir sensivelmente a recarga de aquíferos. Segundo Goudie (1993), o aumento imediato na recarga de um corpo hídrico pode ser atribuído a derrubada de uma floresta, causando até elevação do nível piezométrico. Mas, após algum tempo, a compactação e o endurecimento da superfície do solo o deixam desfavorável ao crescimento de plantas, acelerando o escoamento superficial e reduzindo a recarga, baixando o nível piezométrico. A redução da infiltração aumenta o escoamento superficial e o tempo de permanência da água na camada superficial do solo, no qual a evaporação é mais intensa devido à incidência direta dos raios solares na superfície do solo desnudado.

2.3 Indicadores, índices e sua importância

A origem da palavra indicador, vem do latim “*indicare*”, que significa apontar. Em português, remete a palavra indicar que pode significar: mostrar, dar a conhecer, mencionar ou esboçar brevemente. Neste sentido, indicador é uma ferramenta que possibilita a

obtenção de informações sobre uma dada realidade, podendo ser um dado individual ou um conjunto de informações (MITCHELL, 1996; MULLER *et al*, 1997).

O conceito de indicador deve permear algumas ideias centrais, como: sintetizar um conjunto de informações em um número; permitir medir determinados fenômenos entre si ou ao longo do tempo; possibilitar a verificação, observação, avaliação do objeto em questão. E ainda, podem ser divididos em dois tipos, simples e compostos. Os indicadores simples geralmente descrevem de imediato um aspecto da realidade, sendo muito úteis para realizar avaliações de setor ou cumprimento de metas ou plano de governo, por exemplo, número de leitos implantados em um hospital, ou número de crianças matriculadas no 2º grau. Já os indicadores compostos apresentam um conjunto de aspectos da realidade, reunindo em um único valor, vários indicadores simples, havendo a necessidade de estabelecer uma ponderação, de acordo com a relevância dos indicadores simples que o compõe (CALDAS e KAYANO, 2001).

A busca por indicadores que pudessem conduzir às mudanças e gerassem resultados às organizações começou na década de 80, juntamente com movimentos em busca pela qualidade e gerenciamento de processos (RAMPERSAD, 2004). Desde então, indicadores tem sido utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento como saúde, educação, economia e meio ambiente, funcionando como instrumentos importantes de gestão, seja de origem estatal ou civil, uma vez que havia uma pressão voltada a resultados baseados em fatos e dados.

Em termos práticos, um indicador é um tipo de informação constituída por um conjunto de dados ou variáveis, submetidos a operações estatísticas, que revelam sobre um fenômeno ou evento. Portanto, um indicador tem a capacidade de síntese simplificando informações relevantes, o que facilita a comunicação entre os diversos usuários no planejamento e tomada de decisões. Por exemplo, no setor de saúde há diversos indicadores que são tradicionalmente utilizados e de fácil compreensão, como por exemplo taxa de mortalidade infantil e proporção de internações hospitalares por especialidade (SOBRAL *et al*, 2011).

Indicadores também podem ser agregados em conjunto, facilitando sua comunicabilidade, de modo que por meio de cálculos, base científicas e métodos adequados, represente de forma correta a realidade de um sistema, chamados de indicadores compostos, amplamente conhecidos como índices. O índice, neste caso, estabelece uma relação entre o valor representado e uma referência, possibilitando analisar a evolução e a relação com a realidade do sistema em análise, também chamado de indicador de alta categoria (SICHE, 2007; SOBRAL *et al*, 2011).

2.3.1 Políticas Públicas: Indicadores e índices

Indicadores são modelos que simplificam a realidade, possibilitando a compreensão de fenômenos e a comunicação entre diferentes atores sociais. Por este motivo, esse tipo de ferramenta é utilizada nas diversas áreas do conhecimento auxiliando no processo de tomada de decisão, atuando como informações pontuais em escala espaço-temporal, permitindo uma análise dinâmica da realidade (MAGALHÃE JÚNIOR, 2007).

Na área da saúde, é comum a utilização de indicadores simples, chamados de indicadores de desempenho, como a mortalidade hospitalar, expresso por uma taxa. Proposto por Ernest Codman, utilizar dados de mortalidade como indicador de qualidade em hospitais permite a melhoria da qualidade dos serviços de saúde. Neste sentido, este indicador pode atender puramente a dois propósitos centrais: determinar se há uma melhoria no desempenho de um hospital ao longo do tempo e monitorar se o desempenho de um conjunto de hospitais difere numa escala temporal. A taxa de mortalidade pode apresentar algumas limitações dificultando a sua interpretação, sendo assim necessário conhecer as causas de variações. Tais variações podem ser atribuídas a diferença quanto a gravidade do estado de saúde atendida em cada hospital, variações na eficácia das tecnologias médicas empregadas, adequação do processo de cuidado ao paciente e erros aleatórios (TRAVASSOS *et al*, 1999).

Nas políticas Públicas, os indicadores compostos, também denominados índices, são utilizados para subsidiar sua formulação e avaliação, podendo variar entre aspectos puramente econômicos até os de âmbito social e humano das condições de vida da população. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por exemplo, foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para medir os aspectos sociais e econômicos do desenvolvimento, simplificando em um único número as dimensões relacionadas a renda, saúde e educação. Esse índice incorpora o PIB per capita na dimensão de renda, a esperança de vida ao nascer na dimensão de longevidade, e os indicadores “taxa de alfabetização da população com 15 ou mais anos de idade” e “taxa bruta de matrícula nos níveis de ensino primário, médio e superior”. Uma das limitações na utilização do IDH, citado por diversos autores (TORRES, FERREIRA e DINI, 2003; KAYANO e CALDAS, 2002), é a falta de sensibilidade para medidas de curto prazo e ações municipais específicas, o que dificulta a avaliação de resultados de políticas e ações ligadas a gestão (PEREIRA e PINTO, 2012).

2.3.1.1 Indicadores e índices na área ambiental

No setor ambiental, os indicadores são relativamente novos em termos mundiais, recebendo destaque na década de 1990, na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), voltados para a gestão de recursos naturais e desenvolvimento sustentável (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Indicadores ambientais, quando elaborados e aplicados de maneira adequada, podem refletir a pressão em que o sistema ou atividade econômica está impondo sob a natureza ou recurso natural observado, funcionando assim como um instrumento poderoso de gestão e tornando possível a análise de desempenho dos processos. Apesar da dinâmica ambiental ser complexa, algumas variáveis podem ser mensuradas e analisadas por meio deste instrumento, lucidando e até fornecendo respostas específicas sobre o local (HAI-YNG *et al.*, 2012). Um dos indicadores ambientais mais aceitos internacionalmente é o Pressure-State-Response (PSR), desenvolvido em 1993 pela OECD (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico). Por meio deste indicador pode ser analisada a pressão que atividades antrópicas exercem sobre o meio ambiente, considerando a quantidade e qualidade dos recursos fornecidos comprometendo seu estado. Diante das mudanças ocorridas, a sociedade fornecerá políticas econômicas, setoriais e ambientais como resposta (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

No Brasil, um indicador de qualidade ambiental que é amplamente conhecido e utilizado como um instrumento em órgãos estaduais é o IQA, Índice de Qualidade das Águas, desenvolvido na década de 1970 pela National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos da América. Este índice costuma variar de 0 a 100, funciona como um mecanismo de comparação e monitoramento da qualidade de corpos hídricos, em escala temporal e espacial, refletindo os efeitos adversos das atividades antrópicas, como contaminação por esgoto doméstico, resíduos industriais ou agropecuária. Sendo classificado como um indicador composto, o IQA é constituído por nove atributos com seus respectivos pesos (FERREIRA *et al.*, 2015). A CETESB (Companhia de Tecnologia de Sabeamento Ambiental do Estado de São Paulo) verificou a eficácia do modelo e promoveu uma adaptação para as necessidades dos corpos hídricos brasileiros, sendo o principal modelo para avaliar a qualidade das águas no país. Uma das limitações desse índice é que na ausência de um dos parâmetros, a análise do IQA é invalidada, uma vez que compromete a avaliação de resultados, além de em algumas pesquisas os resultados não representarem de modo eficaz a realidade do corpo hídrico, sendo necessário adaptações ou utilizações de outros índices (BATISTA e CABRAL, 2017).

2.3.1.2 Dinâmica da Água no Ambiente, Modelos Hidrológicos e a Importância dos Indicadores

A dinâmica da água no ambiente é representada pelo ciclo hidrológico, que consiste em uma série de processos envolvendo fenômenos como evaporação, condensação, precipitação, retenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes (RIGHETTO, 1998). É importante ressaltar que o ciclo hidrológico é um processo complexo, podendo variar em uma escala espaço temporal, de modo inconstante, funcionando em algumas situações com excessos ou escassez, no que se diz respeito à circulação de água no ambiente.

O solo desempenha um papel importante no ciclo hidrológico, uma vez que o destino da água da chuva é muito importante no processo de regularização de vazão de uma bacia hidrográfica. O destino da parcela de precipitação que atinge o solo pode infiltrar ou escoar superficialmente a depender da capacidade do solo em infiltrar. Ainda, a água que infiltra pode ter dois destinos, percolar para o aquífero ou escoar subsuperficialmente ao longo do perfil do solo, até a superfície de um curso d'água. Neste sentido, observa-se que o uso do solo influencia fortemente sobre as proporções de todos esses processos e sobre a distribuição da vazão ao longo do ano. Sendo assim, quando há incidência de cobertura vegetal nativa, a infiltração é favorecida (HONDA e DURIGAN, 2017).

Com o intuito de representar tais processos hidrológicos estudos foram desenvolvidos no sentido de criar modelos que represente a dinâmica da água no ambiente, permitindo a modelagem e simulações de diferentes cenários tendo como unidade de área uma bacia hidrográfica. Pode-se destacar o método do Número da Curva do SCS ("SCS runoff curve number", em 1986), desenvolvido pela Natural Resources Conservation Service do USDA, anteriormente designado por Soil Conservation Service ou SCS. Desenvolvido com base em estudos empíricos realizados em diversas regiões dos Estados Unidos, este modelo considera diferentes condições e tipos de cobertura do solo. De modo geral, é utilizado para estimar o volume de escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas em que sejam disponíveis informações relativas às condições do solo e da vegetação e registros diários de precipitação (PRUSKI *et al*, 2001).

Outro modelo a ser destacado é o desenvolvido por Green & Ampt (1911) que representa o processo de infiltração, monodimensional, baseada na lei de Darcy, onde intervêm parâmetros com verdadeiro significado físico. A equação foi desenvolvida para solos com perfil uniforme, sendo que o volume acumulado por infiltração é função implícita do tempo, levando a formulas explícitas aproximadas. De acordo com diferentes pesquisadores esse modelo tem apresentados bons resultados mesmo em solos em que a

densidade ou a condutividade hidráulica aumenta em função da profundidade, ou em solos com crosta à superfície (MELO, 2007).

Ainda em relação a modelagem hidrológica, o SWAT (Soil and Water Assessment Tools) foi desenvolvido pelo Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture (ARS/USDA) dos Estados Unidos, permite a modelagem e simulação hidrológica de bacias hidrográficas, com diferentes tipos e usos do solo ao longo de grandes intervalos de tempo, e ainda analisar diversos cenários, permitindo a predição de impactos como do manejo do solo sobre a qualidade da água, do transporte de sedimentos, e do transporte de químicos agrícolas (Souza, 2016). O modelo SWAT utiliza sub-rotinas de escoamento superficial e infiltrações nos solos, por exemplo, utilizando os modelos do Número da Curva e Green & Ampt, respectivamente. Além disso, o modelo utiliza a equação de equilíbrio hídrico descrito por:

$$SW = SW_i + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \text{ Eq. (1)}$$

Onde: SW é a quantidade final de água no solo (mm), SW_i é a umidade inicial do solo no dia i (mm), t é o tempo (dias), R_i é a quantidade de água que entra na zona de evapotranspiração no dia i (mm), Q_i é a quantidade de escoamento superficial no dia i (mm), ET_i é a quantidade de evapotranspiração no dia i (mm), P_i é a quantidade de água que entra na zona de aeração do perfil do solo (percolação) no dia i (mm), e QR_i é a quantidade de retorno do fluxo no dia i (mm).

O escoamento superficial é estimado a partir do método da Curva Número (SCS – Soil Conservation Service) dada pela equação:

$$Q_{sup} = \frac{(Rd - Ia)^2}{(Rd - Ia + S)} \text{ Eq. (2)}$$

Onde: Q_{sup} é o escoamento superficial acumulado ou o excesso de precipitação (mm H₂O), Rd é a lamina precipitada para o dia (mm), Ia é a abstração inicial a qual inclui o armazenamento superficial, a interceptação e a infiltração inicial para o escoamento (mm), e S é o parâmetro de retenção, varia devido a mudança de uso do solo, manejo e declividade (mm).

Para o cálculo da evapotranspiração potencial o modelo disponibiliza três métodos: Penman-Monteith (Monteith, 1965; Allen, 1986; Allen et al., 1989); Priestley & Taylor (PriestleyTaylor, 1972) e Hargreaves & Samani (Hargreaves et al., 1985), destacando o método Penman-Monteith, o qual requer dados diários de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento.

Neste caso, o modelo adota como ponto de partida a relação de proporcionalidade entre a quantidade de água na zona de evapotranspiração subtraído de todos os outros processos hidrológicos como evapotranspiração e escoamento superficial, por exemplo. A equação de equilíbrio utilizada pelo software apresenta limitações em relação a proporção de água relacionada ao processo de evapotranspiração, no momento em que a vegetação é retirada no processo de simulação, o conteúdo de água no solo é significativamente maior, se comparada a simulação com vegetação. Há uma série de estudos que comprovam que quanto maior a porcentagem de vegetação em uma bacia hidrográfica, de melhor forma será

desenvolvido o processo de manutenção e recarga de água no corpo hídrico. De acordo com o estudo feito por Rodrigues (2011), em unidades de bacias hidrográficas experimentais de dois cenários, os processos hidrológicos demonstram que a cobertura vegetal retém a maior parte da água das precipitações através da infiltração, drenagem vertical e percolação, proporcionando ascensão do nível de água da zona não saturada e nível freático aumentando o fluxo de base e a vazão. E ainda pode concluir que o fluxo de base (escoamento superficial) e o armazenamento da água no solo foram superiores em ambiente de vegetação quando comparado com ambiente a céu aberto.

O modelo hidrológico SMAP, desenvolvido em 1981 por Lopes, Braga e Conejo, como um modelo determinístico de simulação hidrológica do tipo transformação chuva-vazão, que utiliza indicadores em suas sub-rotinas. O modelo é constituído por três tipos de reservatório matemáticos (solo, superfície da bacia hidrográfica e subterrâneo), para estimar a vazão por meio de dados de entrada de precipitação, necessitando de 6 os parâmetros (capacidade de saturação do solo (mm), constante de recessão do escoamento superficial (dias), parâmetro de recarga subterrânea (%); abstração inicial (mm); capacidade de campo (%) e constante de recessão do escoamento básico (dias)) que devem ser calibrados pelo pesquisador, de acordo com as características da bacia hidrográfica. Os parâmetros abstração inicial e capacidade de campo podem ser obtidos através de características da cobertura vegetal e do tipo de solo, podendo assim, ser caracterizados como indicadores, uma vez que refletem condições físicas da bacia hidrográfica (LOPES, 1999).

2.3.2 Índice de Qualidade do solo

O termo Qualidade do Solo (QS) intensificou-se no início de 1990 com o reconhecimento da importância do solo para a qualidade ambiental, quando a comunidade científica começou a abordar, em suas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, sustentabilidade agrícola e a função do solo nessa temática. Em 1991, Larson e Pierce em um de seus estudos definiram que qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites do ecossistema e ainda que os indicadores de qualidade poderiam ser combinados em uma medida global da qualidade do solo, podendo representar uma mudança na qualidade ao longo do tempo (dQ/dt), ou não (dQ). Entretanto, eles ainda não haviam declarado se os valores dos indicadores de qualidade deveriam ser igualmente ponderados ou como poderiam indicar funções ou degradação do solo. Em uma tentativa inicial de dialogar sobre a qualidade do solo, em 1992, foi realizada uma reunião dentro da Sociedade de Ciência do Solo da América (Soil Science Society of America), que dá origem ao livro “Definindo a qualidade do solo para um ambiente sustentável”, uma publicação que

reuniu diversos trabalhos relacionados a qualidade do solo apresentados no simpósio, definindo qualidade do solo, indicadores e formas de avaliação. Com artigos em que definem qualidade do solo e propõe modelos como o conceituado Índice de Qualidade do Solo (ISQ) proposto por Karlen e Stot em 1994, este livro foi um dos primeiros passos para a preocupação da sociedade científica com a qualidade do solo e a busca pelo uso sustentável deste recurso (DORAN & PARKIN, 1994).

Segundo Doran (1997), qualidade do solo é a capacidade do solo exercer suas funções na natureza, que são: funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e servir como tampão ambiental na formação, atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (LARSON & PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997). Deste modo, QS está relacionada com as funções que capacitam o solo a receber, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (CARTER, 2001). Nesse contexto, QS é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude.

Segundo o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a QS pode ser expressa como a capacidade do solo em desempenhar suas funções no momento atual e a preservação dessas funções para uso futuro (USDA-NRCS, 2008). Considerando a percepção de tempo na preservação deste recurso para gerações futuras, pode-se estabelecer uma relação entre QS e sustentabilidade agrícola. Sustentabilidade agrícola é definida por Gliessman (2000) como a capacidade de um sistema agrícola produzir alimentos e fibras sem comprometer as condições que viabilizam esse processo de produção, ou seja, tem como base a produtividade, segurança, proteção, viabilidade e aceitabilidade (SMYTH e DUMANSKI, 1995). Portanto, a relação entre QS e sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos em que o solo seja capaz de cumprir suas funções, considerando processos ambientalmente seguros, economicamente viáveis e socialmente aceitos. Sendo assim, QS serve como um indicador para o manejo de terras (HERRICK, 2000), do solo e de culturas (HUSSAIN *et al.*, 1999), considerando uma interação positiva entre os recursos utilizados e a produção agrícola.

