

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA

Influência do Plano de Manejo e do Pagamento por Serviços
Ambientais na Qualidade e Quantidade da Água para
Abastecimento Público em Unidade de Conservação

Autor: Frederico Luiz de Freitas Junior
Orientador: Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho
Coorientador: Michel Ângelo Constantino de Oliveira

"Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SUSTENTABILIDADE AGROPECUÁRIA, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da Universidade Católica Dom Bosco - Área de concentração: "Sustentabilidade Ambiental e Produtiva" Aplicada a "Saúde, Ambiente e Sustentabilidade".

Campo Grande
Mato Grosso do Sul
Março - 2021

Dados

Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
 Universidade Católica Dom Bosco
 Bibliotecária Mourãmise de Moura Viana - CRB-1 3360

F866i Freitas Junior, Frederico Luiz de Influência do
 plano de manejo e do pagamento por serviços ambientais na
 qualidade e quantidade da água para abastecimento público
 em unidade de conservação/ Frederico Luiz de Freitas Júnior
 sob orientação do profº Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães
 Filho e co-orientação do Profº Dr. Michel Ângelo
 Constantino de Oliveira. -- Campo Grande, MS : 2021.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade
 Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo
 Grande-MS, Ano 2021

1. Abastecimento público - Controle de qualidade.
2. Guarairoba, Córrego. 3. Recursos hídricos - Mato Grosso do Sul. 4. Proteção ambiental I. Magalhães Filho, Fernando Jorge Corrêa. II. Oliveira, Michel Angelo Constantino de. III. Título.

CDD: 628.16



Influência do Plano de Manejo e do Pagamento por Serviços Ambientais na Qualidade e Quantidade da Água para Abastecimento Público em Unidade de Conservação

Autora: Frederico Luiz Freitas Junior
Orientador: Prof. Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho
Coorientador: Prof. Dr. Michel Ângelo Constantino de Oliveira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
Área de Concentração: Sustentabilidade Ambiental e Produtiva

APROVADO em 12 de março de 2021.

A presente defesa foi realizada por webconferência. Eu, Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho, como presidente da banca assinei a folha de aprovação com o consentimento de todos os membros, ainda na presença virtual destes.

Prof. Dr. Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho – UCDB

Prof. Dr. Michel Ângelo Constantino de Oliveira – UCDB

Prof. Dr. Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes – UFPR

Prof. Dr. Guilherme Henrique Cavazzana – UCDB

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa para a realização da pesquisa e à Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) pelo seu apoio institucional.

Ao professor e orientador Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho e ao coorientador, professor Michel Ângelo Constantino de Oliveira.

Aos membros da banca de avaliação, professores Cristovão Vicente Scapulatempo Fernandes, Guilherme Henrique Cavazzana e Denilson de Oliveira Guilherme.

A todos aqueles, de diversas organizações, que contribuíram para o trabalho com a liberação de dados, informações e comentários e ainda aos que se dispuseram a fazer a leitura das versões prévias do texto aduzindo sugestões para sua melhoria.

SUMÁRIO

	PÁGINA
INTRODUÇÃO	01
OBJETIVOS	03
Objetivo Geral	03
Objetivos Específicos	03
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
Artigo: Influência do Plano de Manejo e do Pagamento por Serviços Ambientais na Qualidade e Quantidade da Água para Abastecimento Público em Área de Proteção Ambiental	59
RESUMO	60
INTRODUÇÃO	61
MATERIAIS E MÉTODOS	66
RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
CONCLUSÕES	84
AGRADECIMENTOS	88
APÊNDICE	89
REFERÊNCIAS	94

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Nuvem de palavras obtidas pelos questionários sobre que a água significa para as pessoas.	6
Figura 2. Terraços de declive construídos de 2013 a 2016.	17
Figura 3. Cobertura e mudanças no manejo do solo da Bacia do Guariroba 2013-2016.	18
Figura 4. Localização da bacia do Córrego Guariroba.	21
Figura 5. Mapa da bacia do Córrego Guariroba, com seus córregos tributários.	21
Figura 6. Altimetria da bacia do Córrego Guariroba.	23
Figura 7. Declive da bacia do Guariroba.	23
Figura 8. Tipos de solos da bacia do Guariroba.	24
Figura 9. Usos do solo na bacia do Guariroba.	24
Figura 10. Média mensal de chuvas na bacia do Guariroba (1995-2005).	26
Figura 11. Vazões médias mensais totais e de base da área do rio Pardo (1975-2004).	27
Figura 12. Etapas de implantação de um projeto do PPA.	31
Figura 13. Resumo do Esquema de PSA na APA do Guariroba	35
Figura 14. Linha das Principais Intervenções na APA do Guariroba	39
Figura 15. Principais Resultados do Programa Água Brasil entre 2010 e 2015.	49

Artigo:

Figura 1. Índice de qualidade da água (IQA) no período entre 2015 e 2019 (com desvio padrão).	68
Figura 2. Índice de qualidade da água (IQA) no período entre 2015 e 2019, nas estações seca e chuvosa.	69
Figura 3. Evolução dos parâmetros selecionados no período entre 2010 e 2019.	70
Figura 4. Evolução dos sólidos totais, dissolvidos e suspensos no período entre 2010 e 2019.	72
Figura 5. Precipitação no período entre 2010 e 2019.	74
Figura 6. Vazão no período entre janeiro de 2010 e agosto de 2019.	75
Figura 7. Vazão e Precipitação entre janeiro de 2010 e agosto de 2019.	75
Figura 8. Vazão no período entre 2010 e 2016.	76
Figura 9. Carga Orgânica de DBO no período entre 2010 e 2019.	77
Figura 10. Carga Orgânica de DQO no período entre 2010 e 2019.	77

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
Tabela 1. Evolução da ocupação e uso do solo, em hectares e percentagens, na APA do Córrego Guariroba.	25
Tabela 2. Comparativo econômico e social de diferentes usos de solo recomendados para a APA Guariroba (1 ha de área útil).	25
Artigo	
Tabela 1. Estatística descritiva das 9 variáveis utilizadas no cálculo do IQA para o período 2015-2019.	66
Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis quantitativas utilizadas para o período 2010-2019.	66
Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis qualitativas utilizadas para o período 2015-2019.	67

LISTA DE QUADROS

	PÁGINA
Quadro 1. Grupos de Unidades de Conservação segundo o SNUC.	13
Quadro 2. Vazões médias anuais (Q_t) e de base (Q_b), no período entre 1975 e 2004.	27
Quadro 3. Programas ambientais do Plano de Manejo da APA do Guariroba.	28
Quadro 4. Ações, propriedades e áreas envolvidas no PAB.	33
Quadro 5. Custos das obras de conservação do solo e da água realizadas na bacia.	34
Quadro 6. Valores de referência pra PSA do Programa Manancial Vivo.	34
Quadro 7. Resultados das ações do PAB no Guariroba, quem se beneficia e quais os benefícios.	42
Quadro 8. Resultados das ações do projeto em relação à quantidade de água, nos três períodos analisados.	45
Quadro 9. Resultados das ações do projeto relativos à redução do aporte de sedimento (DY) na bacia, nos três períodos.	45
Quadro 10. Resultados das ações do projeto com a diminuição da erosão nas propriedades participantes, nos três períodos.	46
Quadro 11. Resultados nas propriedades participantes do projeto.	37
Artigo	
Quadro 1. Resumo de estudos sobre a proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas.	62
Quadro 2. Critério de avaliação do grau de dispersão das variáveis.	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
BFI	Índice de Fluxo de Base
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEMTEC	Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CN	Coeficiente de Escoamento
DBO	Demanda Bioquímica de oxigênio
DOU	Diário Oficial da União
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
EUA	Estados Unidos da América
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IQA	Índice de Qualidade da Água
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>
LD	Limite de Detecção
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PAB	Programa Água Brasil

PAE	Percentual de Abatimento de Erosão
PGTA	Pós-graduação em Tecnologias Ambientais
PMV	Programa Manancial Vivo
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PPA	Programa Produtor de Água
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RNA	Ácido Ribonucleico
SAB	Sistema Aquífero Bauru
SANESUL	Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul
SEMADES	Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UC	Unidade de Conservação
UD	Unidades Demonstrativas
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

RESUMO

A população mundial que vive em estresse hídrico vem aumentando a cada ano, evidenciando a necessidade de adoção de medidas eficazes para a garantia de abastecimento público, como a criação de condições ambientais que favoreçam a produção e a conservação deste recurso a longo prazo. Nesse sentido, fica evidente a necessidade de um manejo adequado do solo, bem como a proteção dos mananciais da bacia hidrográfica para a efetividade da utilização de um curso d'água em termos qualitativos e quantitativos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e quantidade de água para abastecimento público proveniente da APA do Guariroba, em Campo Grande, MS. Foi realizada uma análise documental dos estudos e pesquisas relacionados com a avaliação quali-quantitativa da água para abastecimento público em áreas de proteção ambiental, com a utilização principalmente das seguintes bases de dados: Science Direct, Scielo, Google Acadêmico e Plus One. Para a avaliação da qualidade da água foram utilizados os dados obtidos junto a concessionária Águas Guariroba relativos a amostras coletadas ao longo do período 2015 - 2019 nas quais foram analisados os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, nitrogênio total, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, temperatura, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *E. Coli*, Clorofila A, metais pesados e agroquímicos. A avaliação da qualidade da água foi feita com base no cálculo do índice de qualidade da água (IQA), adaptado pela Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB). O Índice de Qualidade da Água (IQA) se manteve estável com qualidade "Boa" durante o período em análise, um fator importante uma vez que a APA é utilizada para captação de água bruta para abastecimento público. A quantidade de água foi analisada por meio da evolução da precipitação na região e da vazão da bacia a montante do local de captação de água. A análise mostrou a tendência de aumento da descarga líquida entre 2012-2016, mesmo com a queda dos índices pluviométricos ao longo deste período. A implantação do Plano de Manejo com a implementação de práticas conservacionistas, financiadas por um programa de pagamento por serviços ambientais, promoveu a redução do aporte de sólidos em geral e a manutenção do OD, favorecendo uma melhor qualidade ambiental do local e especificamente da água utilizada para abastecimento público, sendo efetivos na manutenção da qualidade e quantidade da água ao longo dos anos, mesmo com a variação característica que ocorre em função da sazonalidade.

Palavras-chave: Produtor de água, APA do Guariroba, Cerrado.

ABSTRACT

The world population that lives in water stress has been increasing every year, highlighting the need to adopt effective measures to guarantee public supply, such as the creation of environmental conditions that favor the production and conservation of this resource in the long term. In this sense, the need for an adequate management of the soil is evident, as well as the protection of the watersheds of the hydrographic basin for the effective use of a watercourse in qualitative and quantitative terms. Thus, the objective of this work is to evaluate the quality of water for public supply from APA do Guariroba, in Campo Grande, MS. A documentary analysis of the studies and research related to the qualitative and quantitative assessment of water for public supply in areas of environmental protection was carried out, using mainly the following databases: Science Direct, Scielo, Google Scholar and Plus One. Water quality assessment, data obtained from the Águas Guariroba concessionaire for samples collected over the 2015 - 2019 period were used in which the following parameters were analyzed: dissolved oxygen (OD), total phosphorus, total nitrogen, nitrate, biochemical demand oxygen (BOD), chemical oxygen demand (COD), pH, turbidity, total solids, total dissolved solids, temperature, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *E. coli*, Chlorophyll A, heavy metals and agrochemicals. The evaluation of water quality was made based on the calculation of the water quality index (IQA) adapted by Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB). The Water Quality Index (IQA) remained stable with "Good" quality during the period under analysis, an extremely important factor since the APA is used to collect raw water to supply the municipality of Campo Grande. The amount of water was analyzed through the evolution of precipitation in the region and the flow of the basin upstream of the water catchment site. The analysis showed the trend of increasing net discharge between 2012-2016, even with the drop in rainfall over this period. The implementation of the Management Plan with the implementation of conservationist practices, financed by a payment program for environmental services, promoted the reduction of the contribution of solids in general and the maintenance of the OD favoring a better environmental quality of the place and specifically of the water used for public supply, being effective in maintaining the quality and quantity of water over the years, even with the characteristic variation that occurs due to seasonality.

Keywords: Water producer, APA do Guariroba, Cerrado.

INTRODUÇÃO

Num contexto global, a proteção ambiental pode ser definida como a prevenção de mudanças indesejáveis nos ecossistemas e suas partes constituintes. Uma questão associada a esta definição é se “ecossistemas e suas partes constituintes” incluem os seres humanos e as comunidades, ou se a proteção ambiental se preocupa apenas com a proteção do capital natural. De uma perspectiva ecológica, os seres humanos são considerados parte integrante do ecossistema e, portanto, separar a humanidade do ambiente natural pode desencadear medidas insustentáveis, e com isso, ações eficazes devem ser postas em prática para evitar a superexploração dos recursos naturais (Hamilton et al., 2018).

Por exemplo, a progressiva substituição da vegetação natural por pastagens cultivadas, associada a determinadas situações em que o manejo do solo não é compatível com a capacidade de suporte ambiental local, tem gerado impactos expressivos em diversas bacias hidrográficas ao redor do mundo, sobretudo no que se refere a processos erosivos e ao assoreamento dos corpos d'água naturais (Kändler et al., 2017). Em um estudo realizado por Marmontel et al., (2018) no Estado de São Paulo, as nascentes de água com vegetação ribeirinha desenvolvida de floresta natural mostraram melhores condições no ambiente aquático, quando comparadas com nascentes de água com pastagens ou atividades agrícolas, em que detectou-se um agravamento geral da qualidade da água, principalmente com relação aos valores de nitritos, nitratos, turbidez, cor, pH.

A Região Metropolitana de São Paulo apresenta hoje uma das situações mais críticas no Brasil no que diz respeito à garantia de abastecimento de água suficiente em quantidade e qualidade à sua população. O declínio dos recursos hídricos, juntamente com o aumento da demanda por água potável, já se tornou uma questão política em muitas localidades, sugerindo a necessidade de melhorias nos sistemas o que inclui uma gestão mais eficiente e uma atenção especial às questões relacionadas a urbanização desordenada, alertando os demais Estados brasileiros à esta

problemática (Narcizo et al., 2018).

Em contrapartida, em um trabalho realizado por Junior et al., (2016) que busca enfatizar a efetividade de uma unidade de conservação na proteção de mananciais de abastecimento público de água, por meio de uma análise multitemporal do uso do solo em duas bacias hidrográficas, considerando a categoria Área de Proteção Especial (cuja denominação é utilizada somente pelos Estados de São Paulo e Minas Gerais), os autores concluíram que no Estado de Minas Gerais não há categorias efetivas na proteção de mananciais para abastecimento humano, dada a ineficiência das áreas protegidas como instrumento regulador das pressões humanas nas bacias de contribuição dos mananciais.

Nesse sentido, fica evidente a necessidade de um manejo adequado do solo, bem como a proteção dos mananciais da bacia hidrográfica para uma efetividade da utilização de um curso d'água em termos qualitativos e quantitativos para abastecimento humano, destacando um papel importante das Unidades de Conservação, e conseqüentemente, das Áreas de Proteção Ambiental, para uma melhora efetiva dos parâmetros considerados numa análise de disponibilidade hídrica. Desta forma, o estudo tem como objetivo avaliar a qualidade e a quantidade da água na APA do Guariroba, em Campo Grande, MS, como foco no abastecimento público, a qual possui plano de manejo e participa do programa manancial vivo, propiciando incentivos, por meio de pagamentos por serviços ambientais aos produtores que implementam práticas conversas acionistas. Buscando identificar os efeitos e compreender a influência dessas ações, incluindo os aspectos quali-quantitativos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar temporalmente a evolução da qualidade e a quantidade da água superficial em uma Unidade de Conservação da categoria Área de Proteção Ambiental (APA), nos últimos 10 anos (2010-2019), após a implementação de seu plano de manejo e mediante pagamento por serviços ambientais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos do trabalho:

- a) Avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos no ponto de captação das águas para abastecimento público;
- b) Avaliar a pluviometria e as descargas líquidas no principal corpo d'água;
- c) Avaliar a influência do processo de pagamento por serviços ambientais e os efeitos de práticas conservacionistas, na qualidade e quantidade da água captada na APA.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

DEMANDA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

A água doce é um recurso limitado sob ameaça antropogênica, uma vez que a população vem utilizando este recurso em quantidades cada vez maiores, sem a adoção de medidas eficazes para a garantia de abastecimento considerando esse aumento constante na demanda, sendo evidenciada a necessidade de participação de órgãos públicos e da população nesse processo com o engajamento dos cidadãos nas questões relativas à água (Seelen et al., 2019).

Diante da problemática do aquecimento global, a demanda por água tanto pela população quanto pelos próprios serviços ecossistêmicos deverá aumentar, realçando ainda mais a necessidade de proteger e gerenciar nossos recursos hídricos (Rockström et al., 2009; Hamilton 2018; Narcizo et al., 2018; Seelen et al., 2019). Cerca de 30% da população mundial atualmente vive com estresse hídrico, e essa fração pode aumentar até cerca de 50% até o final do século (Wada et al., 2014). Desta forma, espera-se que muitas regiões ao redor do mundo aumentem a dependência de água subterrânea não renovável, mas também destaca o papel importante do desenvolvimento de práticas de conservação ambiental (Hejazi et al., 2014).

Neste contexto, vale ressaltar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que dentre seus 17 objetivos e 169 metas destaca-se o ODS 6, que prevê o acesso universal a água potável e saneamento para todos até 2030 (Fuller et al., 2016). No Brasil, exemplos de ações com vistas ao atendimento das metas definidas no ODS 6 que podem ser destacadas são: a Lei das Águas (Lei nº 9.433/97), que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), bem como a Lei nº 11.445/07 estabelece as diretrizes para o saneamento básico em todo o país.

Mesmo diante deste quadro, no Brasil o acesso aos serviços de abastecimento de água não ocorre de forma regular, decrescendo das Regiões Sudeste e Sul para as Nordeste e Norte, tendo-se os menores índices distantes dos grandes centros. O acesso também diminui da população urbana para a rural e nas áreas urbanas a cobertura decai do centro para a periferia (BRASIL, 2006).

Além disso, é importante destacar que a temática do saneamento é transversal, isto é, tem impactos em diferentes setores da vida, como a saúde, a qualidade ambiental, e a economia. Por isso, diferentes órgãos em distintos níveis federativos devem trabalhar essa questão de forma conjunta, a fim de promover o melhor resultado possível em sintonia nos diversos setores envolvidos, o que de fato é um desafio institucional. Com isso, é possível inclusive afirmar que o ODS 6 não pode ser atingido sem influenciar a evolução de outros ODS (ONU, 2015)

Nesse sentido, a vida na terra (conforme consta no ODS 15 – vida terrestre) só pode ser saudável quando há água disponível com qualidade e quantidades suficientes, destacando-se como uma das ações essenciais de garantia da saúde pública e manutenção da sanidade ambiental. Isso porque já foi comprovado que a melhoria do acesso a instalações seguras de água tem repercussões substanciais no bem-estar geral da população, resultantes de melhores condições de higiene e melhoria da saúde pública (Haller et al., 2007).

O controle de fatores que afetam a qualidade da água em regiões desenvolvidas na maioria das vezes é bastante complexo, mas essa situação pode ser diferente em regiões mais pobres, em que é necessário se pensar nas exigências mínimas capazes de assegurar água com qualidade e quantidade adequadas para a população (Brandt et al., 2017). Para garantir um abastecimento seguro, existem os parâmetros mínimos de qualidade da água recomendados pela organização mundial da saúde, como por exemplo, turbidez menor que 0,5 uT e cloro residual livre maior que 0,5 mg.L⁻¹ (WHO, 2019).

Da mesma forma, há no Brasil e também em outros países algumas normas locais, como a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelecendo que a água potável deve apresentar ausência de *Escherichia coli* em 100 mL (indicador de contaminação fecal), e turbidez variando de 0,5 a 1,0 uT em 95% das amostras.

A despeito da percepção das pessoas sobre a importância da água para suas vidas o consumo médio per capita varia significativamente entre países. Enquanto em Angola, por exemplo, o consumo médio de água per capita é de apenas 36 L.cap⁻¹. d⁻¹, nos EUA esse número é de 562 L.cap⁻¹. d⁻¹ (World Bank, 2016). O uso doméstico de água e o consumo de água per capita, entretanto, não estão diretamente relacionados à disponibilidade de água. Por exemplo, na Austrália, o continente mais seco e populoso, o consumo médio de água de 497 L.cap⁻¹. d⁻¹ está entre os mais altos do mundo (World Bank, 2016).

Assim, embora o consumo de água difira dependendo da região (clima e país), depende principalmente de vários fatores sociodemográficos, como: idade dos moradores, nível de renda, tamanho da família, nível de escolaridade, hábitos e consciência ecológica, como bem como depende das características do agregado familiar, como tamanho do edifício e aparelhos instalados.

Ainda assim, a diminuição da disponibilidade de água doce per capita representa uma ameaça ao acesso universal a água potável para todos, e, portanto, ações precisam ser tomadas para incentivar as pessoas a usar menos água, além de criar condições ambientais que favoreçam a produção a conservação da água para abastecimento público.

No Brasil, os potenciais de água doce são extremamente favoráveis para os diversos usos; no entanto, as características de recurso natural renovável, em várias regiões do país, têm sido drasticamente afetadas. Os processos de urbanização, de industrialização e de produção agrícola não têm levado em conta a capacidade de suporte dos ecossistemas (REBOUÇAS, 1997).

PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Tem sido comum diversos estudos com foco em aspectos quantitativos para gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas (Ouyang 2012), porém, nem sempre integram a questão qualitativa com os aspectos quantitativos. Isso se torna mais complexo quando a bacia hidrográfica possui a mesma delimitação de uma unidade de conservação, com propriedades privadas, que pretendem produzir na terra, concessionárias de abastecimento de água, que demandam quantidade e qualidade para tratar e disponibilizar água potável para população, entre outros usuários.

Na China, um estudo observou que a variação na quantidade de patógenos presentes nos mananciais, foi responsável também por uma maior variação na quantidade dos mesmos patógenos na água potável que chega no cavalete das residências, ou seja, na casa das pessoas (Han et al., 2020). Sendo assim, a proteção das áreas de mananciais, com gestão do uso do solo nas bacias hidrográficas e unidades de conservação que possuem fontes de abastecimento, é fundamental para diminuir o risco da população. Afinal, mesmo com o tratamento da água, falhas ocorrem, até por isso o motivo de implementar planos de segurança de água se faz necessário.

No México (Mokondoko et al., 2016), foi observado que há uma relação direta entre, a deterioração da qualidade da água, em áreas que são prioritárias para abastecimento público, tendo aumento da carga de patógenos, valores em *E. coli*, e a prevalência de cólera. Além disso, foi identificada relação de patógenos com a redução de áreas de cobertura vegetal, como floresta primária e corredores primários. Destacando assim a importância de priorizar recursos para os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), como foco em quantidade e qualidade da água em áreas de mananciais. Na Colômbia (García e Brown 2009), em uma bacia hidrográfica impactada pela atividade rural, observaram como as ações com oficinas comunitárias, envolvimento da comunidade local, os atores do processo, baseados no conceito de governança, resultaram em uma participação mais ampla da comunidade na gestão das águas.

Baseado no mercado para financiamento da conservação, o Pagamento por Serviços Ambientais - PSA é um instrumento que considera os princípios do usuário-pagador e provedor-recebedor, pelos quais aqueles que se beneficiam dos serviços ambientais (como os usuários de água limpa) devem pagar por eles, e aqueles que contribuem para a geração desses serviços (como os usuários de terra a montante) devem ser compensados por proporcioná-los (Wunder, 2005; Pagiola e Platais, 2007; Engel et al, 2008). O instrumento PSA tem sido cada vez mais popular em toda a América Latina (SMA/CBRN, 2013).

Neste sentido, fica claro que o efeito das mudanças no uso da terra, principalmente na cobertura vegetal/florestal, causa alterações também na qualidade da água e na saúde pública. Sendo evidente o potencial inexplorado na real compreensão dos serviços ecossistêmicos e a relação com a saúde humana. Isto

requer um melhor entendimento do conceito de serviços hidrológicos, porém, de uma forma mais diversificada, com um aprofundamento nestas relações complexas que envolvem aspectos sociais e econômicos, principalmente de governança na área de conservação e uso do solo e recursos hídricos (SMA/CBRN, 2013).

Alguns estudos, como o de Conway e Lathrop (2005) nos EUA, destaca que existem áreas com disparidades entre o nível de desenvolvimento que é permitido pelo zoneamento municipal e a quantidade de desenvolvimento adicional que esta região realmente pode suportar, sem impactar negativamente os recursos. Medidas de controle de crescimento, zoneamento, delimitação de áreas para proteção ou áreas alagadas (*wetlands*), não limitaram substancialmente os impactos negativos, principalmente sobre a água. Resultados similares já haviam sido reportados por Logan and Zhou (1989) e Levine (1999). Os autores recomendam estudos de ações regulatórias e não-regulatórias integradas, pois são alternativas mais eficazes na proteção dos recursos locais em função das consequências negativas do desenvolvimento urbano.

Ações extremamente regulatórias incrementais, são inadequadas a longo prazo e as abordagens de zoneamento e/ou mitigação mais radicais e intensas acabam sendo constantemente necessárias. Randhir et al., (2001) ainda destaca que concentrar-se em áreas menores na bacia hidrográfica pode maximizar os benefícios para a qualidade da água e resultar em despesas menos onerosas. Em um modelo proposto pelos autores, sugerem que basta ajustar os critérios e pesos, e o mesmo pode ser adaptado para priorizar uma ampla variedade de decisões de proteção no uso da terra, como preservação de áreas florestais, proteção de habitats essenciais para vida selvagem, planejamento de áreas de lazer e recreação e ser usado para o planejamento (ou zoneamento) ecológico-econômico.

Além disso, a proteção de áreas ambientais sensíveis, em muitos casos costuma ser motivo para discussões onde entende-se que o desenvolvimento rural, da agricultura, silvicultura e pastagens serão freados. Sendo necessário que as ferramentas que identifiquem as áreas com poluição ou de maior risco, com a análise dos planos governamentais existentes, mas tratem das inter-relações entre meio ambiente e economia junto da comunidade local e os *stakeholders*, para propostas efetivas que incluam os esforços locais, estaduais e federais de forma articulada e integrada (Steiner et al., 2000).

No estudo de Jujnovsky et al., (2017), os autores propõem justamente uma ferramenta para gestão de recursos hídricos que envolva o componente econômico e social, junto do componente ambiental. Apresentando diretrizes básicas para ajudar os tomadores de decisão a melhorar o processo de governança de recursos hídricos e fornecer uma oportunidade para mudar as políticas públicas. Principalmente em países em desenvolvimento, que possuem poucos dados para tomada de decisão, falta de corpo técnico qualificado e estão em áreas mais periurbanas, sem o acesso e facilitações de áreas mais urbanas.

No noroeste dos Camarões, por exemplo, Tantoh and Simatele (2018) mostraram que as falhas e os desafios na gestão de recursos hídricos dessa região, se dão por: políticas de desenvolvimento nacional descoordenadas, estruturas institucionais fracas, gestão de cima para baixo, postura central que não permite a autonomia local, incapacidade dos usuários de água de contribuir regularmente para a operação e manutenção do sistema hídrico, bem como a preservação inadequada das bacias hidrográficas.

