XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA DE RIOS INTERMITENTES – ESTUDO DE CASO – BACIA DO RIO VERDE GRANDE, MG/BA

Aída Maria Pereira Andreazza[1]; Leonardo Mitre Alvim de Castro[2]; Flavia Yuki Tsuruda Tanoue[3]; João Paulo Paulino Coimbra[4]; Jacqueline Evangelista Fonseca[5]; Rayssa Balieiro Ribeiro[6]

RESUMO – Este trabalho apresenta a metodologia desenvolvida, os resultados obtidos e as decisões que foram tomadas para estabelecer a vazão de referência a ser adotada para o enquadramento dos cursos de água da bacia hidrográfica do rio Verde Grande, afluente do médio curso do rio São Francisco, caracterizada pela presença predominante de rios e córregos com regime de escoamento intermitente. A bacia se localiza em territórios de Minas Gerais (86% da sua área) e da Bahia (14% restantes), configurando uma gestão dos recursos hídricos compartilhada entre os dois estados e a União. Simulações realizadas com três vazões diferentes mostraram vantagens e desvantagens da adoção de cada uma delas, optando-se, finalmente, pela seleção da vazão de permanência $Q_{60\%}$ (vazão igualada ou superada em 60% do tempo), uma vez que as vazões de referência para gestão de recursos hídricos adotadas pelos três órgãos gestores são vazões de estiagem, nulas nos períodos secos da bacia. Trata-se de um estudo de caso inovador que poderá ser consultado como base técnica para o enquadramento de outras bacias hidrográficas localizadas no Semiárido brasileiro, em que a mesma dificuldade para determinar vazões de referência poderá ser encontrada, dada a ausência de escoamentos em períodos de estiagem.

ABSTRACT – This paper presents the developed methodology, the results obtained, and the decisions made to establish the reference flow to be adopted for the classification of water bodies in the Verde Grande River basin, a tributary of the middle course of the São Francisco River, characterized by the predominant presence of rivers and streams with intermittent flow regimes. The basin is located within the territories of Minas Gerais (86% of its area) and Bahia (the remaining 14%), resulting in shared water resource management between the two states and the federal government. Simulations carried out with three different flow values showed advantages and disadvantages for adopting each of them; ultimately, the selection of the Q60% flow permanence (flow equaled or exceeded 60% of the time) was chosen, since the reference flows for water resource management adopted by the three managing agencies are low-flow conditions, which are null during the dry periods of the basin. This is a case study that may serve as a technical reference for the classification of other river basins located in the Brazilian Semi-arid region, where the same difficulty in determining reference flows may be encountered due to the absence of flow during dry periods.

Palavras-chave: enquadramento; rios intermitentes; vazão de referência.

[1]) Engecorps Engenharia S.A.: Alameda Tocantins, 125, 13º andar, Barueri, SP. Tel. (11) 2135-5252. aida.andreazza@engecorps.com.br
[2]) Engecorps Engenharia S.A.: Alameda Tocantins, 125, 13º andar, Barueri, SP. Tel. (11) 2135-5252. leonardo.mitre@engecorps.com.br
[3]) Engecorps Engenharia S.A.: Alameda Tocantins, 125, 13º andar, Barueri, SP. Tel. (11) 2135-5252. flavia.tanoue@engecorps.com.br
[4]) Agência Peixe Vivo: Rua Carijós, 166, 5º andar, Belo Horizonte, MG. Tel. (31) 3207-8500. joao.coimbra@agenciapeixevivo.org.br
[5]) Agência Peixe Vivo: Rua Carijós, 166, 5º andar, Belo Horizonte, MG. Tel. (31) 3207-8500. jacqueline.fonseca@agenciapeixevivo.org.br
[6]) Agência Peixe Vivo: Rua Carijós, 166, 5º andar, Belo Horizonte, MG. Tel. (31) 3207-8500. rayssa.balieiro@agenciapeixevivo.org.br

1. INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

O enquadramento é um dos instrumentos de planejamento para gestão de recursos hídricos previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída por meio da Lei Federal nº 9.433/97, com a finalidade de definir a qualidade dos cursos de água apropriada aos seus usos atuais e futuros, considerando uma escala de classes que vai desde a Especial (a de melhor qualidade) até a Classe 4 (a de pior qualidade), passando pelas Classes 1, 2 e 3, e caracterizando águas passíveis de usos que variam gradativamente dos mais aos menos exigentes.