A identificação de um índice capaz de servir como indicador de qualidade do solo (QS) é tão importante quanto indicadores de qualidade de ar e água. Tendo em vista tal importância, cientistas, agricultores e instituições governamentais tem interesse em obter um indicador de qualidade do solo (IQS) para avaliar terras, em relação a degradação, estimar necessidades de pesquisa tal como julgar práticas de manejo, objetivando o monitoramento da sustentabilidade e na qualidade ambiental, em resposta ao uso e ocupação do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

De modo geral, um IQS deve identificar um conjunto de propriedades do solo, atendendo a critérios como: elucidar processos do ecossistema e relacionar aos processos-modelo; integrar propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e os respectivos processos; ser acessível e aplicável a condições de campo; ser sensível a condições de manejo e de clima ao longo do tempo (DORAN e PARKIN, 1994), além da praticidade, tanto para a comunidade de cientistas como de agricultores, ecologistas, entre outros. Segundo Doran (1997), o conceito de IQS deve ser sistêmico, descrevendo a maioria dos processos ecológicos do solo, podendo variar entre locais, e determinados atributos devem ser restritos a pontos geográficos similares em características biológicas, físicas e químicas do solo. Por exemplo, a infiltração de água no solo, não seria um indicador apropriado para terras de várzeas, e sim para as demais áreas agrícolas (SEYBOLD et al., 1998).

Ao surgir questionamentos sobre a utilização de IQS, Doran e Zeiss (2000) afirmaram que IQS é meramente “um meio para atingir o fim”, e este fim, segundo os autores, é o manejo dos sistemas agrícolas com base nos princípios da sustentabilidade. Não há uma composição única de atributos para compor um IQS, estes autores julgaram que a simples indexação da diversidade das funções do solo é prematura para a tomada de decisão (em relação ao manejo empregado) nas infinitas condições em que o solo se encontra. Deste modo, práticas de manejo são mais impactantes do que as propriedades intrínsecas do solo, sendo assim, nenhuma prática isolada tem a capacidade de aumentar a QS, mas sim, estratégias integradas.

Em 2012, um estudo foi desenvolvido com o intuito de construir um índice de qualidade do solo para identificação de áreas potenciais de recarga de água subterrânea utilizando como objeto de estudo a Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, localizada na região sul do estado de Minas Gerais (ALVARENGA *et al.*, 2012). O índice proposto foi a combinação de quatro indicadores físicos relacionados a infiltração de água no solo (densidade do solo, microporosidade, condutividade hidráulica saturada e porosidade drenável), entretanto desconsiderou as condições de uso e ocupação do solo que interferem diretamente no processo de infiltração. Seria interessante a consideração de químicos e biológicos diretamente relacionados ao processo de infiltração de água no solo. Considerando que a capacidade de infiltração depende da umidade antecedente, da natureza e da estrutura do solo superficial, ela é afetada pelo tipo de vegetação e manejo. Como o tipo de vegetação e manejo afeta diretamente a dinâmica da matéria orgânica na área, esta pode ser utilizada como indicador de modificações na estrutura dos solos e assim associada ao processo de infiltração.

Com o objetivo de avaliar a qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente, Freitas *et. al* (2012) desenvolveu dois índices (IQS1 e IQS2) que melhor representassem as características dos Latossolos sob o cerrado. O IQS1

foi baseado no modelo de Islam e Weil (2000), estabelecido por meio do desvio padrão entre os indicadores obtidos sob os sistemas de manejo e o de referência (cerrado nativo). Já o IQS2 foi baseado no modelo aditivo proposto por Karlen e Stott (1994), no qual quatro funções do solo foram avaliadas: receber, armazenar e suprir água; promover o crescimento das raízes; armazenar, suprir e ciclar nutrientes; e promover a conservação do solo. Observou-se que o IQS1 mostrou eficiência em indicar as deteriorações causadas no solo quando se converte os sistemas nativos em florestas plantadas, entretanto, o IQS2 foi eficiente em identificar quais são as condições, melhores ou piores, das funções principais do solo de acordo com o tipo de manejo. Nisto, ambos os índices podem ser considerados eficientes em refletir a variação da qualidade do solo nos diferentes sistemas de uso e manejo florestal.

Em outro estudo, ao relacionar IQS com a erosão hídrica, Cândido (2015) desenvolveu dois IQS, um combinando valores de peso dos indicadores relacionados em um índice (IQI) e outro com base na média e no valor mínimo do indicador, sem considerar pesos (IQN). A eficiência em apresentar a variação da qualidade do solo nos dois sistemas de uso e manejo em estudo, ocorreu em ambos indicadores (IQI e IQN), não observando diferença significativa entre os índices, e ainda apresentando elevada correlação com a erosão hídrica. Entretanto o autor afirma que o IQN é recomendado para as avaliações de qualidade do solo, uma vez que elimina o viés do pesquisador, na atribuição de pesos aos atributos do solo.

Para avaliar o impacto de diferentes usos e manejo do solo em uma área rural em Planaltina (DF), Lozada (2015) elaborou um índice de qualidade do solo baseado no modelo aditivo de Karlen e Stott (1994), considerando parâmetros físicos, químicos e biológicos e pesos iguais, para que nenhum deles fosse super ou subestimado. Posterior a elaboração do índice, as áreas de pesquisas foram ranqueadas de acordo com o valor do IQS, em classes alta, média e baixa, usando como base o desvio padrão dos escores das áreas. Lozada observou que os maiores valores de IQS estavam associados a formações florestais maduras, como cerradão e reflorestamento de 10 anos, já os menores em áreas com usos mais intensivos, como pastagem degradada e reflorestamento de 1 ano.

Um índice de qualidade do solo também pode ser direcionado a analisar a qualidade do solo em relação a uma cultura específica, ou seja, condições que podem favorecer a produção e o crescimento. Neste sentido, ao analisar que diversos municípios do Oeste da Bahia e do Norte de Minas Gerais tem como base econômica a cultura de banana de modo intensivo, Borges et. al (2018) observou a necessidade de analisar a qualidade dos solos nessa região. O cultivo de banana é realizado de forma intensiva, muitas vezes, sem o uso racional de práticas de manejo específicas para a cultura, o que pode afetar a qualidade do solo e a produtividade. Neste trabalho, para a determinação do índice de qualidade do solo

utilizou-se o modelo proposto por Karlen e Stott (1994), selecionando dez indicadores de qualidade físicos e químicos como porosidade total, macroporosidade, capacidade de troca catiônica (CTC), matéria orgânica, entre outros considerados mais importantes para a cultura da banana. Para compor o IQS, foram escolhidas três funções para avaliar a qualidade do solo como promover o crescimento radicular, conduzir, armazenar e suprir água e armazenar e suprir nutrientes, cada uma com seu respectivo peso atribuído à sua importância. De modo geral, os argissolos apresentaram maiores IQS's, ou seja, melhores condições para o cultivo da bananeira, seguido por latossolos e neossolos, respectivamente. Notou-se que a função principal de promover crescimento radicular, teve maiores contribuições para os valores de IQS em todos os tipos de solo, evidenciada pela elevada contribuição dos indicadores macroporosidade e saturação por alumínio, importantes para essa cultura.

A África Sub-Sahariana tem sofrido com a degradação do solo e redução da fertilidade, acarretando problemas críticos de produtividade agrícola, como o esgotamento de nutrientes, perda de matéria orgânica e perda de funções do solo. A Etiópia, por exemplo, possui cerca de 12 milhões de hectares cultivados, entretanto uma longa extensão está em processo de degradação. Devido à má gestão e exploração predatória, os solos etíopes estão esgotados há várias décadas. Já que a sustentabilidade agrícola está intimamente ligada à qualidade do solo, Gelaw *et al.* (2015) ressaltou a importância de avaliá-la. Em seu estudo Gelaw *et al.* avaliou a qualidade do solo por meio da determinação de índices de qualidade do solo integrados (IQS), onde seria observado a mudança da qualidade em função de três usos de solo distintos: cultivo de sequeiro (RF), *Faidherbia albida* agroflorestal (AF) e produção de frutos de goiaba (*P. guajava*) à base de irrigação (IR). Foi utilizada a estrutura sugerida por Karlen e Stott (1994), sendo quatro funções do solo: acomodar a entrada de água; facilitar o movimento da água e disponibilidade; são resistentes à degradação; e de fornecer nutrientes para o crescimento das plantas. Observou-se que o sistema Agroflorestal se destacou positivamente em todas as funções de qualidade do solo, em relação aos outros usos do solo. Dentre os indicadores individuais, a estabilidade de agregados, concentrações de carbono orgânico e nitrogênio total influenciaram mais expressivamente na melhoria das funções de entrada de água, movimento e disponibilidade de água, no sistema agroflorestal do que nos outros usos. Entretanto, não foi observada melhoria significativa na resistência do solo à degradação da superfície em nenhum uso do solo, podendo ser atribuído aos efeitos prejudiciais da lavoura. Como resultado final, as quatro funções de qualidade do solo foram integradas em um IQS geral, podendo observar que o sistema agroflorestal destacou-se com um IQS de 0,58, seguido pela produção de frutos com 0,51, classificando o cultivo de sequeiro como a menor qualidade do solo, com um IQS de 0,47.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização das áreas de estudo

O presente estudo teve como objetivo desenvolver um índice que possa ser aplicável a qualquer bacia hidrográfica, independente de forma, tamanho, ou características geomorfológicas. Neste sentido foram utilizadas como objeto de estudo duas bacias hidrográficas localizadas no Estado da Bahia, porém inseridas em cenários distintos em relação a características, biomas e histórico de uso do solo (Figura 1).

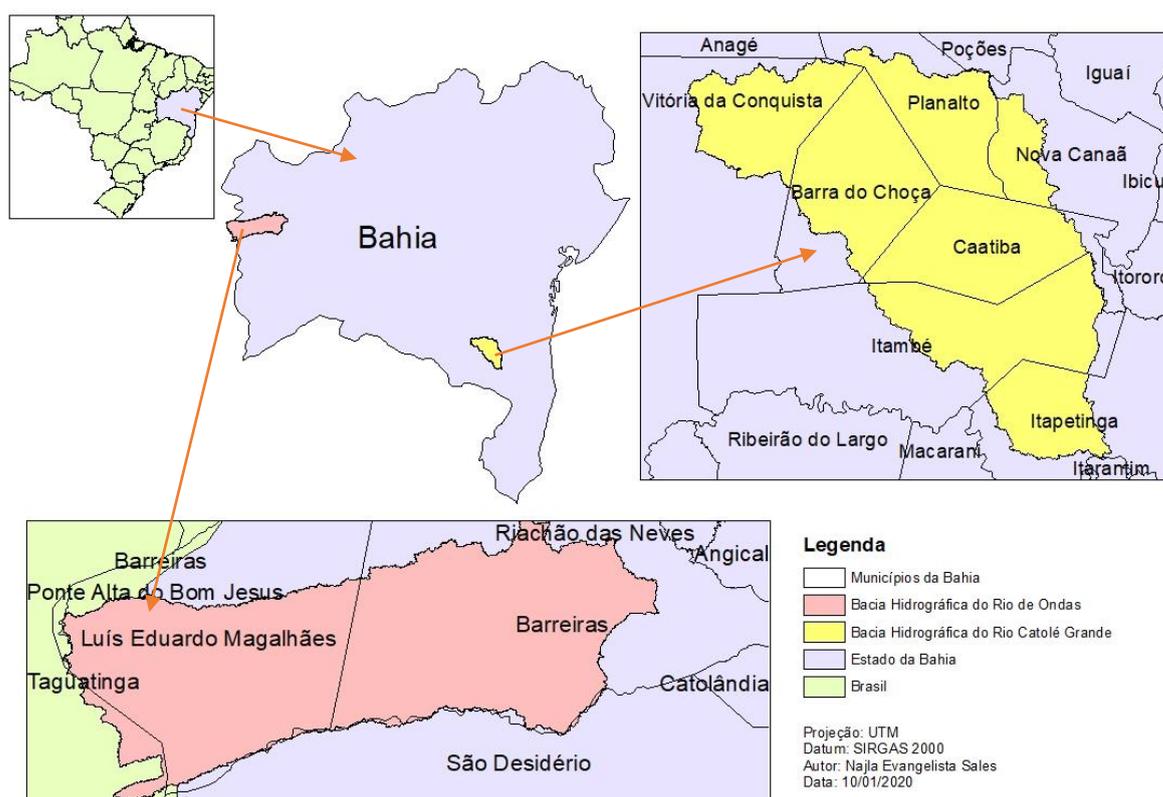


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.

3.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Catolé

A Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, situada na região sudoeste da Bahia, entre as coordenadas $40^{\circ}50'$ W e $40^{\circ}10'$ W de longitude e $14^{\circ}40'$ S e $15^{\circ}20'$ S de latitude, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (SILVEIRA *et. al*, 2014). Seu território

compreende, parcialmente, sete municípios, sendo eles: Vitória da Conquista; Itambé; Barra do Choça; Caatiba; Itapetinga; Nova Canaã; Planalto, conforme a Figura 1, compreendendo uma população de aproximadamente 545.000 habitantes (OLIVEIRA, 2007).

A bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande possui formato alongado, uma área de drenagem de 3128km² e um perímetro igual a 343,95km. Além disso apresenta um menor tempo de concentração de deflúvio e ainda, menor probabilidade de cheias em caso de precipitações intensas. Seu ano hidrológico tem início em Julho, caracterizado como o mês mais seco, e fim em Junho do ano seguinte, sendo Janeiro o mês mais chuvoso (FRAGA et al, 2014; AMORIM, 2016).

A região pode ser caracterizada como clima tropical com estação seca de inverno, situada em uma faixa de transição entre os ecossistemas da Mata Atlântica e da Caatinga, sendo composta por floresta estacional decidual e semidecidual, floresta ombrófila densa, floresta estacional e submontanha. Entretanto, na Bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande cerca de 74,3% das terras é composta por pastagens, o que evidencia um alto nível de área antropizada, ou seja substituição da mata nativa por pastagens plantadas, especialmente com o capim braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e capim colômbio (*Panicum maximum*), pastagens naturais (formadas a partir da derrubada das matas, plantio de culturas anuais e o posterior rebroto de espécies herbáceo/arbustivas) e áreas plantadas com forrageiras para corte (LIMA & PINTO, 2011; SANTANA et al, 2017).

3.1.2 Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas

A Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas está localizada na região extremo oeste do Estado da Bahia, entre as coordenadas 11°55'S e 12°34'S de latitude e 46°23'W e 45°0'W de longitude, sendo parte integrante da bacia do rio Grande, principal afluente do rio São Francisco. A bacia hidrográfica do rio de Ondas abrange uma área aproximada de 5.580,6km² com um perímetro de 519,5km, apresenta como principais afluentes o rio Vereda das Lages, rio Borá e rio das Pedras (Almeida et al, 2016).

A bacia hidrográfica apresenta um coeficiente de compactidade estimado em 1,98, caracterizada com forma alongada não sendo sujeita a enchentes e inundações (FISTAROL et all, 2015). A região está inserida em uma área do bioma Cerrado, apresentando clima com variação entre úmido a sub-úmido e de seco a sub-úmido, estações chuvosas entre os meses de outubro a abril, já o período seco inicia-se entre os meses de abril a outubro, onde o registro de precipitação fica próximo de 0,0 mm (MOREIRA et all, 2019; FISTAROL e SANTOS, 2020).

A bacia hidrográfica abrange dois municípios que são importantes polos agropecuários do Nordeste Brasileiro: Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, compreendendo uma população de aproximadamente 198.000 habitantes. A agricultura ocupa grande área da bacia hidrográfica, colocando em evidência a intensa utilização do solo, o que pode causar erosão e outros problemas de degradação ambiental (Fistarol *et. al*, 2015).

3.2 Métodos e técnicas

3.2.1 Delimitação da área de estudo e Classificação supervisionada

Para delimitação das duas áreas, foi necessário a criação de um modelo digital de elevação (MDE) para cada bacia hidrográfica, utilizando cartas SRTM no formato GEOTIFF (16 bits) e resolução espacial de 30x30m, disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2019). Para minimizar erros expressivos na delimitação da área de drenagem, utilizou-se como referência a base da rede drenagem hidrográfica disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA), disponível no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH, 2019).

Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo, utilizou-se imagens do Satélite LandSat1, LandSat 5 e LandSat 8, disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS, 2019). As imagens utilizadas para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas foram: LandSat 1, com órbita/ponto 237/68-69, data: 10/12/1976; LanSat 5, órbita/ponto 220/68-69, data: 14/08/1986; LandSat 8, com órbita/ponto 220/68-69, com data: 08/08/2019; e para Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande foram: LandSat 1, com órbita/ponto 232/70-71, data: 14/08/1973; LanSat 5, órbita/ponto 216/70-71, data: 06/08/1983; LandSat 8, com órbita/ponto 216/70-71, com data: 18/07/2016. O processamento das imagens foi realizado com o Software ArcGIS 10.1 da ESRI, utilizando o módulo de classificação supervisionada de imagens disponível no software. Este método é utilizado quando o analista possui conhecimento prévio da área de estudo, uma vez que as classes são definidas por ele (MENESES e ALMEIDA, 2012). Neste caso, para atender o objetivo do estudo a região foi segmentada do em 4 classes para a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande (Mata, Pastagem, Pastagem seca e Cultivos) e 2 classes para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas (Cerrado nativo e Cultivos).

3.2.2 Obtenção de dados e propriedades físicas do solo

Considerando as áreas delimitadas para este estudo e a necessidade de parâmetros físicos do solo como variáveis de entrada no processo de simulação do índice, foi elaborado um banco de dados com propriedades físicas, em observância o tipo de solo predominante e o tipo de uso e cobertura vegetal em cada bacia hidrográfica. A construção do banco de dados de atributos físicos foi referente a duas classes de solo predominantes na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé e na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, Latossolo e Argissolo, respectivamente. O banco de dados foi elaborado a partir de quatro parâmetros relacionados com o processo de infiltração de água, capazes de refletir as condições do solo nesse processo, tais como: condutividade hídrica, densidade do solo, macro e microporosidade. Para cada ordem de classe do solo, foi determinado valores de referência, utilizando dados secundários, tendo como critério de seleção de dados o manejo e uso do solo de acordo com o mapeamento já executado na área de estudo.

3.2.3 Determinação do Índice de Qualidade do Solo relativo a Conservação de Água (IQSA)

Afim de desenvolver um índice de qualidade do solo viável, de modo que represente fielmente o estado de conservação do solo em relação ao potencial de infiltração e recarga de água na escala de bacia hidrográfica, este trabalho considerou que a cobertura vegetal é tão importante quanto as propriedades físicas do solo como: condutividade hidráulica saturada, densidade do solo, porosidade drenável e microporosidade do solo.