Na cidade de Nova Iorque (nos Estados Unidos), foram gastos em torno de 2 bilhões de dólares nos últimos 12 anos com programas de proteção em bacias hidrográficas, envolvendo parcerias vitais com comunidades do interior do Estado, agências estaduais e federais, organizações não governamentais (ONGs) e empresas privadas, similares ao Programas de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil. Os resultados revelaram que o fósforo (P) particulado originava-se tanto de plantações como de pastagens. Porém, uma quantidade significativa de P foi derivada de áreas próximas aos riachos e pequenos córregos, particularmente de pastagens onde o gado pastava e tinha acesso a fonte de água. Concluindo-se que os programas foram considerados importantes para o controle de P, onde ações no controle da poluição não pontual foram mais eficazes durante altas vazões (períodos de cheia) e ações no controle de poluição pontual foram mais benéficas em períodos de vazões baixas (Hoang et al., 2019).

Na Bolívia, um estudo (Asquith et al., 2008) verificou que os maiores desafios no desenvolvimento de mecanismos para Programas de Pagamento por Serviços Ambientais, têm sido o lento processo na construção da confiança entre quem paga e quem recebe, além de ser claro os ganhos adicionais entre as partes. O projeto ocorre no vale Los Negros, no Departamento de Santa Cruz, na fronteira com o Parque

Nacional Amboró, onde 46 agricultores são pagos para proteger 2.774 ha de uma bacia hidrográfica que contém o habitat ameaçado com 11 espécies de aves migratórias em extinção. Os contratos são anuais e proíbem o corte de árvores, caça e desmatamento nas terras inscritas. Se submetem a monitoramento anual independente e são punidos por não conformidade. Sendo facilitado por uma ONG local, a *Fundación Natura Bolivia*, e o doador internacional (*USA Fish and Wildlife Service*) interessado na conservação da biodiversidade. Neste contexto, os agricultores que usam da água da bacia para irrigação, relutaram no começo para pagar, mas são também beneficiários, pois as vazões seguem estabilizadas mesmo em períodos de seca, e os mesmos utilizam para produção agrícola.

Nos últimos anos, observa-se um número crescente de PSA no Brasil. Vários estados estabeleceram programas de PSA e muitos municípios criaram programas locais, como Extrema (MG), Montes Claros (MG), Apucarana (PA), Rio Claro (RJ), Campo Grande (MS), Camboriú (SC), Vitória (ES) e Guaratinguetá (SP). Outros estados e municípios também estão considerando fazê-lo. Há também um número crescente de programas de pagamento por serviços de sequestro de carbono, alguns se concentram na redução de emissões por meio de desmatamento evitado (REDD) e outros por meio de reflorestamento e desmatamento (SMA/CBRN, 2013).

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

A proteção ambiental sempre foi praticada por seres humanos de uma forma ou de outra, no entanto, com o aumento das pressões antropogênicas sobre o meio ambiente principalmente ao longo do século passado, a necessidade de procedimentos para a proteção ambiental se evidenciou ainda mais.

Devido às falhas do passado, levando a uma maior consciência da complexidade dos problemas ambientais, há uma crescente aceitação de que a proteção ambiental é melhor alcançada através do uso de uma abordagem multilateral, que requer o uso de uma combinação instrumentos regulatórios, econômicos, voluntários e de informação (Hamilton et al., 2018).

Em 1994, a *International Union for Conservation of Nature (IUCN)* estabeleceu um Sistema de Categorias de Gestão de Áreas Protegidas com o objetivo de estabelecer um regime de definição, registo e classificação de áreas protegidas, capaz de acomodar, de forma transparente e lógica, a ampla variedade de objetivos

específicos, formas organizativas e tipologias de gestão que caracterizam esses regimes de conservação da natureza a nível global.

O método de categorização da IUCN é atualmente dominante a nível internacional, tendo sido adoptado por múltiplos governos nacionais e infranacionais e por organizações internacionais, entre as quais a Organização das Nações Unidas e a Convenção sobre a Diversidade Biológica.

Em seu sistema de classificação a IUCN agrupa as áreas protegidas em seis categorias distintas (designadas de I a VI) de acordo com as suas características e com os objetivos de gestão determinados para cada uma delas (IUCN, 1994).

A Categoria I, referente às reservas naturais, é subdividida em duas subcategorias.

As categorias correspondentes aos numerais mais baixos são aquelas em que o objetivo essencial da utilização da área é a conservação da natureza, aumentando o grau de antropização e o uso humano do território à medida que se sobe de categoria.

As últimas categorias (V e VI) visam criar condições de utilização sustentável dos recursos e da paisagem.

A categoria VI trata das áreas protegidas de utilização sustentável dos recursos naturais.

No Brasil Unidade de Conservação (UC) é a denominação dada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000) às áreas naturais passíveis de proteção por suas características especiais. São “espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção da lei” (Brasil, 2000).

O SNUC divide as unidades de conservação em dois grupos básico, de acordo com seus objetivos de manejo e tipos de uso:

- Proteção Integral; e
- Uso Sustentável.

Segundo a Lei nº 9.985/2000 as Unidades de Proteção Integral têm como

principal objetivo preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, ou seja, aquele que não envolve consumo, coleta ou dano aos recursos naturais: recreação em contato com a natureza, turismo ecológico, pesquisa científica, educação e interpretação ambiental, entre outras (Brasil, 2000).

Por sua vez, as Unidades de Uso Sustentável visam compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável dos recursos, conciliando a presença humana nas áreas protegidas. Atividades que envolvem coleta e uso dos recursos naturais são permitidas neste grupo, desde que praticadas de uma forma a manter constantes os recursos ambientais renováveis e processos ecológicos (Brasil, 2000).

Quadro 1. Grupos de Unidades de Conservação segundo o SNUC

USO SUSTENTÁVEL	PROTEÇÃO INTEGRAL
1. Área de Proteção Ambiental	1. Estação Ecológica
2. Área de Relevante Interesse Ecológico	2. Reserva Biológica
3. Floresta Nacional	3. Parque Nacional
4. Reserva Extrativista	4. Monumento Natural
5. Reserva da Fauna	5. Refúgio da Vida Silvestre
6. Reserva de Desenvolvimento Sustentável	
7. Reserva do Patrimônio Natural	

FONTE: Adaptado de Brasil, 2000.

No Brasil, as Áreas de Proteção Ambiental (APA) foram criadas originalmente pela Lei 6.902, de 27 de abril de 1981 (Brasil, 1981). De acordo com essa Lei, a categoria APA tem como objetivo assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais, de forma a limitar nesses locais o funcionamento de indústrias potencialmente poluidoras, que pudessem afetar nascentes de água, obras de terraplenagem e abertura de canais, quando essas afetassem as condições ecológicas locais, atividades que provocassem uma acelerada erosão das terras ou um acentuado assoreamento dos corpos hídricos, e o exercício de atividades que provocassem a extinção de espécies raras da biota regional (Brasil, 1981).

Em 2000, com a instituição do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), a APA foi definida como uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, composta por atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar humano. Tem como “objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais” (Brasil, 2000). Nesse sentido, de acordo com o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2019), atualmente existem 742 UCs de proteção integral, abrangendo 662.176 km², isto é, 7,78% do território nacional, enquanto as UCs de uso sustentável somam uma quantidade de 1.567 unidades, e cobrem outros 1.884.620 km² ou 22,13% do território brasileiro (Prestes et al., 2018). Dessa forma, observa-se que, no Brasil, a maior parte da superfície coberta por UCs é de uso direto. De todas as categorias de uso direto, a APA, é a categoria que tem sido dominante na expansão das UCs brasileiras, a qual constitui cerca de 50% das áreas cobertas por UCs no país (MMA, 2019).

Em relação ao manejo de uma Área de Proteção Ambiental, também devem ser integradas um conjunto de ações no âmbito político, legal, administrativo, de pesquisa, de planejamento, de proteção, de coordenação, de promoção, de interpretação e de educação, entre outros, que dão como resultado o melhor aproveitamento e eficiência de uma área protegida no cumprimento de seus objetivos, e nesse entendimento, a efetividade de manejo é alcançada quando o conjunto de ações baseadas na capacidade e aptidões de cada área protegida (manejo) permite cumprir satisfatoriamente o objetivo para o qual foi criada a área protegida (Prestes et al., 2018).

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM APAs

A literatura vem há muito tempo reportando que a melhoria da qualidade dos recursos hídricos deve ser abordada com uma perspectiva muito mais ampla do que a simples melhoria das condições físicas/químicas da água, considerando por exemplo os programas de controle de erosão com o objetivo de alcançar uma integridade ecológica (Karr; Dudley, 1981). Porém, embora o impacto significativo do uso da terra na qualidade da água tem sido bem documentado, estudos mais aprofundados sobre sua complexa associação são fundamentais, uma vez que fatores hidrológicos, de incidência solar, temperatura e química da água também são

controlados por aspectos regionais, como geologia, topografia ou clima (Kändler et al., 2017; Marmontel et al. 2018).

Num estudo realizado por Figueiredo et al., (2019), foram avaliados diversos parâmetros físico-químicos de qualidade da água para abastecimento humano na APA do Lajeado, em Campo Grande, MS, a fim de se verificar se a transformação desta bacia hidrográfica em uma unidade de conservação resultou na manutenção da qualidade da água. Os autores constataram que a criação formal da Área de Proteção Ambiental do Lajeado não proporcionou a melhoria efetiva ou manutenção de suas condições ambientais, de forma que estatisticamente, houve decréscimos no índice de qualidade da água ao longo do período estudado, concomitante ao que afirmam outros autores que a criação de uma unidade de conservação é, por si só, insuficiente e carece da implementação de programas e ações eficazes relacionados ao uso do solo, ocupação e qualidade da água (Junior et al., 2016; Figueiredo et al., 2019). Vale destacar que principalmente nos centros urbanos, a qualidade da água tem sido comprometida pelo lançamento de efluentes e resíduos, de forma que a presença de determinados organismos e substâncias em mananciais de abastecimento de água pode provocar vários inconvenientes, tanto para o próprio ambiente aquático quanto para o sistema de tratamento da água captada, chamando mais uma vez a atenção da participação da população nesse processo.

Concomitantemente à este ponto, em que mesmo se tratando de uma área protegida a qualidade da água para abastecimento público não se encontra adequada, pode-se citar o estudo desenvolvido por Junior et al., (2016), em que foi verificada a ocorrência de expansão de áreas urbanas no entorno dos mananciais, gerando consequências danosas à qualidade das águas devido aos riscos de poluição advindos do lançamento de efluentes domésticos e industriais sem tratamento nos corpos d'água, da drenagem pluvial carregada de poluentes orgânicos e inorgânicos, de fossas sépticas e do vazamento dos sistemas de esgotos e de drenagem urbana, de depósitos de resíduos sólidos que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, além dos focos de erosão acelerada comumente vistos em loteamentos periféricos.

É ressaltado ainda que a criação de uma unidade de conservação com a finalidade de proteção de mananciais não garante processos de ocupação e apropriação do território que sejam compatíveis com as funções dos mananciais,

sendo que inclusive a falta de clareza da proteção de mananciais na legislação ambiental é um fator que pode estar associado a interesses econômicos e políticos, resultando num panorama de fortes e inconcebíveis lacunas de instrumentos de proteção das fontes de água para abastecimento público (JUNIOR et al., 2016).

Especificamente para a APA do Guariroba merece destaque o estudo de (Kofanovski, 2016) que analisou a influência da implantação do Programa Produtor de Água sobre a qualidade da água no reservatório e verificou a correlação existente entre os parâmetros e seus comportamentos quanto a sazonalidade, no período entre janeiro de 2009 e setembro de 2015.

O estudo em tela concluiu que os parâmetros Nitrogênio Total, Fósforo Total, pH, Turbidez e Temperatura apresentaram comportamento estável quanto a sazonalidade, ao contrário dos Sólidos Dissolvidos Totais e *Escherichia coli* que se apresentaram instáveis neste aspecto.

Ainda segundo o estudo a concentração de Fósforo Total esteve acima do previsto na legislação apresentando comportamento contrário ao esperado, já que com a redução da erosão hídrica a expectativa era de que as concentrações de Fósforo também diminuíssem.

Aponta o estudo que embora o cultivo de eucalipto tenha contribuído para a redução do aporte de sedimentos, a implantação desta cultura fez com que o reservatório ficasse mais eutrofizado. A análise dos parâmetros foi feita de forma individual, sem o cálculo do IQA, e a análise dos componentes principais não considerou os dados do ano de 2009, pelo fato de não haver registros de valores para DQO, OD, Nitrogênio Total e Temperatura neste período.

AValiação da Quantidade de Água em APAs

Além do uso e ocupação do solo influenciar nos aspectos relacionados a qualidade da água, há evidências de que a quantidade de água também pode ser afetada (Sone et al., 2019).

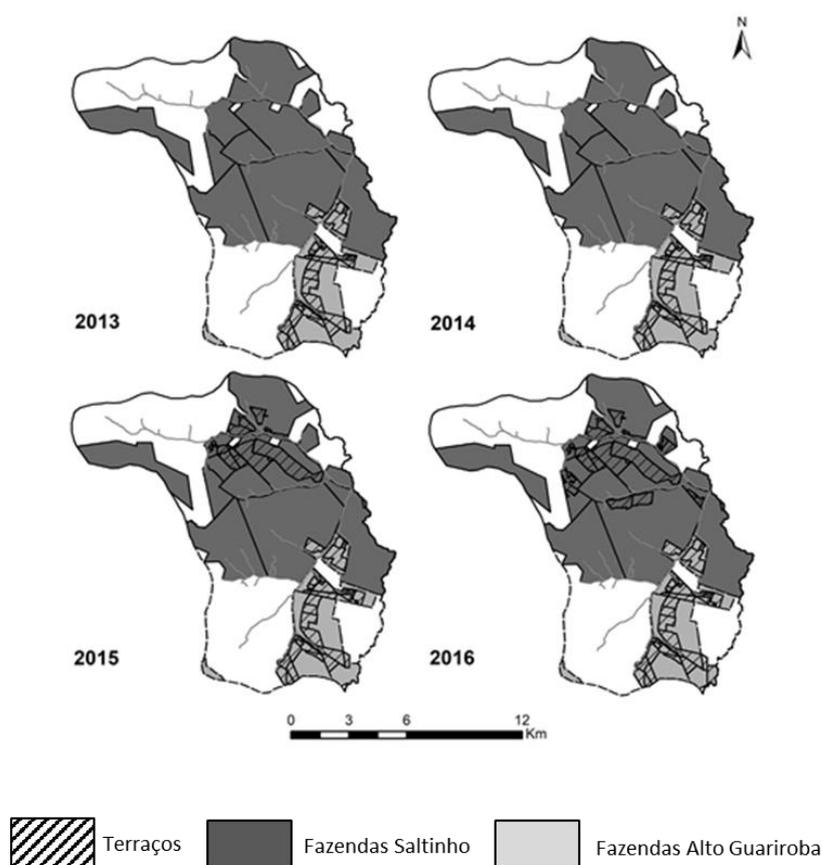
No estudo realizado em que se buscou avaliar a relação da redução da erosão do solo com a produção de água em uma Área de Proteção Ambiental, na Bacia do Rio Guariroba, em Campo Grande, MS, os resultados mostraram que as práticas conservacionistas na bacia, tais como a construção de curvas de nível e a recuperação da mata ciliar, aumentaram o fluxo de água e também forneceram uma

melhor resiliência para suportar eventos extremos, como os períodos secos.

Os principais achados de Sone et al., 2019 são resumidos a seguir.

Segundo (Sone et al., 2019), as práticas de terraceamento aumentaram a partir de 2013 e, em 2015, atingiram 11% da área da sub-bacia do Alto Guariroba, a sub-bacia eleita para receber os recursos visando a conservação do solo na primeira fase do programa. Posteriormente foram incluídas as propriedades da sub-bacia do Saltinho.

Figura 2. Terraços de declive construídos de 2013 a 2016.



FONTE: Adaptado de Sone et al (2019).

Na primeira fase, seis agricultores construíram terraços de declive em suas propriedades até 2015 (abrangendo 901 ha da sub-bacia do Alto Guariroba). Da mesma forma, mais oito propriedades construíram terraços de declive em suas propriedades até 2016 durante a segunda fase (abrangendo 3.167 ha da sub-bacia de Saltinho).

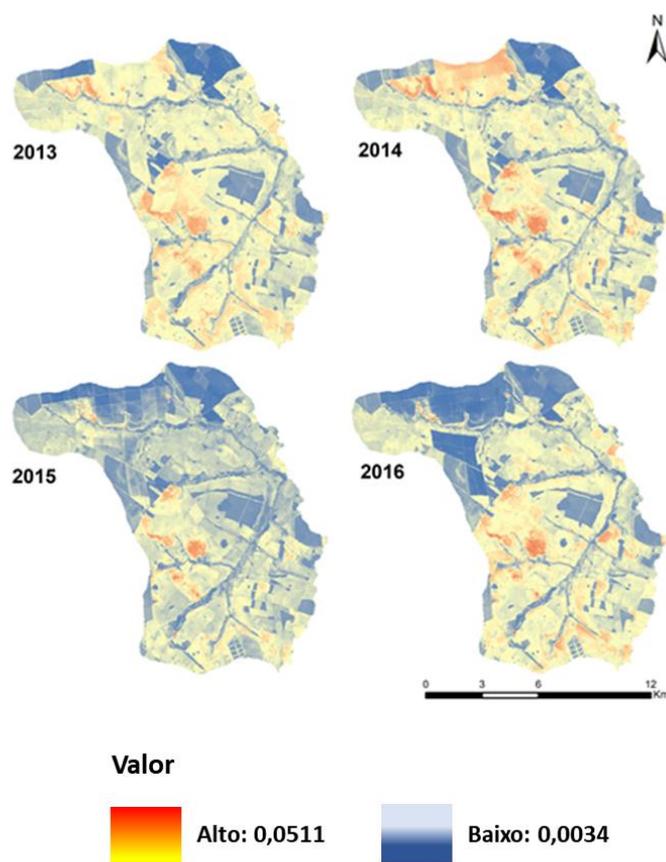
A prática de conservação do solo consistiu em terraços em 4.522 ha cobrindo 29% da área das duas sub-bacias. A conservação e restauração da floresta e da mata

ciliar englobaram 9% das sub-bacias do Alto Guariroba e Saltinho até 2016.

No total, as duas sub-bacias foram responsáveis por 38% das áreas preservadas na bacia do Guariroba até 2016. Essas práticas de conservação são significativas quando se considera o uso múltiplo da terra da bacia do estudo. O principal uso da terra é a pastagem para a pecuária, portanto os terraços parecem ser uma abordagem eficaz para reduzir a erosão do solo sem alterar a cobertura do solo.

A perda de solo foi reduzida em 25%, em termos médios, ao longo do período, diminuindo de 2,35 para 1,78 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Figura 3. Cobertura e mudanças no manejo do solo da Bacia do Guariroba 2013-2016.



FONTE: Adaptado de Sone et al (2019).

Sone et al (2019) encontrou valores de índice de fluxo de base (BFI) de 0,73 e 0,75 nos cursos médio e inferior do Córrego Guariroba, respectivamente de 2012 a 2016, indicando que o fluxo de base contribui significativamente para o fluxo total na bacia.

O BFI representa a proporção entre o componente do fluxo de base e o fluxo total de longo prazo. Os maiores valores de BFI indicam a maior contribuição das

águas subterrâneas para a vazão total. No Brasil, os valores do BFI variam de 0,25 a 0,95 para bacias dominadas pelas águas subterrâneas.

Sone et al (2019) também observou ainda um aumento no fluxo de base durante a estação chuvosa e sua manutenção durante a estação seca no período entre 2012 a 2016. Essas descobertas mostram a resiliência da bacia para suportar eventos extremos, como a seca, baseada no aumento da restauração e conservação florestal. A restauração e conservação florestal não apenas melhoram os serviços ecossistêmicos, mas também reduzem o estresse sobre os recursos hídricos e tornam as bacias mais resilientes às secas sazonais.

Os valores anuais de precipitação diminuíram $1,21 \text{ mm mês}^{-1}$, no entanto, a estação seca apresentou uma redução de 71% na precipitação em 2014 em comparação com 2012. Embora a precipitação anual apresente uma tendência decrescente, o fluxo de base está aumentando nas seções de monitoramento. Em média, incrementos de fluxos de base de $0,019$ e $0,013 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ foram computados, respectivamente, para as seções de monitoramento no curso médio (no início da sub-bacia do Reservatório) e no curso inferior (a montante da captação) do Córrego Guariroba, de 2012 a 2016.

A vazão total não apresentou mudanças significativas nas seções monitoradas no período analisado pelos autores, aumentando levemente no curso médio do Córrego Guariroba ($0,006 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) e diminuindo na mesma proporção no curso inferior do corpo d'água. Cavazzana (2018) constatou que cerca de 90% da vazão de base na bacia do Guariroba é sustentada pelo Sistema Aquífero Bauru (SAB).

Desta forma, a ausência de medidas conservacionistas faz com que seja agravado o processo de assoreamento, que consiste no aporte de material mineral (areia, silte, argila) a um corpo d'água, diminuindo sua profundidade e seu volume útil e assim prejudicando diversos usos da água. A principal origem do assoreamento está relacionada a movimentos de terra (abertura de loteamentos, construção de rodovias e exposição do solo, sem proteção, em áreas agrícolas) na bacia de drenagem do rio ou do lago. Quando ocorrem as chuvas, esse material é então carregado pelas águas do escoamento superficial até o corpo d'água mais próximo (Nunes et al., 2013).

Em regiões de clima tropical, as precipitações pluviométricas são, em geral, de grande intensidade, e com isso, a remoção da cobertura vegetal em áreas de solos facilmente erodíveis reforça, evidentemente, a preocupação com a erosão e o

consequente assoreamento de corpos hídricos (Anselmetti et al., 2007). O problema do assoreamento tem atingido maior proporção em lagos e represas situados em centros urbanos, onde o elevado adensamento populacional favorece a disseminação de processos erosivos. Além da redução no volume do corpo d'água, o fenômeno do assoreamento também afeta o componente estético, provocando a formação gradual e muitas vezes acelerada de extensas línguas de terra que vão ocupando e destruindo o espelho d'água (Medeiros et al., 2016).

Por fim, é importante evidenciar que a respeito das captações de água para abastecimento humano, a escolha do manancial deverá privilegiar os cursos d'água mais próximos aos centros de consumo, reduzindo os investimentos na adução, mas cuja qualidade haverá de requerer gastos significativos no tratamento, elevando o risco sanitário, ou a opção deverá recair nos mananciais mais distantes, com água bruta de melhor qualidade, maximizando em contrapartida os custos da adução. Em vista do exposto, os principais fatores intervenientes na definição do manancial superficial e do tipo de captação são a magnitude da vazão necessária, a qualidade da água bruta e o custo das instalações de adução, tratamento e captação propriamente ditas (Whittington 2011).

APA DO GUARIROBA

A Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, denominada também APA do Guariroba, constitui uma das três Áreas de Proteção Ambiental situadas no município de Campo Grande, que possui também a APA dos Mananciais do Córrego Lajeado e a APA da Bacia do Córrego Ceroula.

A bacia hidrográfica do Córrego Guariroba localiza-se no município de Campo Grande (MS), distante 35 km do centro da cidade, sendo a principal fonte de abastecimento de água da capital Sul-Mato-grossense (Figura 2). Integrante da bacia do rio Paraná, sub-bacia do rio Pardo, a bacia do Guariroba, situa-se no bioma Cerrado, considerado um *hotspot* a nível mundial, e por isso prioritário para a conservação.

Após tornar-se um dos mananciais da cidade de Campo Grande, em 1985, a bacia foi integralmente declarada Área de Proteção Ambiental (APA) pelo Poder Público Municipal através do Decreto Nº 7.183, de 21 de setembro de 1995, face à necessidade de recuperação e conservação do principal sistema produtor de água

bruta para abastecimento público de Campo Grande.

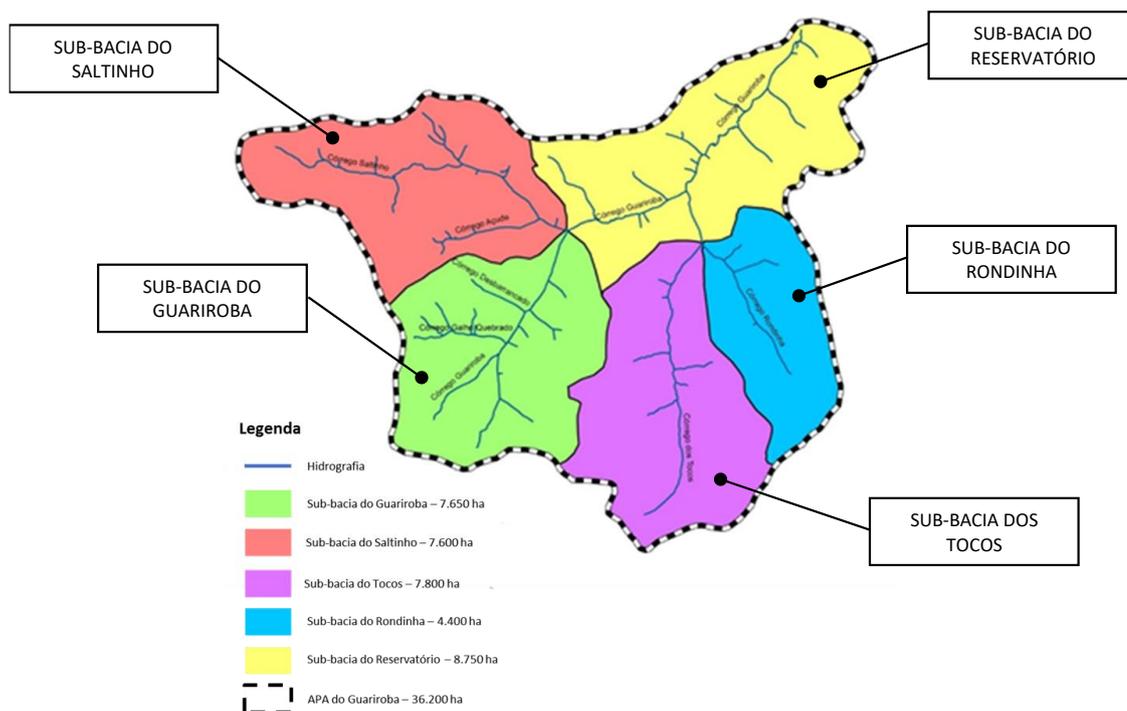
Em 22 de março de 2001, pelo Decreto nº 8.178, foi criado o Conselho Gestor da APA do Guararioba, órgão de caráter consultivo e deliberativo de assessoramento do Poder Executivo. O Conselho Gestor é composto por 8 conselheiros titulares e igual número de suplentes distribuídos entre instituições governamentais e não governamentais, entre elas o Sindicato Rural de Campo Grande.

Figura 4. Localização da bacia do Córrego Guararioba.



FONTE: WWF, 2015b.

Figura 5. Mapa da bacia do Córrego Guararioba, com seus córregos tributários.



FONTE: Adaptado de PMCG, 2017.

Com 62 propriedades rurais, a característica fundiária predominantemente da bacia é de médias e grandes propriedades rurais, com tamanhos entre 48 e 5.480 hectares (WWF, 2015a).