Ao nível federal, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e apresenta diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. A mesma resolução define, também, que os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos em condições de vazão de referência.

Ainda ao nível federal, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 91/2008, em seu Art. 3º, estabelece as etapas metodológicas a serem cumpridas para elaboração dos estudos de enquadramento, que são: I - diagnóstico; II - prognóstico; III - propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e IV - programa para efetivação.

O Art. 6º da mesma norma define que as metas relativas às propostas de enquadramento deverão ser elaboradas com vistas ao alcance ou manutenção das classes de qualidade de água pretendidas em conformidade com os cenários de curto, médio e longo prazos; em seu § 1º, esse artigo especifica que as propostas de metas deverão ser elaboradas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade da água e das vazões de referência definidas para o processo de gestão de recursos hídricos.

Trata-se de um instrumento de grande relevância para a gestão de recursos hídricos, totalmente integrado aos demais, uma vez que as outorgas de direito de uso de recursos hídricos para lançamentos de efluentes dependem das classes de enquadramento dos corpos receptores, a cobrança pelo uso das águas usualmente considera coeficientes e fatores relacionados à classe do corpo de água de captação e os Planos de Recursos Hídricos devem prever em seus planos de ações, atividades relacionadas à melhoria de qualidade das águas de forma a atender às respectivas classes de enquadramento.

O enquadramento é um dos instrumentos de gestão com menor área implementada no País, como observado pelo último Relatório Pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2025), sendo que a única bacia interestadual com enquadramento aprovado pelo CNRH é a do rio Doce, cujo curso de água principal é perene, assim como seus afluentes e formadores. O mesmo documento mostra que a maior parte das bacias estaduais com enquadramento aprovado se localiza nas regiões Sul e Sudeste do País. Assim, verifica-se a necessidade de implementar o enquadramento

em outras regiões, incluindo o Semiárido brasileiro, caracterizado pela presença de cursos de água intermitentes, o que suscita a discussão e a definição de procedimentos metodológicos específicos, sendo essa a temática principal do presente estudo.

2. OBJETIVOS DOS ESTUDOS E BREVE CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO VERDE GRANDE

A bacia hidrográfica do rio Verde Grande é uma das bacias afluentes do médio curso do rio São Francisco. Possui área de 30.657 km^2, sendo 86% localizados no estado de Minas Gerais e os 14% restantes, na Bahia. A bacia abriga um total de 35 municípios com territórios total ou parcialmente inseridos nos seus limites, dos quais, 27 são mineiros e oito são baianos.

Tendo em vista que o rio Verde Grande e o seu afluente Verde Pequeno percorrem áreas de dois estados, a gestão dos recursos hídricos da bacia é compartilhada entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA), tendo, ainda, atualmente, um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) do rio Verde Grande de caráter interestadual, também desenvolvendo suas atividades de forma integrada com o CBH São Francisco. A Figura 1 apresenta a bacia do rio Verde Grande e sua subdivisão em oito sub-bacias para efeito de planejamento de recursos hídricos.

Um dos principais atributos da bacia é o predomínio do clima tropical quente e úmido, que se caracteriza pela ocorrência de estações bem definidas, com verão chuvoso e inverno seco, e temperaturas elevadas, acima de 22°C, acarretando uma sazonalidade muito acentuada.

A precipitação média anual na bacia do rio Verde Grande é de cerca de 710 mm, variando entre 629 e 822 mm. Quanto à distribuição mensal das chuvas na bacia, destaca-se um aumento de precipitação nos meses de novembro e dezembro, quando os valores ultrapassam 150 mm, enquanto os meses mais secos, como julho e agosto, registram precipitações médias abaixo de 10 mm. A variação desses índices totais médios anuais ocorre principalmente em função de fatores orográficos, considerando uma relação entre as serras e o relevo regional, o que interfere no deslocamento das massas de ar e, consequentemente, nos índices totais de chuvas.