Para a determinação do IQSA este trabalho utilizou uma modificação do modelo proposto por Karlen e Stott(1994), e utilizado por Alvarenga (2010), onde o índice corresponde a combinação dos indicadores relacionados ao processo de infiltração de água no solo. Deste modo, o IQSA é composto pela soma de todos os indicadores físicos (IF) e índice de cobertura vegetal (IV) incidente na bacia hidrográfica, admitindo que ambos irão ter a mesma influência no processo de infiltração:

$$IQSA = \frac{(\sum IF_v + \sum IV)}{2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

IQSA = Índice de Qualidade do Solo relativo a conservação de água;

IF_v = Indicador Físico do solo referente a cada classe de uso do solo mapeada;

IV = índice de cobertura vegetal;

$$IF_v = (\sum If_{solo})^{t_{is}} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$ifsolo = K0 \times 0,3 + Ma \times 0,3 + Mi \times 0,25 + Ds \times 0,15 \text{ Eq. (5)}$$

Em que:

ifsolo = indicador físico do solo, combinação dos atributos físicos do solo multiplicado pelo peso;

K0 = condutividade hidráulica;

Ma = macroporosidade;

Mi = microporosidade;

Ds = densidade do solo;

$$ti_s = \frac{\sum_i^n ti}{n \times ti_s} \text{ Eq. (6)}$$

Em que:

ti_s = coeficiente de taxa de infiltração do solo;

ti = taxas de infiltração dos solos;

ti_s = taxa de infiltração do solo referente ao coeficiente;

n = quantidade das classes solos presentes na bacia hidrográfica;

$$IV = EV \times AP \text{ Eq. (7)}$$

Em que:

EV = escore referente a cobertura vegetal;

AP = área percentual referente a cobertura vegetal.

O valor correspondente ao escore de cobertura vegetal (EV) foi determinado por especialistas, por meio de questionários, aplicando a metodologia de Delphi. O questionário foi elaborado a fim de estabelecer a influência que cada tipo de cobertura vegetal tem sobre o processo de infiltração de água no solo, considerando fatores relacionados aos sistema sol-planta-atmosfera. O questionário foi elaborado na plataforma Survey Monkey (2019), estruturado para estabelecer a relação de importância entre tipo de cobertura vegetal, principalmente o fator cobertura do solo, e o processo de infiltração de água no solo, sendo assim, estabeleceu-se uma escala de 1 a 10 para cada tipo de cobertura vegetal. O questionário foi encaminhado via e-mail para especialistas com formação acadêmica relacionada à área de solos. Deste modo, cada cobertura vegetal recebeu um valor contido no intervalo de 0 a 1, sendo por fim padronizados em uma única escala.

O IFv corresponde a combinação dos indicadores individuais (microporosidade, porosidade drenável, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo) multiplicado pelo seu peso, correspondente a sua influência no processo de infiltração de água no solo. É importante ressaltar que os indicadores físicos e o índice de cobertura vegetal obterão o mesmo peso, admitindo que a influência dos dois fatores é igualmente importante no processo avaliado.

Considerando que o IQSA foi desenvolvido a partir de um conjunto de propriedades e fatores ligados ao processo de infiltração de água no solo, seus resultados são apresentados de forma adimensional, em uma escala de variação de 0 a 1, considerando que o valor 1 é atribuído a condições ideais (ótimas) de qualidade do solo no processo avaliado. Os

indicadores físicos de qualidade do solo individuais que constituirão o ifsolo, em sua originalidade, possuirão unidades de medidas distintas, tornando necessária a normalização destes indicadores, sendo utilizada a função de pontuação normalizada desenvolvida por Wymore (1993) e sugerida por Karlen e Stott (1994):

$$v = \frac{1}{1 + \left(\frac{B-L}{X-L}\right)^{2S(B+X-2L)}} \text{ Eq. (8)}$$

Onde:

V = pontuação normalizada;

B = valor do indicador quando v é igual a 0,5;

L= limite inferior do indicador;

X = valor do indicador do solo.

3.2.5 Separação de Escoamento e Verificação de eficiência do IQSA

Afim de possibilitar a compreensão da magnitude e dinâmica de descarga de água subterrânea, foi realizado a separação do escoamento superficial e direto. Pettyjohn e Henning (1979) desenvolveram três métodos para a separação do escoamento superficial do subterrâneo, sendo eles denominados: Intervalo Móvel (IM), Intervalo Móvel (IM) e Mínimo Local (ML). Tais métodos consistem em filtros digitais, produzindo resultados com boa aproximação dos resultados obtidos com processos manuais e até mesmo com o método dos traçadores (MIRANDA et al, 2014).

A separação do escoamento superficial e subterrâneo foi realizada pelo método do Mínimo Local (ML), utilizando o software SepHidro, desenvolvido por Miranda e colaboradores (2014). O software utiliza dados de estações fluviométricas e pluviométricas, no formato disponibilizando pela plataforma HIDROWEB/ANA e a área de drenagem da bacia hidrográfica e das estações analisadas devem ser conhecidas. O software utiliza a área de drenagem para o cálculo do tempo de recessão (N), tornando conhecido o tempo de duração do escoamento superficial direto após o pico de vazão. Para a verificação das vazões é utilizado o intervalo de $2N^*$ dias, sendo o número inteiro mais próximo e superior ao dobro de N. No método ML é feita a verificação se a vazão do dia D(i) é a menor dentro do intervalo $2N^*$ dias, sendo que o intervalo move-se para o próximo dia, efetuando a próxima verificação. Caso a vazão do dia D(i) seja a menor dentro do intervalo, este dia é considerado um mínimo local. Após a detecção de todos os mínimos locais, estes são unidos por meio de retas.

Após a separação das lâminas de escoamento superficial e subterrâneo, o software realiza a quantificação dos fluxos por meio da equação:

$$V(i) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_{(i)} dt = \frac{(Q_{(i+1)} + Q_{(i)})}{2} + \Delta t \text{ Eq. (9)}$$

$$V_{ESub(i)} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} Q_{ESub(i)} dt = \frac{Q_{ESub(i+1)} + Q_{ESub(i)}}{2} + \Delta t \text{ Eq. (10)}$$

$$V_{ES(i)} = V(i) - V_{ESub(i)} \text{ Eq. (11)}$$

Em que:

$V(i)$ é o volume do escoamento total no dia i , em m^3 ;

$V_{ES(i)}$ é o volume do escoamento superficial no dia i , em m^3 ;

$V_{ESub(i)}$ é o volume do escoamento subterrâneo no dia i , em m^3 ;

$Q(i)$ é a vazão do dia i , obtida da base de dados da estação fluviométrica, em m^3s^{-1} ;

Δt : é o intervalo de tempo diário, igual a 86400 segundos;

$Q_{ESub(i)}$: é a vazão correspondente ao escoamento subterrâneo no dia i , obtido a partir da separação do hidrograma, em m^3s^{-1} .

Na etapa de verificação da eficiência do índice, estimou-se um índice de qualidade do solo para os períodos em estudo, com os valores de indicadores físicos de qualidade do solo, considerando as áreas percentuais pertencentes a cada classe de uso e ocupação do solo nestes períodos na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas. Posteriormente, os IQSA e Percentuais de escoamento subterrâneo de cada período estudado serão correlacionados pelo coeficiente de Pearson, sendo r 0,70 satisfatório para a validação do método.

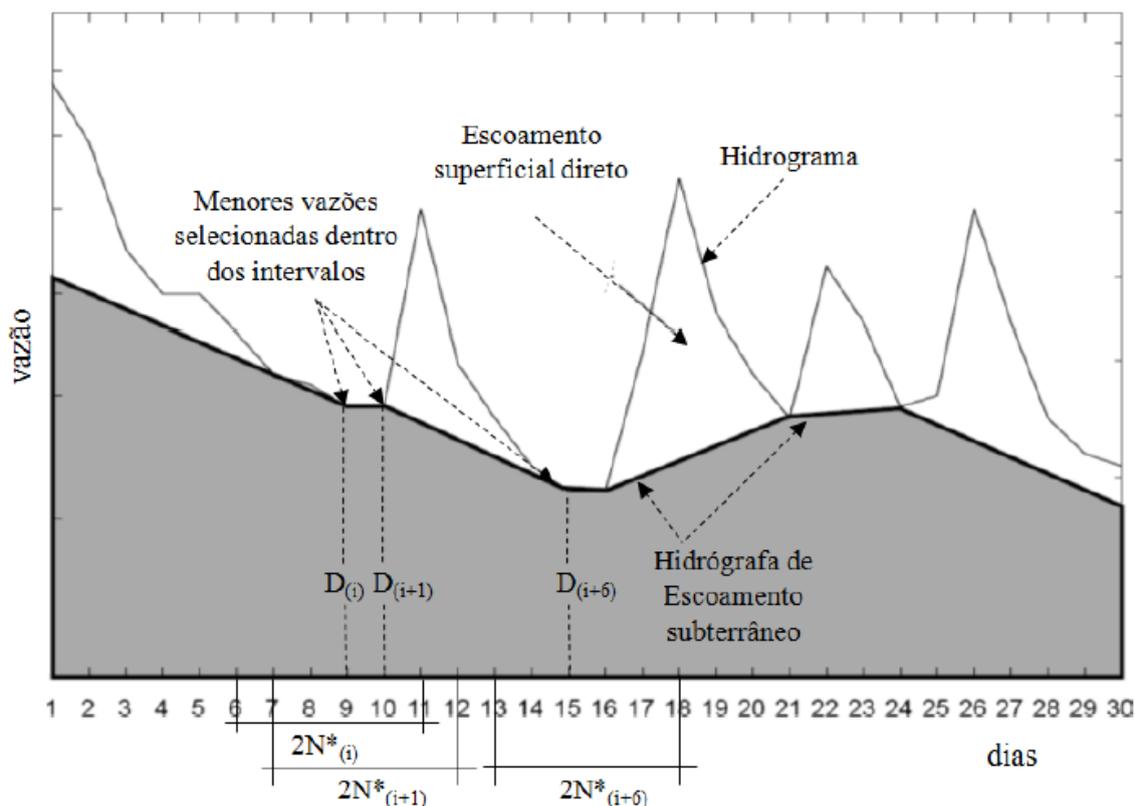


Figura 2 Separação do escoamento superficial direto do escoamento subterrâneo utilizando o método ML (MIRANDA, 2012)

4. RESULTADOS

O estudo abrangeu a área de duas bacias hidrográficas do estado da Bahia, com biomas e histórico de uso e ocupação do solo distintos.

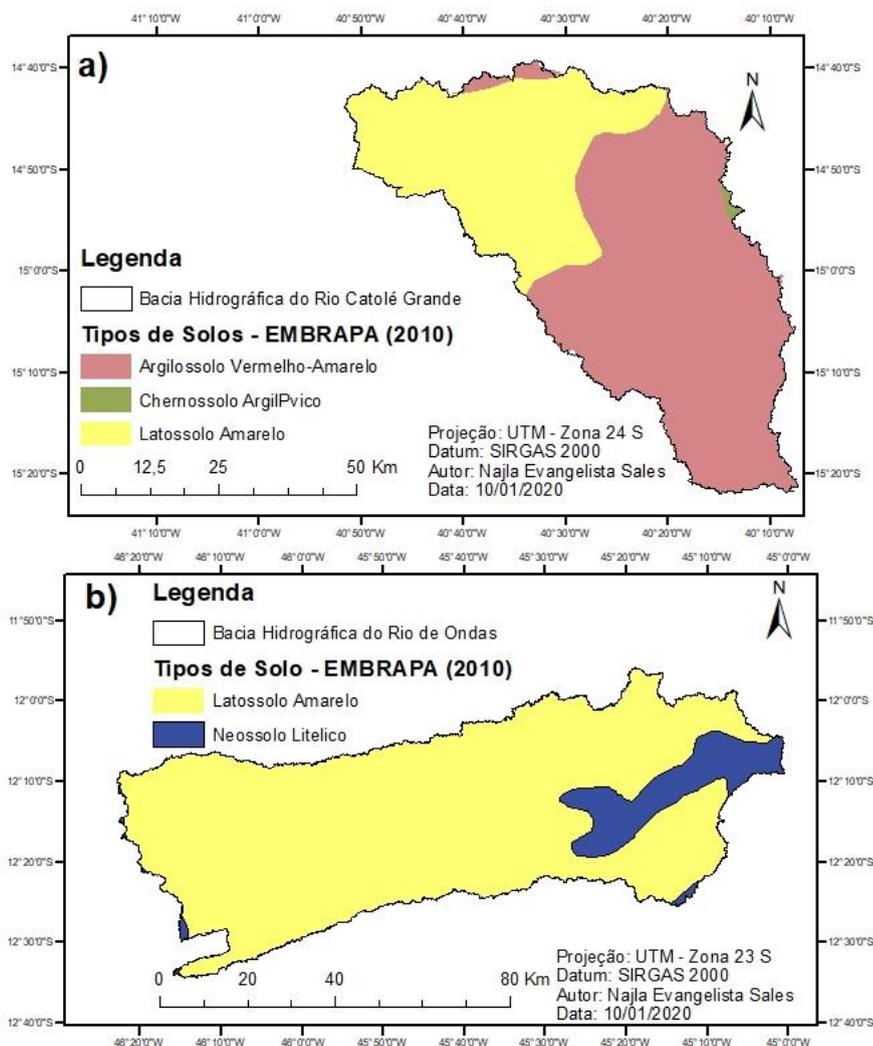


Figura 3 Mapa de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.

A Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, situada no Sudoeste estado, é constituída por uma área de drenagem de 3128 km², compreende 3 classes de solo em seu território, podendo ser observado na Figura 3. Nota-se que a classe do solo denominada Argilossolo Vermelho-Amarelo, abrangendo maior parte da área da bacia hidrográfica, seguido por Latossolo Amarelo, e uma área pouco expressiva ocupada por Chernossolo ArgilPvico. Já a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, situada no extremo oeste do estado, abrange uma área de 5529 km², sendo cerca de 90% da área ocupada por Latossolo Amarelo (Figura 3).

Ao observar a Figura 3, nota-se que os tipos de solo mais expressivos nas duas áreas de estudo são o Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, abrangendo uma área maior em comparação ao Neossolo e Chernossolo. Por este motivo, o presente estudo considerou que os tipos de solo relevantes para a construção do banco de dados são Argissolo e Latossolo. O banco de dados dará suporte no processo de simulação do índice proposto, neste sentido, foram selecionados valores de referência que representassem a realidade das áreas de estudo.

A construção do banco de dados teve como critério de seleção dados secundários de densidade do solo (Ds), condutividade hídrica (ko), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), em observância o tipo de cobertura vegetal e as classes de solo semelhantes aos observados nas áreas de estudo, afim de subsidiar o processo de simulação do índice. Os valores dos parâmetros de referência estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Valores de referência de densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica saturada (K0), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) para argissolo e latossolo, respectivamente.

Cobertura Vegetal	Ds	K0	Ma	Mi	Referencia
	g/cm ³	cm/h	m ³ /m ³	m ³ /m ³	
Argissolo					
Mata	1,285	35	0,075	0,055	LIMA et al., 2018
Pastagem	1,27	8,17	0,09	0,41	GUIMARÃES et al., 2016
Plantio	1,34	1,49	0,08	0,377	HICKMANN et al., 2012
Latossolo					
Mata	1,25	4,73	0,090	0,040	GUIMARÃES et al., 2016
Cerrado	0,967	12,4	0,080	0,035	BORGES et al, 2008
Pastagem	1,24	7,75	0,076	0,066	LIMA et al., 2018
Plantio	1,68	1,55	0,071	0,267	SALES et al., 2016

Após selecionados os valores de referência de atributos físicos do solo, que deram suporte a simulação do índice, funcionando como dados de entrada, foi realizada a padronização conforme a metodologia de Wylmore (1993). Deste modo, os atributos físicos passaram a apresentar-se na forma de indicadores adimensionais, como escore, contidos no intervalo de 0 a 1, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Valores padronizados de indicadores físicos do solo: densidade do solo (Ds), condutividade hidráulica saturada (K0), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi).

Cobertura vegetal	Ds	k0	Ma	Mi
Argissolo				
Mata	0,519	1	0,493	0,298
Pastagem	0,482	0,887	0,528	0,839
Plantio	0,655	0,003	0,505	0,803
Latossolo				
Mata	0,431	0,166	0,528	0,232
Cerrado	0,333	0,999	0,383	0,467
Pastagem	0,404	0,833	0,495	0,328
Plantio	0,994	0,003	0,484	0,655

4.1 Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande

A análise em escala temporal do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, evidenciou o processo de antropização ao longo dos anos, destacando a substituição da vegetação nativa por outros usos relacionados as atividades econômicas da região, como a pecuária e agricultura. A Tabela 3 apresenta a redução da área de Mata e o avanço da agricultura e degradação ambiental ao longo dos anos na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande.

Tabela 3 Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande

Cobertura vegetal	1973 (%)	1983 (%)	2016 (%)
Pasto	63,06	50,57	64,4
Mata	36,93	26,65	15,4
Meio antropizado	-	7,02	13,9
Cultivo	-	15,77	6,0

A Figura 4 é composta por três mapas (a, b e c), onde pode ser observado a redução da área de mata ao longo dos anos, sendo substituída por agricultura e pastagem. O mapa “a)” apresenta apenas dois tipos de uso do solo, basicamente pastagem e mata, sem processo de antropização evidente em 1973. Neste período, a região de mata está concentrada ao norte da bacia hidrográfica, onde localiza-se algumas das principais nascentes, que contribuem para a manutenção do fluxo do Rio Catolé Grande. A conservação da vegetação, e principalmente da mata ripária nessas regiões é de extrema importância, fornecendo

proteção ao curso d'água, evitando assoreamento, e ainda auxiliando no processo de infiltração de água no solo e redução do escoamento superficial (COSTA *et al.*, 2018).

A partir da década de 1970 foi implantado o polo cafeeiro de Barra do Choça, que hoje representa de forma significativa as atividades econômicas no município (LIMA e PINTO, 2011). Apesar do avanço da cafeicultura, o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé atualmente é predominado expressivamente por pastagem, zona urbana e floresta ombrófila, em menor proporção, conforme a Figura 4-b.