No que tange ao abastecimento público, a bacia possui um reservatório com volume de aproximadamente 4 milhões de m³, em 53 hectares (WWF, 2015a).

A concessionária Águas Guariroba possui adutora com capacidade de captação de 1.400 l/s, sendo que no momento, capta apenas 1.100 l/s. A água captada nesta bacia atende quase metade do município de Campo Grande (WWF, 2015a).

Pesquisa elaborada pelo grupo HEroS/UFMS em parceria com o Água Brasil, identificou 42 nascentes na bacia do Guariroba, além de remanescentes florestais e áreas úmidas que somam 6.456 hectares, correspondente a 17,8% da área total. Porém, ainda há 1.035 hectares das áreas de preservação permanente (APP) que precisam ter sua vegetação restaurada (WWF, 2015a).

Com aproximadamente 36.200 hectares, a atividade produtiva predominante na bacia é a pecuária de corte extensiva. Os dados do grupo HEroS, 2015, indicam que 47,4% da bacia possui aptidão de uso agrícola para pastagens, silvicultura ou sistemas integrados (WWF, 2015a).

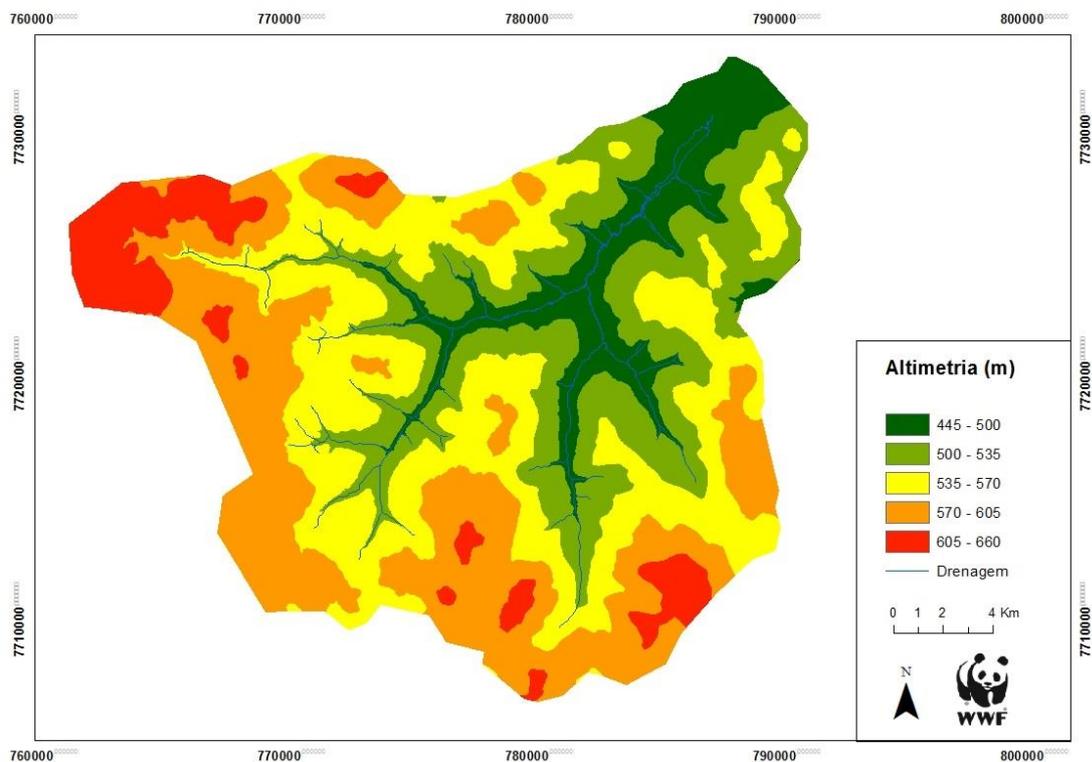
No entanto, segundo o Plano de Manejo da APA do Guariroba, elaborado em 2008, mais de 82% do território da APA é ocupado por pastagens cultivadas, sendo que 17.142 ha possuem maior fragilidade quanto a estrutura do solo, devendo manter a pastagem em sua melhor condição (PMCG, 2008).

33% da bacia apresenta potencial de perda de solo considerado de médio a muito alto (maior que 20 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e 1.133 hectares possuem déficit de vegetação nas APPs, sendo 444 hectares nas sub-bacias Guariroba e Saltinho (PMCG, 2008).

Características físicas da bacia

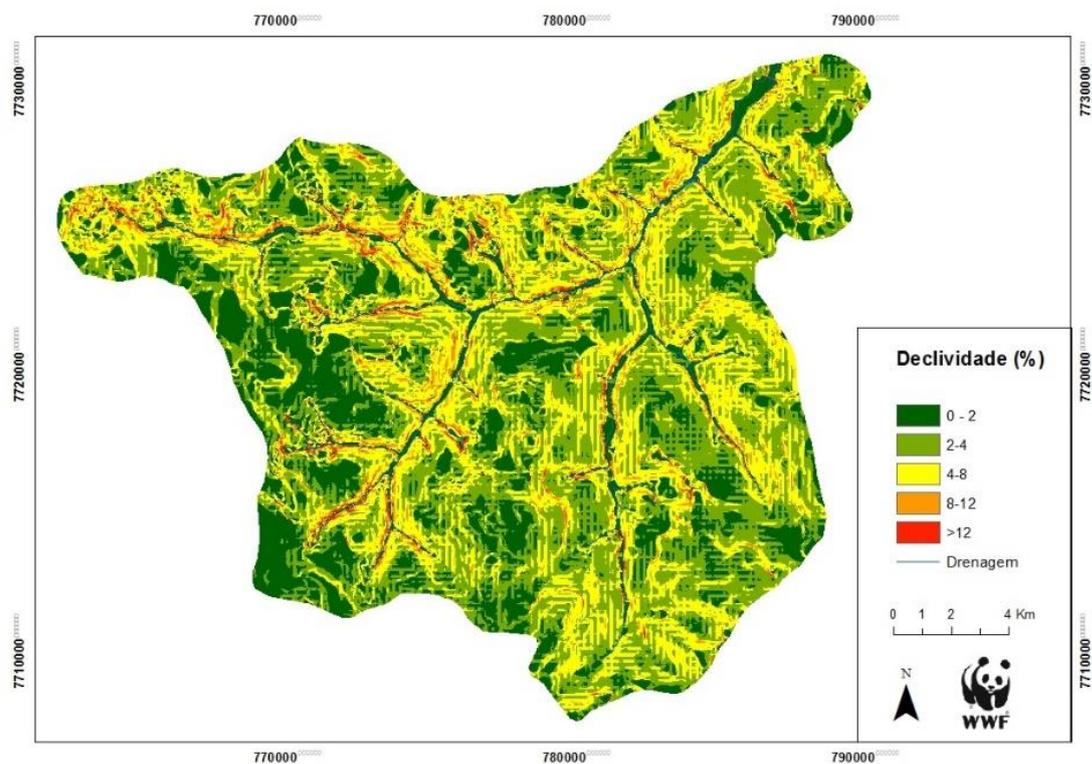
A bacia tem altitude média de 550 m e declives médios de 3,8 % (Figuras 4 e 5). O solo é majoritariamente coberto por Cerrado e pastagens (Figura 6) e os principais tipos são o Neossolo Quartzarênico, o Latossolo Vermelho e Solos Hidromórficos e Aluviais (Figura 7) (WWF, 2018).

Figura 6. Altimetria da bacia do Córrego Guariroba.



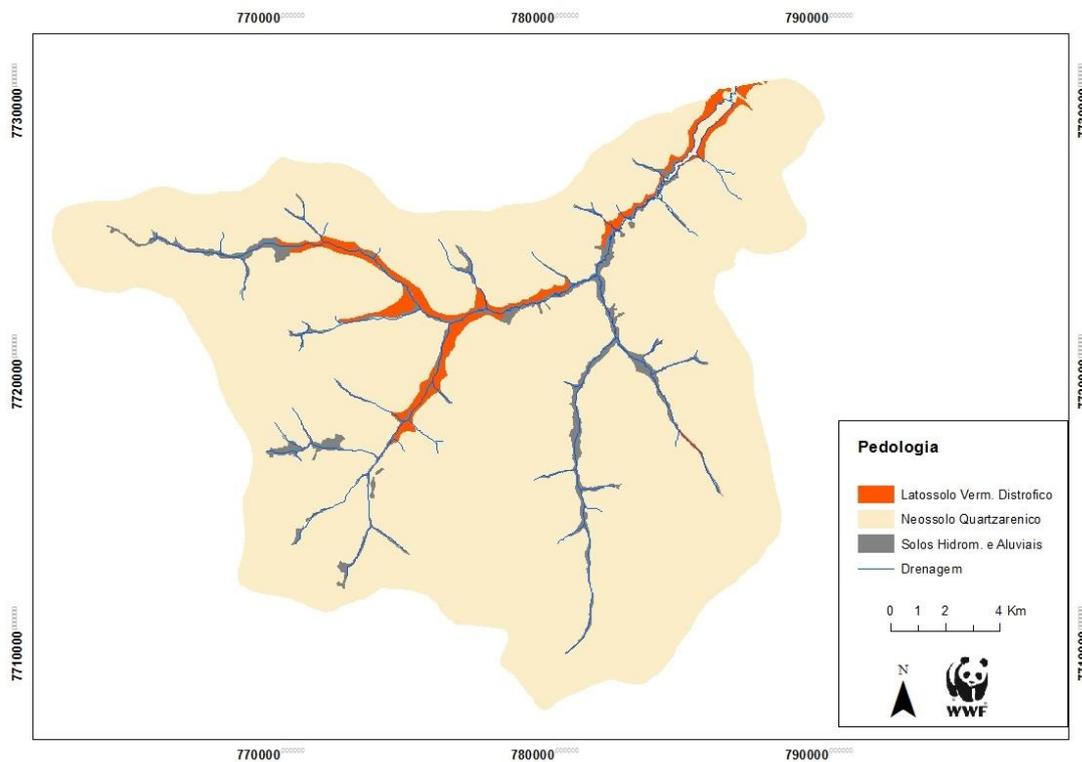
FONTE: WWF, 2018.

Figura 7. Declive da bacia do Guariroba



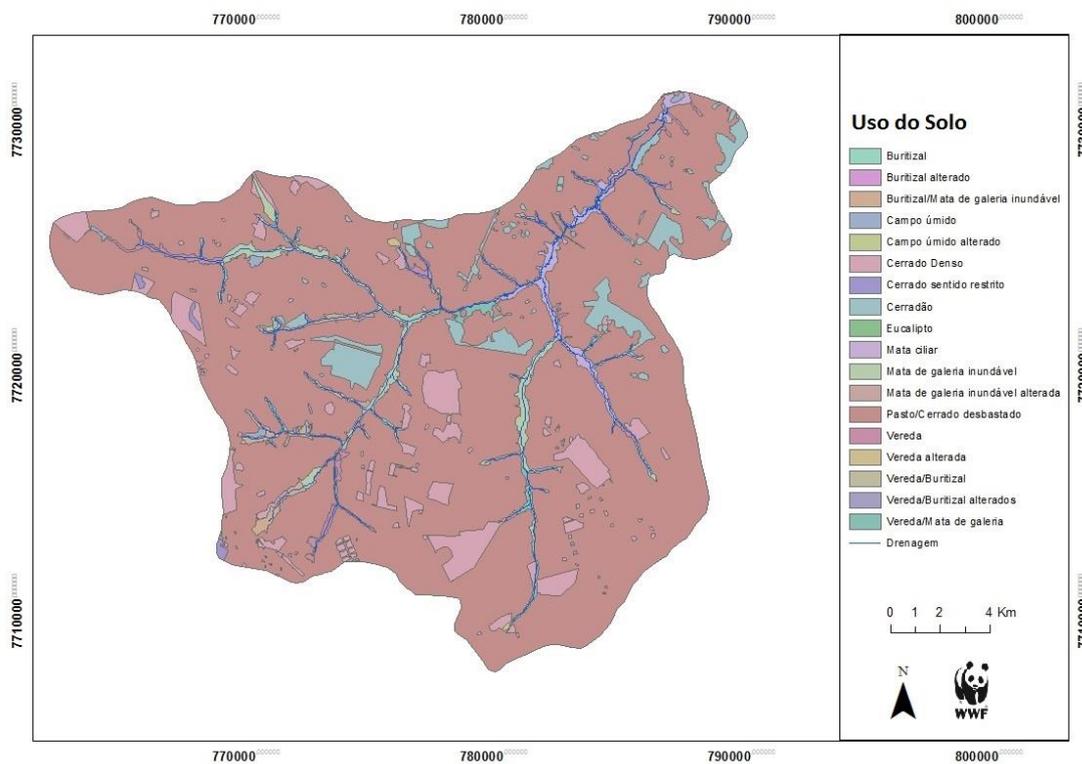
FONTE: WWF, 2018.

Figura 8. Tipos de solos da bacia do Guariroba



FONTE: WWF, 2018.

Figura 9. Usos do solo na bacia do Guariroba



FONTE: WWF, 2018.

Oliveira et al., (2017) detectaram um aumento significativo da silvicultura (eucalipto) nos últimos anos bacía, passando a ocupar 8,20% da bacía contra 6,11% em 2013 apontado por (Kofanovvski, 2016).

Tabela 1. Evolução da ocupação e uso do solo, em hectares e percentagens, na APA do Córrego Guariroba.

Classes	1984		1994		2004		2017	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cerrado	18.973	52,4%	3.347	9,2%	6.591	18%	6.600	18,2%
Silvicultura	-	-	-	-	-	-	2.967	8,2%
Pastagens	15.390	42,5%	15.847	43,8%	12.413	34%	8.614	23,8%
Solo exposto	1.793	5,0%	16.885	46,6%	17.110	47%	17.906	49,5%
Corpo hídrico	40	0,1%	117	0,3%	82	0%	109	0,3%
Total APA	36.196	100%	36.196	100,0%	36.196	100%	36.196	100,0%

FONTE: Adaptado de Oliveira et al., (2017).

O aumento do plantio de eucaliptos na bacía corrobora Garcia et. al (2014) quando afirma que das três atividades econômicas recomendadas para a APA (pecuária, silvicultura e piscicultura) o cultivo de eucalipto apresentou o maior percentual de lucratividade, mesmo que com um tempo de retorno e custo mais altos que as demais. A piscicultura apresentou lucratividade média e o menor tempo de retorno, porém o risco de investimento é o mais alto. A pecuária possui um baixo custo e risco de investimento, mas o menor índice de lucratividade, sendo a atividade mais comum na APA Guariroba.

O comparativo econômico e social de diferentes usos do solo recomendados para a APA Guariroba, por hectare, é apresentado (Tabela 4).

Tabela 2. Comparativo econômico e social de diferentes usos de solo recomendados para a APA Guariroba (1 ha de área útil).

Descrição	Pecuária	Eucalipto	Psicultura
Custo (R\$)	800,00	8.347,50	15.400,00
Receita bruta	1,3	18	33
Índice de lucratividade (%)	38,46	53,62	44,00
Lucratividade ano ⁻¹ (R\$)	250,00	1.378,93	14.520,00
Risco de investimento (comparativo)	+	++	+++
Tempo de retorno médio (anos)	2	7	1
Empregos diretos (pessoas)	1	12	3
Impacto ambiental (comparativo)	+++	++	+

FONTE: Garcia et. al (2014).

Segundo Kofanovvski (2016), embora o cultivo de eucalipto tenha contribuído para redução do aporte de sedimentos para o reservatório da bacia, a implantação desta cultura fez com que a represa ficasse mais eutrofizada.

Características das águas da bacia

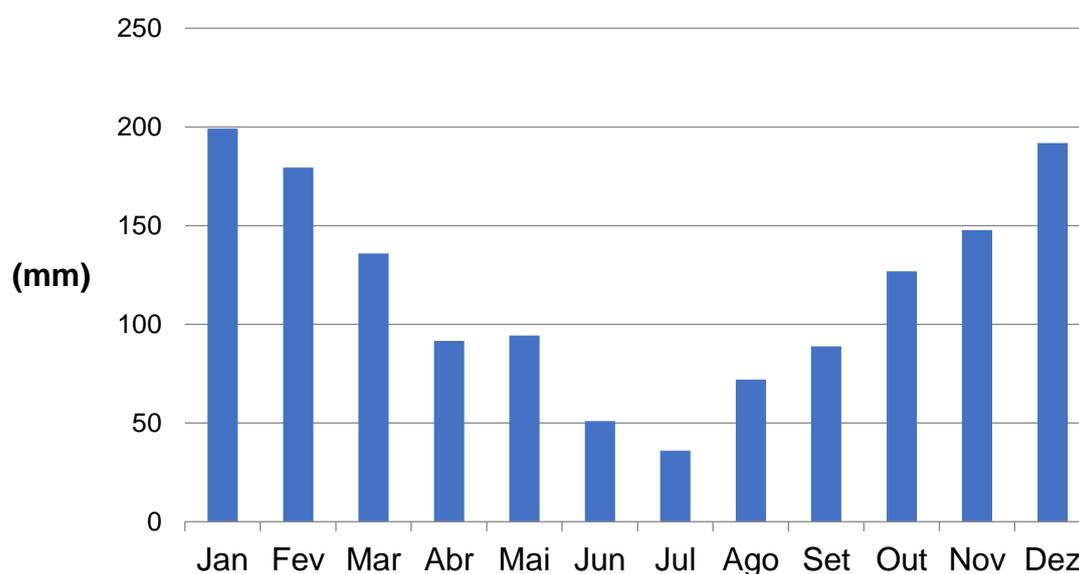
A temperatura média anual é de 24°C. A maior parte das chuvas (mais ou menos 75%) acontece entre outubro e abril, com poucas chuvas no restante do ano.

Quantidade de Chuvas e Erosão Causada na Bacia

A média anual de chuvas na cidade de Campo Grande, no período entre 1995 e 2005 (10 anos), foi de 1.415 mm. Considerando que essa também seja a média de chuvas da bacia do Guariroba (Figura 8), a erosão causada pelas chuvas na região foi medida com base nas médias mensais de chuvas da cidade de Campo Grande.

Assim, a média anual de erosão causada pelas chuvas e enxurradas na região da bacia foi de 6.831,5 MJ mm.ha⁻¹.h⁻¹ (erosividade média anual causada pelas chuvas).

Figura 10. Média mensal de chuvas na bacia do Guariroba (1995-2005)



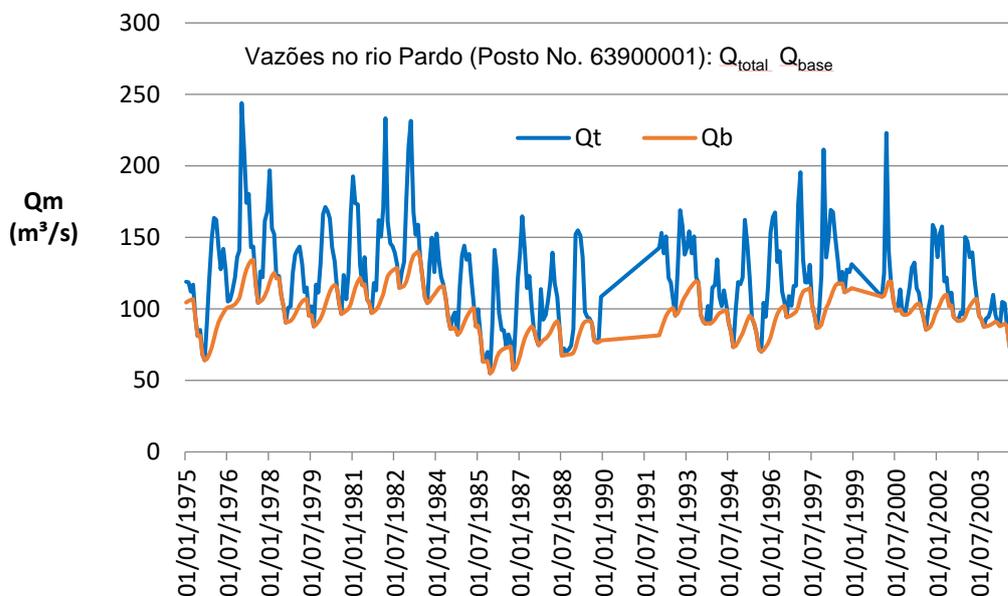
FONTE: WWF, 2018.

Vazões Naturais no Guariroba

As vazões foram estimadas utilizando dados de referência da bacia do rio Pardo com clima e geologia semelhantes aos da bacia do Guariroba.

A Figura 9 apresenta as vazões médias mensais (Q_t) e as vazões médias mensais de base (Q_b) no rio Pardo, no período de 1975-2004. O Quadro 1 mostra as vazões médias anuais totais e de base do Guariroba, no mesmo período.

Figura 11. Vazões médias mensais totais e de base da área do rio Pardo (1975-2004).



FONTE: WWF, 2018.

Quadro 2. Vazões médias anuais (Q_t) e de base (Q_b), no período entre 1975 e 2004.

Bacia	Área (km ²)	Q_t (m ³ .s ⁻¹)	Q_b (m ³ .s ⁻¹)
R. Pardo	8.150	116,6	96,4
R. Guariroba	362	5,2	4,3'

FONTE: WWF, 2018.

Vazões Captadas no Guariroba

De acordo com informações da empresa de saneamento local (Águas de Guariroba), a capacidade de desvio do curso das águas do sistema de produção de água Guariroba é de 1.400 L.s⁻¹ e a vazão média anual captada é de 1.100 L.s⁻¹.

PLANO DE MANEJO DA APA DO GUARIROBA

O Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba foi elaborado pela empresa JGP - Consultoria e Participações Ltda. com acompanhamento dos técnicos da então Secretaria Municipal

de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Campo Grande (SEMADES). A versão final do plano foi entregue em maio de 2008.

O Plano de Manejo constitui um documento técnico que consolida as diretrizes de gerenciamento da APA que, adequadamente implementadas, possibilitarão, através do estabelecimento do zoneamento da unidade, o ordenamento do uso e ocupação do solo e a minimização, a eliminação de impactos ambientais por meio da recuperação ambiental da Unidade de Conservação (PMCG, 2008).

O documento afirma que progressiva substituição da vegetação natural por pastagens cultivadas, associada a determinadas situações em que o manejo do gado e do solo não são compatíveis com a capacidade de suporte ambiental local, tem gerado impactos expressivos na bacia, sobretudo no que se refere a processos erosivos e ao assoreamento dos corpos d'água naturais e do Reservatório Guariroba (PMCG, 2008).

O Plano de Manejo da APA do Guariroba propõe ações organizadas na forma de Programas Ambientais, os quais contemplam tanto a implementação de medidas de caráter administrativo e organizacional, como ações específicas de recuperação, mitigação e monitoramento de atividades e aspectos ambientais.

Ao todo, são propostos 14 Programas Ambientais que, corretamente implantados e em conjunto com as diretrizes estabelecidas no Zoneamento Ambiental, devem propiciar não só um processo de recuperação ambiental da APA do Guariroba, mas principalmente, consolidar o desenvolvimento de atividades produtivas sustentáveis, atendendo o que pressupõe os objetivos das Áreas de Proteção Ambiental no Brasil (PMCG, 2008).

Os programas ambientais propostos no Plano de Manejo são os apresentados no Quadro 2.

Quadro 3. Programas ambientais do Plano de Manejo da APA do Guariroba.

ID	Programa Ambiental	Objetivos
P1	Programa de Integração Institucional	Desenvolver em amplo conjunto de ações objetivando estabelecer alternativas de cooperação técnica, parcerias e/ou outros instrumentos legais e administrativos com instituições ligadas às demais esferas de governo, além de empresas, instituições de ensino e pesquisa, organizações não-governamentais, associações e sindicatos.

ID	Programa Ambiental	Objetivos
P2	Programa de Estruturação Econômico-financeira	Viabilizar os recursos financeiros necessários a implementação das ações de recuperação e gestão indicadas no Plano de Manejo.
P3	Programa de Regularização de Reservas Legais	Promover entendimentos com os proprietários rurais objetivando a regularização das reservas legais nas propriedades.
P4	Programa de Delimitação e Cercamento de Áreas de Preservação Permanente	Proteger as Áreas de Preservação Permanente e criar as condições mínimas para sua recuperação com a implantação de cercas de forma a evitar a circulação de gado.
P5	Programa de Recuperação de Áreas de Preservação Permanente	Recomposição vegetal através de plantios de espécies nativas. A alternativa de cercamento objetivando a regeneração natural é outra estratégia de recuperação.
P6	Programa de Controle e Recuperação de Processos Erosivos	Cadastramento e avaliação das feições erosivas que demandam intervenções específicas, tais como: terraceamento, caixas de retenção, adequação de estradas vicinais e corredores boiadeiros, estabilização e suavização de taludes.
P7	Programa de Recuperação do Reservatório e de Desassoreamento de Cursos d'água	Realizar um inventário dos pontos de assoreamento na bacia situados a montante do reservatório e avaliar a viabilidade de desassoreamento. Priorizando o desassoreamento manual, evitando a retirada de material por maquinário.
P8	Adequação das Instalações para Dessedentação de Animais	Minimizar os impactos da dessedentação do gado sobre as Áreas de Preservação Permanente e sobre os corpos d'água.
P9	Programa de Manejo do Solo e de Conservação de Pastagens	Recuperação das áreas com alto nível de degradação das pastagens através da renovação das gramíneas e da correção da acidez do solo.
P10	Programa de Controle do Uso de Agrotóxicos	Fiscalizar a utilização de agrotóxicos de acordo com as restrições estabelecidas no zoneamento, ou seja, de proibição dos produtos enquadrados nas categorias toxicológicas de acordo com o Decreto Federal N.º 4074/2002.
P11	Programa de Recuperação e Conservação de Estradas Vicinais	Desenvolver um diagnóstico das condições das estradas e dos pontos críticos ou potencializadores de processos erosivos, que deverão ser rapidamente adequados através da implantação de dispositivos de drenagem, especialmente de caixas de retenção ao longo desses eixos viários, compactação, cascalhamento ou abaulamento.
P12.	Programa de Educação Ambiental	Promover campanhas de educação ambiental sobre temas específicos de interesse para a gestão ambiental da APA.
P13	Programa de Monitoramento da Qualidade da Água e das Vazões Fluviais	Controle e prevenção de impactos na qualidade das águas da APA. Apresentar monitoramento semestral, contemplando uma campanha de amostragem no período chuvoso e outra na estação seca.
P14	Programa de Conservação e Monitoramento da Fauna	Detalhar a caracterização da riqueza de vertebrados terrestres presentes na área de influência direta da APA de Guararoba.

FONTE: Adaptado de PMCG, 2018.

PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA OU MANANCIAL VIVO

O Programa Produtor de Água é uma iniciativa da Agência Nacional de Águas (ANA) que tem por objetivo a redução da erosão e do assoreamento dos mananciais nas áreas rurais.

O programa, de adesão voluntária, prevê o apoio técnico e financeiro à execução de ações de conservação da água e do solo, por exemplo, a construção de terraços e bacias de infiltração, a readequação de estradas vicinais, a recuperação e proteção de nascentes, o reflorestamento de áreas de proteção permanente e reserva legal, o saneamento ambiental, etc. (WWF, 2015a).

Prevê também o pagamento de incentivos (ou uma espécie de compensação financeira) aos produtores rurais que, comprovadamente, contribuem para a proteção e recuperação de mananciais, gerando benefícios para a bacia e a população.