Essas particularidades da bacia, típicas de regiões do Semiárido brasileiro ou situadas já nas suas proximidades, resultam na intermitência do escoamento de grande parte dos rios e córregos no período seco, sendo nulas vazões de referência de estiagem tais como a $Q_{7,10}$ (vazão mínima média de sete dias consecutivos com 10 anos de período de retorno), a $Q_{95\%}$ (vazão de permanência igualada ou superada em 95% do tempo) e a $Q_{90\%}$ (vazão de permanência igualada ou superada em 90% do tempo). Assim, a região da bacia é essencialmente localizada no Semiárido brasileiro, como pode ser

visto pelo Instituto Nacional do Semiárido – INSA (s/d). Além de dificultar o uso dos recursos hídricos superficiais da bacia para diversas finalidades, a intermitência dos seus cursos de água também gera obstáculos à gestão dessas águas, considerando a aplicabilidade dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, com destaque à outorga e ao enquadramento.



Figura 1 – Sub-bacias da bacia do rio Verde Grande

De forma a incrementar a gestão de recursos hídricos, o presente estudo foi desenvolvido visando atender a uma das metas do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco 2016-2025, qual seja a de enquadrar os corpos de água em classes de usos preponderantes mais restritivos na bacia do rio Verde Grande. Os estudos foram desenvolvidos entre maio de 2024 e maio de 2026.

3. O DESAFIO DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS HÍDRICOS INTERMITENTES

Como exposto anteriormente, a bacia do rio Verde Grande se localiza na região do Semiárido brasileiro, com parte importante dos seus cursos de água apresentando o caráter intermitente. Dessa forma, com relação ao enquadramento de rios intermitentes, vale contextualizar a questão legal,

abordada no Art. 6º da Resolução do CNRH nº 141/2012: "O enquadramento de rios intermitentes ou efêmeros somente será considerado no período em que o corpo hídrico apresentar escoamento superficial."

Em Minas Gerais, as Deliberações Normativas Conjuntas do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) de nºs 06/2017 e 08/2022 tratam, respectivamente, dos procedimentos para enquadramento e da classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para enquadramento, incluindo padrões de lançamentos de efluentes.

Na Bahia, a Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) nº 96/2014 estabelece as diretrizes, critérios gerais e procedimentos para a outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado e, para isso, conceitua a vazão de referência como aquela que representa a disponibilidade hídrica do curso de água, associada a uma probabilidade de ocorrência.

Em síntese, os atos legais nacionais e estaduais que incidem sobre o enquadramento dos cursos de água da bacia do rio Verde Grande preconizam a necessidade de que o enquadramento seja proposto em condições de vazão de referência.

Quanto às vazões de referência adotadas para gestão dos recursos hídricos da bacia, são elas: a $Q_{95\%}$, utilizada pela ANA para gestão de corpos hídricos de domínio da União; a $Q_{7,10}$, adotada pelo IGAM para os cursos de água de domínio do estado de Minas Gerais; e a $Q_{90\%,}$ considerada pelo INEMA para as águas de domínio da Bahia.

Em Minas Gerais, a vazão $Q_{7,10}$ é adotada para todo o estado, independentemente da condição do curso de água ser perene ou intermitente; no entanto, tal vazão é definida por ato do IGAM, sendo passível de ajustes em ato do mesmo órgão. No caso da ANA e da Bahia, a legislação indica condições distintas para cursos de água intermitentes, sendo considerados para efeito de análise de disponibilidade hídrica para outorgas apenas os períodos em que há vazões escoadas.

Tendo em vista a adoção dessas diferentes vazões de referência pelos três Órgãos Gestores de Recursos Hídricos (OGRHs), tem-se o grande desafio para o enquadramento dos corpos hídricos da bacia do rio Verde Grande, dada a intermitência da maior parte de seus cursos de água. Nesse sentido, tem-se por princípio que tais vazões de referência mínimas são nulas para esses corpos hídricos, considerando que permanecem mais de 10% do tempo secos de acordo com as séries históricas de monitoramento disponíveis. Dessa forma, adotar tais vazões de referência como base para o enquadramento implicaria momentos do ano sem vazões para diluição dos efluentes e manutenção das respectivas classes de enquadramento.