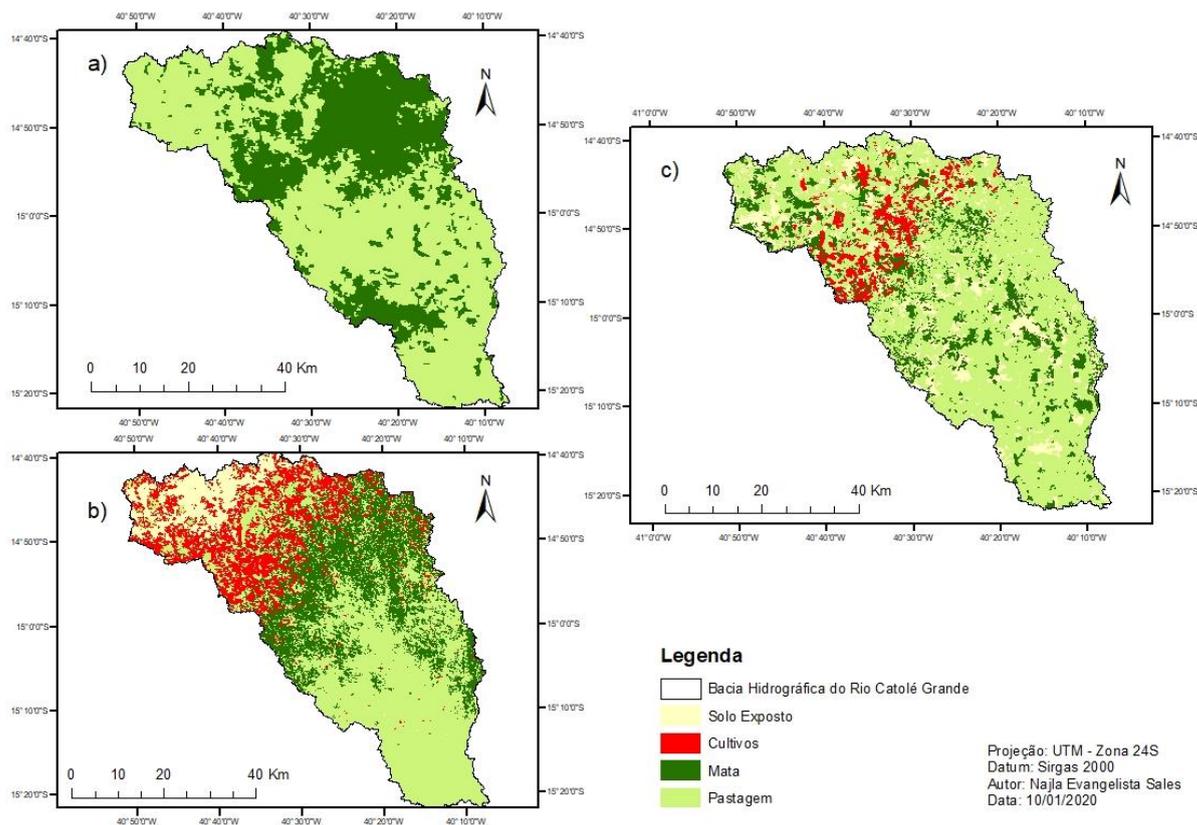


Figura 4 Mapas de Uso e Ocupação do Solo para Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande em escala temporal para o ano de 1973(a), 1983 (b) e 2016 (c).

Ao observar o mapeamento ao longo dos anos, nota-se que a substituição de mata por cultivos, como o café por exemplo. Algumas áreas com solo exposto em 1983, concentram-se na região norte à noroeste da bacia hidrográfica, localizado em direção ao polo urbano de vitória da conquista e ao município de Barra do Choça, onde situa-se a barragem que abastece a região.

No mapeamento de uso e ocupação do solo referente ao ano de 1983 (Figura 4-b) é possível observar a degradação na região noroeste da bacia hidrográfica, onde a mata começa a ser substituída por cultivos de café e zona urbana. Em 1983 a área antropizada pode ser perfeitamente identificada nas proximidades do município de vitória da conquista, próximo à zona urbana. É importante ressaltar, que nos anos de 1973 e 1983 não foi possível diferenciar o cultivo de café da área de mata incidente na bacia hidrográfica, devido a

semelhança e baixa resolução das imagens via satélite adquiridas. Entretanto, no ano de 1983 foi identificado cultivos com o uso intenso do solo, possivelmente causados por maquinário, evidenciando ausência de cobertura vegetal em algumas áreas, além de áreas de pastagens mal manejadas e com solo exposto.

No ano de 2016, Figura 4-c, fica evidente 13,9% de área antropizada, destacando zona urbana, solo exposto e mineração. Ressaltando que cerca de 2500 km² são ocupados por pastagem, em muitos casos com manejo inadequado, solo exposto e com indícios de compactação, causado por pisoteio de animais, provenientes da atividade pecuária da região. Analisando em escala temporal, o período de 1973 a área da bacia hidrográfica do Rio Catolé Grande era constituída por 1155,5km² de mata, enquanto em 2016 essa área foi reduzida para 478,5km².

4.1.1 Índice de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água (IQSA)

O IQSA referente a cada bacia hidrográfica é a soma do indicadores físicos (IF) e índices de cobertura vegetal (IV), admitindo que IQSAMata, IQSAPastagem, IQSAsoloexposto, IQSAcultivo e IQSAcerrado tenham o mesmo peso, evitando que sejam sub ou superestimados. A influência de cada tipo de solo e a cobertura vegetal está expressa no coeficiente t_i , aplicado como expoente na equação de indicadores físicos.

Tabela 4 Índices de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água para os anos de 1973, 1983 e 2016 para a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande.

IQSA	1973	1983	2016
IQSA mata	0,715	0,385	0,345
IQSA pastagem	0,687	0,391	0,436
IQSA solo exposto	-	0,069	0,073
IQSA cultivos	-	0,264	0,236
IQSA TOTAL	0,701	0,555	0,546

Estão dispostos na Tabela 4 os IQSA's simulados para a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, onde o IQSA de 1973 destaca-se por ser superior ao dos outros anos, indicando uma melhor qualidade do solo em relação ao potencial hidrológico. Entretanto, apesar de ser superior e apresentar um estado de conservação de mata nativa melhor, o IQSA referente ao ano de 1973 não é expressivamente superior ao dos outros anos, possivelmente pela classe de pastagem compor cerca de 63% do território. Apesar de 2016 apresentar 4 tipos de manejo e uso do solo distintos, a pastagem ainda é expressiva no território predominando em 64,7% da sua área, e mata apenas 15,4%, resultando no segundo maior IQSA total, com o valor referente a 0,617.

4.1.2 Taxas de escoamento subterrâneo

O percentual anual dos escoamentos, foi obtido por meio da análise de vazão, utilizando o método do mínimo local, pelo Software SepHydro. Os valores percentuais de escoamento direto e subterrâneo apresentados na Tabela 5 são referentes a média de 3 anos, ou seja, o ano mencionado e dois anteriores, a fim de evitar análises superestimadas.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, o percentual mais expressivo de escoamento subterrâneo foi observado no ano de 1973, com a diferença de 32,7% em relação ao escoamento direto. Analisando paralelamente a cobertura vegetal na bacia hidrográfica no mesmo ano, nota-se que a mata ocupa 36,9% da área e pastagem 63,1%, não apresentando sinais intensos de antropização ou solo exposto, o que afeta significativamente o processo de infiltração de água no solo.

Tabela 5 Percentual de escoamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande

Escoamentos (%)	1973	1983	2016
Escoamento Subterrâneo	66,3	63,2	55,7
Escoamento Direto	33,7	36,8	44,3
Diferença	32,7	26,4	11,3

Nos anos de 1983 e 2016, processos de antropização ficaram mais evidentes, tanto com o avanço da pecuária extensiva na região, quanto com a introdução de culturas como o café, processos de urbanização e mineração no território da bacia hidrográfica. Sendo importante ressaltar o histórico de expansão da cafeicultura entre 1970 e 1996, semelhante as pastagens, foi responsável pelas significativas substituições de florestas por culturas, principalmente no município de Barra do Choça. Esse mecanismo de substituição contribui sistematicamente para o processo de degradação ambiental, afetando de modo significativo fases do ciclo hidrológico, como o processo de infiltração de água no solo, e a qualidade da água, o que gera conflitos relacionados ao abastecimento urbano versus agropecuário (LIMA E PINTO, 2011).

4.2 Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas

A Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas apresentou um processo intenso de desmatamento ao longo dos anos, reduzindo a vegetação nativa em cerca de 48% desde 1976 a 2019, como pode-se observar na Tabela 6.

Tabela 6 Uso e Ocupação do Solo para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas

Cobertura Vegetal	1976 (%)	1986 (%)	2019 (%)
Cerrado	100%	71%	48%
Agricultura	-	29%	52%

De acordo com a Tabela 6, pode-se observar a expansão da agricultura no ano de 1986 na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas. Segundo Almeida et al (2016), em 1984 o desmatamento já representava cerca de 5,3% da área, apresentando maior avanço desde então. A partir de 1989 houve a implantação da agricultura irrigada com o sistema de irrigação automatizada do tipo pivô central, sendo atualmente predominante na bacia, totalizando 190 pivôs em 2014.

Na Figura 5 pode-se observar o avanço da agricultura na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, sendo o cerrado o bioma nativo da região. Em 1976, a área era em sua totalidade composta por cerrado, sem indícios de agricultura ou outros usos, podendo ser observado claramente na Figura 5-a. A expansão da agricultura na bacia iniciou-se no sentido oeste para leste, apresentado na Figura 5-b. e 5-c.

De acordo com a Tabela 2, em 1986 a agricultura passou a ocupar 29% da área da bacia hidrográfica, uma expansão de cerca de 1603 km², em um período de apenas 10 anos, pode-se observar uma mudança expressiva no uso e ocupação do solo na Figura 5-a e 5-b. Desde 1986 até o ano de 2019 a agricultura avançou cerca de 23%, totalizando 52% da área total da bacia hidrográfica, cerca de 2875 km² (Figura 5-c). A Figura 5 mostra a mudança no uso e ocupação do solo em um período de 43 anos, pressionado pela exploração predatória do uso da terra, evidenciando o desmatamento e a falta de planejamento e gestão dos recursos naturais na região.

É importante ressaltar que os cultivos agrícolas estão posicionados ao longo do rio principal e seus afluentes, acompanhando por toda sua extensão, desde as nascentes até a foz. Este fato possivelmente está relacionado a implantação de irrigação das culturas, principalmente no que se diz respeito ao sistema de pivô central, um dos métodos menos eficientes, que demanda um volume maior de água (Rebouças 2001).

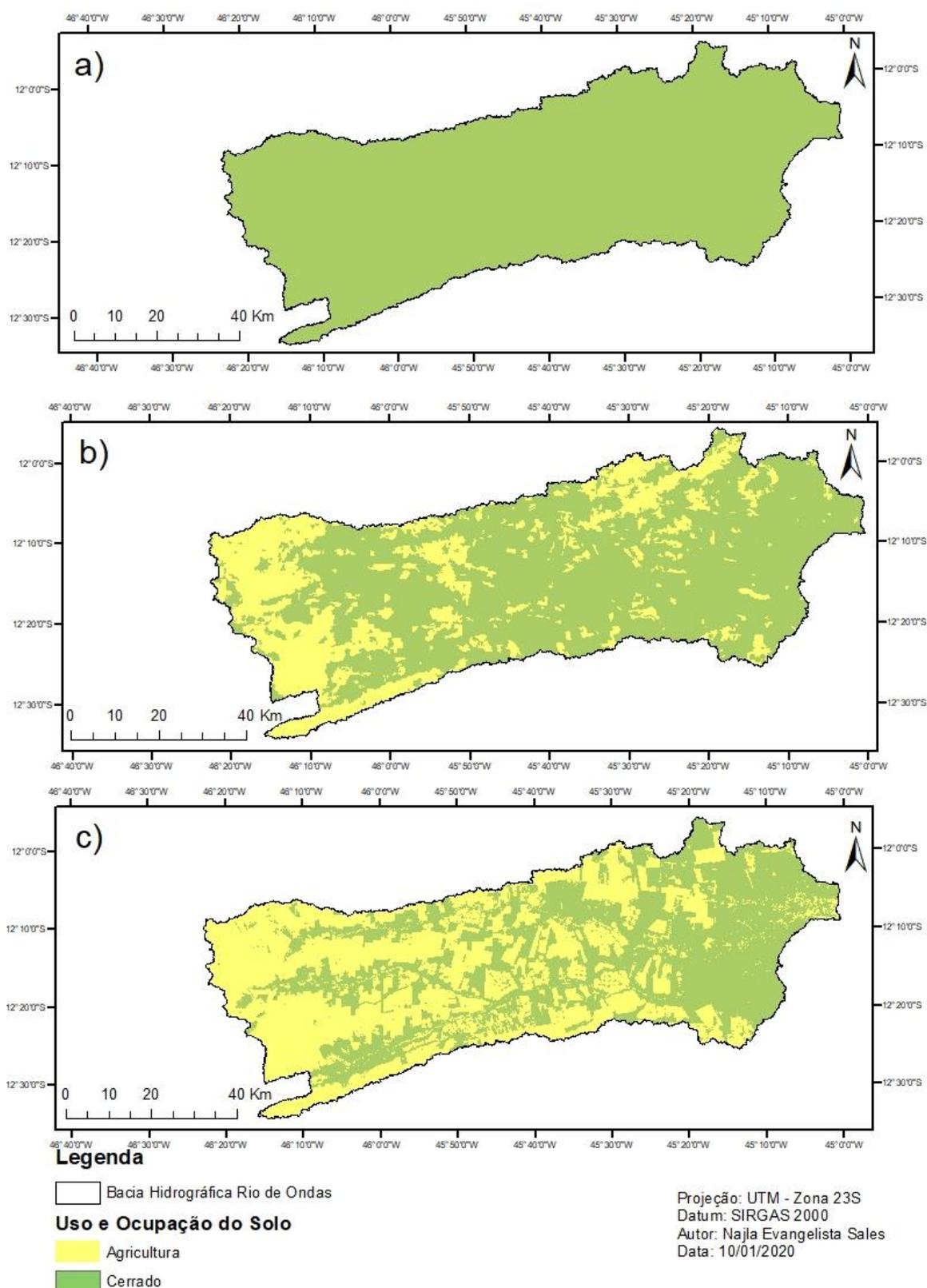


Figura 5 Mapas de Uso e Ocupação do solo para Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas em escala temporal nos ano de 1976 (a), 1986 (b) e 2019 (c).

Considerando o contexto de expansão agrária nesta região, a disponibilidade de recursos hídricos atuou como um dos fatores que favoreceram o desenvolvimento das atividades agrícolas, juntamente com as boas condições edafo-climáticas da região. É importante ressaltar que a região do Oeste da Bahia foi a que mais se desenvolveu nos

últimos 20 anos em escala estadual, principalmente com a introdução de uma cultura diversificada de alta tecnologia e processos de rotações de cultura como o milho, feijão e outras culturas hortifrutíferas. Sendo assim, a agricultura tornou-se o principal recurso da região, além de torna-la uma produtora para a exportação de produtos agrícolas, o avanço intensivo dessas atividades ocupou grandes áreas, havendo substituição da vegetação nativa por culturas, afim de atender as necessidades de uma população em crescimento (Magalhães e Brasileiro, 2017).

4.2.1 Índice de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água (IQSA)

Na Tabela 7 são apresentados os IQSA's simulados para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, em que o ano de 1976 apresentou um IQSA de 0,593, superior aos demais anos. Os índices foram influenciados com a contribuição apenas de um tipo de solo, uma vez que o Latossolo ocupa cerca de 90% da área da bacia hidrográfica e a presença de apenas dois tipos de uso do solo cerrado (nativo) e cultivos agrícolas. Assim como na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, a bacia do rio de Ondas apresentou um decréscimo no IQSA ao longo dos anos, sofrendo influência no processo de mudança de uso do solo, e ascensão das atividades agrícolas na região.

Tabela 7 Índice de Qualidade do Solo Relativo a Conservação de Água para os anos de 1976, 1986 e 2019 para a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas.

IQSA	1976	1986	2019
IQSA cerrado	0,593	0,728	0,584
IQSA cultivos	-	0,359	0,436
IQSA TOTAL	0,593	0,543	0,510

4.2.2 Taxas de Escoamento Subterrâneo

Ao analisar a Tabela 8 a Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas também apresentou uma redução no percentual de escoamento subterrâneo ao longo dos anos, possivelmente relacionada a redução de 52% da sua área de cerrado nativo, sendo ocupada por atividades agrícolas. A bacia conta com 90% da sua área ocupada por Latossolo, o que favorece o processo de infiltração e conservação de água, justificando a baixa contribuição do escoamento direto para a manutenção do fluxo do rio, sendo o escoamento subterrâneo mais expressivo. O ano de 1986 apresentou escoamento subterrâneo superior aos outros anos, possivelmente relacionado com a retirada da vegetação, que no primeiro instante aumenta consideravelmente a vazão do corpo hídrico, conseqüentemente as vazões mínimas também aumentam, entretanto, esse processo é apenas instantâneo. Ao longo dos anos a retirada da

vegetação atua negativamente no fluxo de manutenção do corpo hídrico, contribuindo com picos de vazões mínimas e máximas, dificultando a conservação de água, o que pode ser observado no ano de 2019, com escoamento superior ao ano de 1976, onde a vegetação nativa era predominante.

Tabela 8 Percentual de escoamentos na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas

Escoamentos (%)	1976	1986	2019
Escoamento Subterrâneo	87	91	83
Escoamento Direto	13	9	17
Diferença	74	82	66

4.3 Comportamento hidrológico e IQSA

Ao observar as tabelas 5 e 8, referentes as taxas de escoamento das duas bacias hidrográficas é possível observar uma redução nos escoamentos subterrâneos, possivelmente atribuídos a redução das áreas de mata nativa e mudança do uso e ocupação do solo ao longo dos anos.

A mudança do uso do solo referente a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, apresentou uma redução de 50% da área de mata nativa do ano de 1973 a 2016. Entretanto, o maior percentual da área total da bacia era composto por pastagem, com cerca de 63% em 1973, o que não alterou significativamente até o ano de 2016, com 64,7%. O uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande seguiu uma tendência de redução da área de mata nativa ao longo dos anos, sendo substituída por pastagem e áreas agrícolas.