O Programa Produtor de Água opera desde 2005, quando da implantação de seu primeiro projeto, o “Conservador das Águas” de Extrema (MG). A última versão de seu Manual Operativo foi formalizada pela Portaria ANA no 196 de 30 de agosto de 2013. Trata-se do programa de revitalização de bacias da ANA. Prevê ações de conservação de solo e recomposição florestal em bacias hidrográficas de importância estratégica para o país (ANA, 2018).

Utiliza, adicionalmente, a política de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), na intenção de certificar produtores rurais como “produtores de água” e oferecer-lhes compensação financeira pelo serviço ambiental prestado. O Programa se materializa mediante orientação e apoio da ANA, nas diversas regiões do Brasil, que visem à redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural, proporcionando a melhoria da qualidade e a regularização da oferta de água em bacias hidrográficas. São projetos conduzidos por instituições locais unidas por arranjos organizacionais formados por estados, municípios, comitês de bacia, concessionárias de abastecimento e geração de energia, dentre outras instituições públicas ou privadas, utilizando metodologias bem distintas no que diz respeito às práticas elegíveis e metodologia de valoração do PSA, dentre outros (ANA, 2018).

O orçamento da ANA pode servir à execução de diversas ações de conservação da água e do solo, como por exemplo a construção de terraços e bacias de infiltração, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes,

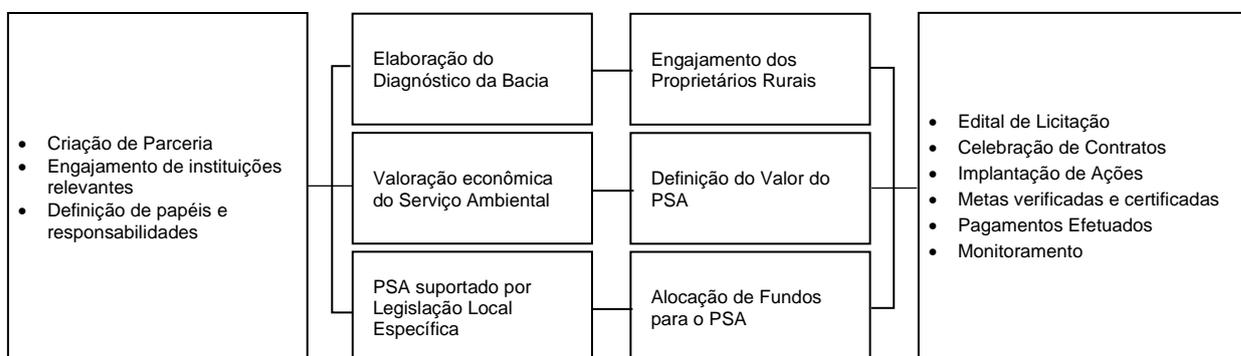
reflorestamento de áreas de preservação permanente e reserva legal e saneamento ambiental. Essas são as atividades objeto dos projetos que deverão ser elaborados pelos Proponentes do contrato de repasse que, geralmente, são prefeituras municipais (ANA, 2018).

Já os recursos para PSA (Pagamento por Serviços Ambientais) são de responsabilidade exclusiva de instituições locais. Deve ser ressaltado que os projetos atualmente em andamento encontram-se em diferentes estágios de implementação do PSA. Alguns já fazem o pagamento há muitos anos enquanto outros ainda buscam fontes para esse recurso (ANA, 2018).

No caso da bacia do Guariroba o Programa Produtor de Água recebe a denominação de Programa Manancial Vivo, e está sendo desenvolvido por sub-bacias e conta com o apoio do Programa Água Brasil (PMCG, 2012).

As etapas de implantação de um projeto do PPA segundo o Manual da ANA são apresentadas na Figura 12 a seguir.

Figura 12. Etapas de implantação de um projeto do PPA.



FONTE: Adaptado do Manual do PPA da ANA (2012, p.24)

PROGRAMA ÁGUA BRASIL

Segundo (WWF, 2015a) o Programa Água Brasil (PAB) é o resultado de uma parceria do Banco do Brasil, Agência Nacional de Águas, a Fundação do Banco do Brasil e a WWF-Brasil. O grande objetivo desse programa é promover a sustentabilidade do uso da água no país.

O Água Brasil está organizado em quatro eixos de atuação: Projetos Socioambientais, Comunicação e Engajamento, Mitigação de Riscos e Negócios Sustentáveis. O Programa está presente em 4 (quatro) biomas brasileiros, com

projetos em sete bacias hidrográficas e em cinco cidades brasileiras (WWF, 2015a).

No meio rural, o Programa desenvolve projetos que disseminam boas práticas agropecuárias, agroecologia, restauração ecológica, extrativismo, produção sustentável, apoio à certificação na agropecuária e a implementação de tecnologias sociais ligadas aos recursos hídricos, sempre com o objetivo de conservar o solo e a água para garantir a segurança hídrica e alimentar para a comunidade local (WWF, 2015a).

De acordo com as características de cada localidade, são implementadas Unidades Demonstrativas (UDs), que servem como modelo para essas práticas que, depois podem ser disseminadas para outras propriedades rurais com características ambientais similares (WWF, 2015a).

Neste sentido, as ações do Programa ocorrem nas seguintes bacias hidrográficas: Cancã/Moinho (SP), Guariroba (MS), Lençóis (SP), Longá (PI), Peruaçu (MG), Pípiripau (DF) e no igarapé Santa Rosa (AC). Busca-se influenciar a mudança de hábitos e atitudes, através do apoio na construção de uma sociedade que valorize a sustentabilidade e a convivência harmônica com a natureza (WWF, 2015a).

Já no meio urbano, o Água Brasil tem o objetivo de estimular a mudança de comportamento e valores em relação à produção e destinação de resíduos sólidos para diminuir a pressão sobre os recursos hídricos, incentivar a estruturação da cadeia de reciclagem, promover a educação ambiental junto à população, além de gerar trabalho e renda para os catadores de materiais recicláveis (WWF, 2015a).

A parceria busca, ainda, o aperfeiçoamento dos critérios socioambientais na análise de crédito e investimentos e a implementação de modelos de negócios sustentáveis. O setor financeiro é estratégico para a conservação da natureza, em função do importante papel que exerce no financiamento da produção agrícola e de outras atividades (WWF, 2015a).

Na bacia do Guariroba as ações do programa são mecânicas (terraceamento em nível/conservação do solo) e vegetativas (silvicultura comercial e restauração de APPs). A área total de ações do programa na bacia é de 7.457,70 ha, envolvendo 23 propriedades, com mostra o Quadro 3:

Quadro 4. Ações, propriedades e áreas envolvidas no PAB na APA do Guariroba.

Propriedade	Ação	Área (ha)	Área Total (ha)
01 - A. Alegre	I - Conservação do Solo	97,86	104,24
	III- Restauração de APP	6,38	
02 - B. Vista	I - Conservação do Solo	136,06	143,13
	III - Restauração de APP	7,07	
03 - B. Jardim 1	I - Conservação do Solo	348,60	348,60
04 - B. Jardim 2	I - Conservação do Solo	303,82	311,09
	III - Restauração de APP	7,27	
05 - Cachoeira	II - Silvicultura	165,75	165,75
06 - Cantagalo	II - Silvicultura	1.239,14	1.308,86
	III - Restauração de APP	69,72	
07 - C. Pampas	I - Conservação do Solo	334,85	399,14
	III - Restauração de APP	64,29	
09- Flora	I - Conservação do Solo	240,66	247,85
	III - Restauração de APP	7,19	
10 - Forquilha	I - Conservação do Solo	43,71	48,27
	III - Restauração de APP	4,56	
11 - Guariroba	I - Conservação do Solo	425,78	446,31
	III - Restauração de APP	20,53	
12 - Meia Lua	I - Conservação do Solo	57,61	61,46
	III- Restauração de APP	3,85	
13 - M. do Sol	I - Conservação do Solo	582,12	615,94
	III - Restauração de APP	33,82	
14 - N. Alvorada	I - Conservação do Solo	202,75	204,89
	III - Restauração de APP	2,14	
15 - P. Guariroba A	I - Conservação do Solo	889,20	972,18
	III - Restauração de APP	82,98	
16 - P. Guariroba B	I - Conservação do Solo	160,15	189,76
	III - Restauração de APP	29,61	
17 - Saltinho	I - Conservação do Solo	173,58	200,17
	III - Restauração de APP	26,59	
18 - Santa Elvira	I - Conservação do Solo	91,55	92,31
	III - Restauração de APP	0,76	
19 - Santa Zira	I - Conservação do Solo	346,13	350,62
	III - Restauração de APP	4,49	
20 - Sossego	II - Silvicultura	464,09	488,29
	III - Restauração de APP	24,20	
22 - Tangará	I - Conservação do Solo	8,15	8,15
23 - Velho Saltinho	I - Conservação do Solo	698,30	736,68
	III - Restauração de APP	38,38	
Total Global			7.457,70

FONTE: WWF, 2018.

Além dos custos unitários das obras de conservação do solo e da água realizadas na bacia (Quadro 4), foram considerados também os custos de pagamento de serviços ambientais (PSA) e de planejamento e gestão do projeto.

Quadro 5. Custos das obras de conservação do solo e da água realizadas na APA do Guariroba.

Ação	Área (km²)	Custo Unitário (R\$.ha⁻¹)	Custo Total (R\$)
Terraceamento	5.154,9	510,00	2.628.988,80
Silvicultura	1.869,0	5.500,00	10.279.390,00
Restauração de APP	433,8	9.578,00	4.155.223,70
Totais	7.457,7	-	18.063.602,50

FONTE: WWF, 2018.

Os valores de referência e os critérios para o pagamento por serviços ambientais no âmbito do Programa Manancial Vivo são apresentados no Quadro 6 a seguir:

Quadro 6. Valores de referência para PSA do Programa Manancial Vivo

CONSERVAÇÃO DO SOLO				RESTAURAÇÃO DE APP				CONSERVAÇÃO DE FLORESTAS			
Crítérios	Percentual de Abatimento de Erosão			Crítérios	Percentual de APPs a Serem Restauradas			Crítérios	Avaliação da Restauração		
	25-50	51-75	>75		25-50	51-75	>75		Medianamente cuidada	Bem cuidada	
VRE	R\$ 25,00/ha	R\$ 45,00/ha	R\$ 65,00/ha	Estágio Sucessional	Avançado	R\$ 50,00/ha	R\$ 90,00/ha	R\$ 130,00/ha	VRE	R\$ 25,00/ha	R\$ 45,00/ha
					Médio	R\$ 25,00/ha	R\$ 45,00/ha	R\$ 65,00/ha			

FONTE: Adaptado de PMCG, 2012.

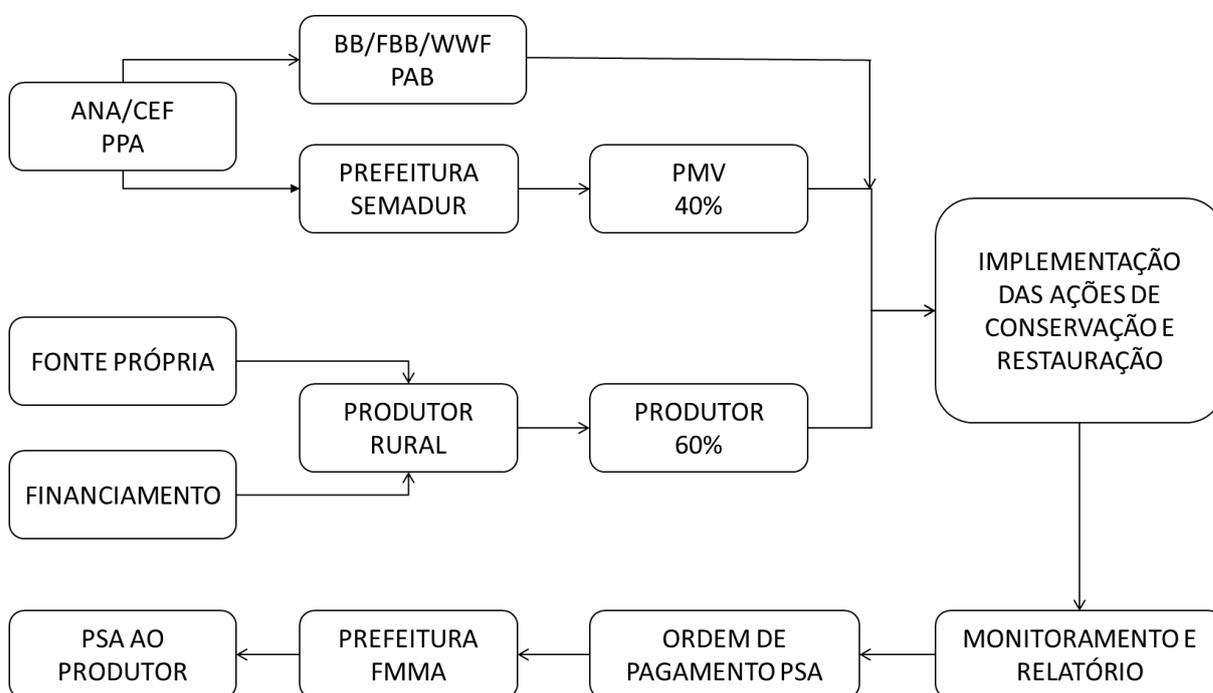
O valor máximo fixado de R\$ 130,00/ha para o PSA corresponde ao preço do arrendamento de pastagens por hectare na região em 2010. O arrendamento de pastagens é considerada uma moeda local, e o valor fixado levou em conta o fato da atividade predominante na bacia ser a pecuária de gado de corte em pastagens com baixa capacidade de suporte e alto potencial de erodibilidade do solo, que permite que apenas cabeça de gado por hectare (PMCG, 2012).

Considerando o período de 10 anos de pagamento do PSA (2018-2027), o custo total esperado será de R\$ 3.321.092,00. Adicionalmente, um total de R\$ 1,0 milhão foi tomado como custo de planejamento e gestão do Projeto, no período entre 2013 e 2017 (implantação).

O custo total de implantação do Projeto na bacia até 2027 será de aproximadamente R\$ 21 milhões.

A Figura 13 apresenta o diagrama esquemático da implementação do pagamento por serviços ambientais na APA do Guariroba.

Figura 13. Resumo do Esquema de PSA na APA do Guariroba



FONTE: Elaborado pelo autor.

ORIGENS DO PROGRAMA MANANCIAL VIVO^{ab}

Os proprietários rurais da bacia do Guariroba em articulação com o Sindicato Rural, há tempos, falavam sobre a intenção de receberem o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), porém, somente receberem sem internalizarem responsabilidades ou custos (PMCG, 2012).

^a (PMCG, 2012)

^b <https://www.mpms.mp.br/noticias/2019/03/mpms-e-parceiro-do-programa-manancial-vivo-que-e-destaque-nacional>

Diante dessa situação, em 2009, houve a mobilização dos diversos atores: produtores; Sindicato Rural de Campo Grande; Prefeitura Municipal de Campo Grande (PMCG) por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente; Governo Estadual por meio do órgão ambiental estadual, do Ministério Público e da assistência técnica e extensão rural; Governo Federal por meio da Agência Nacional de Águas (ANA); Águas Guariroba S/A; além do apoio de parlamentares, que disponibilizaram equipe técnica a fim de que houvesse a efetivação de ações de recuperação e de conservação da bacia, mediante a elaboração de projetos e a captação de recursos para o seu desenvolvimento (PMCG, 2012).

Somando-se a isso, as experiências positivas com a implantação do PSA nos municípios de Extrema e Nova York, e o fato de que outros estados brasileiros estavam em fase de implantação de PSA para a proteção de mananciais, contribuíram para impulsionar os produtores a solicitarem a remuneração pelos serviços ambientais prestados. Levaram também o ente público a internalizar esforços para prover os meios de viabilizar a recuperação e a conservação do manancial, bem como o PSA, ocorrendo a aproximação com a ANA e a *The Nature Conservancy* do Brasil (TNC) em várias reuniões, em que ocorreram os esclarecimentos necessários à tomada de decisão (PMCG, 2012).

Em dezembro de 2009, houve a nomeação de um Grupo de Trabalho constituído por técnicos das instituições citadas designados para a elaboração de projetos destinados a captação de recursos junto à ANA. Entre eles, foi encaminhado e aprovado o “Programa de Recuperação de Áreas Degradadas e Conservação da Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba” (PMCG, 2012).

A soma de todas as ações necessárias à adequação ambiental do manancial, no ano de 2010, atingiu o total de R\$ 23,5 milhões para aplicação em 10 anos. Esses valores são necessários à recuperação e à conservação das cinco sub-bacias definidas no projeto, porém, houve a liberação de recursos da ANA correspondente a R\$ 800.000, para aplicação na primeira fase do Programa Manancial Vivo (PMV), e recursos da PMCG no valor de R\$ 88.000, como contrapartida, estando sua aplicação condicionada a implantação do PSA aos proprietários rurais optantes pela adesão ao programa (PMCG, 2012).

Não havendo recursos suficientes para a execução completa do programa, elencou-se, com base nos estudos disponibilizados no Plano de Manejo da sub-bacia

do Guariroba que possui área de 7.600 ha, 16 propriedades situadas total ou parcialmente na bacia, como prioridade para a implantação do projeto piloto de recuperação, conservação e PSA (PMCG, 2012).

Após o convencimento, das partes em 2009, da importância da implantação do PSA, em 2010, houve o esforço inicial associado aos estudos sobre as alternativas para institucionalizar legalmente o PSA e prover recursos necessários a sua manutenção, haja vista que os recursos disponibilizados inicialmente, R\$ 888.000, se destinavam exclusivamente à execução de obras e serviços, e para a efetivação do PSA seriam necessários recursos adicionais. Assim, restava uma lacuna. De onde viriam os recursos para o PSA aos produtores? (PMCG, 2012)

Nesse momento, todos os discursos apontavam para a concessionária Águas Guariroba S/A, que deveria arcar com os custos, porém, sem o repasse aos consumidores (PMCG, 2012).

Essa discussão percorreu os Conselhos Municipais, a Câmara de Vereadores, as ONGs, a Agência de Regulação de Serviços Públicos do município, dentre outras instâncias, sendo equacionadas por meio da publicação do Decreto nº 11.303, de 2 de setembro de 2010, que altera dispositivo do Decreto nº 7.884, de 30 de julho de 1999, e que institui o PSA como instrumento de gestão ambiental dentro do Fundo Municipal de Meio Ambiente (FMMA).

O Decreto nº 7.884/199 estabelece também os meios de captação de recursos para prover o PSA que podem ser obtidos, preferencialmente, por meio das empresas concessionárias de serviços de saneamento e geração e distribuição de energia elétrica, empreendimentos instalados dentro da bacia hidrográfica, recursos provenientes de leis ou contratos, bem como outros recursos alocados no FMMA para ações diversas. Incluí ainda recursos provenientes de transferências consignadas de dotações orçamentárias provenientes do município, taxas de licença ambiental, multas por infração ambiental ou urbanística, doações, legados e contribuições de empresas, rendimentos e aplicações no mercado financeiro, financiamentos destinados a projetos e programas ambientais, auxílios e subvenções e outras transferências dos governos Federal e Estadual, compensações ambientais e o ICMS Ecológico. Nesse mesmo Decreto, são definidos os fins para aplicação dos recursos (PMCG, 2012).

Simultaneamente a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (SEMADUR) publicou a Resolução nº 004, que cria o Programa Manancial Vivo (PMV) no âmbito do município de Campo Grande, a Resolução SEMADUR nº 006, que cria a Unidade Gestora do Projeto (UGP) no âmbito do Conselho Gestor da Unidade de Conservação e o Edital nº 001/2010, que estabelece as regras para o credenciamento de proprietários rurais visando à seleção de propostas destinadas a conservação de solo, água e florestas e ao recebimento de PSA no município de Campo Grande, estruturando legalmente o PMV e o PSA (PMCG, 2012).

É importante destacar que o Ministério Público Estadual (MPMS) atuou, no âmbito do Programa Manancial Vivo, de forma direta e indireta na restauração e conservação da bacia do Guariroba (PMCG, 2012).

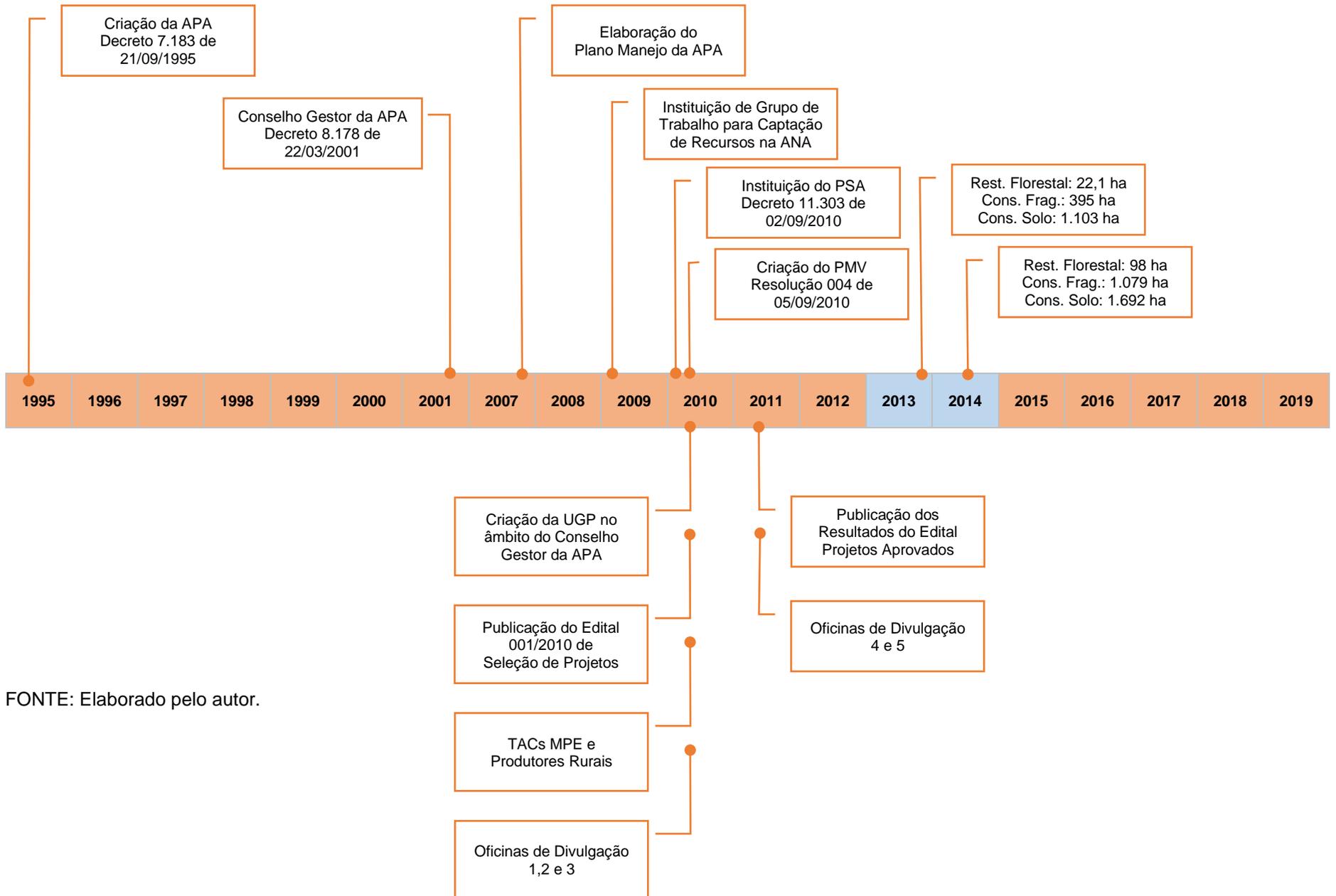
Cooperando de forma indireta, o MPMS encaminhou recursos que visam auxiliar a implementação do PSA (Pagamento de Serviços Ambientais) (PMCG, 2012).

Estes recursos são oriundos principalmente de TACs (Termo de Ajustamento de Conduta), de processos judiciais de execução de multas em razão de descumprimento de TAC, ou Ações Cíveis Públicas com indenização ambientais que são depositadas no Fundo Municipal de Meio Ambiente (FMMA) e direcionadas especificamente para financiar ações para melhorar a qualidade ambiental da bacia do Guariroba (MPMS, 2019).

O MPMS também atuou de forma direta em favor da bacia hidrográfica uma vez que, desde 2008, foram instaurados 57 procedimentos, entre Inquéritos Cíveis e Procedimentos Administrativos em defesa dessa da APA. Foram firmados 39 TACs, ajuizadas cinco Ações Cíveis Públicas e executados 13 TACs por descumprimento. Em 2019, existiam 15 TACs sendo fiscalizados perante a 26ª Promotoria de Justiça e ainda tramitando cinco Inquéritos Cíveis (MPMS, 2019).

Em 2015, o Ministério Público Estadual notificou produtores da região por inconformidades com as diretrizes ambientais do Plano de Manejo da APA do Guariroba. Neste período, nove procedimentos foram instaurados e, para citar apenas um exemplo, à época constatou-se que algumas propriedades tinham somente 30 metros de largura destinados para a APP, enquanto o Plano de Manejo determina que, dentro da APA, a área de APP deve ser de 50 metros de largura. Também foram constatadas ausência de prática de conservação do solo (MPMS, 2019).

Figura 14. Linha das Principais Intervenções na APA do Guariroba



FONTE: Elaborado pelo autor.

IMPACTO ESPERADO DO PROGRAMA ÁGUA BRASIL E DO PROGRAMA MANANCIAL VIVO NA BACIA

O impacto esperado da implementação dos programas na bacia é sintetizado a seguir (páginas 40-47) com base no estudo Análise do Impacto Hidro ambiental e Socioambiental do Programa Água Brasil & do Programa Manancial Vivo na Bacia do Córrego Guariroba (MS) elaborado por (WWF, 2018).

Quantidade dos serviços ambientais resultantes das ações do projeto na bacia

Os resultados das ações do PAB no Guariroba nas 21 propriedades analisadas podem ser divididos em benefícios para:

- i) a quantidade de água,
- ii) a qualidade da água e
- iii) a qualidade do solo, com a redução da erosão nas propriedades.

Os resultados do aumento da quantidade de água e da melhoria da qualidade de água acontecem “fora da propriedade” (*off-site*) e o resultado da redução da erosão acontece “dentro da propriedade” (*on-site*).

Aumento da Quantidade de Água no Período de Estiagem

As ações de conservação do solo e de reflorestamento na bacia devem aumentar a infiltração da água e diminuir o escoamento na superfície. Desta forma, aumenta a oferta de água em períodos de estiagem, justamente quando há mais procura e conflitos pelo uso da água na bacia. As ações do PAB no Guariroba contribuem para a diminuição do escoamento de água na bacia, evitando a vazão de base durante a estiagem. Analisando outras bacias com área, clima e aspectos físicos semelhantes à bacia do Guariroba, percebe-se que quando o coeficiente de escoamento (CN) diminui na bacia, a vazão de base durante a estiagem aumenta.

Os valores de vazão de base antes e depois do projeto são calculados utilizando o coeficiente de escoamento para a bacia, antes e depois das ações. O valor de CN é tabelado (Rawls et al., 1992) e conseguido com base na combinação do tipo de solo e do seu uso e manejo.