Com isso, os estudos de enquadramento e as modelagens hidrológicas realizadas para a bacia do rio Verde Grande revestiram-se de caráter inovador, haja vista a necessidade de consideração de

uma vazão de referência para enquadramento de rios intermitentes distinta da utilizada até o momento para outorgas de captação de água pelos OGRHs da bacia.

4. METODOLOGIA ADOTADA PARA O ENQUADRAMENTO DA BACIA DO RIO VERDE GRANDE

Conforme exposto no item anterior, as vazões de referência utilizadas pelos OGRHs que atuam na bacia do rio Verde Grande são distintas, além de serem vazões de estiagem, criando dificuldades para o enquadramento da grande maioria dos cursos de água da bacia, que têm regime de escoamento intermitente, com vazões nulas nos períodos secos.

Dessa forma, não faz sentido propor uma classe de enquadramento para um curso de água sem escoamento que funciona, nos períodos de estiagem, meramente, como um corpo receptor de esgotos. Por essa razão, inclusive, a citada Resolução do CNRH nº 141/2012 recomenda considerar enquadramentos somente em períodos úmidos das bacias hidrográficas.

Em face desse cenário de partida, foram desenvolvidas algumas alternativas para seleção da vazão de referência a ser adotada, mediante aplicação do modelo matemático HEC-RAS (BRUNNER, 2024) na sub-bacia do Alto Verde Grande, considerada como área-piloto para simulação da qualidade das suas águas; foram utilizadas três diferentes vazões, visando examinar as respostas da bacia em termos das classes de qualidade atendidas. As vazões utilizadas foram a Q_{mlt} (vazão média de longo termo), a $Q_{60\%}$ (vazão de permanência, igualada ou superada em 60% do tempo) e a $Q_{40\%}$ (vazão de permanência, igualada ou superada em 40% do tempo).

Para efeito dessa modelagem, foram consideradas cargas poluentes provenientes de fontes pontuais (cargas base) e difusas (decorrentes da “lavagem” dos terrenos), e o período entre os meses de maio e outubro como o período seco, conforme ilustrado pela Figura 2 para o parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Para o desenvolvimento das análises, foi considerado um aporte de cargas na cena atual, visando demonstrar o potencial da bacia para alcançar classes de melhor qualidade em cenários mais eficazes de gestão das cargas poluentes, ou seja, quando medidas para abatimento de cargas pontuais e difusas forem implementadas.

Na sequência, foram elaboradas curvas de permanência das classes de enquadramento atendidas no rio Verde Grande, em dois pontos (VG001, a montante e SF16, a jusante) com as vazões utilizadas, para os parâmetros DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes (Figura 3), adotados como os parâmetros prioritários para o enquadramento, por terem se mostrado aqueles que mais violaram classes de melhor qualidade quando da modelagem matemática. No mapa da figura, as setas em

amarelo apontam para as estações de monitoramento mais representativas da região, sendo ao norte, a jusante do trecho em questão, a estação SFJ16 e, mais ao sul, a estação VG001.