A mudança do uso do solo possivelmente influenciou de modo negativo o processo de conservação de água desta área, que apresentou uma redução no escoamento subterrâneo de 10,6% do ano de 1973 a 2016. O IQSA simulado para esta área também demonstrou uma tendência decrescente ao longo dos anos, apresentando uma correlação forte com o escoamento subterrâneo, através do coeficiente de Pearson, com um r de 0,76. Ao correlacionar as áreas de mata nativa com o escoamento subterrâneo obteve-se um r de 0,97, o que confirma a relação entre cobertura vegetal e escoamento subterrâneo.

A bacia Hidrográfica do Rio de Ondas apresentou um processo intenso de antropização e substituição de cerrado nativo por áreas agrícolas, em que o cerrado que em 1976 predominava 100% da área da bacia, foi reduzido a apenas 48% em 2019. Entretanto, o processo de substituição de cerrado por áreas agrícolas, avançou 30% da área em menos de 10 anos. O que possivelmente explica uma breve elevação no escoamento subterrâneo no ano de 1986. Vários autores (Hornbeck et al. 1993; Bruinjeel e Critchley 1994; Best et al. 2003; Silverstein et al. 2003) afirmam que o desmatamento geralmente proporciona um

aumento significativo do fluxo de base, reduzindo as taxas de evapotranspiração e aumentando o escoamento superficial. Entretanto, há uma redução progressiva do escoamento ao longo do tempo, ocasionando secas em períodos longos de estiagem. Ao correlacionar o IQSA e o percentual de cerrado com os escoamentos subterrâneos obteve-se um r médio, de respectivamente 0,48 e 0,45. Isso ocorre porque o ano de 1986 apresentou valores de escoamento subterrâneos mais elevados que os outros anos. Obtém-se uma correlação forte, com um r 0,91 ao não considerar os dados referentes ao ano de 1986, entre IQSA e escoamento subterrâneo.

5. CONCLUSÕES

O mapeamento de uso e ocupação do solo realizado em escala temporal, indicou que a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé e Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas apresentaram um processo de antropização intenso ao longo dos anos, mudando expressivamente o uso do solo, caracterizado pela substituição da vegetação nativa por atividades que mantêm a economia da região ativa, como pastagem e culturas, observado de modo expressivo na década de 2010.

A análise dos percentuais de escoamento subterrâneo e a simulação do IQSA indicaram que as duas bacias apresentaram uma tendência decrescente ao longo dos anos, estando relacionada com a mudança do uso e ocupação do solo. O maior percentual de escoamento subterrâneo para a Bacia Hidrográfica do Rio Catolé foi referente ao ano de 1973, assim como a maior área coberta por mata nativa, e maior IQSA estimado, seguido pelos anos de 1988 e 2016. Na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, a retirada da vegetação nativa em 1986 resultou no aumento do imediato dos escoamentos, entretanto, reduzido ao longo dos anos como observado em 2019, representando a dinâmica do meio ambiente.

O presente estudo evidenciou que a redução da cobertura vegetal, colaboram para a redução do potencial de infiltração de água no solo, e conseqüentemente no escoamento subterrâneo e manutenção do fluxo de água em uma bacia hidrográfica. Entretanto, é necessária uma análise completa, considerando fontes de variações e sua relação com os resultados encontrados, como foi constatado no ano de 1986 na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas, que apresentou um pico de escoamento superficial mesmo com uma redução significativa da área de cerrado.

De modo geral, o IQSA proposto neste estudo apresentou tendência decrescente em escala temporal, assim como o com o uso e ocupação do solo e o fluxo de base nas bacias hidrográficas, mostrando resultados satisfatórios de correlação em relação a dinâmica da água no ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLVAND, B.; MEZ, L.; WINTER, L.; MIRSAEEDI-GLOBNER, S.; SCHÜTT, B.; ROST, K. T.; BAR, J. **The dimension of water in Central Asia: security concerns and the long road of capacity building.** Environmental Earth Sciences (2015) 73:897–912. DOI 10.1007/s12665-014-3579-9

ALMEIDA, N. V.; CUNHA, S. B.; NASCIMENTO, F. R. **A cobertura vegetal e sua importância na análise morfodinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá – Nordeste do Brasil, Paraíba.** REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.3, N.4, p. 365-378, 2012.

ALVARENGA, C. C. **Indicadores hidrológicos do solo para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea.** 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ALVARENGA, C. C. et al. **Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. **Densidade do solo e Infiltração de água como indicadores da qualidade física de um latossolo vermelho distrófico em recuperação.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:617-625, 2007

ALVES, M.C. & CABEDA, M.S.V. **Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades.** Revista Brasileira de Ciência Solo, 23:753-761, 1999.

AMORIM, J. S. **Produção de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande Utilizando o Modelo Hidrológico SWAT.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, Bahia. 82p. 2016.

ANGHINONI, I.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F. et al. **Benefícios da integração lavourapeçuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto.** In: FONSECA, A.F. da; CAIRES, E.F.; BARTH, G. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. AEACG/Inpag: Ponta Grossa, 2011. p.1-30.

ARAÚJO, RICARDO; GOEDERT, WENCESLAU J.; PINTO COELHO LACERDA, MARILUSA. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 5, 2007, pp. 1099-1108 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil

ARAÚJO, A. O.; MENDONÇA, L. A. R.; SIMPLÍCIO, A. A. F.; FEITOSA, J. V.; MENDONÇA, M. R. K.; FONTENELE, S. B.; **Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na chapada do Araripe. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo.** Revista ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo, Brasil. 2009.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo.** Revista *Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257-262, mar./abr. 2003.

BALAJI, R., CONNOR, R., GLENNIE, P., VAN DER GUN, J., LLOYD, G.J. & YOUNG, G. **The water resource: variability, vulnerability and uncertainty.** In: WWAP (World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 4, Volume 1: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO, pp. 77-100. 2012

BARBERA-CASTILLO, N.M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica.** 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001

BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação.* 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BARRETO, L. V; ROCHA, F. A.; OLIVEIRA, M. S. C.; **Monitoramento da Qualidade de Água na Microbacia Hidrográfica do Rio Catolé, em Itapetinga-BA;** Centro Científico Conhecer - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Goiânia, vol.5, n.8, 2009

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: Integração participativa de conhecimentos sobre indicadores de qualidade do solo, guia metodológico.** World agroforestry, Embrapa e Centro internacional de agriculturatrópicos. 183p. 2011.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. **Modelos Matemáticos Para Avaliação do Índice de Qualidade de Água: Uma Revisão.** ACTA Geográfica, Boa Vista, v.11, n.25, jan./abr. de 2017. pp. 111-136

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S.; MELO, F. C. M. **Índice de qualidade de solos cultivados com bananeira nas regiões oeste da Bahia e no norte de Minas Gerais.** Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2018.

BORTOLINI, D. **Estimativa da retenção e disponibilidade de água nos solos do Estado de Santa Catarina.** Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Biblioteca Setorial do CAV/UDESC. 2016.

CALDAS, E. de L.; KAYANO, J. . **Indicadores para o Diálogo.** São Paulo: Instituto Pólis, PGPC-EAESP-FGV, CEDEC, 2001. v. 1. 48p .

CANDIDO, B. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F.; MINCATO, R. L.; FERREIRA, M. **Métodos de indexação de indicadores na avaliação da qualidade do solo em relação a erosão hídrica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 39, núm. 2, 2015, pp. 589-597 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil

CARIBE, R. DE C. DO V. **Sistemas De Indicadores: Uma Introdução.** Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, v.6, n. 2, p. 1-23 , jan./jun. 2009–ISSN: 1678-765X.

CARTER, M.R. **Organic matter and sustainability.** In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A., eds. Sustainable management of soil organic. Wallingford, CAB International, 2001. p.9-22.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. **Importância do manejo da Bacia Hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.2, n.2., p.148-156, Dezembro, 2012

CERQUEIRA, L. S.; FADUL, E.; VITÓRIA, F. T.; MORAIS, J. L. M. **Produção científica em gestão de recursos hídricos no Brasil no período de 2002 a 2011: Uma análise da sua contribuição para o setor.** Revista Gestão e Planejamento, Salvador, v. 17, n. 2, p. 232-250, maio./ago. 2016

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981

CONCHA-LOZADA, C. M. 2015. **Índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de Planaltina (DF).** Dissertação de Mestrado. Publicação PPGEFL.DM – 258/2015. Programa de PósGraduação em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, 80f.

DEVIA, G. K., GANASRI, B. P., & DWARAKISH, G. S. **A Review on Hydrological Models.** Aquatic Procedia, 4, pp.1001–1007. 2015. doi:10.1016/j.aqpro.2015.02.126

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set.** In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p.25-37. (Special Publication, 49).

DORAN, J.W. **Soil quality and sustainability.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. **Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality.** Applied Soil Ecology, v.15, n.1, p.3-11. 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality.** Chapters 1-8, p.1-21. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.35. 244p. 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALKENMARK, M. & MOLDEN, D. **Wake up to realities of river basin closure.** International Journal of Water Resources Development 24: 201-215. 2008.

FALKENMARK, M., JÄGERSKOG, A. & SCHNEIDER, K. **Overcoming the land-water disconnect in waterscarce regions: time for IWRM to go contemporary.** International Journal of Water Resources Development 30: 391-408. 2014.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Review of world water resources by country.** Water Reports 23. 2003.

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; RAMOS, G. M.; GASPAS, A.; MOURA, M. R. **Influência do uso do solo na qualidade de água na microbacia Glória, Macaé, Rio de Janeiro.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 105-116, abr./jun. 2011

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. **Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro.** Revista Ciência Agronômica, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, v. 46, n. 2, p. 277-286, abr-jun, 2015.

FISTAROL, P. H. B.; BRANDOLFF, R. S.; SANTOS, J. Y. G. **Análise Fisiográfica da Bacia do Rio de Ondas – BA.** Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J. Y. G. **Implicações das Alterações no Uso e Ocupação do Solo nas Perdas de Solo da Bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia.** Revista OKARA: Geografia em debate, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020. ISSN: 1982-3878

FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil.** Nativa, Sinop. V. 02, n 04, p. 214-218, out./dez. 2014. DOI: 10.14583/2318-7660.v02n04a05

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. **Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente.** Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 3, p. 417-428, jul-set, 2012

GELAW, A., SINGH, B., & LAL, R. **Soil Quality Indices for Evaluating Smallholder Agricultural Land Uses in Northern Ethiopia.** Sustainability, 7(3), p. 2322–2337. 2015. doi:10.3390/su7032322

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 653p

GOUDIE, A. **The human impact on the natural environment.** 4. ed. Oxford: Blackwell Publishers, 1993

HAI-YING, L; BARTONOVA, A; PASCAL, M; SMOLDERS, R; SKJETNE, E; DUSINSKA, M. Approaches to integrated monitoring for environmental health impact assessment. **Environmental Health** 11, 1–13, 2012.

HARRIS, R. F.; KARLEN, D. L.; MULLA, D. J. **A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health.** p.61-82. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.49.410p. 1996.

HERRICK, J.E. **Soil quality: An indicator of sustainable land management?** Appl. Soil Ecol., 15:75-83, 2000.

HONDA, E. A., & DURIGAN, G.. **A restauração de ecossistemas e a produção de água.** Hoehnea, 44(3), p. 315–327. 2017. doi:10.1590/2236-8906-82/2016

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M. & KARLEN, D.L. **Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois.** Soil Till. Res., 50:237-249, 1999.

KARLEN, D. L.; DORAN, J. W.; WEINHOLD, B. J.; ANDREWS, S. S. **Soil quality: Humankind's foundation for survival.** Journal of soil and water conservation, v.58, n.4, p.171-179. 2003.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. **Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial)**. Soil Science Society of America Journal, v.61, n.1, p.4-10.1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. **A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality**. Chapters 1-8, p.53-72. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.35.244p. 1994.

KIEHL, E.J. 1985. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. 492 p.

LAL, R. **Encyclopedia of soil Science**. CRC press, second edition, 2060p.2005.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J; **Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1131-1140, 2007.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1994. p.37-52.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216p.

LIMA, W.P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2 ed. Piracicaba-SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008. 253p.

LIMA, E. M., PINTO; J. E. S. **Bacia do rio Catolé, Bahia - Brasil: bases geoambientais e socioeconômicas para a gestão da água e do solo**. Revista Geográfica de América Central, Número Especial. EGAL - Costa Rica, II Semestre, p. 1-11. 2011.

LOPES J.E.G., BRAGA B.P.F., CONEJO J.G.L. **SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology**, ed. V.P.Singh, Water Resources Publications. 1982

LOPES, J. E. G. **Modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure)**. 1999, 19 p

MACHADO, C. J. S. **A gestão Francesa de recursos hídricos: Descrição e análise dos princípios jurídicos**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V 8 n.4, pp 31-47, Out/Dez2003.

MATOS, A.T. **Qualidade do meio físico - Práticas de laboratório**. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 150p.,2012

MEDEIROS, F. J.; LIMA, K. C.; CAETANO, D. A.; SILVA, F. J. O. **Impacto da variabilidade interanual da precipitação nos reservatórios do Semiárido do Nordeste do Brasil**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ . ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 41 - 3 / 2018 p. 731-741

MELLO, C. R. DE ET AL. **Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microrregião Campos das Vertentes, MG.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 9, p. 1319-1324, Sept. 2002.

MELO, V. F.; LIMA, V. C.; **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio.** Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba - PR; Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 1ª edição - Cap 4, 2007.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. **Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.11, p.1513-1519, nov. 2009

MIRANDA, A. C. R.; PRUSKI, F.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. **Métodos de Separação dos Escoamentos Superficial Direto e Subterrâneo: Estudo de Caso para a Bacia do Rio das Velhas.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.2 –Abr/Jun 2014, 169-181

MORAIS, F. de. **Infiltração – uma variável geomorfológica.** Caderno de Geografia, v.22, n.38, 2012.

MOREIRA, E. B. M.; SANTOS, J. Y. G.; MACHADO, W. B.; RIBEIRO, E. P. R. **Evapotranspiração Real na Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas – BA, Através do Algoritmo Sebal e Imagens Landsat 8.** Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE – Santos, SP, 2019. ISBN: 978-85-17-00097-3.

MORIN, J.; van WINKEL, J. **The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation.** Soil Science Society of America Journal, v.60, p.1223-1227, 1996.

MOTTA, A. C. V.; BARCELLOS, M; **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio.** Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba - PR; Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. 1ª edição - Cap 9, 2007.

MUSCHLER, R.G. **Árboles en cafetales.** Turrialba, Costa Rica: Catie/GTZ, 2000.

NASCIMENTO, R. C. M. do; GUILHERME, B. C.; ARAÚJO, M. C. B. de; MAGAROTTO, M.; CAVALCANTI, J. S. S. **Uso de Indicadores Ambientais em áreas costeiras: uma revisão bibliográfica.** Revista Brasileira de Meio Ambiente. Vol 2. N. 1. P. 052-069. 2018.

OLIVEIRA, L.; COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. S.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P. **Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental.** Acta Amazonica, Manaus, v. 38, n. 4, p. 723-732, 2008.

OLSZEWSKI, N.; FILHO, E. I. F.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. **Morfologia e Aspectos Hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, Divisa dos Estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.485-492, 2011

PEREIRA, D. R. M.; PINTO, M. R. **A importância do entendimento dos indicadores na tomada de decisão de gestores públicos.** Revista do Serviço Público Brasília 63 (3): 363-380 jul/set 2012

PETTYJOHN, W.A.; HENNING, R. **Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio.** Ohio State University. Water Resources Center Project Completion, Report N° 552. Ohio, 1979, 323 p.

RAMOS, H. M. M. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade e atributos físico-hídricos de solos do Estado do Piauí.** 2017. 50 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Piauí, Teresina. Orientador: Gustavo Souza Souza e Coorientador: Anderson Soares de Andrade Júnior

RAMPERSAD, H. K. **Scorecard para performance total: alinhando o capital humano com estratégia e ética empresarial.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 391 p.

REBOUCAS, Aldo da C.. **Água e desenvolvimento rural.** Estud. av., São Paulo , v. 15, n. 43, p. 327-344, Dec. 2001. Access0: 11/Jan./2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142001000300024>

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas.** 2.ed. Piracicaba: ESALQ, Depto. de Física e Meteorologia, 1996. 160p.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. **Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, n.3, p.289-298, 1992.

REZENDE, F.C.; SCALLOPPI, J.E. **Avaliação de métodos para a determinação das características de infiltração por sulcos.** Pesq. agropec. Bras., Brasília, 20,(2), 227-233, 1985

RIBEIRO, C. G. et al. **Derivação de parâmetros para o uso do modelo SWAT na estimativa de recarga subterrânea em um aquífero cárstico- fissural do semiárido brasileiro.** Águas Subterrâneas, v. 33, n.1, p. 22-33, 2019

ROSS, J. L. S.; PRETTE, M. E. D. **Recursos Hídricos e as Bacias Hidrográficas: Âncoras do Planejamento e Gestão Ambiental.** Revista do Departamento de Geografia, n 12, p. 89-121, 1998

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

SANTANA, R. O.; LEITE, M. S. B; TRINDADE, L. R. S. L. C.; BARROS, F. M.; SILVA, D. P. **Quantificação de Variáveis Limnológicas em uma Seção Transversal do Rio Catolé Grande, BA.** ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 2017

SICHE, R. ; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. **Índices Versus Indicadores: Precisoões Conceituais na Discussão da Sustentabilidade de Países.** Ambiente & Sociedade. Campinas v. X, n. 2. p. 137-148. jul.-dez. 2007

SNIRH. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/>>. Acessado em: 12/05/2019.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L. & ROGERS, H.H. **Quantification of soil quality.** In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, CRC Press, 1998. p.387-404.

SILVA, I.C. **Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no município de Itapororoca/PB.** Revista Geonorte, Edição Especial, v.1, n.4, p.648-662, 2012

SILVEIRA, T.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B.; ARAÚJO, M. S. B; **Qualidade da Água e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Superficiais na Definição das Fragilidades Potencial e Ambiental de Bacias Hidrográficas** - Revista Brasileira de Geografia Física, vol7, n4. 2014

SMYTH, A.J. & DUMANSKI, J.A **framework for evaluating sustainable land management.** Can. J. Soil Sci., 75:401-406, 1995.

SURVEY MONKEY – Disponível em: < <https://pt.surveymonkey.com/>> . Acesso em: 30/11/2019.