A empresa de saneamento Águas de Guariroba, que capta água na bacia, possui capacidade instalada de 1.400 L.s^{-1} e vazão média captada de 1.110 L.s^{-1} . A procura de água pela população consumidora do Sistema de Abastecimento Guariroba, cerca de 300 mil pessoas, aumenta nos períodos de estiagem, quando as vazões são reduzidas.

Melhoria da Qualidade de Água

A melhoria da qualidade da água acontece com a diminuição do aporte de sedimento nos cursos d'água da bacia. Isso permite que os custos de tratamento de água da empresa de saneamento local sejam menores, já que a empresa não precisa mais usar tantos produtos químicos (como o sulfato de alumínio, por exemplo) e a água fica menos turva após as chuvas intensas, causando menos interrupções no abastecimento.

Diminuição de Erosão nas Glebas Participantes

As ações de conservação do solo e de reflorestamento causam uma grande diminuição da erosão nas propriedades participantes. Isso colabora para um aumento da produção agropecuária (em áreas de pastagem) e florestal (de áreas de silvicultura).

Para medir esse resultado dentro da propriedade, foi calculada a diferença entre a erosão média na propriedade, antes e depois das ações do PAB no Guariroba. Calculou-se também a perda média de solo nas propriedades, causada pela erosão.

A perda média de solo na bacia antes das ações do projeto era de $3,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A tolerância de perda de solo é de $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, em várias áreas da bacia há valores acima da tolerância de perda de solo, principalmente nas áreas usadas pelo homem.

Cerca de 51% da bacia (18.477 ha) estão sofrendo erosão acima da taxa tolerável de perda de solo. E exatamente nessas áreas que ações de conservação precisam ser realizadas

Para a conservação do solo e da água do PAB no Guariroba foram feitas ações de implantação de terraços de retenção em áreas com declive superior a 3% e reflorestamento de APPs degradadas ou inexistentes.

Benefícios dos resultados socioeconômicos das ações do projeto na bacia

Depois de apresentar os serviços relacionados à quantidade e à qualidade de água na bacia, foram identificados os resultados socioeconômicos dessas ações.

Quadro 7. Resultados socioeconômicos das ações do PAB no Guariroba, quem se beneficia e quais os benefícios.

Resultado	Quem se beneficia	Benefício
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Quantidade de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa de saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Lucro com o aumento de oferta de água tratada na estiagem
	<ul style="list-style-type: none"> • Pop. consumidora de água 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento dos consumidores de água
<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria da Qualidade da Água 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresa de saneamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos custos de tratamento
<ul style="list-style-type: none"> • Redução da Erosão nas Propriedades 	<ul style="list-style-type: none"> • Proprietários rurais 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da produtividade/renda

FONTE: WWF, 2018.

Benefício econômico para a empresa de saneamento com o aumento de oferta de água na bacia

A concessionária Águas de Guariroba é responsável pelo abastecimento de água de 300 mil pessoas na cidade de Campo Grande (MS) a partir do Córrego Guariroba. Seu sistema conta com uma barragem de derivação (usada para desviar os cursos da água, uma estação de bombeamento e uma estação de tratamento de água (ETA).

Já que a capacidade do Sistema Guariroba é de 1.400 L.s⁻¹ e que a vazão média é de 1.100 L.s⁻¹ e considerando também que as ações do projeto causaram o aumento de vazão de base nos períodos de estiagem, entende-se que o benefício econômico para a empresa de saneamento local é o lucro que ela consegue com a venda do volume de água tratada adicional para a população.

Benefício econômico da redução dos custos de tratamento de água pela empresa de saneamento, causada pela melhoria da qualidade da água na bacia

A redução do aporte de sedimento na bacia representará redução dos custos de tratamento de água, pois serão usados menos reagentes químicos (como o sulfato de alumínio) e também haverá menos interrupções do tratamento após as chuvas intensas, já que as águas ficarão menos turvas.

Para saber qual o benefício econômico da melhoria da qualidade de água com as ações do PAB no Guariroba, foi usada como referência uma relação entre a área conservada em bacias do Programa Paraná-Rural, implantado no sudoeste do Paraná, e os custos de tratamento de água da empresa de saneamento estadual (Sanepar).

Assim, considerando a situação antes do projeto (sem áreas conservadas) e a situação após a implantação das ações, conseguiu-se saber quais são os custos de tratamento de água antes e depois do projeto. A diferença entre as duas situações é o benefício econômico das ações do projeto para a empresa de saneamento.

Os benefícios econômicos para a empresa de saneamento com o aumento da vida útil do reservatório do Sistema Guariroba não foram analisados, mas acredita-se que sejam importantes, já que 18% de todo o sedimento acumulado por causa da erosão chegam anualmente ao reservatório.

Aumento do excedente dos consumidores de água

O benefício socioeconômico das ações do projeto na bacia foi calculado pelo modelo do Excedente do Consumidor de Marshall, a partir de análises de oferta e demanda de água tratada pela empresa de saneamento local.

Os 300 mil consumidores de água do Sistema de Abastecimento Guariroba, consumindo um volume de água tratada anual Q_0 (antes do projeto) de $34,69 \times 10^6$ m³, na tarifa média de R\$ 4,00/m³, têm atualmente um excedente do consumidor (E_c) de R\$ 90,2 milhões/ano.

Este excedente representa o benefício atual que os consumidores estão recebendo ao consumirem o volume atual anual de água tratada a um preço (tarifa) médio de R\$ 4,00/m³.

O aumento da oferta de água causado pelas ações do projeto resultará um aumento no excedente do consumidor, o que consideramos um benefício social do projeto.

Benefício Econômico para os Proprietários Rurais Participantes do Projeto

As ações do projeto diminuem a erosão nas propriedades participantes, o que aumenta a produtividade do solo e diminui os riscos de perdas econômicas na produção agropecuária e florestal.

De acordo com Hansen & Ribaudó (2008), o benefício unitário médio da diminuição de erosão na propriedade é de US\$ 1,0/t, equivalente a R\$ 4,00/t (câmbio de novembro/2015).

Resultados esperados das ações do projeto na bacia

Os resultados das ações do PAB no Guariroba estão relacionados à quantidade, à qualidade da água na bacia e à diminuição da erosão dentro das propriedades, em cada um dos três períodos analisados.

Os benefícios relacionados à quantidade e à qualidade da água acontecem “fora das propriedades” e os benefícios relacionados à diminuição da erosão acontecem “dentro da propriedade”.

Resultados do projeto em relação à quantidade de água

O Quadro 7 mostra os resultados das ações do PAB no Guariroba em relação ao aumento da quantidade de água (DQb) na bacia e o valor disso para a empresa de saneamento e para a população consumidora de água de Campo Grande.

Quadro 8. Resultados das ações do projeto em relação à quantidade de água, nos três períodos analisados.

Período	Duração	Ações Implantadas	Área Acumulada (ha)	DQ_b ($m^3 \cdot s^{-1}$)	% Cap. SAG.
2013-2015	3 anos	Terraceamento	5.154,9	0,15	0,15
2013-2017	5 anos	Terraceamento e Silvicultura	7.023,9	0,22	0,22
2018-2027	10 anos	Terrac., Silv. e Rest. APP	7.457,7	0,26	0,26

FONTE: WWF, 2018.

Conforme as ações do projeto são implantadas, aumenta a quantidade de água na bacia. Na coluna da direita é mostrado o percentual da capacidade instalada do Sistema de Abastecimento de Água Guariroba, que é atendido com os aumentos de vazão de base.

Resultados do projeto em relação à qualidade de água

A redução do aporte de sedimento na bacia (DY) causa a melhoria da qualidade de água (Quadro 8).

Quadro 9. Resultados das ações do projeto relativos à redução do aporte de sedimento (DY) na bacia, nos três períodos.

Período	Duração	Ações Implantadas	Área Acumulada (ha)	DY (t/período)
2013-2015	3 anos	Terraceamento	5.154,9	1.382
2013-2017	5 anos	Terrac. e Silvicultura	7.023,9	3.679
2018-2027	10 anos	Terrac., Silv. e Rest. APP	7.457,7	7.813

FONTE: WWF, 2018.

Os benefícios sentidos com a melhoria da qualidade da água na bacia serão percebidos desde o início, pois as ações de terraceamento permitem um ótimo controle do aporte de sedimento.

Resultados do projeto com a diminuição da erosão nas propriedades participantes

As ações de conservação do solo e da água nas propriedades participantes deverão causar uma grande diminuição da erosão nessas propriedades.

Esse benefício “dentro das propriedades” ajuda a manter a produtividade agropecuária e florestal dos solos, aumentando a sustentabilidade dessas atividades.

Quadro 10. Resultados das ações do projeto com a diminuição da erosão nas propriedades participantes, nos três períodos.

Período	Duração	Ações Implantadas	Área Acumulada (ha)	ΔAt (t/período)
2013-2015	3 anos	Terraceamento	5.154,9	30.600
2013-2017	5 anos	Terrac. e Silvicultura	7.023,9	81.474
2018-2027	10 anos	Terrac., Silvíc. e Rest. APP	7.457,7	173.013

FONTE: WWF, 2018.

Assim como acontece com os benefícios “fora da propriedade”, o benefício conseguido com a diminuição da erosão nas propriedades será sentido mesmo no curto prazo, pois as ações de terraceamento já permitem um bom controle da erosão

Resultados nas propriedades participantes do PAB no Guariroba

O Quadro 10 apresenta os resultados nas propriedades participantes do projeto com o aumento da vazão de base (ΔQ_b), diminuição da erosão total (ΔA_t), percentual de diminuição de erosão em relação à situação inicial (PAE) e diminuição do aporte de sedimento no curso d'água mais próximo (ΔY).

Quadro 11. Resultados nas propriedades participantes do projeto.

Propriedade	dQb ($m^3.s^{-1}$)	dAt ($t.ano^{-1}$)	PAE (%)	dY ($t.ano^{-1}$)
01 - A. Alegre	0,0031	186,1	50,3	46,7
02 - B. Vista	0,0044	350,3	45,3	97,5
03 - B. Jardim 1	0,0099	485,5	42,2	107,3
04 - B. Jardim 2	0,0091	686,8	43,3	152,9
05 - Cachoeira	0,0093	217,4	69,0	44,5
06 - Cantagalo	0,0743	3.915,7	70,1	974,0
07 - C. Pampas	0,0136	655,9	50,7	164,7
09 - Flora	0,0072	582,7	48,6	151,2
10 - Forquilha	0,0015	118,0	44,4	37,7
11 - Guariroba	0,0133	1.230,1	57,4	362,5
12 - Meia Lua	0,0133	74,3	43,5	21,4
13 - M. do Sol	0,0189	1-578,2	54,2	382,2
14 - N. Alvorada	0,0062	411,1	47,7	118,6
15 - P. Guariroba A	0,0306	2.639,4	52,2	677,1
16 - P. Guariroba B	0,0065	259,1	50,6	62,7
17 - Saltinho	0,0063	307,2	45,4	98,2
18 - Santa Elvira	0,0026	115,1	40,5	34,3
19 - Santa Zira	0,0102	634,7	48,8	166,7
20 - Sossego	0,0083	1-247,4	70,0	313,3
22 - Tangará	0,0002	13,3	49,4	3,3
23 - Velho Saltinho	0,0222	1-593,1	50,3	379,7
Total	0,2600	17.301,3	-	4-396,7
Média	0,0124	823,9	51,1	209,4

FONTE: WWF, 2018.

Os benefícios das ações do projeto para as propriedades são importantes. Em média, o aumento da vazão de base seria de $12,4 L.s^{-1}$, a diminuição da erosão seria de $823,9 t.ano^{-1}$, com um percentual de diminuição médio de erosão de $51,1\%$ e uma diminuição média de aporte de sedimento de $209,4 t.ano^{-1}$.

PRINCIPAIS RESULTADOS DO PAB ENTRE 2010 E 2015

Segundo (WWF, 2015b) os principais resultados do PAB na bacia do Guariroba no período de 2010 a 2015 foram os seguintes:

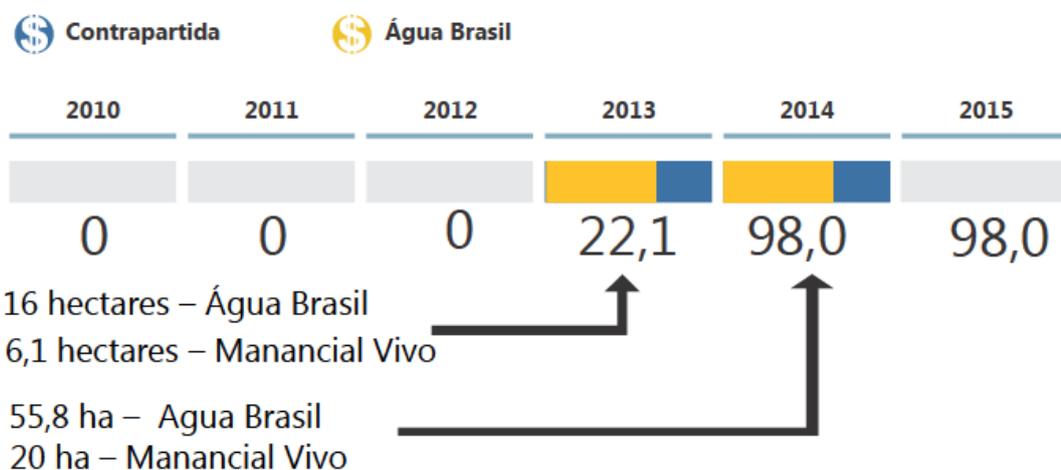
- 107 hectares restaurados.
- 461,9 hectares com boas práticas implementadas.
- 1.692 hectares com terraceamento realizado.
- 1.079 hectares de fragmentos conservados.
- 89 mil mudas plantadas.
- 23 pecuaristas utilizando práticas sustentáveis de produção.
- 15 produtores recebendo Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), sendo que cinco produtores recebem desde 2013.
- 1 Unidade Demonstrativa de recuperação de pastagem em solos arenosos.
- 1 Unidade Demonstrativa de modelo produtivo de integração lavoura-pecuária-floresta.
- 1 produtor adotando o sistema Voisin de manejo de pastagem.
- 8 grupos desenvolvendo estudos na área, incluindo o monitoramento hidrossedimentológico da microbacia.
- 484 pessoas envolvidas nas atividades do Água Brasil, entre estas 65 instituições.
- 15.358 hectares com corpos hídricos isolados através de cercamento.
- 9,2 km de estrada recuperada.

Até 2015, segundo WWF (2018), o total de recursos investidos na bacia foram R\$ 5,0 milhões, sendo R\$ 2,1 milhões aportados pelo PAB e R\$ 2,9 milhões de contrapartidas. Ou seja, até 2015 foram investidos pelo PAB cerca de 10% do valor total previsto pelo programa para o período 2013 - 2027.

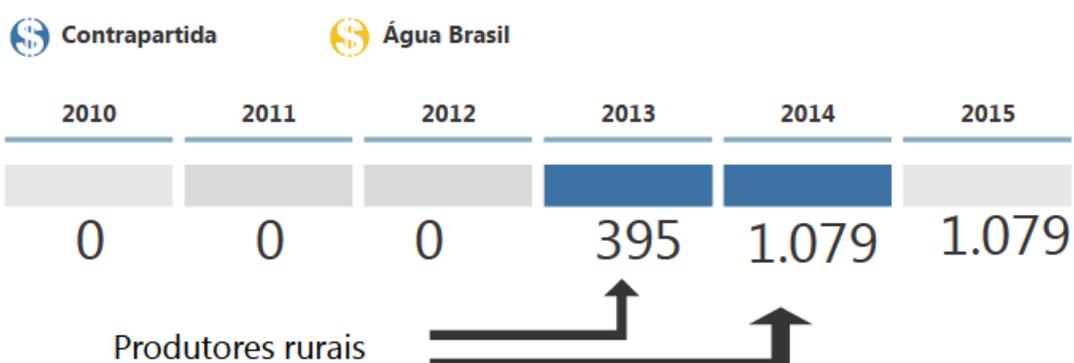
A Figura 10 resume os principais resultados do Programa Água Brasil entre 2010 e 2015.

Figura 15. Principais Resultados do Programa Água Brasil entre 2010 e 2015

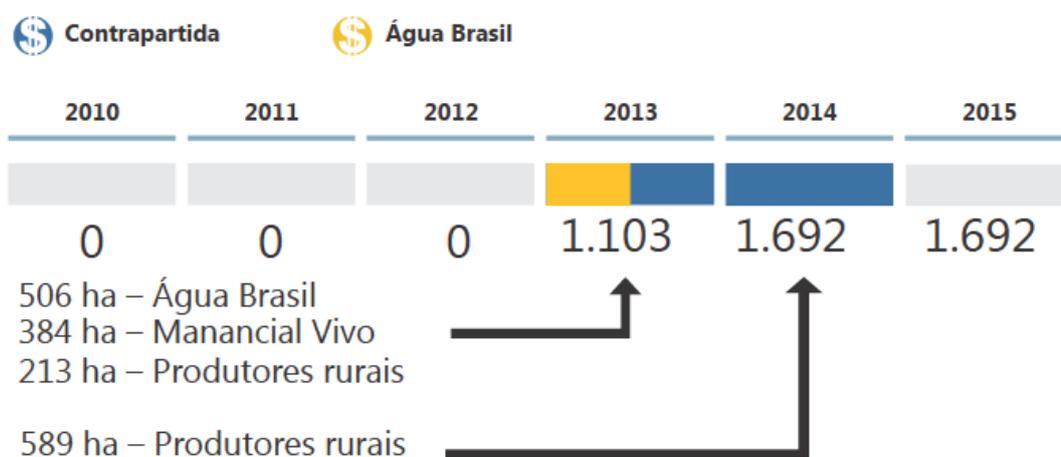
Restauração Florestal



Conservação de Fragmentos Florestais



Conservação de Solo



FONTE: Adaptado de WWF (2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anselmetti, F. S., Hodell, D. A., Ariztequi, D., Brenner, M., and Rosenmeier, M. F. (2007) Quantification of soil erosion rates related to ancient Maya deforestation. *Geology*, 35(10), 915–918.

Asquith, Nigel M., Maria Teresa Vargas, and Sven Wunder. 2008. "Selling Two Environmental Services: In-Kind Payments for Bird Habitat and Watershed Protection in Los Negros, Bolivia." *Ecological Economics* 65(4): 675–84.

Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., and Ratnayaka, D. D. (2017) Chapter 2 - Water Supply Regulation, Protection, Organization and Financing. *Twort's Water Supply* (Seventh Edition), 37–63. [online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081000250000028>.

Brasil. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências. Brasília: DOU de 28/4/1981.

Brasil. Lei nº 9.985, de 9 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: DOU de 19/7/2000.

Carvalho, G. A., Rodrigues, D. B. B., Sobrinho, T. A., and Oliveira, P. T. S. (2018) Science of the Total Environment Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 655(November). [online] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319>.

Cavazzana, G.H. (2018). Relação entre a água superficial e a água subterrânea da Área de Proteção Ambiental do Guariroba, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. UFMS, Tese Doutorado Programa PGTA, Campo Grande, 137p.

Conway, Tenley M., and Richard G. Lathrop. 2005. "Alternative Land Use Regulations and Environmental Impacts: Assessing Future Land Use in an Urbanizing Watershed." *Landscape and Urban Planning* 71(1): 1–15.

Engel, S., S. Pagiola, and S. Wunder. 2008. "Designing payments for environmental services in theory and practice: An over-view of the issues." *Ecological Economics*, 65(4), pp.663-674.

Figueiredo, H. P., Figueiredo, C. R. P., Barros, J. H. de S., Constantino, M., Magalhães Filho, F. J. C., de Moraes, P. M., and da Costa, R. B. (2019) Water quality in an urban environmental protection area in the Cerrado Biome, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2).

Fiore, F. A., Bardini, V. S. dos S., and Novaes, R. C. Monitoramento da qualidade de águas em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos: estudo de caso no município de São José dos Campos/SP. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(6), 1141–1150. 2018.

Fuller, J.A., Goldstick, J., Bartram, J., Eisenberg, J.N.S. (2016). Tracking progress towards global drinking-water and sanitation targets: A within and among country analysis. *Science of the Total Environment*, 541:857–864.

Garcia, A. S., Acorci Filho, L. C., & Garcia, S. D. (2014). Integrando ecologia, economia e geotecnologia em tomadas de decisão. *Interações (Campo Grande)*, 15(2), 373-382.

García, C. E. Roa, and S. Brown. 2009. "Assessing Water Use and Quality through Youth Participatory Research in a Rural Andean Watershed." *Journal of Environmental Management* 90(10): 3040–47.

Gibson, J.J, Birks, S.J, Yi, Y., Shaw, P., Moncur, M.C. (2018). Isotopic and geochemical 25 surveys of lakes in coastal BC: Insights into regional water balance and water quality 26 controls. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 17, 47-63. 27 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.006>

Haller L, Hutton G, Bartram J. (2007). Estimating the costs and health benefits of water and sanitation improvements at global level. *Journal of Water and Health*, 5 (4).

Hamilton, C. and Macintosh, A. (2009) *Environmental Protection and Ecology*, Elsevier Inc. [online] <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11125-X>.

Han, Ziming, Wei An, Min Yang, and Yu Zhang. 2020. "Assessing the Impact of Source Water on Tap Water Bacterial Communities in 46 Drinking Water Supply Systems in China." *Water Research* 172: 115469. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115469>.

Hejazi, M., Edmonds, J., Clarke, L., Kyle, P., Davies, E., Chaturvedi, V., Kim, S. (2014). Long-term global water projections using six socioeconomic scenarios in an integrated assessment modeling framework. *Technological Forecasting and Social Change*, 81(1), 205–226.

Hoang, Linh et al., 2019. "Phosphorus Reduction in the New York City Water Supply System: A Water-Quality Success Story Confirmed with Data and Modeling." *Ecological Engineering* 135(April): 75–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.029>.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE – IUCN. Conservation units.1994. Disponível em: <<http://www.iucn.org>>. Acesso em: 10 out. 2019.

Jujnovsky, Julieta et al., 2017. "Water Assessment in a Peri-Urban Watershed in Mexico City: A Focus on an Ecosystem Services Approach." *Ecosystem Services* 24: 91–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.005>.

Junior, A. P. M., Cota, G; E. M., Lemos, R. S. (2016) Contradições e desafios para a proteção de mananciais hídricos em Minas Gerais – os casos das áreas de proteção especial de Vargem das Flores e Serra Azul – região metropolitana de Belo Horizonte. *Caminhos de Geografia*, 17 (60), 89–104.

Kändler, M., Blechinger, K., Seidler, C., Pavlů, V., Šanda, M., Dostál, T., Krása, J., Vitvar, T., and Štich, M. (2017) Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the Total Environment*, 586, 1316–1325.

Karr, J. R. and Dudley, D. R. (1981) Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5(1), 55–68.

Kazi, T.G., Arain M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A., 31 Shah A.Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate 32 statistical techniques: A case study. *Ecotox Environ Safe*, 72, 301-309. 33 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>

KOFANOSVSKI, A.A. (2016). O programa produtor de água e sua influência na qualidade da água em represa de abastecimento. Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. UFMS, Dissertação de Mestrado Programa PGTA, Campo Grande, 77p.

Levine, N., 1999. The effects of local growth controls on regional housing production and population redistribution in California. *Urban Stud.* 36 (12), 2047–2068.

Logan, J.R., Zhou, M., 1989. Do suburban growth controls control growth? *Am. Sociol. Rev.* 54, 461–471.

Marmontel, C. V. F., Lucas-Borja, M. E., Rodrigues, V. A., and Zema, D. A. (2018) Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). *Science of the Total Environment*, 622–623, 690–701. [online] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.011>.

Medeiros, G. de O. R., Giarolla, A., Sampaio, G., and Marinho, M. de A. (2016) Diagnosis of the accelerated soil erosion in São Paulo State (Brazil) by the soil lifetime index methodology. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40, 1–15.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>>. Acesso em: maio 2019.

Mokondoko, Pierre, Robert H. Manson, and Octavio Pérez-Maqueo. 2016. "Assessing the Service of Water Quality Regulation by Quantifying the Effects of Land Use on Water Quality and Public Health in Central Veracruz, Mexico." *Ecosystem Services* 22: 161–73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.001>.

Narcizo, G., Lima, D., Adelaide, M., and Magaña, V. (2018) Urban water supply and the changes in the precipitation patterns in the metropolitan area of São Paulo – Brazil. *Applied Geography*, 94(May 2017), 223–229. [online] <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.010>.

Nunes, M. C. M., Neves, S. M. A. da S., Neves, R. J., Kreitlow, J. P., and Antonio Marcos CHIMELLO (2013) Susceptibility to water erosion of soils from the municipality Salto do Céu, SW Mato Grosso State. , 191–206.

Oliveira, A. K. M., Fernandes, V., Pirajá, R. V., & Silva, M. H. S. (2017). Avaliação multitemporal das paisagens da Área De Proteção Ambiental (APA) dos mananciais do Córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, por meio de imagens de satélites. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 42, 08-20.

Osei, J., Nyame, F., Armah, T., Osa, S., Dampare, S., Fianko, J., Adomako, D., Bentil, 22 N. (2010). Application of Multivariate Analysis for Identification of Pollution Sources in 23 the Densu Delta Wetland in the Vicinity of a Landfill Site in Ghana. *Journal of Water 24 Resource and Protection*, 2,1020-1029. DOI: 10.4236 / jwarp.2010.212122

Ouyang, Ying. 2012. “A Potential Approach for Low Flow Selection in Water Resource Supply and Management.” *Journal of Hydrology* 454–455: 56–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.062>.

Pagiola, S., and G. Platias. 2007. *Payments for Environmental Services: From Theory to Practice*. Washington: World Bank.

PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba. Campo Grande, MS. 2008.

PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. Programa Manancial Vivo – Relatório 2009 a 2011. Campo Grande, MS. 2012. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/downloads/programa-manancial-vivo-relatorio-2009-a-2011>>. Acesso em: maio 2019.

Prestes, L. D., Perello, L. F. C., and Gruber, N. L. S. (2018) Métodos para avaliar efetividade de gestão: o caso particular das Áreas de Proteção Ambiental (APAs). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 340–359.

Randhir, Timothy O., Robert O’Connor, Paul R. Penner, and David W. Goodwin. 2001. “A Watershed-Based Land Prioritization Model for Water Supply Protection.” *Forest Ecology and Management* 143(1–3): 47–56.

Rockström J., Steffen W., Noone K., et al., (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472–475.

São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil. Organização Stefano Pagiola; Helena Carrascosa von Glehn; Denise Taffarello. São Paulo : SMA/CBRN, 2013.

Seelen, L. M. S., Flaim, G., Jennings, E., and De Senerpont Domis, L. N. (2019) Saving water for the future: Public awareness of water usage and water quality. *Journal of Environmental Management*, 242(April), 246–257. [online] <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.047>.

Shrestha, S., Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate 31 statistical techniques: a case study of the Fuji river basin. *Japan. Environ. Model Softw*, 32 22, 464–475. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>

Sone, J. S., Gesualdo, G. C., Zamboni, P. A. P., Vieira, N. O. M., Mattos, T. S., Carvalho, G. A., Rodrigues, D. B. B., Alves Sobrinho, T., and Oliveira, P. T. S. (2019) Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 655(November), 1197–1206. [online] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319>.

Steiner, Frederick et al., 2000. “A Watershed at a Watershed: The Potential for Environmentally Sensitive Area Protection in the Upper San Pedro Drainage Basin (Mexico and USA).” *Landscape and Urban Planning* 49(3–4): 129–48.

Tantoh, Henry Bikwibili, and Danny Simatele. 2018. “Complexity and Uncertainty in Water Resource Governance in Northwest Cameroon: Reconnoitring the Challenges and Potential of Community-Based Water Resource Management.” *Land Use Policy* 75(March): 237–51. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.03.044>.

Vega, M., Parda, R., Barrada, E., Deban, L. (1998). Assessment of season a and polluting 16 effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res.* 32, 3581- 17 3592. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9)

Wada, Y., Gleeson, T., & Esnault, L. (2014). Wedge approach to water stress. *Nature Geoscience*, 7(9), 615–617.

Whittington, D. (2011). Pricing Water and Sanitation Services. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Treatise on Water Science*, (1) 79–95.

WHO. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. Geneva, Switzerland 2017. ISBN 978-92-4-154995-0

World Bank. (2016). *World Development Indicators*. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-0683-4. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

Wunder, S. 2005. “Payments for environmental services: Some nuts and bolts.” CIFOR Occasional Paper No.42. Bogor: CIFOR

WWF. World Wildlife Fund. Avaliação de Impacto Econômico e Socioambiental na Bacia do Guariroba - Campo Grande (MS), ago. de 2018. Disponível em:< https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/relatorio_guariroba_digital_v4.pdf >. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

WWF. World Wildlife Fund. Portfólio de Boas Práticas Agropecuárias, out. de 2015a. Disponível em: < <https://www.wwf.org.br/informacoes/biblioteca/aguabrasil/?56613/portfolio-pab-boas-praticas> >. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

WWF. World Wildlife Fund. Eixo Água & Agricultura Guariroba, ago. de 2015b. Disponível em: < <https://blogaguabrasil.com.br/> >. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

WWF. World Wildlife Fund. Resultados do Programa Água Brasil 2010-2015, abr. de 2016. Disponível em: < https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/relatorio_fase_1.pdf >. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

A Influência do Plano de Manejo e do Pagamento por Serviços Ambientais na Qualidade e Quantidade da Água para Abastecimento Público

Frederico Luiz de Freitas Jr.^{1,2}, Michel Ângelo Constantino de Oliveira^{1,2,3} & Fernando J.C. Magalhães Filho^{1,2,3,*}

¹ Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Agrosantech – Saneamento Sustentável focado em Agrotecnologias. Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, CEP 79117-900, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, CEP 79117-900, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Desenvolvimento Local, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, CEP 79117-900, Brasil.

*Autor correspondente: e-mail: fernando@ucdb.br

RESUMO

A integração entre a gestão ambiental e de recursos hídricos por meio de ações integradas e coordenadas é prevista pelas políticas desses setores. Entretanto, ainda há discussões com relação a efetividade dessas medidas e ações ambientais sem a real implementação de programas e ações coordenadas, como simplesmente apenas a elaboração de Planos de Manejo nas Áreas de Proteção Ambiental (APA). O Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Água, é um exemplo de um programa de pagamento por serviços ambientais que por meio de práticas conservacionistas, com foco na conservação do solo e da água, integra a gestão pública com o setor privado. Sendo assim, o objetivo foi avaliar a influência do Plano de Manejo e o programa de pagamento por serviços ambientais “Produtor de Água”, após 10 anos, na qualidade e quantidade da água na APA do Guariroba.

O índice de qualidade da água (IQA) se manteve entre “Bom” e “Ótimo” entre 2015 e 2019, período em que foi possível calculá-lo. Os parâmetros que mais apresentaram redução neste período (2015-2019) foram a Turbidez, Sólidos e DQO. Também se constatou aumento de vazão entre 2015 e 2016.

Os bons níveis da qualidade da água na bacia entre 2015 e 2019 permite concluir a influência positiva das práticas de conservação do solo na quantidade e qualidade da água captada para abastecimento público, principalmente quanto a diminuição de sólidos em suspensão decorrente da diminuição da perda de solo na bacia.

Keywords: produtor de água, APA do Guariroba, Cerrado.

Introdução

Em uma perspectiva ecológica, os seres humanos são considerados parte integrante do ecossistema, portanto, separar a humanidade do ambiente natural pode desencadear medidas insustentáveis, com isso, ações eficazes devem ser postas em prática para evitar a superexploração dos recursos naturais (Hamilton et al., 2018). A progressiva substituição da vegetação natural por pastagens cultivadas, associada a determinadas situações em que o manejo do solo não é compatível com a capacidade de suporte ambiental local, tem gerado impactos expressivos em diversas bacias hidrográficas ao redor do mundo, sobretudo no que se refere a processos erosivos e ao assoreamento dos corpos d'água naturais (Kändler et al., 2017). Em um estudo realizado por Marmontel et al., (2018) no Estado de São Paulo, as nascentes de água com vegetação ribeirinha desenvolvida de floresta natural mostraram melhores condições no ambiente aquático, quando comparadas com nascentes de água com pastagens ou atividades agrícolas, em que detectou-se um agravamento geral da qualidade da água (piores concentrações de turbidez, cor, pH, nitritos e nitratos).

A melhoria da qualidade dos recursos hídricos deve ser abordada com uma perspectiva muito mais ampla do que a simples melhoria das condições físicas/químicas da água, considerando por exemplo os programas de controle de erosão com o objetivo de alcançar uma integridade ecológica (Karr; Dudley, 1981). Porém, embora o impacto significativo do uso da terra na qualidade da água ter sido bem documentado, estudos mais aprofundados sobre sua complexa associação são fundamentais, uma vez que fatores hidrológicos, de incidência solar, temperatura e química da água também são controlados por aspectos regionais, como geologia, topografia ou clima (Kändler et al., 2017; Marmontel et al., 2018).

A Região Metropolitana de São Paulo apresenta hoje uma das situações mais críticas no Brasil, no que diz respeito à garantia de abastecimento de água suficiente em quantidade e qualidade à

sua população. O declínio dos recursos hídricos, juntamente com o aumento da demanda por água potável, já se tornou uma questão política em muitas localidades, sugerindo a necessidade de melhorias nos sistemas o que inclui uma gestão mais eficiente e uma atenção especial às questões relacionadas a urbanização desordenada, alertando os demais Estados brasileiros à esta problemática (Narcizo et al., 2018). Em contrapartida, em um trabalho realizado por Junior et al., (2016) em Minas Gerais, Brasil, que busca enfatizar a efetividade de uma unidade de conservação na proteção de mananciais de abastecimento público de água, concluíram que há ineficiência das áreas protegidas como instrumento regulador das pressões humanas nas bacias de contribuição dos mananciais.

Nesse sentido, fica evidente a necessidade de um manejo adequado do solo, bem como a proteção dos mananciais da bacia hidrográfica para uma efetividade da utilização de um curso d'água em termos qualitativos e quantitativos para abastecimento humano, destacando um papel importante das Unidades de Conservação (UCs), e conseqüentemente, das Áreas de Proteção Ambiental (APAs), para uma melhora efetiva dos parâmetros considerados numa análise de disponibilidade hídrica. Figueiredo et al., (2019), avaliaram diversos parâmetros físico-químicos de qualidade da água para abastecimento humano na APA do Lajeado, em Campo Grande, MS, a fim de se verificar se a transformação desta bacia hidrográfica em uma unidade de conservação resultou na manutenção da qualidade da água. Os autores constataram que a criação formal da área de proteção ambiental do Lajeado não proporcionou a melhoria efetiva ou manutenção de suas condições ambientais, de forma que estatisticamente, houve decréscimo no índice de qualidade da água ao longo do período estudado. Concomitante ao que afirmam outros autores, que a criação de uma unidade de conservação é, por si só, insuficiente e carece da implementação de programas e ações eficazes relacionados ao uso do solo, ocupação e qualidade da água (Junior et al., 2016; Figueiredo et al., 2019). Vale destacar que principalmente nos centros urbanos, a qualidade da água tem sido comprometida pelo

lançamento de efluentes e resíduos, de forma que a presença de determinados organismos e substâncias em mananciais de abastecimento de água pode provocar vários inconvenientes, tanto para o próprio ambiente aquático quanto para o sistema de tratamento da água captada, chamando mais uma vez a atenção da participação da população nesse processo.

Kofanovski (2016) analisou a influência da implantação do Programa Produtor de Água sobre a qualidade da água e verificou a correlação existente entre os parâmetros e seus comportamentos quanto a sazonalidade. Concluiu que os parâmetros Nitrogênio Total, Fósforo Total, pH, Turbidez e Temperatura apresentaram comportamento estável quanto a sazonalidade, ao contrário dos Sólidos Dissolvidos Totais e *Escherichia coli* que se apresentaram instáveis neste aspecto. A concentração de Fósforo Total esteve acima do previsto na legislação apresentando comportamento contrário ao esperado, já que com a redução da erosão hídrica a expectativa era de que as concentrações de Fósforo também diminuíssem. Embora o cultivo de eucalipto tenha contribuído para a redução do aporte de sedimentos, o reservatório ficou mais eutrofizado.

O uso e ocupação do solo influenciam nos aspectos relacionados à qualidade da água, e há evidências de que a quantidade de água também pode ser afetada (Sone et al., 2019). A ausência dessas medidas faz com que seja agravado o processo de assoreamento, que consiste no aporte de material mineral (areia, silte, argila) a um corpo d'água, diminuindo sua profundidade e seu volume útil e assim prejudicando diversos usos da água.

A principal origem do assoreamento está relacionada a movimentos de terra (abertura de loteamentos, construção de rodovias e exposição do solo, sem proteção, em áreas agrícolas) na bacia de drenagem do rio ou do lago. Afinal, quando ocorrem as chuvas, esse material é então carregado pelas águas do escoamento superficial até o corpo d'água mais próximo (Nunes et al., 2013).

Em um estudo realizado por Sone et al., (2019), em que se buscou avaliar a relação da redução da erosão do solo com a produção de água em uma área de proteção ambiental, na Bacia do Rio Guariroba, em Campo Grande, MS, os resultados mostraram que as práticas conservacionistas na bacia, tais como a construção de curvas de nível e a recuperação da mata ciliar, aumentam o fluxo de água e também forneceram uma melhor resiliência para suportar eventos extremos, como os períodos secos, embora não tenham avaliado a qualidade da água.

Embora a literatura apresente nos últimos anos a importância de avaliar ações em bacia com enfoque no engajamento e governança, poucos estudos avaliam o efeito da implementação de planos, programas e ações de incentivos, como uso de pagamento por serviços ambientais na qualidade e quantidade da água, especialmente em bacias que possuem mananciais para abastecimento.

Estudos realizados em países como a China, México, Colômbia, Estados Unidos, Camarões e Bolívia apontam e recomendam aspectos relacionados ao sucesso ou insucesso na proteção dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, como resumido no Quadro 1.

Quadro 1. Resumo de estudos sobre a proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

PAÍS	AUTOR	DESTAQUES/RECOMENDAÇÕES
CHINA	Han et al. (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção de mananciais em UCs, com gestão do solo e dos recursos hídricos, diminui o risco para a população • Implementar planos de segurança da água
MÉXICO	Mokondoko et al. (2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Relação entre deterioração da qualidade da água e cólera • Priorizar recursos para PSA com foco em quantidade e qualidade
COLÔMBIA	García e Brown (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • Envolvimento da comunidade local e governança resultam em participação mais ampla na gestão das águas
EUA	Conway e Lathrop (2005) Logan and Zhou (1989) Levine (1999) Steiner et al. (2000) Jujnovsky et al. (2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de ações regulatórias e não-regulatórias • Concentrar-se em áreas menores na bacia pode maximizar os benefícios para a qualidade da água • Articular e integrar esforços locais, estaduais e federais • Melhorar o processo de governança a partir da gestão de recursos hídricos
CAMARÕES	Tantoh and Simatele (2018)	<ul style="list-style-type: none"> • As falhas de gestão dos recursos hídricos se devem a: <ul style="list-style-type: none"> - Políticas descoordenadas - Estruturas institucionais fracas - Gestão de cima para baixo - Postura central sem autonomia local - Incapacidade dos usuários em contribuir com a gestão do sistema hídrico
EUA (NOVA YORK)	Hoang et al. (2019)	<ul style="list-style-type: none"> • PSA com envolvimento de parceiros vitais e agências governamentais • Fósforo na água resultava de plantações e de pastagens, principalmente próximas aos riachos • Controle da poluição não pontual mais eficaz durante altas vazões (cheia) • Controle de poluição pontual mais benéfico em períodos de vazões baixas (seca)
BOLÍVIA	Asquith et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Desafio dos PSA: construção de confiança sobre o pagamento e os ganhos das partes • Os produtores se submetem a monitoramento anual independente e são punidos por não conformidade • No início relutância dos agricultores em pagar. São beneficiários da estabilização da vazão na bacia

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade e quantidade da água em uma área de proteção ambiental, nos últimos 10 anos (2010-2019), após a implementação de um plano de manejo e mediante um programa de pagamento por serviços ambientais.

Materiais e métodos

Área de estudo, Plano de Manejo e o “Produtor de Água”

A área de estudo consiste na Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba, denominada APA do Guariroba. Com área total aproximada de 360 km², o território da APA é caracterizado essencialmente pela ocupação rural, com propriedades voltadas à pecuária extensiva. Atualmente, mais de 82% do território da APA são ocupados por pastagens artificiais. Constitui uma das três Áreas de Proteção Ambiental (Figura 1) situadas no município de Campo Grande, que possui também a APA dos Mananciais do Córrego Lajeado e a APA da Bacia do Córrego Ceroula (PMCG, 2008).

A APA do Guariroba foi instituída pelo Poder Público Municipal através do Decreto Nº 7.183, de 21 de setembro de 1995 e teve sua criação vinculada à necessidade de recuperação e conservação do principal sistema produtor de água bruta para abastecimento público de Campo Grande. Explorado inicialmente pela SANESUL (Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul), responsável pela construção do reservatório e pela implantação do sistema de captação e adução de água até a zona urbana em 1985, e onde atualmente a concessionária Águas Guariroba S.A. efetua a captação de 4.433 m³.h⁻¹ destinados ao abastecimento público (PMCG, 2008).

Esse sistema produtor de água, com a vazão indicada, responde por aproximadamente 35-50% do sistema de abastecimento de água de Campo Grande, dependendo da época do ano. Sendo complementado pelos sistemas superficiais dos córregos Lajeado e Desbarrancado (~15% da produção de água) e por um amplo conjunto de poços que exploram os recursos hídricos

subterrâneos (35-50% da produção de água), todos operados atualmente pela Águas Guariroba S.A (PMCG, 2008).

Na área de estudo, foi implementado o Plano de Manejo e um programa de pagamento por serviços ambientais, denominado Programa Produtor de Água (PPA) criado e financiado pela Agência Nacional de Águas (ANA), nos anos de 2008 e 2009, respectivamente. O PPA financiou a implementação de práticas conservacionistas (mecânicas-terraceamento em nível e vegetativas-silvicultura comercial e restauração de áreas de preservação permanente) nas propriedades rurais, abrangendo uma área total de 7.457,70 ha. A implementação do PPA na APA do Guariroba obteve resultados preliminares positivos com relação a quantidade de água, porém ainda não há informações claras sobre os efeitos na qualidade (SONE et al., (2019).

Coleta e tratamento de dados quali-quantitativos

Para a avaliação da qualidade da água por meio do IQA foram utilizados os dados obtidos junto a concessionária Águas Guariroba relativos às amostras coletadas ao longo do período 2015 - 2019, das quais foram analisados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de interesse para o abastecimento público de água. Complementarmente foram utilizados os dados de parâmetros selecionados para o período mais amplo de 2010 a 2019 (KOFANOVSKI, 2016).

Os parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), fósforo total, nitrogênio total, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, turbidez, sólidos totais, sólidos dissolvidos totais, temperatura, *Cryptosporidium*, *Giardia*, *E. Coli* e Clorofila A, seguiram as recomendações para amostragem, armazenamento e análise, de acordo com a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2012).

Também foram reunidos dados mensais dos parâmetros Clorofila A, Microcistinas, Cianobactérias, Cloreto Total, Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Manganês Total e Cromo Total. Os dados sobre *Cryptosporidium*, *Giardia*, Enterovírus foram obtidos de

resultados de análises semestrais fornecidas pela concessionária Águas Guariroba. Os valores dos parâmetros que ficaram abaixo do limite de detecção (LD) dos métodos analíticos foram substituídos pelo valor correspondente ao respectivo LD.

Os dados mensais de precipitação em Campo Grande, entre 2010 e 2019, foram obtidos a partir do Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC).

As vazões para o período 2010 a 2019 na seção a montante da captação foram estimadas por meio de estudo de regionalização de vazões a partir da sub-bacia do rio Pardo (Código da Estação: 63900001, Latitude: -20:26:29 e Longitude: -53:43:5) com a utilização do aplicativo Sistema de Informações Hidrológicas, Versão Web 3.0 de 2018, da Agência Nacional de Águas (ANA).

Cálculo do IQA – Índice de Qualidade da Água

O cálculo do índice de qualidade da água (IQA) seguiu o preconizado pela Fundação Nacional de Saneamento, considerando a adaptação feita pela Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB).

Nove parâmetros foram considerados com representativos para a caracterização da qualidade da água. O IQA possui valores entre 0 e 100 e é dividido em cinco grupos: 0 - 19, Fraco; 20 - 36, Ruim; 37 - 51, Aceitável; 52 - 79, Bom; e 80 - 100, Ótimo. O cálculo dos *i*-ésimos produtos ponderados (q_i) para cada variável aumentado para os respectivos pesos (w_i), é mostrado em Eq. (1) (CETESB 2018):

$$IQA = \prod_{i=1}^N q_i^{w_i} \quad (1)$$

O q_i foi obtido em função da concentração de cada parâmetro. O w_i corresponde a um peso atribuído ao parâmetro devido à sua importância para qualidade. A soma de w_i é igual a 1, com base na Eq. 2:

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

Estatística descritiva das variáveis

Para comparar a variação existente entre os conjuntos de observações que diferem na média ou são medidos em unidades diferentes optou-se pelo cálculo do coeficiente de variação, que é igual ao desvio padrão dividido pela média, e assim classificar o grau de dispersão das variáveis.

Para avaliação do grau de dispersão considerou-se o critério descrito no Quadro 1 a seguir:

Quadro 2. Critério de avaliação do grau de dispersão das variáveis.

Valor do Coeficiente de Variação	Grau de Dispersão
< 0,50	Baixo
0,50 - 1,00	Médio
> 1,00	Alto

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta a média, o desvio padrão, a variância e os coeficientes de variação de cada uma das variáveis originais referentes às amostras utilizadas para o cálculo do IQA no período 2015 a 2019. As variáveis estão dispostas em ordem decrescente do valor do coeficiente de variação.

Tabela 1. Estatística descritiva das 9 variáveis utilizadas no cálculo do IQA para o período 2015-2019.

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação	Grau de Dispersão
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	133,95	151,76	23.031,03	1,13	Alto
NT (mg L ⁻¹)	0,97	0,74	0,54	0,76	Médio
ST (mg L ⁻¹)	43,30	23,78	565,26	0,55	Médio
Turbidez (mg L ⁻¹)	4,32	2,15	4,63	0,50	Médio
PT (mg L ⁻¹)	0,05	0,02	0,00	0,46	Baixo
DBO (mg L ⁻¹)	2,34	0,90	0,82	0,39	Baixo
Temperatura (°C)	24,76	3,01	9,08	0,12	Baixo
OD (mg L ⁻¹)	7,23	0,50	0,25	0,07	Baixo
IQA	76,04	3,65	13,32	0,05	Baixo
pH	6,86	0,31	0,09	0,04	Baixo

Para as variáveis selecionadas referentes às amostras utilizadas no período 2010 a 2019, os coeficientes de variação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva das variáveis quantitativas utilizadas para o período 2010-2019.

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação	Grau de Dispersão
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	159,08	176,15	31.028,47	1,11	Alto
Turbidez (mg L ⁻¹)	5,96	4,31	18,62	0,72	Médio
PT (mg L ⁻¹)	0,06	0,04	0,00	0,68	Médio
NT (mg L ⁻¹)	0,93	0,62	0,38	0,67	Médio
SDT (mg L ⁻¹)	34,06	16,52	272,83	0,48	Baixo
DBO (mg L ⁻¹)	1,88	0,85	0,72	0,45	Baixo
DQO (mg L ⁻¹)	5,79	2,56	6,56	0,44	Baixo
Temperatura (°C)	23,77	3,08	9,46	0,13	Baixo
OD (mg L ⁻¹)	7,22	0,62	0,38	0,09	Baixo
pH	6,75	0,31	0,10	0,05	Baixo

Deste modo, pode-se dizer apenas a *E. coli* apresentou um alto grau de dispersão entre os parâmetros utilizado para cálculo do IQA no período 2015-2019, embora seja comum em função dos altos valores, comumente expressos em casas logarítmicas. Este alto grau de dispersão para a *E. coli* pode ser explicado em razão deste parâmetro não ser estável conforme resultados de monitoramento.

As variáveis precipitação e vazão apresentaram coeficientes de variação de 0,73 e 0,25 para o período 2010-2019 (Tabela 3).

Tabela 3. Estatística descritiva das variáveis qualitativas utilizadas para o período 2015-2019.

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	Variância	Coefficiente de Variação
Precipitação (mm mês ⁻¹)	121,93	88,66	7.859,75	0,73
Vazões (m ³ s ⁻¹)	5,69	1,40	1,97	0,25

As variáveis que apresentaram grau de dispersão médio são diretamente afetadas pela variação da vazão que pode resultar tanto nos seus incrementos como nas suas diluições.

O pH e a temperatura da água - que não são variáveis que se modificam com a vazão - apresentaram um baixo grau de dispersão. Os dados de pH e de temperatura apresentaram variação baixa durante o período monitorado, mostrando-se estáveis ao longo das coletas.

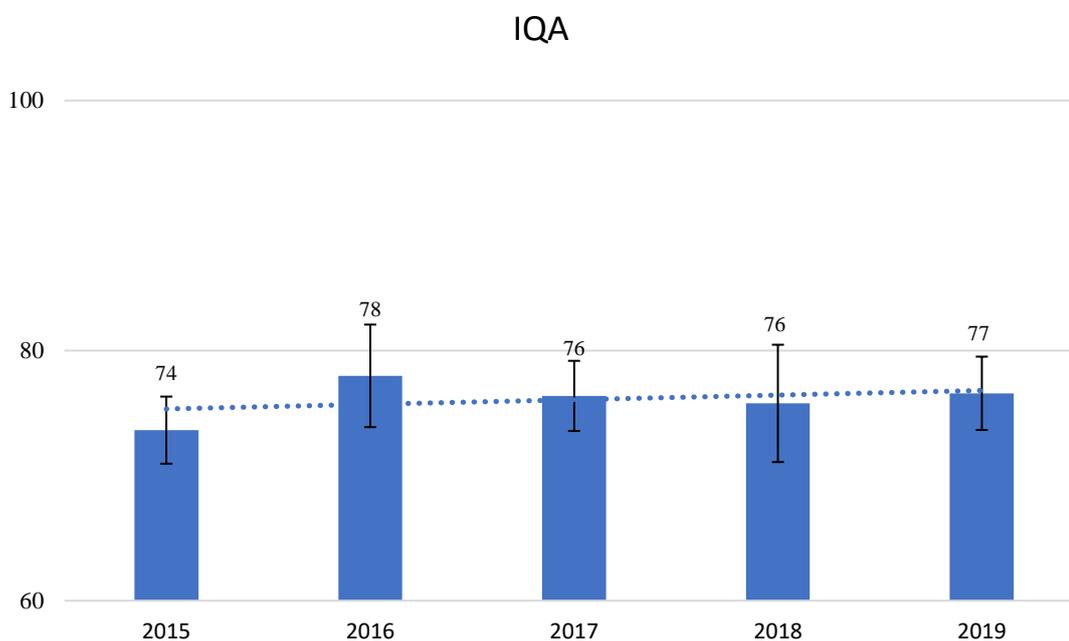
No geral, pode-se afirmar que a maioria dos parâmetros de qualidade de água não apresentaram uma dispersão considerável.

Comportamento do IQA ao longo dos anos (2015 - 2019)

O gráfico da Figura 1 apresenta os valores médios anuais do Índice de Qualidade da água (IQA) no período entre os anos de 2015 e 2019.

Observa-se que o IQA se manteve na qualidade denominada como “Boa”, acima de 70 em todos os anos considerados, com uma tendência linear de melhora do índice. No ano de 2016 o valor do IQA atingiu o seu maior valor no período, tendo queda em 2017 e 2018, voltando a melhorar em 2019.

Figura 1. Índice de Qualidade da Água (IQA) no período entre 2015 e 2019 (com desvio-padrão).

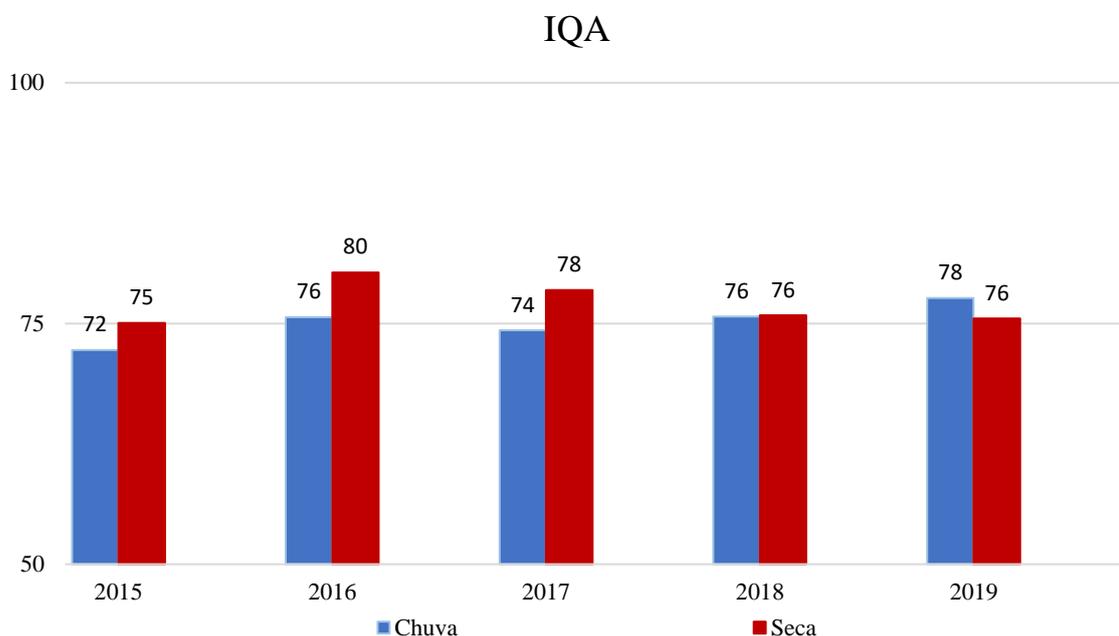


No período de análise o maior valor do IQA ocorreu no mês de julho de 2018 (85 – Ótimo) e o menor valor em maio de 2015 (70 – Razoável).