Tarolli, P. & Sofia, G. **Human topographic signatures and derived geomorphic processes across landscapes.** Geomorphology 255: 140-161. 2016.

TEODORO, V. L. L.; TEIXEIRA, D. COSTA, J. L. C.; FULLER, B. B. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local.** REVISTA UNIARA, n.20, p. 137-157. 2007

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TRAVASSOS, A.; NORONHA, J. C.; MARTINS, M. **Mortalidade hospitalar como indicador de qualidade: uma revisão.** Ciencia e Saúde Coletiva. V. 4(2): 367 -381, 1999.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed. Porto alegre: ABRH/ editora da UFRGs, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

TUNDISI, J. G. **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos.** REVISTA USP, São Paulo, n.70, p. 24-35, junho/agosto 2006

USDA-NRCS.**Soil Quality Institute**, Ames, IA. Disponível em:<http://soils.usda.gov/sqi/> Acesso em: 01 de outubro. 2017.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov/>> . Acesso em: 20/06/2019.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J.;**Revisão de literatura: Uma visão sobre qualidade do solo;** R. Bras. Ci. Solo, 33:743-755, 2009

WALKER, W. R. & SKOGERBOE, G. V. **Surface irrigation: theory and practice.** New Jersey: Prentice - Hall, 386p, 1987.

ANEXO I

Planilha - IQS

rio catole					
	CV*AREA				
Classes de Uso do solo	1983	2003	2016	1973	
pasto	0,13608	0,12999	0,18116	0,176573	
mata	0,1016	0,092449	0,0616	0,147753	
campo antropico	0,00672	0,021951	0,01112		
cultivo	0,04224	0,007426	0,0144		
solo exposto	0,228	0,09	0		
rio de ondas					
CV	1972	1986	2019		
	0,65	0,59498	0,459617	0,316317	cerrado
	0,35	0	0,102352	0,179509	agricultura
uso do solo					
Classes de Uso do solo	1972	1986	2019		
cerrado	1	0,707104	0,486642		
agricultura	0	0,292433	0,512882		

Planilha – Escoamentos Direto e Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande

	2011	2012	2013	1981	1982	1983	1971	1972	1973
LESub	54,13	40,77	34,07	166,35	106,73	87,23	82,24	51,75	35,80
LESd	48,38	18,19	30,35	79,95	29,14	42,79	21,96	15,32	27,67
total	102,51	58,96	64,42	246,30	135,87	130,02	104,20	67,07	63,47
ESub(%)	52,8	69,2	52,9	67,5	78,6	67,1	78,9	77,2	56,4
Edir (%)	47,2	30,8	47,1	32,5	21,4	32,9	21,1	22,8	43,6
Diferença	5,6	38,3	5,8	35,1	57,1	34,2	57,9	54,3	12,8

	2013	1983	1973
sub	174,9	189,6	199,0
diret	125,1	110,4	101,0
sub	58,3	63,2	66,3
diret	41,7	36,8	33,7
diferença	16,6	26,4	32,7

Planilha – Escoamentos Direto e Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio de Ondas

1977	1978	1979	1985	1986	1987	2016	2017	2018	escoamen
275,54	306,27	293,92	272,39	263,53	236,78	139,95	135,89	147,37	sub
40,55	39,91	51,07	27,22	26,27	47,06	29,51	30,17	30,69	direto
316,09	346,18	344,99	299,61	289,81	283,83	169,46	166,06	178,07	total
0,871702	0,884709	0,851956	0,909152	0,909349	0,834216	0,825882	0,818334	0,827635	%sub
0,128298	0,115291	0,148044	0,090848	0,090651	0,165784	0,174118	0,181666	0,172365	%dir

ANEXO II

SOIL QUALITY INDEX FOR THE DETERMINATION OF THE POTENTIAL OF INFILTRATION AND WATER RECHARGE IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF CATOLÉ RIVER

Najla Evangelista Sales¹, José Wildes Barbosa dos Santos²

¹ Master's student of the Graduate Program in Environmental Science (PPGCA – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia) 0

² Professor, D. Sc. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

The demand increase for agricultural and industrial products intensifies the exploitation of natural resources such as soil and water, which has caused to degradation problems of these resources in last years, evidencing the need to find effective ways to manage them. Given this situation, environmental monitoring with hydrographic basins as a basic unit of planning and management is effective in characterizing aspects that aid in the diagnosis of changes that occur in the use and occupation of the soil, making it possible to assess the effects of anthropic activities on the ecosystems (FERNANDES et al., 2011).

The degradation of forest remnants and the inadequate management of the soil, besides reducing the quality of the soil, interfere directly with the recharge and water quality in a hydrographic basin. In this sense, factors linked to the surface directly influence the water infiltration capacity in the soil, in the volume of surface runoff and sediment production that reaches the water body, evidencing that water conservation depends primarily on adequate soil conservation practices throughout the hydrographic basin (Honda e Durigan, 2017). In areas where intensive agricultural activity is predominant, the fragmentation of secondary forests is increasing. The deterioration of these resources implies physical, chemical and biological changes of the soil, and hydrological, causing the decrease of the productive capacity of the soil, retention and recharge of sub-surface water in a hydrographic basin.

The following questionnaire is part of the methodology applied in the present study, whose procedure is to consult specialists through the Delphi technique, aiming to assign a level of importance of the vegetal cover in the process of water infiltration in the soil, on a qualitative basis in order to subsidize the construction of an index that evaluates the soil quality taking into account the potential of water infiltration and recharge in a hydrographic basin.

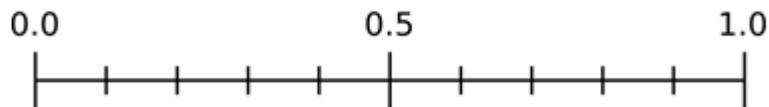
QUESTIONNAIRE

The soil performs a number of functions, including the water storage and transmission through its profile, important for the development of vegetation and maintenance of water table, respectively. The constant transformation of forest areas or native vegetation into anthropogenic areas may lead to a decrease in water infiltration capacity in the soil and problems related to the water conservation and

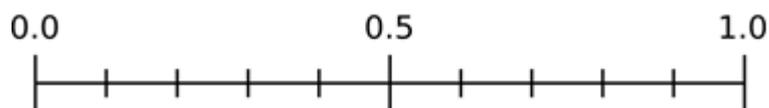
availability in a hydrographic basin. Considering that the vegetation cover and factors related to the soil surface directly influence the water infiltration capacity, on a scale of 0 to 1, evaluate the influence of each type of vegetation cover in this process. Values close to 1 reflect optimum and/or ideal infiltration conditions, values close to zero reflect poor or no water infiltration conditions in the soil.

- 1) The vegetation acts as a means of interception of the rainwater, dissipating the kinetic energy of the raindrops directly in the soil, avoiding the superficial crusting.

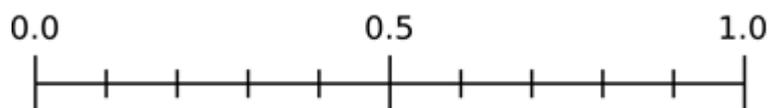
a) Ombrophilous forest with high density canopy.



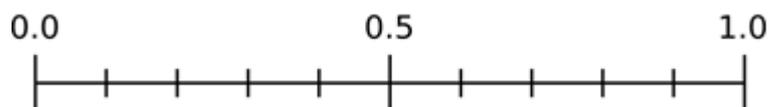
b) Ombrophilous forest with low density canopy.



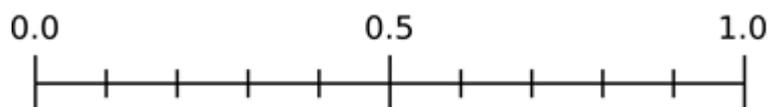
c) Cultivation/areas of mechanized agriculture.



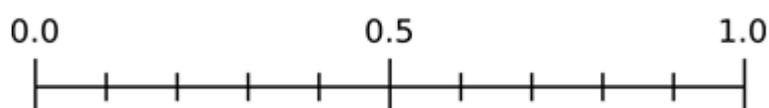
d) Cultivation/areas of non-mechanized agriculture.



e) Pasture with adequate management.

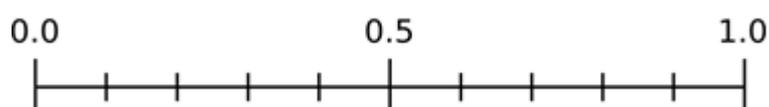


f) Abandoned or dry pasture

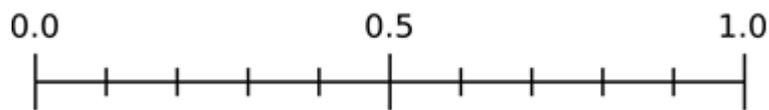


- 2) The vegetation acts as an obstacle, reducing the surface runoff velocity and contributing to the reduction of erosive processes.

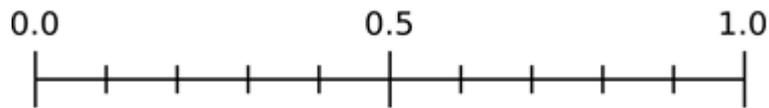
a) Ombrophilous forest with high density canopy.



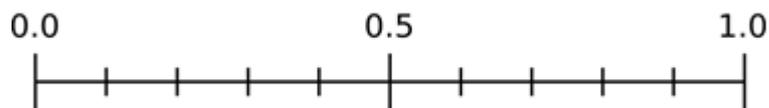
b) Ombrophilous forest with low density canopy.



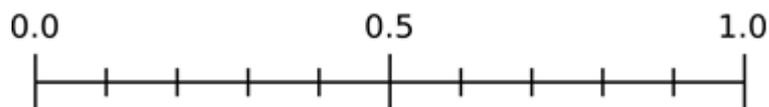
c) Cultivation/areas of mechanized agriculture.



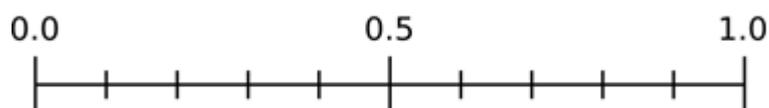
d) Cultivation/areas of non-mechanized agriculture.



e) Pasture with adequate management.

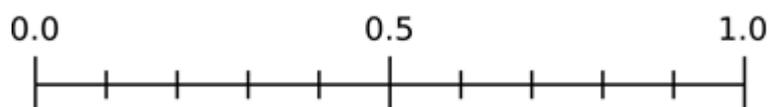


f) Abandoned or dry pasture

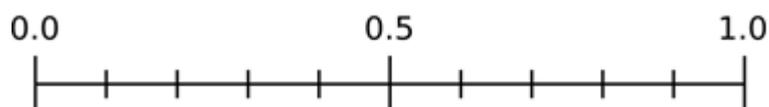


3) Provides a contribution of organic matter (litter), favoring soil structure, increasing porosity, and still functions as a cover.

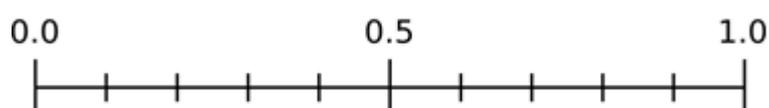
a) Ombrophilous forest with high density canopy.



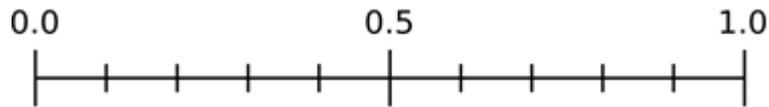
b) Ombrophilous forest with low density canopy.



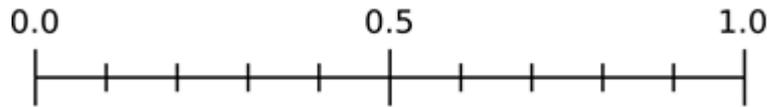
c) Cultivation/areas of mechanized agriculture.



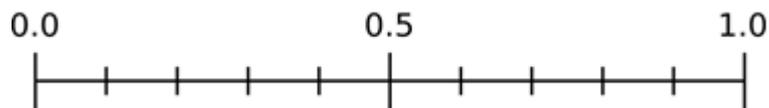
d) Cultivation/areas of non-mechanized agriculture.



e) Pasture with adequate management.

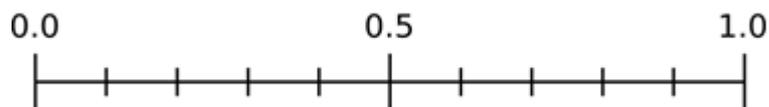


f) Abandoned or dry pasture

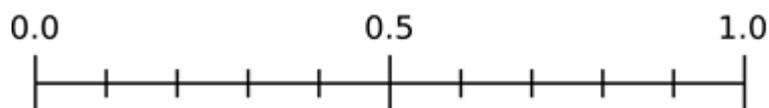


4) Presence of a developed root system favors the formation of preferential channels, facilitating the water movement in the soil profile.

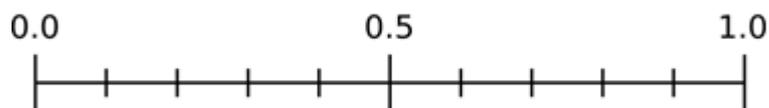
a) Ombrophilous forest with high density canopy.



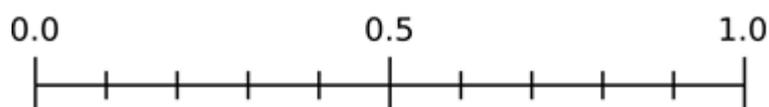
b) Ombrophilous forest with low density canopy.



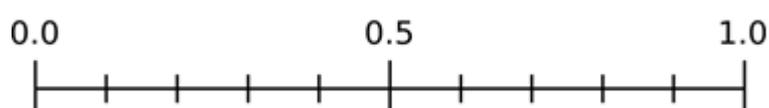
c) Cultivation/areas of mechanized agriculture.



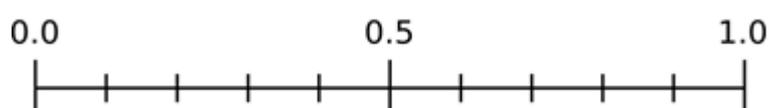
d) Cultivation/areas of non-mechanized agriculture.



e) Pasture with adequate management.

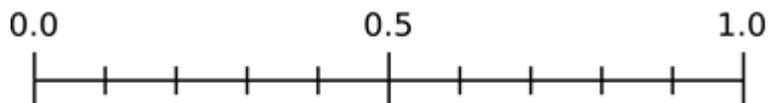


f) Abandoned or dry pasture

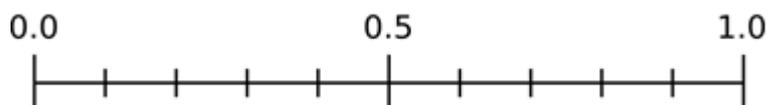


5) The presence of the soil microfauna, favor the formation of continuous macropores, which favor the infiltration process.

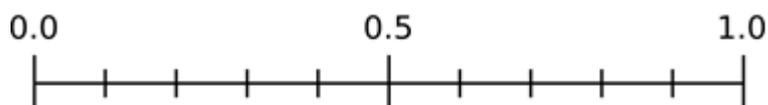
a) Ombrophilous forest with high density canopy.



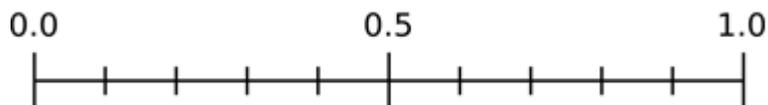
b) Ombrophilous forest with low density canopy.



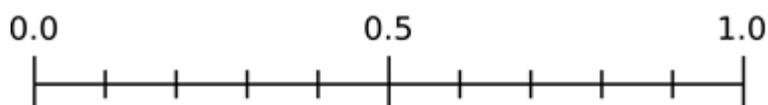
c) Cultivation/areas of mechanized agriculture.



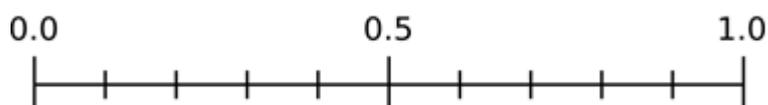
d) Cultivation/areas of non-mechanized agriculture.



e) Pasture with adequate management.



f) Abandoned or dry pasture



REFERENCES

ALVARENGA, C. C. et al. **Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.

BARRETO, M. M., & MORAES, L. R. S. **Definição de indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados a rios urbanos com o uso do método Delphi.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta), v. 6, n. 2, p. 67-78, 2018 – ISSN: 2317-563X67

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; RAMOS, G. M.; GASPAR, A.; MOURA, M. R. **Influência do uso do solo na qualidade de água na microbacia Glória,**

Macaé, Rio de Janeiro. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 105-116, abr./jun. 2011

HONDA, E. A., & DURIGAN, G.. **A restauração de ecossistemas e a produção de água.** Hoehnea, 44(3), p. 315–327. 2017. doi:10.1590/2236-8906-82/2016

ANEXO III

ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO PARA DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO E RECARGA DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CATOLÉ

Najla Evangelista Sales¹, José Wildes Barbosa dos Santos²

¹ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia)

² Professor Titular, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

O aumento da demanda por produtos agrícolas e industriais intensifica a exploração de recursos naturais como solo e água, o que tem acarretado problemas de degradação destes recursos nos últimos anos, evidenciando a necessidade de encontrar formas eficazes de gerenciá-los. Diante desta situação, o monitoramento ambiental tendo bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento e gestão é eficaz em caracterizar aspectos que auxiliam no diagnóstico de mudanças que ocorrem no uso e ocupação do solo, tornando possível avaliar os efeitos das atividades antrópicas exercidas sobre os ecossistemas (FERNANDES *et al.*, 2011).

A degradação de remanescentes florestais e o manejo inadequado do solo, além de reduzir a qualidade do solo, interfere diretamente na recarga e na qualidade de água em uma bacia hidrográfica. Neste sentido, fatores ligados à superfície influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água no solo, no volume de escoamento superficial e produção de sedimentos que chega ao corpo hídrico, evidenciando que a conservação de água depende primeiramente de práticas adequadas de conservação do solo em toda a bacia hidrográfica (Honda e Durigan, 2017). Em áreas em que a atividade agropecuária intensiva é predominante, a fragmentação de florestas e matas secundárias é crescente. A deterioração destes recursos implica em mudanças físicas, químicas e biológicas do solo, e hidrológicas, provocando a diminuição da capacidade produtiva do solo, retenção e recarga de água sub superficial em uma bacia hidrográfica.