Quanto a sazonalidade (estação seca e chuvosa), os anos 2015, 2016 e 2017 apresentaram os maiores valores de IQA para o período seco e os anos de 2018 e 2019, o IQA foi maior no período chuvoso (Figura 2).

Isso revela que, mesmo com as chuvas, carreando e transportando sedimentos para os corpos hídricos, nos anos de 2018 e 2019, após a implementação das práticas conservacionistas, não teve efeito em diminuir o IQA, revelando o efeito benéfico da implementação dessas ações na bacia hidrográfica.

Figura 2. Índice de Qualidade da Água (IQA) no período entre 2015 e 2019, nas estações seca e chuvosa.



Esse fato de períodos secos e chuvosos apresentarem melhores valores de IQA é similar ao ocorrido em outro estudo (Figueiredo et al., 2019) em uma Área de Proteção Ambiental, no mesmo município, que também é manancial de abastecimento de água. Os autores observaram que em períodos de chuva, há transporte de poluentes para alguns pontos da bacia hidrográfica, reduzindo o valor do IQA, porém em alguns casos há diluição dos poluentes, aumentando os valores de oxigênio e diminuindo *E. coli*. Também ocorre o fato que em períodos secos, com menor vazão, a concentração aumenta, já que o volume é menor e isso diminui o valor do IQA.

Comportamento da qualidade da água ao longo dos anos (2010 - 2019)

Com relação aos parâmetros selecionados, em função da sua disponibilidade, para o período mais amplo de 2010 a 2019, na Figura 3 é possível observar a evolução nos últimos 10 anos.

Dos 10 parâmetros analisados, Temperatura, pH, Nitrogênio Total, Fósforo Total e DQO apresentaram tendência de aumento no período. Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, DQO e *Escherichia coli* apresentaram tendência de queda, e o Oxigênio Dissolvido se manteve praticamente estável.

Figura 3. Evolução dos parâmetros selecionados no período entre 2010 e 2019.

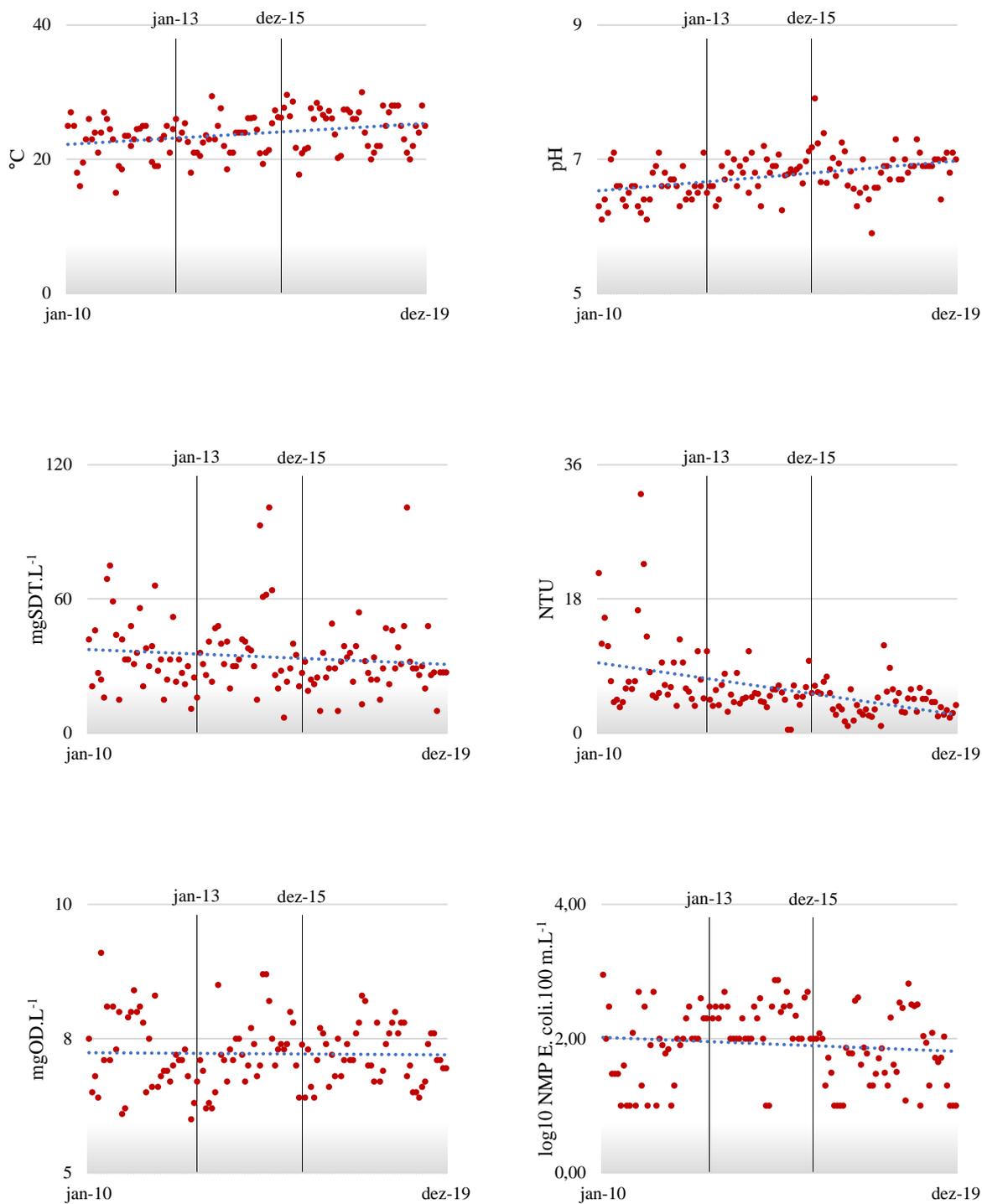
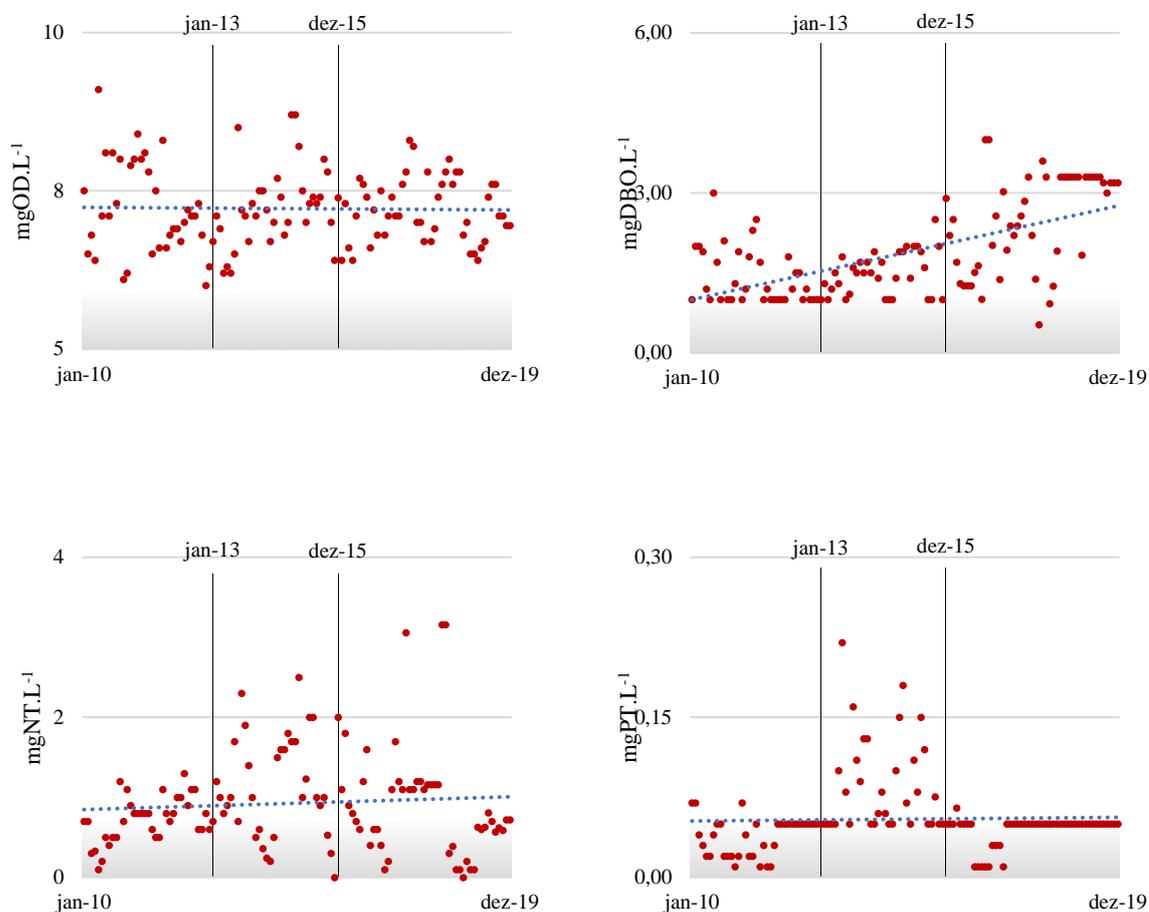


Figura 3. Evolução dos parâmetros selecionados no período entre 2010 e 2019 (cont.).



A tendência de queda da Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, DQO possivelmente captura os efeitos do terraceamento realizado nas propriedades da APA nos anos de 2013 e 2014.

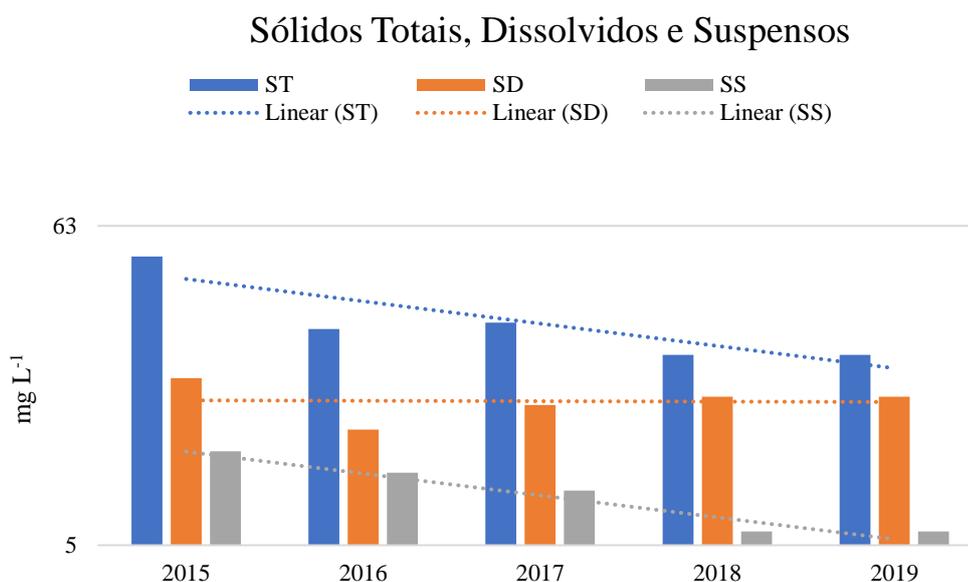
É importante destacar que o valor médio da DBO no período 2010-2019 é de 2,34 mg.L⁻¹, característico de corpos d'água pouco poluídos em zonas rurais, nos quais a demanda por oxigênio se deve principalmente a folhas e outros detritos carregados para a água (DBO de debris).

Por outro lado, a DQO teve um valor médio no período de 5,79 mg.L⁻¹, com tendência de **queda**, refletindo diminuição na quantidade total de componentes oxidáveis, seja carbono ou hidrogênio de hidrocarbonetos, nitrogênio (de proteínas, por exemplo), ou enxofre e fósforo de

detergentes, presentes na água na forma de sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica e gases dissolvidos.

Os sólidos totais e suspensos decaíram ao longo do período enquanto os dissolvidos permaneceram perto da média de 31 mg.L⁻¹, como mostra a Figura 4.

Figura 4. Evolução dos sólidos totais, dissolvidos e suspensos no período entre 2010 e 2019.



O decaimento consistente da Turbidez e dos Sólidos Suspensos ao longo de período possivelmente refletiu o terraceamento realizado majoritariamente nas propriedades nos anos de 2013 e 2014, isto porque que a conservação do solo permite um controle adequado do aporte de sedimentos ao corpo d'água.

Comportamento de outros parâmetros químicos e hidrobiológicos

Os parâmetros Cloreto Total, Alumínio Dissolvido, Ferro Dissolvido, Manganês Total e Cromo Total permaneceram abaixo dos valores máximos permitidos na maior parte dos meses. O Cloreto Total alcançou um valor extremo de 25 mg.L⁻¹ em janeiro de 2015, o Alumínio Dissolvido alcançou 0,18 mg.L⁻¹ em maio de 2016 e o Ferro Dissolvido registrou 0,5 mg.L⁻¹ em janeiro de 2016. Chama atenção também o valor de 9,0 mg.L⁻¹ para Óleos e Graxas nos

meses de janeiro e fevereiro de 2019. Souza et al (2019), no Brasil, também encontraram valores considerados acima do padrão e determinaram que a fonte de poluição seria a lavagem de materiais domésticos diversos, o descarte de restos de alimentos nas margens do rio e produtos químicos como detergentes, contendo óleos e graxas, comum em áreas rurais.

A variável hidrobiológica Clorofila A, considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos, registrou um valor atípico somente em setembro de 2017, de $3 \mu\text{L}^{-1}$, e Cianobactérias registrou os maiores valores em fevereiro, abril e dezembro de 2019, 8.564, 7.323 e 8.368 cél.mL respectivamente, mesmo assim abaixo do valor máximo permitido de 50.000 cél.mL (CETESB,2013).

Os valores de Microcistinas quando reportados estiveram sempre abaixo do limite de quantificação de 0,5 ppb.

Cryptosporidium, *Giardia* e Enterovírus estiveram ausentes na maior parte das amostras semestrais, com exceção para o primeiro e segundo semestre dos anos de 2018 e 2019, mesmo assim abaixo dos limites de quantificação. *Cryptosporidium* e *Giardia* são agentes que apresentam cistos resistentes ao tratamento convencional de água e se caracterizam por causar sérias morbidades em indivíduos imunocomprometidos (Caccio et al., 2005).

Os Enterovírus, juntamente com os rinovírus (resfriado comum) picornavírus (pico ou vírus pequeno, de RNA). Os Enterovírus são disseminados nas secreções orais, fezes e, algumas vezes, estão presentes no sangue de pacientes infectados. A infecção geralmente é transmitida por contato direto com secreções orais ou fezes, mas pode ser transmitida por fontes ambientais contaminadas, por exemplo, água (Romero, 1999).

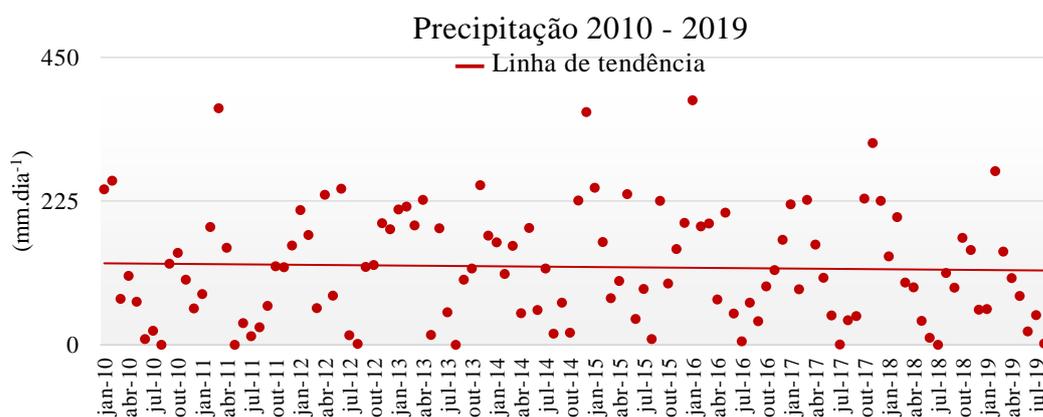
Os valores apresentados para Glifosato nas análises semestrais em que este parâmetro foi avaliado não ultrapassaram a valor máximo permitido de 65pg.L^{-1} . O Glifosato, ingrediente

ativo mais utilizado no Brasil, é um herbicida não seletivo, sistêmico, pós-emergente e apresenta elevada eficiência na eliminação de ervas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas (Junior e dos Santos, 2002).

Comportamento da quantidade de água (2010 - 2019)

A precipitação média no período de 2010 a 2019 foi de 121,9 mm, sendo janeiro de 2016 o mês mais chuvoso (382,6 mm) e agosto de 2013 o mais seco (0,0 mm). A Figura 4 mostra o comportamento das precipitações ao longo do período de 10 anos.

Figura 5. Precipitação no período entre 2010 e 2019.



A vazão regionalizada para a bacia teve um valor médio no período analisado de $5,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tendo seu pico em março de 2011, com $14,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e o valor mínimo em outubro de 2014 ($3,63 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

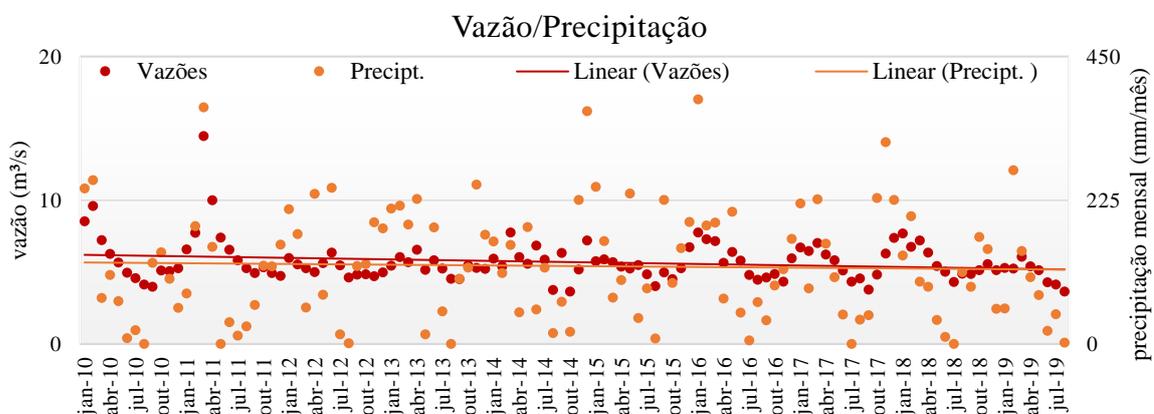
A Figura 5 apresenta a configuração da vazão no período de janeiro de 2010 a agosto de 2019 com base na regionalização realizada.

Figura 6. Vazão no período entre janeiro de 2010 e agosto de 2019.



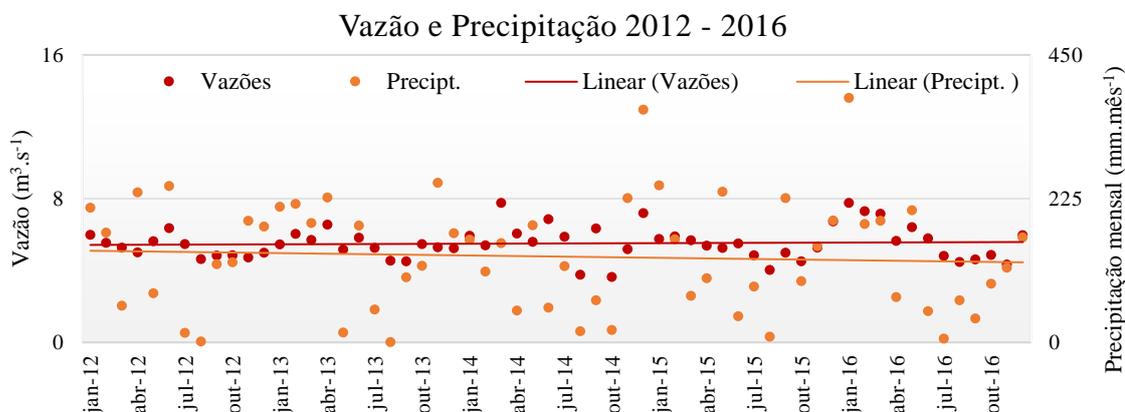
No período ampliado de 2010 a 2019, tanto a vazão como a precipitação apresentaram tendência de queda. A Figura 6 mostra a consolidação das curvas de vazão e precipitação num único gráfico, juntamente com suas linhas de tendência.

Figura 7. Vazão e Precipitação entre janeiro de 2010 e agosto de 2019.



No entanto o comportamento das curvas de precipitação e vazão no período 2012-2016 acompanham o que foi apontado por Sone et al., (2019), incluindo a tendência decrescente de precipitação e suavemente crescente de vazão, como mostra o gráfico da Figura 7.

Figura 8. Vazão no período entre 2012 e 2016.



Comportamento das cargas orgânicas ao longo dos anos (2010 - 2019)

A evolução da carga orgânica biodegradável, considerando a DBO e a vazão no período é mostrada no gráfico da Figura 8.

A tendência foi crescente no período. A evolução da carga orgânica total, considerando a DQO e a vazão no período é mostrada no gráfico da Figura 9, com tendência decrescente no período.

As curvas de permanência da vazão e da DQO para o período de 2010 a 2019, assim como a segmentação para os períodos 2010 a 2014 e 2015 a 2019, seguem como Apêndice deste artigo.

Figura 9. Carga Orgânica de DBO no período entre 2010 e 2019.

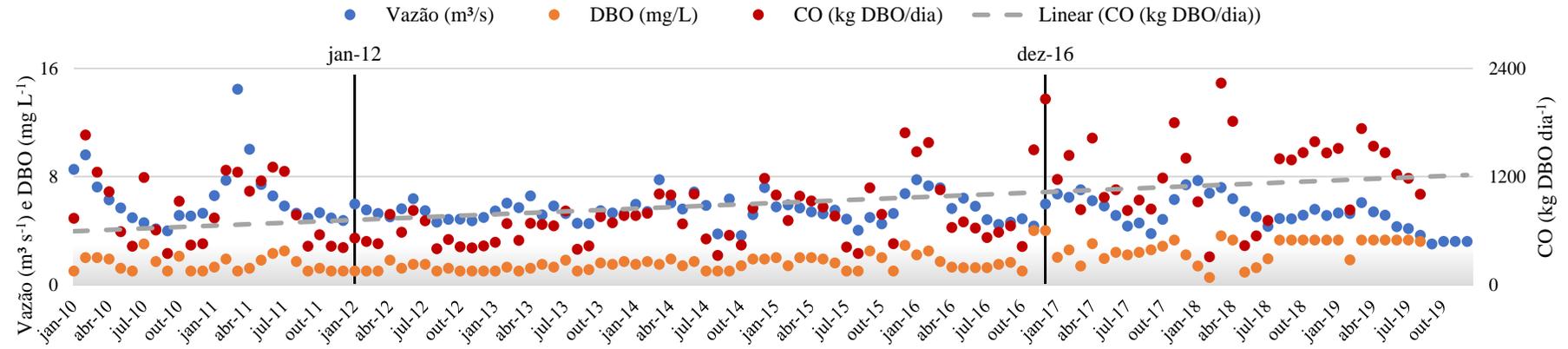
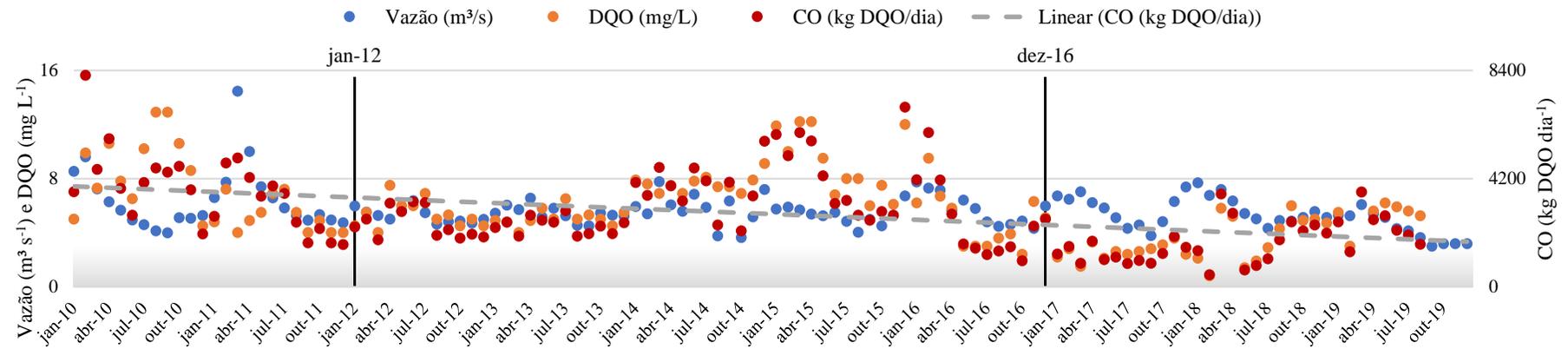


Figura 10. Carga Orgânica de DQO no período entre 2010 e 2019.



Uma análise das ações de governança na unidade de conservação

A literatura sobre a proteção de recursos hídricos em bacias hidrográficas, principalmente com a utilização de programas por pagamento de serviços ambientais, apresenta alguns estudos (Asquith et al., 2008; Mokondoko et al., 2016; Jujnovsky et al., 2017; Tantoh and Simatele, 2018) que apontam aspectos importantes para a efetividade desta abordagem, entre eles: (i) Engajamento das instituições relevantes e demais atores da bacia; (ii) Existência de um processo de governança na área de conservação e uso do solo e dos recursos hídricos; (iii) Integração entre ações regulatórias e não regulatórias; (iv) Articulação de esforços locais, estaduais e federais; (v) Existência de estrutura institucional e legal; e (vi) Confiança entre quem paga e quem recebe.

No caso da APA do Guariroba, o engajamento das instituições relevantes na criação de parceria para resolver os problemas da bacia hidrográfica onde se localiza o manancial, em especial dos proprietários rurais, ocorreu no âmbito do Conselho Gestor da APA e teve por base as seguintes motivações:

- O diagnóstico apresentado no Plano de Manejo mostrou que os prejuízos decorrentes do manejo malconduzido do solo e do gado não se refletiam apenas na qualidade e quantidade de água para abastecimento público, mas também na perda de solo nas propriedades rurais apontando para inviabilização econômica das mesmas no longo prazo (PMCG, 2008);
- A atuação do Ministério Público Estadual, com elaboração de TACs para recuperação de áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente, constringendo os proprietários a cumprir a legislação sob pena de multas (PMCG, 2012);

- A possibilidade de recebimento pela prestação de serviços ambientais, como uma renda extra adicionada àquelas obtidas com as atividades econômicas desenvolvidas nas propriedades rurais (ganho adicional) (PMCG, 2012).

O Conselho Gestor da APA com a participação equilibrada entre os órgãos ambientais dos 3 níveis de governo (SEMADUR – municipal, SEMA/IMAP – estadual e IBAMA – federal), as organizações não governamentais (Associação dos Produtores da Bacia do Guariroba, Sindicato Rural de Campo Grande, OAB-MS e Conselho Municipal de Meio Ambiente) e a iniciativa privada (TBG e Águas Guariroba), funcionou como órgão articulador para a concepção de intervenções na bacia, na forma de programas.