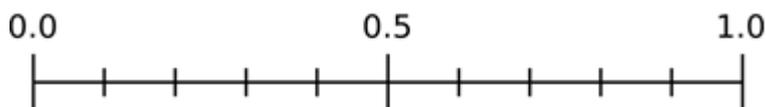
O questionário a seguir constitui parte da metodologia aplicada no presente estudo, cujo procedimento é a consulta a especialistas através da técnica Delphi, tendo como objetivo atribuir um nível de importância da cobertura vegetal no processo de infiltração de água no solo, em bases qualitativas a fim de subsidiar a construção de um índice que avalie a qualidade do solo levando em consideração o potencial de infiltração e recarga de água em uma bacia hidrográfica.

QUESTIONÁRIO

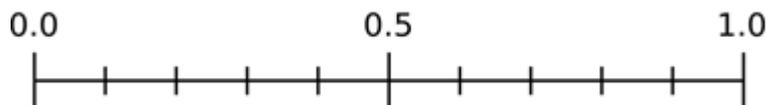
O solo exerce uma série de funções, dentre elas o armazenamento e a transmissão de água por intermédio de seu perfil, importante para o desenvolvimento da vegetação e manutenção de lençóis freáticos, respectivamente. A constante transformação de áreas florestais ou de vegetação nativa em áreas antropizadas podem levar a diminuição da capacidade de infiltração de água no solo e problemas relacionados a conservação e disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica. Tendo em vista que a cobertura vegetal e fatores ligados a superfície do solo influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água, numa escala de 0 a 1, avalie a influência de cada tipo de cobertura vegetal neste processo. Valores próximos a 1 refletem condições ótimas e/ou ideais de infiltração, valores próximos a zero refletem condições ruins ou nulas de infiltração de água no solo.

1.) A vegetação atua como meio de interceptação da água da chuva, dissipando a energia cinética das gotas de chuva diretamente no solo, evitando o encrostamento superficial.

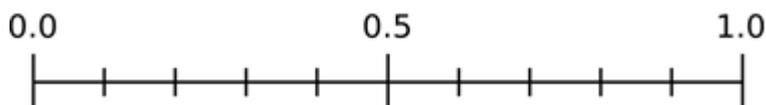
a) Floresta Ombrófila com dossel de alta densidade.



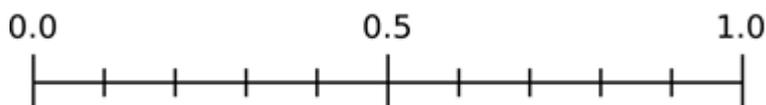
b) Floresta ombrófila com dossel de baixa densidade.



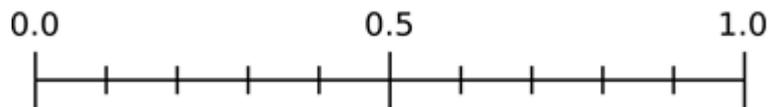
c) Cultivo/ áreas de agricultura mecanizada.



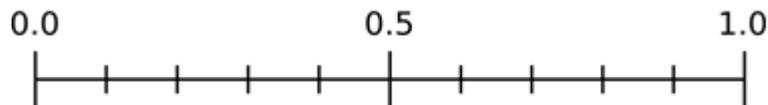
d) Cultivo/ áreas de agricultura não mecanizadas.



e) Pastagem com manejo adequado.

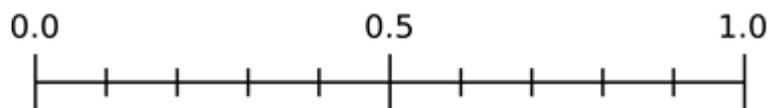


f) Pastagem abandonada ou seca.

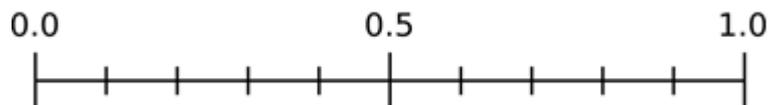


2.) A vegetação atua como um obstáculo, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e colaborando para a diminuição de processos erosivos.

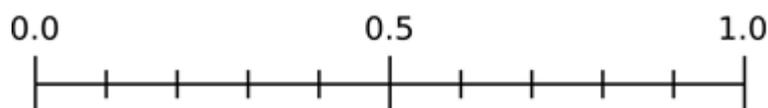
a) Floresta Ombrófila com dossel de alta densidade.



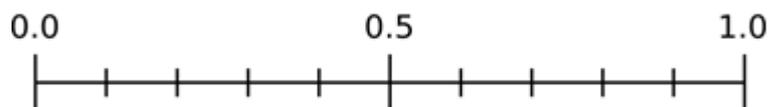
b) Floresta ombrófila com dossel de baixa densidade.



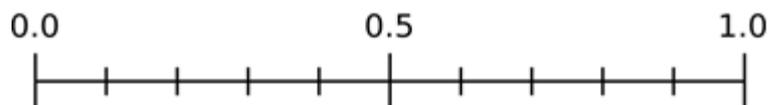
c) Cultivo/ áreas de agricultura mecanizadas



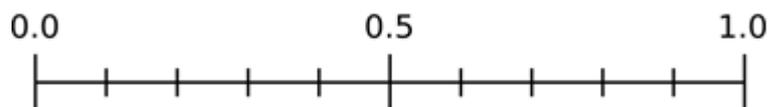
d) Cultivo/ áreas de agricultura não mecanizadas



e) Pastagem com manejo adequado

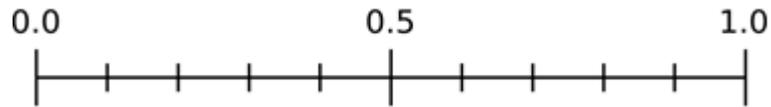


f) Pastagem abandonada ou seca

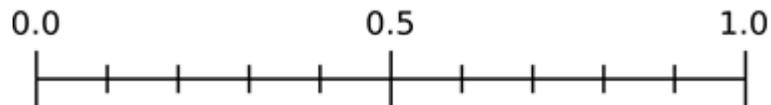


3.) Fornece um aporte de matéria orgânica (serapilheira), favorecendo a estrutura do solo, aumentando a porosidade, e ainda funciona como cobertura.

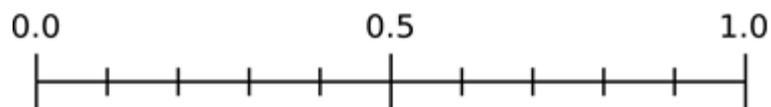
a) Floresta Ombrófila com dossel de alta densidade.



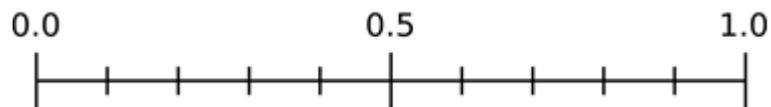
b) Floresta Ombrófila com dossel de baixa densidade.



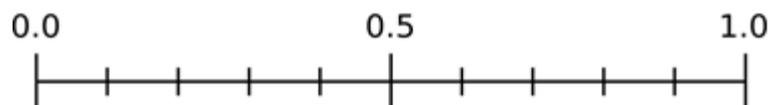
c) Cultivo/ áreas de agricultura mecanizadas



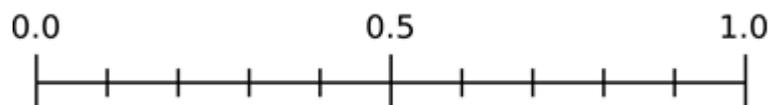
d) Cultivo/ áreas de agricultura não mecanizadas



e) Pastagem com manejo adequado

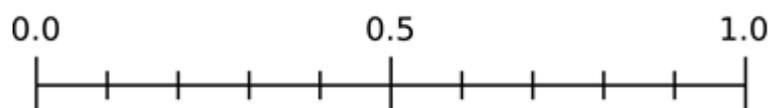


f) Pastagem abandonada ou seca

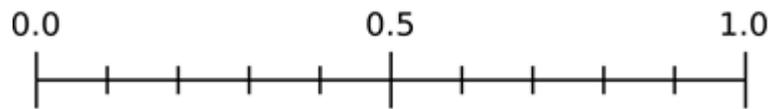


4.) Presença de um sistema radicular desenvolvido favorece a formação de canais preferenciais, facilitando o movimento da água no perfil do solo.

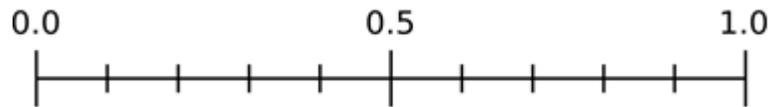
a) Floresta Ombrófila com dossel de alta densidade.



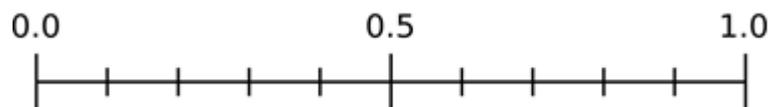
b) Floresta Ombrófila com dossel de baixa densidade.



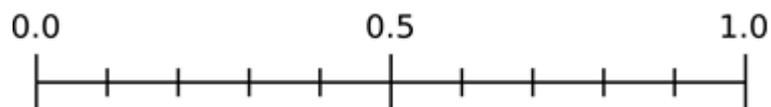
c) Cultivo/ áreas de agricultura mecanizadas



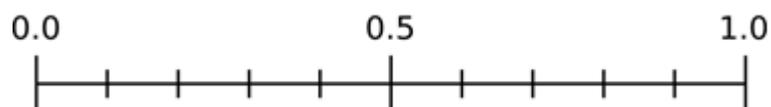
d) Cultivo/ áreas de agricultura não mecanizadas



e) Pastagem com manejo adequado

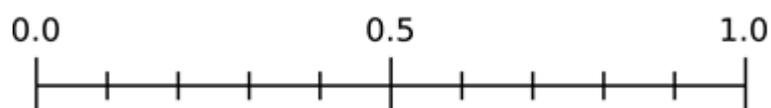


f) Pastagem abandonada ou seca

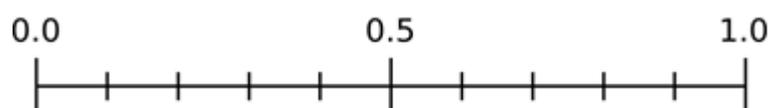


5.) A presença de microfauna do solo, favorecem a formação de macroporos contínuos, que favorecem o processo de infiltração.

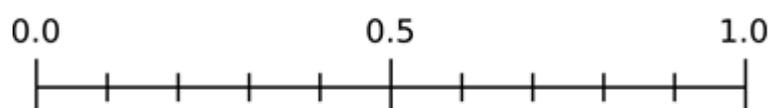
a) Floresta Ombrófila com dossel de alta densidade.



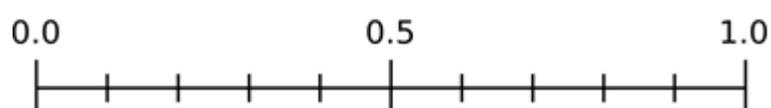
b) Floresta Ombrófila com dossel de baixa densidade.



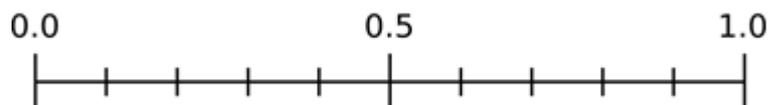
c) Cultivo/ áreas de agricultura mecanizadas



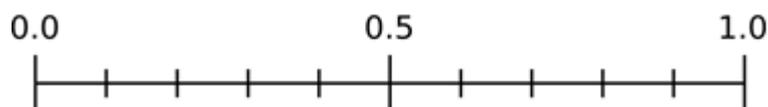
d) Cultivo/ áreas de agricultura não mecanizadas



e) Pastagem com manejo adequado



f) Pastagem abandonada ou seca



REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. C. et al. **Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQSRA) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 5, p. 1608-1619, 2012.

BARRETO, M. M., & MORAES, L. R. S. **Definição de indicadores de sustentabilidade ambiental aplicados a rios urbanos com o uso do método Delphi.** Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta), v. 6, n. 2, p. 67-78, 2018 – ISSN: 2317-563X67

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; RAMOS, G. M.; GASPAR, A.; MOURA, M. R. **Influência do uso do solo na qualidade de água na microbacia Glória, Macaé, Rio de Janeiro.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 105-116, abr./jun. 2011

HONDA, E. A., & DURIGAN, G.. **A restauração de ecossistemas e a produção de água.** Hoehnea, 44(3), p. 315–327. 2017. doi:10.1590/2236-8906-82/2016

ANEXO IV

REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DIRETRIZES PARA AUTORES

As normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi), apresentadas a seguir, estão sujeitas a modificações ao longo do tempo; desta forma, sugerimos aos autores consultá-las no momento de submissão de seus artigos. Os artigos submetidos não devem ter sido enviados a outro periódico e serão selecionados para avaliação pelos revisores apenas se estiverem integralmente dentro das normas da Revista.

Os autores deverão solicitar, à especialista, a correção ortográfica do Inglês de seus artigos antes de submetê-los ou devolvê-los à Revista, em qualquer etapa de tramitação. Artigos com problemas de ortografia serão prejudicados na avaliação podendo, por este motivo, ser rejeitados. Artigos que abordem pesquisa com experimento somente serão aceitos para publicação se atenderem a pelo menos um dos critérios seguintes: a) experimento com no mínimo 20 parcelas; b) delineamento experimental com o número de graus de liberdade do resíduo igual ou superior a dez; outra exigência é que o número de repetições dos tratamentos seja pelo menos três. Artigos científicos que descrevem resultados de pesquisa obtidos há mais de 8 anos não serão aceitos para publicação. Os autores deverão informar, nos itens Resumo, Abstract e Material e Métodos, o período e local (incluindo coordenadas geográficas) de realização da pesquisa, e, no caso de pesquisa com experimento, o delineamento experimental, os tratamentos e o número de repetições. Os artigos subdivididos em partes I, II etc devem ser submetidos juntos visto que serão encaminhados aos mesmos revisores.

Língua e áreas de estudo

Os artigos científicos submetidos à Revista Agriambi devem ser originais e inéditos, e elaborados em Inglês. Para os artigos aceitos para publicação, será solicitado aos autores providenciarem a correção do Inglês através de uma das empresas credenciadas pela Revista, conforme lista disponibilizada na página www.agriambi.com.br. Na versão em Inglês deverá também ter Título, Resumo e Palavras-chave em Português, que deverão vir após o Título, Resumo e Palavras-chave em Inglês. Todas as palavras constantes nas figuras deverão está traduzidas para o Inglês, e os valores numéricos constantes nas tabelas, figuras e no texto deverão ter ponto em vez de vírgula separando a parte inteira da decimal. O nome de instituições brasileiras, a exemplo de departamentos, universidades e institutos devem permanecer em Português na versão em Inglês. Os artigos devem ser produto de pesquisa em uma das seguintes áreas: Manejo de Solo, Água e Planta, Engenharia de Irrigação e Drenagem, Meteorologia e Climatologia Agrícola, Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, Gestão e Controle Ambiental (esta área contempla apenas artigos que descrevam pesquisas sobre a gestão o controle ambiental no contexto da agropecuária), Construções Rurais e Ambiência, Automação e Instrumentação, Máquinas Agrícolas e Energia na Agricultura. A Revista aceita contribuições apenas nas modalidades de Artigo Científico e Revisão de Literatura. Contribuições nas modalidades de nota prévia e nota técnica, não são aceitas pela Revista; enfatiza-se, ainda, que a Revista não publica trabalhos de cunho puramente técnico e/ou de extensão; aqueles trabalhos que descrevem simplesmente o desenvolvimento de softwares/planilhas eletrônicas não são aceitos para publicação.

Composição sequencial do artigo

a) Título: engloba, com no máximo 15 palavras, o conteúdo e o objetivo do trabalho, incluindo-se os artigos, as preposições e as conjunções, apenas a primeira letra da primeira palavra deve ser maiúscula; entretanto, quando o título tiver um subtítulo, ou seja, seguido de dois pontos (:), a primeira letra da primeira palavra do subtítulo (ao lado direito dos dois pontos) deve ser maiúscula; enfim, o título não deverá ter as palavras feito, avaliação, influência nem estudo.

b) Nome(s) do(s) autor(es):

- O arquivo do artigo enviado no ato da submissão não deverá conter o(s) nome(s) do(s) autor(es) nem a identificação de sua(s) instituição(ões), visto que este arquivo será disponibilizado para os consultores no sistema, assegurando a avaliação cega pelos pares; entretanto, o nome(s) do(s) autor(es) será(ão) informado(s) ao sistema pelo autor correspondente quando da submissão. O autor correspondente já deverá estar cadastrado como autor no sistema SciELO de Publicação antes de iniciar o processo de submissão. Torna-se necessário que o autor correspondente defina sua posição na autoria do artigo em relação aos demais autores.

- O artigo deverá ter, no máximo, seis autores.

- Em relação ao que consta na primeira versão do artigo submetida à Revista, não serão permitidas alterações posteriores na sequência nem nos nomes dos autores.

c) Resumo: no máximo de 250 palavras e não ter abreviaturas.

d) Palavras-chave: no mínimo três e no máximo cinco, não constantes no Título, separadas por vírgula e com todas as letras minúsculas.

e) Título em inglês: terá a mesma normatização do título em Português.

f) Abstract: no máximo com 250 palavras devendo ser tradução fiel do Resumo.

g) Key words: terá a mesma normatização das palavras-chave e deverá ser uma tradução fiel das palavras-chave.

h) Introdução: destacar a relevância da pesquisa, inclusive através de revisão de literatura, em no máximo 1 (uma) página. Não devem existir, na Introdução, equações, tabelas, figuras nem texto teórico básico sobre determinado assunto mas, sim, referente a resultados de pesquisa. O último parágrafo deve apresentar o objetivo da pesquisa.

i) Material e Métodos: deve conter informações imprescindíveis que possibilitem a repetição da pesquisa por outros pesquisadores.

j) Resultados e Discussão: os resultados obtidos devem ser discutidos e interpretados à luz da literatura. Não apresentar os mesmos resultados em tabelas e figuras.

k) Conclusões: devem ser numeradas e escritas de forma sucinta, isto é, sem comentários nem explicações adicionais baseando-se apenas nos resultados apresentados. Não devem possuir abreviaturas.

l) Agradecimentos (facultativo).

m) Literatura Citada:

- O artigo submetido deve ter no mínimo 70% de citações de periódicos sendo pelo menos 40% dos últimos oito anos.
- Não serão aceitas citações bibliográficas do tipo apud ou citado por, ou seja, as citações deverão ser apenas das referências originais.
- Citações de artigos no prelo, comunicação pessoal, folder, apostila, monografia, trabalho de conclusão de curso de graduação, relatório técnico e trabalhos em congressos, não são aceitas na elaboração dos artigos.
- Em determinada contextualização, citação de mais de uma referência bibliográfica deve, primeiro, atender a ordem cronológica e depois a ordem alfabética dos autores; já em citação de mais de uma referência bibliográfica dos mesmos autores não se deve repetir seu nome; entretanto, os anos de publicação devem ser separados por vírgula.
- O artigo deverá ter no máximo 30 referências bibliográficas. Para a contribuição na modalidade de revisão de literatura não existe limite máximo de referências bibliográficas.