A valoração econômica do serviço ambiental tomando por base o arrendamento de pastagens na região (R\$ 130,00 por hectare) permitiu o fácil entendimento por parte dos proprietários rurais, por se constituir numa moeda de negociação comumente por eles utilizada (PMCG, 2012).

A institucionalização do PSA como instrumento de gestão ambiental no âmbito do Fundo Municipal de Meio Ambiente, por meio do Decreto 11.303/2010, garantiu o suporte legal e a estrutura orçamentária para a captação e alocação de fundos visando a implementação de programas na APA do Guariroba (PMCG, 2012).

Outro aspecto que merece destaque é a parceria estabelecida com a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, via recursos de agência de fomento, visando a mensuração da efetividade das ações do programa por meio do monitoramento hidrossedimentológico, a partir da instalação de uma rede de pluviógrafos e linígrafos na bacia. Esta iniciativa permitiu que o monitoramento do programa ocorresse com base em dados cientificamente medidos, conferindo credibilidade aos resultados alcançados (PMCG, 2012).

A socialização do PMV por meio da realização de oficinas permitiu que as informações de caráter técnico, financeiro e institucional fluíssem de forma continuada e transparente até os principais atores na implementação do programa. Além disto aproximou os produtores de instituições financiadoras com por exemplo a Caixa Econômica Federal (PMCG, 2012).

O pagamento regular pelos serviços ambientais aos proprietários que aderiram ao programa, com base na verificação e certificação de metas alcançadas, acabou por construir a confiança entre quem paga e quem recebe, tão necessária neste tipo de relação.

Conclusões

O estudo avaliou os efeitos das práticas de conservação do solo na qualidade e quantidade da água para abastecimento público devido a implementação de um programa de pagamento por serviços ambientais, Programa Produtor de Água (PPA), na Bacia do Rio Guariroba, no bioma Cerrado, Centro-Oeste do Brasil. As práticas de conservação do solo foram realizadas na parte superior da bacia e provocaram melhoria no controle da erosão em áreas onde mais terraços foram construídos.

Foi realizada a análise de tendências sobre a precipitação, vazão, índice de qualidade da água e sobre outros parâmetros selecionados.

O índice de qualidade da água (IQA) entre “Bom” e “Ótimo” reflete as melhorias na qualidade de água na bacia entre 2015 e 2019, principalmente em relação ao parâmetro turbidez, sólidos e DQO, o que leva a conclusão de que as práticas de conservação do solo melhoraram a qualidade da água captada para abastecimento público, principalmente quanto a diminuição de sólidos em suspensão decorrente da diminuição da perda de solo na bacia.

Também foram notados sinais de melhorias na disponibilidade de água, principalmente no período entre 2012 e 2016, que compreende o ano anterior a implementação do terraceamento

(2012), dois anos em que o terraceamento foi mais fortemente implementado (2013 e 2014) e dois anos depois da implementação (2015 e 2016).

A vazão na bacia aumentou, enquanto os registros de precipitação apresentaram uma tendência decrescente neste período, indicando melhora na resiliência da bacia para suportar eventos extremos, baseada no aumento da restauração florestal e na melhoria na conservação do solo.

Destaca-se a importância do aprimoramento do sistema de monitoramento de dados sobre qualidade da água, com a amostragem sistemática e uniforme de parâmetros, principalmente aqueles utilizados para o cálculo do IQA. A divulgação periódica do IQA é uma forma simples e eficaz de informar a sociedade sobre a qualidade da água que ela está consumindo e de orientar os tomadores de decisão sobre a efetividade das políticas implementadas na bacia.

Identificou-se a oportunidade da inclusão de parâmetros que possam informar sobre a presença de agroquímicos e de SARS-CoV-2 na água, face as novas e recentes demandas da sociedade em relação a estes aspectos.

Da mesma forma, o uso de dados observados sobre as mudanças e melhorias na qualidade e quantidade da água, devidas ao pagamento por serviços ambientais, é extremamente importante para avaliar os impactos econômicos e socioambientais de programas deste tipo e para manter a sociedade permanentemente informada sobre a qualidade da água que ela está consumindo.

Quanto à efetividade da criação da APA, da elaboração de seu Plano de Manejo e da implantação do PSA como instrumentos promotores das melhorias observadas na bacia do Guariroba, tanto em termos de qualidade como de quantidade da água, pode-se atribuir as seguintes razões (ou fatores observados):

- O processo de tomada de decisão para resolver os problemas da bacia ocorreu a partir do diálogo e troca de informações entre os produtores rurais, autoridades públicas e a concessionária de abastecimento, mediado pela Prefeitura Municipal no âmbito do Conselho Gestor da APA.

- A disposição do Ministério Público em firmar TACs para recuperação de áreas protegidas e o incentivo financeiro fornecido pelo PSA mostraram-se eficazes na sensibilização dos os proprietários rurais para adesão ao programa.
- Os esforços locais, estaduais e federais, tanto em termos de recursos financeiros com informacionais e institucionais foram articulados sob a liderança da Prefeitura Municipal com a participação dos proprietários e da ANA, assim como de outras organizações não governamentais.
- A existência e funcionamento do Conselho Gestor da APA e a institucionalização legal do PSA são indícios da estruturação legal e institucional necessária para o sucesso da implementação do programa de PSA.
- A transparência conferida pela divulgação dos resultados das auditorias e prestação de contas, por meio de indicadores fáceis de serem entendidos, medidos, avaliados e reportados, contribuíram para a construção de confiança entre aos atores do programa.

Algumas questões sobre a continuidade do programa que podem inspirar novas pesquisas sobre o tema são a seguintes:

- A bacia do Guariroba continuará a ser conservada, mesmo que o serviço ambiental de fornecimento de água seja descontinuado?
- Um serviço ambiental pode perder valor ao longo do tempo?
- Se cessar o pagamento pelos serviços ambientais os proprietários poderiam voltar a arrendar áreas protegidas para a criação de gado?
- A concessionária Águas Guariroba estaria disposta a arcar com os custos para continuidade do pagamento pelos serviços ambientais?
- A população, de forma geral, está informada sobre o pagamento por serviços ambientais na APA?

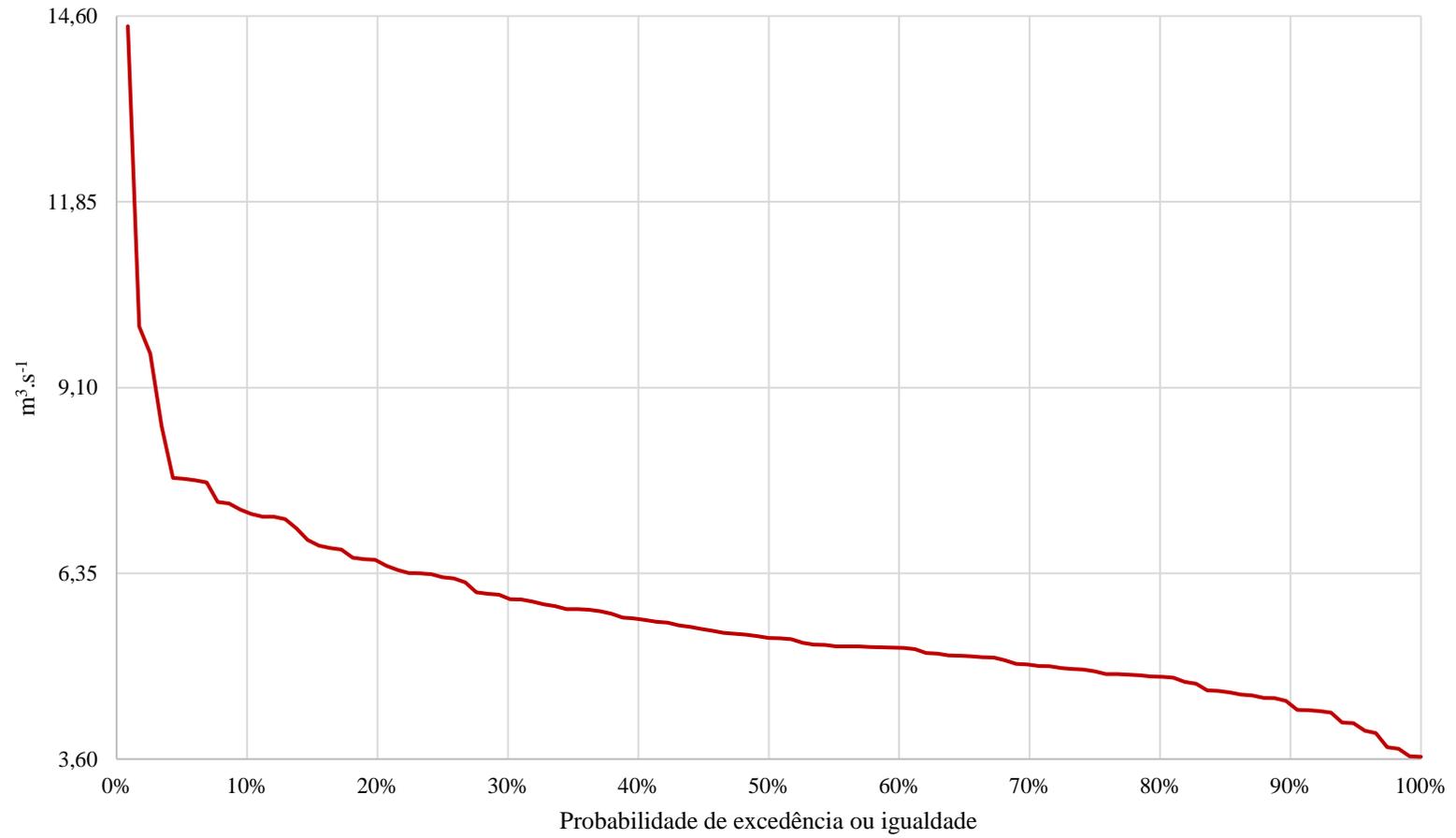
Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil.

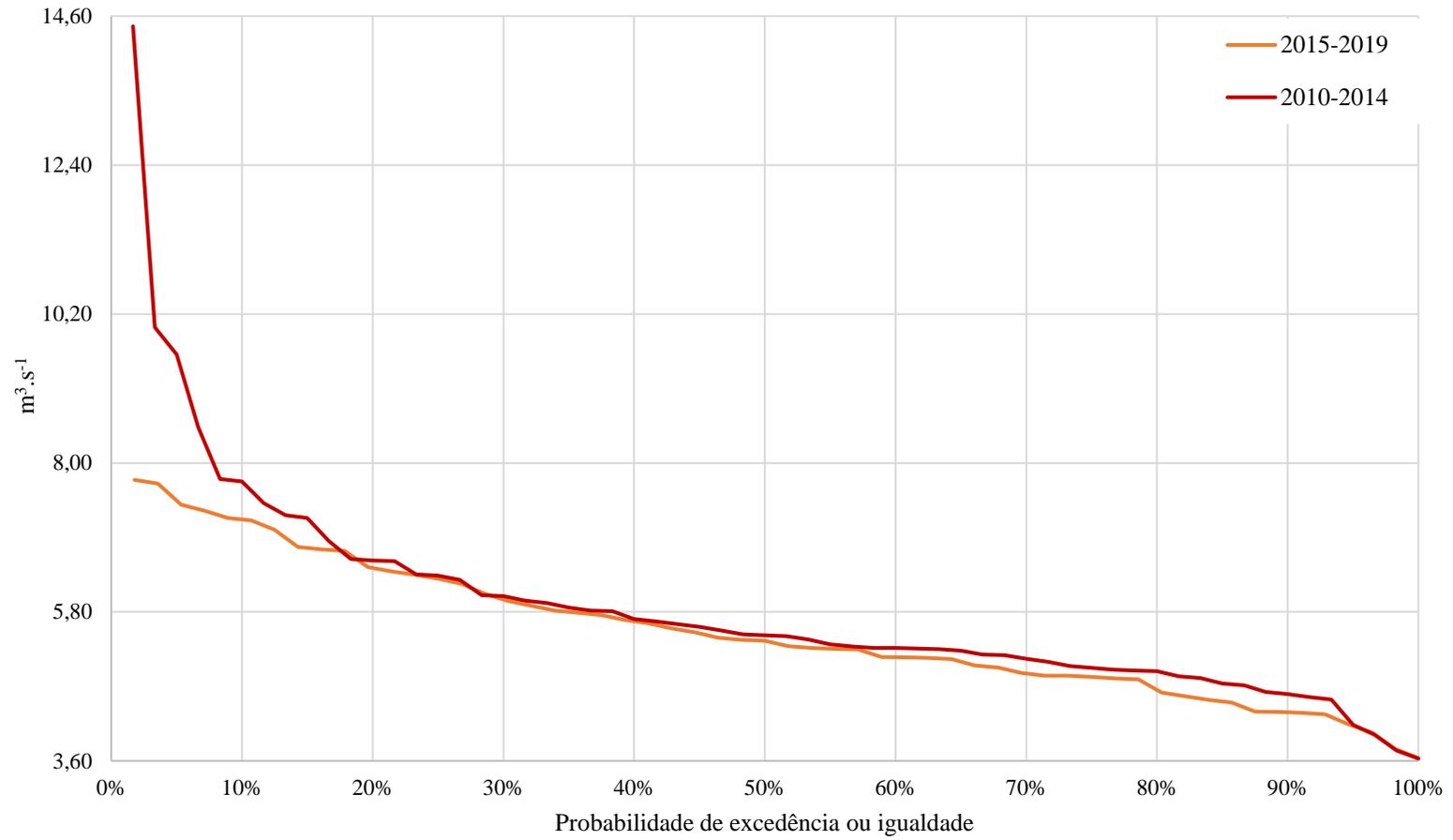
Apêndice

Curvas de Permanência da Vazão e da DQO.

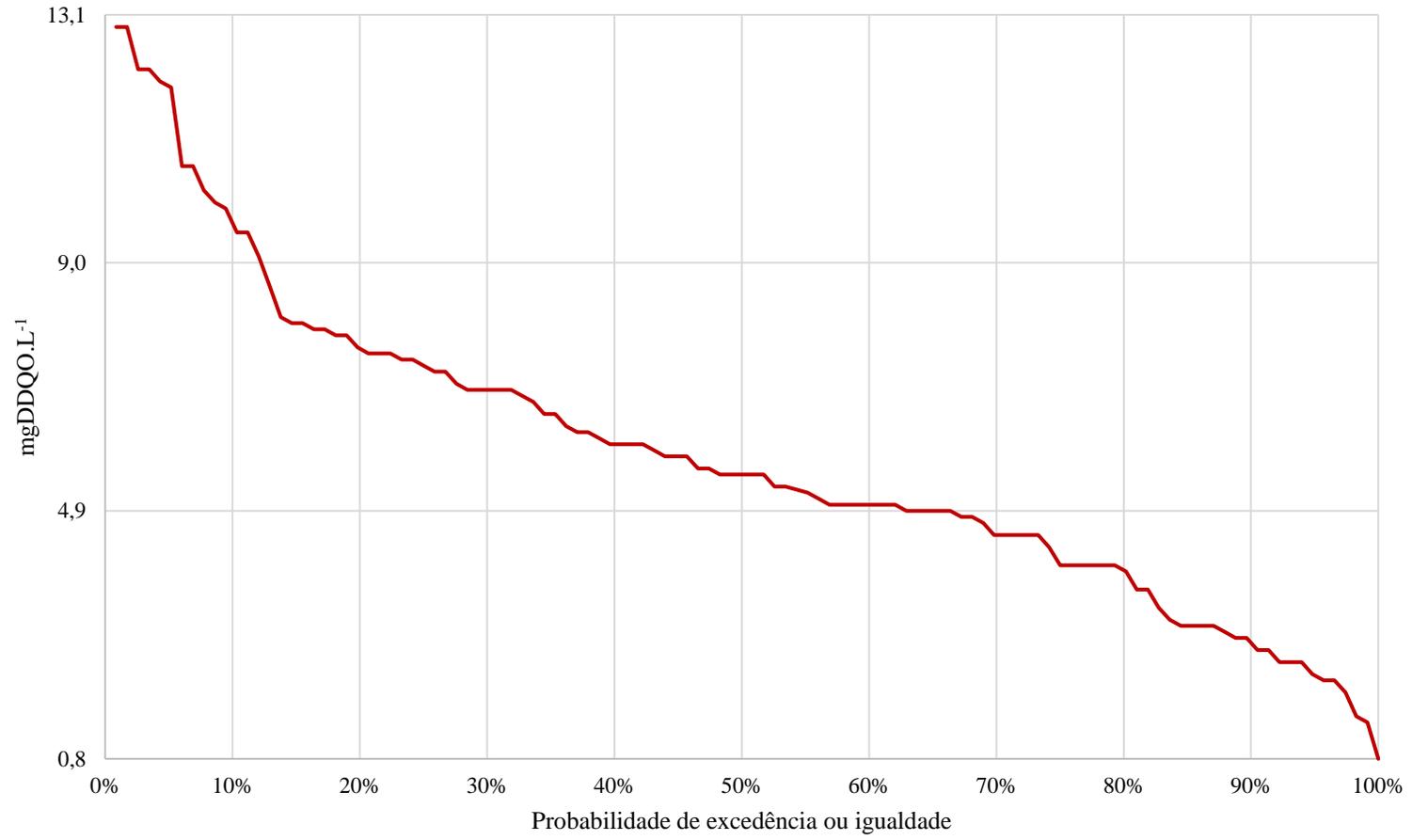
Curva de Pemanência da Vazão 2010-2019



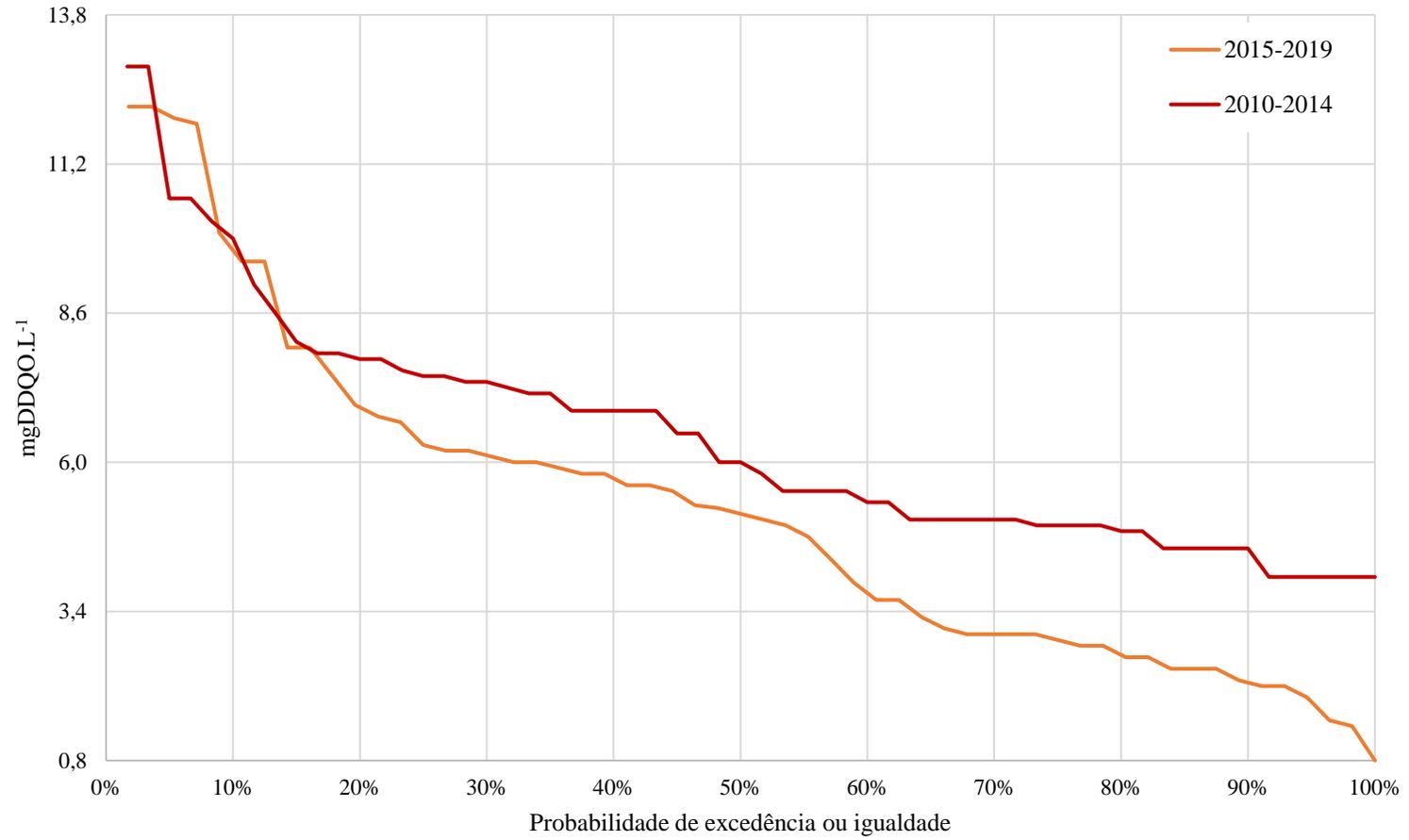
Curva de Pemanência da Vazão (2010-2014 e 2015-2019)



Curva de Pemanência DQO 2010-2019



Curva de Pemanência da DQO (2010-2014 e 2015-2019)



Referências

- Amarante Junior, Ozelito Possidônio de, Santos, Teresa Cristina Rodrigues dos, Brito, Natilene Mesquita, & Ribeiro, Maria Lúcia. (2002). Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, 25(4), 589-593. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>
- APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 22 nd ed. Washington (DC): American Public Health Association; 2012. p. 1360.
- CETESB, São Paulo. (2013). *Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais*. – São Paulo: CETESB, 2013.
- CETESB, Environmental Sanitation Technology Company (2018). *Índice de Qualidade das Águas* <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx>. Accessed 25 May 2020.
- Delpla, I., Jung, A. -V., Baures, E., Clement, M., Thomas, O (2011). Impactos da mudança climática na qualidade da água da superfície em relação à produção da água de beber. *Revista de Saúde Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 6 (2). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- Duran, Karla de Almeida. *Estudo da viabilidade técnica e econômica de troca de Poli Cloreto de Alumínio por Cloreto Férrico no processo de coagulação do tratamento primário de efluente líquido em indústria de produtos lácteos. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) [Engenharia Química] Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas – MG, 2014.*
- Figueiredo, H. P., Figueiredo, C. R. P., Barros, J. H. de S., Constantino, M., Magalhães Filho, F. J. C., de Moraes, P. M., and da Costa, R. B. (2019) Water quality in an urban environmental protection area in the Cerrado Biome, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(2).
- FUNASA, Fundação Nacional da Saúde. *Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS*. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014. 112 p.
- Gibson, J.J, Birks, S.J, YI, Y., Shaw, P., Moncur, M.C. (2018). Isotopic and geochemical 25 surveys of lakes in coastal BC: Insights into regional water balance and water quality 26 controls. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 17, 47-63. 27 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.04.006>
- Gomes, L. N. L. *Estudo da associação entre parâmetros bióticos a abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores – MG. 2008. 184f. Tese [Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos]. Escola de Engenharia – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.*
- Hamilton, C. and Macintosh, A. (2009) *Environmental Protection and Ecology*, Elsevier Inc. [online] <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11125-X>.

- Junior, A. P. M., Cota, G; E. M., Lemos, R. S. (2016) Contradições e desafios para a proteção de mananciais hídricos em Minas Gerais – os casos das áreas de proteção especial de Vargem das Flores e Serra Azul – região metropolitana de Belo Horizonte. *Caminhos de Geografia*, 17 (60), 89–104.
- Kändler, M., Blechinger, K., Seidler, C., Pavlů, V., Šanda, M., Dostál, T., Krása, J., Vitvar, T., and Štich, M. (2017) Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the Total Environment*, 586, 1316–1325.
- Karr, J. R. and Dudley, D. R. (1981) Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5(1), 55–68.
- Kazi, T.G., Arain M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A., 31 Shah A.Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate 32 statistical techniques: A case study. *Ecotox Environ Safe*, 72, 301-309. 33 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>
- Lastoria, G., Cavazzana, G. H., Gabas, S. G., & de Mendonça Casadei, J. (2019). Gestão da Água Subterrânea na APA Guariroba, Município de Campo Grande-MS. *Águas Subterrâneas*.
- Marmontel, C. V. F., Lucas-Borja, M. E., Rodrigues, V. A., and Zema, D. A. (2018) Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). *Science of the Total Environment*, 622–623, 690–701. [online] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.011>.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. Brasil implementa ações para garantir água em quantidade e qualidade. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/informma/item/6933-brasil-implementa-acoes-para-garantir-agua-em-quantidade-e-qualidade>>. Acesso em: 24 de maio de 2020.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano. Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p.
- Narcizo, G., Lima, D., Adelaide, M., and Magaña, V. (2018) Urban water supply and the changes in the precipitation patterns in the metropolitan area of São Paulo – Brazil. *Applied Geography*, 94(May 2017), 223–229. [online] <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.010>.
- Nunes, M. C. M., Neves, S. M. A. da S., Neves, R. J., Kreitlow, J. P., and Antonio Marcos CHIMELLO (2013) Susceptibility to water erosion of soils from the municipality Salto do Céu, SW Mato Grosso State. , 191–206.
- Osei, J., Nyame, F., Armah, T., Osa, S., Dampare, S., Fianko, J., Adomako, D., Bentil, 22 N. (2010). Application of Multivariate Analysis for Identification of Pollution Sources in 23 the Densu Delta Wetland in the Vicinity of a Landfill Site in Ghana. *Journal of Water 24 Resource and Protection*, 2,1020-1029. DOI: 10.4236 / jwarp.2010.2121223581- 17 3592. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00138-9)

- PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba – APA do Guariroba. Campo Grande, MS. 2008.
- PMCG – Prefeitura Municipal de Campo Grande. Programa Manancial Vivo – Relatório 2009 a 2001. Campo Grande, MS. 2012. Disponível em: <<http://www.campogrande.ms.gov.br/semadur/downloads/programa-manancial-vivo-relatorio-2009-a-2011>>. Acesso em: maio 2019.
- Romero JR. Reverse-Transcription Polymerase Chain Reaction: Detection of the Enteroviruses. *Pediatric Infectious Disease Journal* 123: 1161-1169, 1999.
- Shrestha, S., Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate 31 statistical techniques: a case study of the Fuji river basin. *Japan. Environ. Model Softw*, 32 22, 464–475. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- Simone M. Cacciò, R.C. Andrew Thompson, Jim McLauchlin, Huw V. Smith. (2005). Unravelling Cryptosporidium and Giardia epidemiology, *Trends in Parasitology*, 21(9), 430-437, <https://doi.org/10.1016/j.pt.2005.06.013>.
- Sone, J. S., Gesualdo, G. C., Zamboni, P. A. P., Vieira, N. O. M., Mattos, T. S., Carvalho, G. A., Rodrigues, D. B. B., Alves Sobrinho, T., and Oliveira, P. T. S. (2019) Water provisioning improvement through payment for ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 655(November), 1197–1206. [online] <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.319>.
- Souza, J. R.; Moraes, M. E. B.; Sonoda, S. L.; Santos, H. C. R. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. *REDE-Revista Eletrônica do Prodema*, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014
- Vega, M., Parda, R., Barrada, E., Deban, L. (1998). Assessment of season a and polluting 16 effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res.* 32,