A contribuição na forma de Revisão de Literatura deverá ter a seguinte composição sequencial: título, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Abstract, Key words, Introdução, Itens sobre temas da revisão, Conclusões, Literatura Citada.

Edição do texto

- a) Word do Microsoft Office 2010: O artigo deverá ser editado apenas nesta versão do Word.
- b) Texto: fonte Times New Roman, tamanho 12. Não deverão existir, no texto, palavras em negrito nem em itálico, exceto para o título, itens e subitens, que deverão ser em negrito, e os nomes científicos de espécies vegetais e animais, que deverão ser em itálico. Em equações, tabelas e figuras não deverão existir itálico nem negrito. As equações deverão ser escritas no aplicativo MS Equation. Evitar parágrafos muito longos devendo, preferencialmente, ter no máximo 60 palavras.
- c) Espaçamento: duplo em todo o texto do manuscrito.
- d) Parágrafo: 0,5 cm.
- e) Página: Papel A4, orientação retrato, margens superior e inferior de 2,54 cm e esquerda e direita de 3,00 cm, no máximo de 20 páginas, incluindo tabelas, figuras e a literatura citada. As páginas e as linhas deverão ser numeradas; a numeração das linhas deverá ser contínua, isto é, dando continuidade de uma página para outra.
- f) Todos os itens em letras maiúsculas, em negrito e centralizados, exceto Resumo, Abstract, Palavras-chave e Key words, deverão ser alinhados à esquerda e apenas a primeira letra maiúscula. Os subitens deverão ser alinhados à esquerda, em negrito e somente a primeira letra maiúscula.
- g) As grandezas devem ser expressas no SI (Sistema Internacional) e a terminologia científica deve seguir as convenções internacionais de cada área em questão.
- h) Tabelas e Figuras (gráficos, mapas, imagens, fotografias, desenhos):

- As tabelas e figuras devem ser autoexplicativas e apresentar largura de 8,75 ou 18 cm, com texto em fonte Times New Roman, tamanho 9 e ser inseridas logo abaixo do parágrafo no qual foram citadas a primeira vez. Exemplos de citações no texto: Figura 1; Tabela 1. Tabelas e figuras que possuem praticamente o mesmo título deverão ser agrupadas em uma única tabela ou figura criando-se, no entanto, um indicador de diferenciação. A letra indicadora de cada subfigura em uma figura agrupada deve ser maiúscula e com um ponto (exemplo: A.), posicionada ao lado esquerdo superior da figura. As figuras agrupadas devem ser citadas no texto, da seguinte forma: Figura 1A; Figura 1B; Figuras 1A e B. As tabelas e figuras com 18 cm de largura ultrapassarão as margens esquerda e direita de 3 cm, sem qualquer problema.

- As tabelas não devem ter tracejado vertical e o mínimo de tracejado horizontal. Nas colunas os valores numéricos deverão ser alinhados pelo último algarismo. Exemplo do título, o qual deve ficar acima da tabela: Tabela 1. Estações do INMET selecionadas (sem ponto no final). Em tabelas que apresentam a comparação de médias, segundo análise estatística, deverá haver um espaço entre o valor numérico (média) e a letra. As unidades deverão estar entre parêntesis.

- As figuras não devem ter bordadura e suas curvas (no caso de gráficos) deverão ter espessura de 0,5 pt, podendo ser coloridas mas possuindo, sempre, marcadores diversos de legenda, visto que legendas baseadas apenas em cores quando xerocadas, desaparecerão. Exemplo do título, o qual deve ficar abaixo da figura: Figura 1. Perda acumulada de solo em função do tempo de aplicação da chuva simulada (sem ponto no final). Para não se tornar redundante as figuras não devem ter dados constantes em tabelas. Se o título e a numeração dos eixos x e/ou y forem iguais em figuras agrupadas, deixar só um título centralizado e a numeração em apenas um eixo. Gráficos, diagramas (curvas em geral) devem vir em imagem vetorial. Quando se tratar de figuras bitmap (mapa de bit), a resolução mínima deve ser de 300 bpi. Os autores deverão primar pela qualidade de resolução das figuras tendo em vista a boa compreensão sobre elas. As unidades nos eixos das figuras devem estar entre parêntesis mas sem ser separadas do título por vírgula. Não deverão existir figuras possuindo curvas com R^2 inferior a 0,60; nesses casos, apenas colocar no manuscrito a equação e o respectivo valor de r^2 .

- Legendas, eixos e títulos dos eixos devem conter fonte Times New Roman e não se deve utilizar itálico ou negrito. Em casos de títulos de eixos iguais para Figuras 1A, B, C... centralizar o título dos eixos para todas as figuras. Figuras com legendas deverão apresentar marcadores diferentes para cada curva, pois figuras com legendas apenas em função de cores, quando impressas em preto e branco as legendas desaparecem, impossibilitando a identificação de cada curva.

Exemplos de citações no texto

- a) Quando a citação possuir apenas um autor: Zonta (2010) ou (Zonta, 2010).
- b) Quando a citação possuir dois autores: Mielniczuk & Tornquist (2010) ou (Mielniczuk & Tornquist, 2010).
- c) Quando a citação possuir mais de dois autores: Pezzopane et al. (2010) ou (Pezzopane et al., 2010).
- d) Quando a autoria do trabalho for uma instituição/empresa, a citação deverá ser de sua sigla, em letras maiúsculas. Exemplo: EMBRAPA (2010).

Lista da Literatura Citada

As bibliografias citadas no texto deverão ser dispostas na lista em ordem alfabética começando pelo último sobrenome do primeiro autor e, em ordem cronológica crescente e conter os nomes de todos os autores. São apresentados, a seguir, exemplos de formatação:

a) Livros

Paz, V. P. S.; Oliveira, A.; Perreira, F. A.; Gheyi, H. R. Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semiáridas. 1.ed. Cruz das Armas: UFRB, 2009. 344p.

b) Capítulo de livros

Antuniassi, U. R.; Baio, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: Vargas, L.; Roman, E. S. Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Cap.5, p.173-212.

Gee, G. W.; Bauder, J. W. Particle-size analysis. In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis - Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison: Soil Science Society of America, 1986. Cap.16, p.383-411.

c) Revistas

Silva, V. G. de F.; Andrade, A. P. de; Fernandes, P. D.; Silva, I. de F. da; Azevedo, C. A. V.; Araujo, J. S. Productive characteristics and water use efficiency in cotton plants under different irrigation strategies. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.451-457, 2010.

d) Dissertações e teses

Paixão, F. J. R. da. Doses de nitrogênio e conteúdo de água do solo no cultivo da mamoneira, variedade BRS Energia. Campina Grande: UFCG, 2010. 76p. Tese Doutorado

e) Referências de software

SAS - Statistical Analysis System. User's guide statistics. 9.ed. Cary: SAS Institute, 2002. 943p.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Available on: <<https://www.r-project.org/>>. Accessed on: Nov. 2018.

f) Outros formatos de referências

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17.ed. Washington: AOAC, 2000. 1018p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998. 300p. Drainage and Irrigation Paper, 56

Brasil. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009. 399p.

As referências que possuem os mesmos autores e são do mesmo ano, devem ser identificadas após o ano, pelas letras a, b, etc.

Outras informações sobre normatização de artigos

- a) Não colocar ponto no final das palavras-chave, key words e títulos de tabelas e figuras.
- b) Na descrição dos parâmetros e variáveis de uma equação deverá haver um traço separando o símbolo de sua descrição e ponto e vírgula no final de cada descrição havendo ponto, entretanto, na última. A numeração de uma equação deverá estar entre parêntesis e alinhada à direita: exemplo: (1). As equações deverão ser citadas no texto, conforme os seguintes exemplos: Eq. 1; Eqs. 3 e 4.
- c) Todas as letras de uma sigla devem ser maiúsculas; já o nome por extenso de uma instituição deve ter maiúscula apenas a primeira letra de cada palavra.
- d) Nos exemplos seguintes de citações no texto de valores numéricos o formato correto é o que se encontra no lado direito da igualdade:

10 horas = 10 h; 32 minutos = 32 min; 5 litros = 5 L; 45 mililitros = 45 mL; $l/s = L s^{-1}$; $27^{\circ}C = 27^{\circ}C$; $0,14 m^3/min/m = 0,14 m^3 min^{-1} m^{-1}$; 100 g de peso/ave = 100 g de peso por ave; 2 toneladas = 2 t; 2 mm/dia = 2 mm d⁻¹; $2 \times 3 = 2 \times 3$ (devem ser separados);

$45,2 - 61,5 = 45,2 - 61,5$ (devem ser juntos).

A % é a única unidade que deve estar junto ao número (45%). Quando no texto existirem valores numéricos seguidos que possuem a mesma unidade, colocar a unidade somente no último valor. Exemplos: 20 m e 40 m = 20 e 40 m; 56,1%, 82,5% e 90,2% =

56,1, 82,5 e 90,2%.

- e) Quando pertinente, deixar os valores numéricos no texto, tabelas e figuras com no máximo duas casas decimais.
- f) Os títulos das bibliografias listadas devem ter apenas a primeira letra da primeira palavra maiúscula, com exceção de nomes próprios. O título de eventos deverá ter maiúscula apenas a 1ª letra de cada palavra.

Etapas de submissão on-line dos artigos

A submissão dos artigos se dará apenas online, através do Sistema SciELO de Publicação (www.submission.scielo), em cinco etapas, descritas a seguir:

1ª ETAPA DA SUBMISSÃO: INICIAR SUBMISSÃO

Nesta etapa serão fornecidas informações sobre: seção em que se enquadra o manuscrito; idioma da submissão; condições para submissão (verificação das normas da Revista); declaração de direito autoral; política de privacidade; e comentários ao editor (opcional).

2ª ETAPA DA SUBMISSÃO: TRANSFERÊNCIA DO MANUSCRITO, DO TERMO DE CONCORDÂNCIA DA SUBMISSÃO E DO COMPROVANTE DA TAXA DE SUBMISSÃO.

Nesta etapa será feita a transferência do arquivo do artigo submetido, o qual não deverá ter os nomes dos autores nem seus endereços institucionais e eletrônicos, e em seguida os arquivos do termo de concordância da submissão e do comprovante da taxa de submissão. Primeiramente, optar por arquivo de texto e inserir o arquivo do artigo a ser avaliado, em seguida, optar por enviar novo arquivo – outros, e anexar o termo de concordância de submissão e realizar o mesmo procedimento para enviar o comprovante da taxa de submissão. O envio do termo de concordância da submissão é necessário mesmo que o artigo possua apenas um autor.

3ª ETAPA DA SUBMISSÃO: INCLUSÃO DE METADATOS (INDEXAÇÃO)

Nesta etapa deverão ser fornecidas as seguintes informações: autores; título e resumo; indexação; e agências de fomento. Todos os autores inseridos no Sistema SciELO de Publicação nesta etapa deverão estar no termo de concordância de submissão do artigo. Isto significa que todos os autores inseridos no Sistema SciELO deverão constar no termo de concordância de submissão e vice-versa. Depois de concluída a submissão do artigo, não será possível, em nenhum momento, alterações tanto nos nomes como na sequência dos autores.

4ª ETAPA DA SUBMISSÃO: CONFIRMAÇÃO

Nesta etapa a submissão será concluída.

Procedimentos para análise de artigos

a) Considerando a demanda e a capacidade de publicação da Revista, apenas parte dos artigos submetidos a cada mês é selecionada pela Equipe Editorial para análise, com base no critério da relevância relativa. Para os artigos não selecionados não cabe pedido de reconsideração a esta decisão, mas poderão ser resubmetidos.

b) Para os artigos selecionados para avaliação pelos revisores, serão solicitados ao autor correspondente os arquivos referentes ao comprovante de pagamento da taxa de tramitação e da indicação de três revisores brasileiros e três estrangeiros. Estes arquivos deverão ser enviados através do Sistema SciELO de Publicação na Aba Avaliações. Após o recebimento desses arquivos o artigo é encaminhado para análise cega (sem identificação dos autores) por parte dos revisores. Para qualquer informação sobre o andamento do artigo solicitada à Secretaria da Revista, os autores deverão fornecer seu número de identificação (ID), gerado pelo sistema SciELO de Publicação.

c) Os critérios a serem julgados, pelos revisores, no manuscrito, são os seguintes: pertinência do assunto para publicação na Revista; relevância da contribuição científica do manuscrito; adequação do título aos objetivos do trabalho; linguagem compreensível do manuscrito; metodologia utilizada compatível com os objetivos propostos; resultados

discutidos e interpretados adequadamente à luz da literatura; conclusões sucintas e de acordo com os resultados e objetivos do trabalho; e atualização e qualidade das referências bibliográficas.

d) Com o auxílio dos pareceres e sugestões dos Revisores sobre a primeira versão do artigo, a Equipe Editorial poderá recusá-lo ou solicitar ao(s) autor(es) uma segunda versão, que será novamente avaliada tanto pelos Revisores como pela Equipe Editorial. Em sua segunda versão o artigo poderá ser recusado, aprovado e/ou devolvido ao(s) autor(es) para uma terceira versão.

e) A princípio, as recomendações de correções dos Revisores e da Equipe Editorial ao texto dos artigos, deverão ser incorporadas pelo(s) autor(es); entretanto, o(s) mesmo(s) tem(êm) o direito de não acatá-las, mediante justificativa expressa, que será analisada pelo(s) Revisor(es) e pela Equipe Editorial. Neste caso, o autor correspondente deverá enviar através da Aba Avaliações do Sistema SciELO de Publicação, arquivo único em PDF apresentando a(s) justificativa(s) para o(s) revisores(es) e para a Equipe Editorial. O texto deverá identificar a justificativa para o respectivo revisor. Nenhum tipo de identificação dos autores deverá existir neste arquivo.

f) No caso de artigo rejeitado caberá pedido de reconsideração pelo autor-correspondente, no prazo máximo de dez dias corridos a contar da data do recebimento do email comunicando a rejeição do artigo; a Equipe Editorial encaminhará o pedido de reconsideração ao respectivo revisor para análise.

g) No caso de aprovação do artigo serão solicitadas, ao autor correspondente, se necessário, informações complementares; posteriormente, o artigo lhe é enviado na forma de documento PDF, para revisão final, o qual comunicará, à Equipe Editorial, eventuais correções e alterações.

h) Após publicação quaisquer erros encontrados por parte de autores ou leitores, quando comunicados à Equipe Editorial, serão corrigidos através de errata no próximo número da Revista.

i) A Equipe Editorial trabalha para alcançar tempo padrão de conclusão de uma avaliação, entre 6 a 8 meses.

Taxas cobradas

A Revista Agriambi possui as seguintes taxas:

Taxa de submissão: R\$ 60,00 (sessenta reais) - Pagamento por ocasião da submissão do artigo.

Taxa de tramitação: R\$ 140,00 (cento e quarenta reais) – Pagamento por ocasião do comunicado de artigo selecionado para avaliação pelos revisores.

Taxa de publicação: R\$ 40,00 (quarenta reais) por página do Word em espaço duplo entre linhas – Pagamento por ocasião do comunicado de aceite do artigo para publicação.

O pagamento das taxas de submissão e de tramitação não garante a aceitação do artigo para publicação na Revista e, em caso de sua não aceitação, as referidas taxas não serão devolvidas.

O pagamento das referidas taxas deverá ser realizado mediante depósito ou transferência na conta Banco do Brasil, Agência 1591-1, Conta 34.849-X, Favorecido: Fundação Parque Tecnológico da Paraíba (CNPJ 09.261.843/0001-16).

Para os autores que necessitarem de nota fiscal, informamos que a mesma poderá ser emitida apenas em nome da pessoa física ou jurídica que constar no comprovante bancário do pagamento. Para solicitação da nota fiscal, os autores deverão enviar email para a secretária da Revista Agriambi (revistagriambi@gmail.com), fornecendo os dados abaixo:

Nome/Razão Social:

CPF/CNPJ:

Endereço:

Descrição dos Serviços:

Valor referente à taxa de submissão/tramitação/publicação na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi, do seguinte artigo científico:

ID (Protocolo) do artigo:

Título do artigo:

Autores:

Valor (R\$) do pagamento:

Comprovante bancário do pagamento ou nota de empenho

Outras Informações

a) Os prazos máximos para a devolução das correções da primeira e das versões seguintes do artigo, serão, respectivamente, dez e cinco dias corridos, a partir da data de recebimento do email solicitando as correções; o não cumprimento destes prazos resultará automaticamente no cancelamento do artigo.

b) Os assuntos, dados e conceitos emitidos nesta Revista, são de exclusiva responsabilidade dos autores. A eventual citação de produtos e marcas comerciais não significa recomendação de utilização por parte da Revista. A reprodução dos artigos publicados é permitida, desde que seja citada a fonte.

c) A Revista Agriambi adota, como padrão de atribuição de acesso aberto dos artigos, a licença CC-BY, a qual maximiza a disseminação dos artigos sendo, portanto, adotada internacionalmente pelos principais periódicos e publicadores de acesso aberto. Maiores detalhes podem ser obtidos em <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/br/>.

d) Endereço para contato

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental
Universidade Federal de Campina Grande

Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, Bloco CM, 1º andar
CEP 58429-140, Campina Grande, PB,

Fone: 83 2101 1056, www.agriambi.com.br
www.scielo.br, revistagriambi@gmail.com Redes
sociais: Instagram - @revistaagriambi