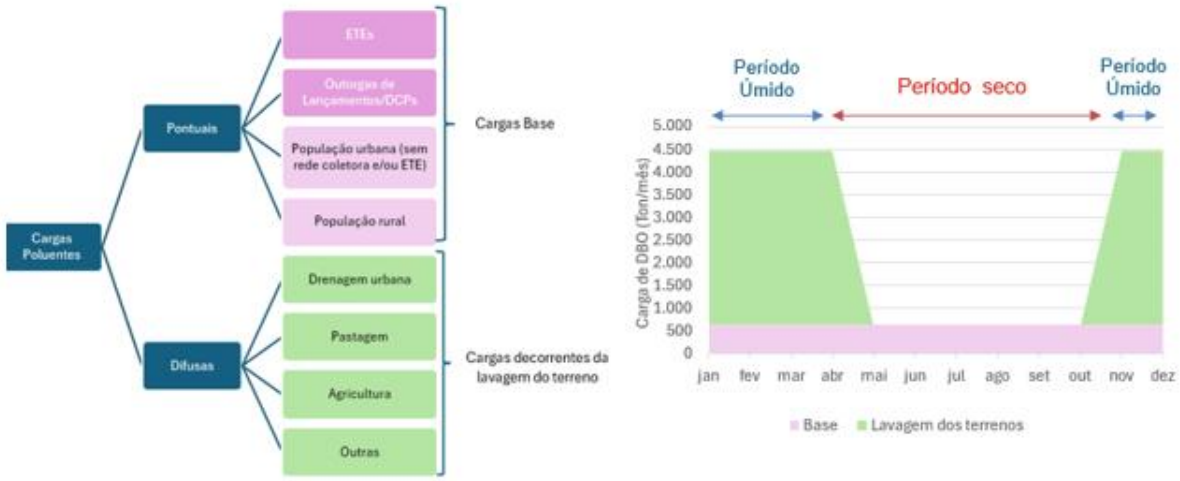


Figura 2 – Cargas poluentes consideradas e quantificação das cargas de DBO nos períodos úmido e seco

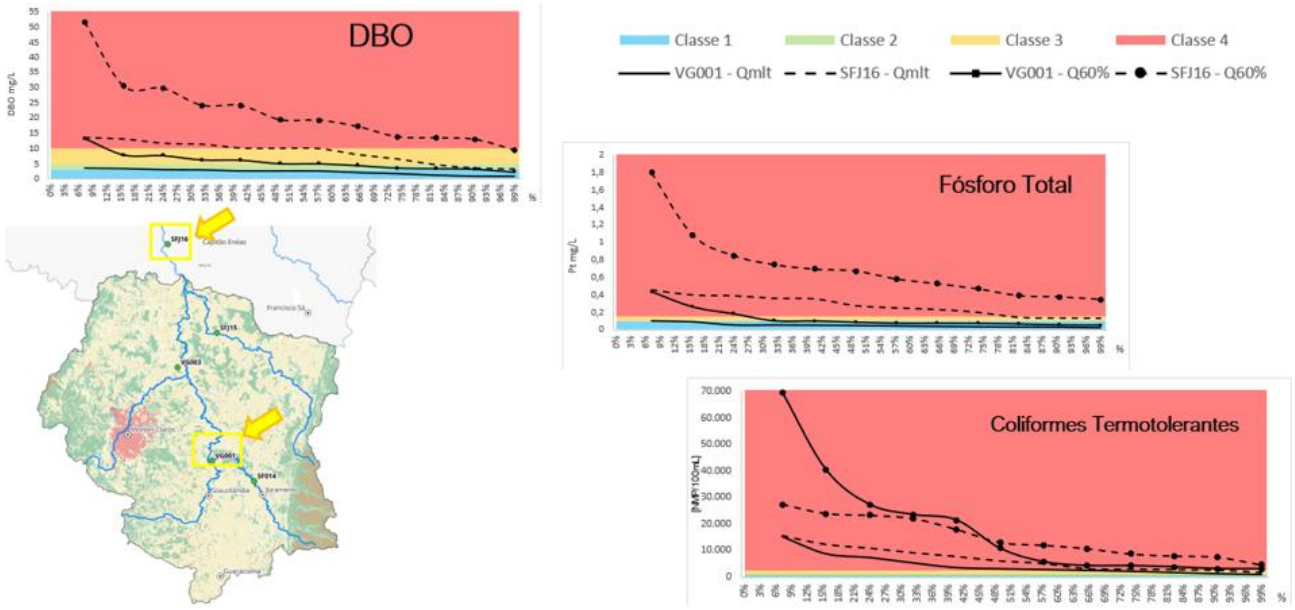


Figura 3 – Curvas de permanência das classes de enquadramento atendidas no rio Verde Grande com as vazões utilizadas

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram analisados para as sub-bacias contribuintes aos rios Juramento, Vieira, Caititu, e Alto Verde Grande, esta última representativa da qualidade da água de toda a sub-bacia do Alto Verde Grande. A Figura 4 mostra, como exemplo, os resultados das simulações no rio Verde Grande.

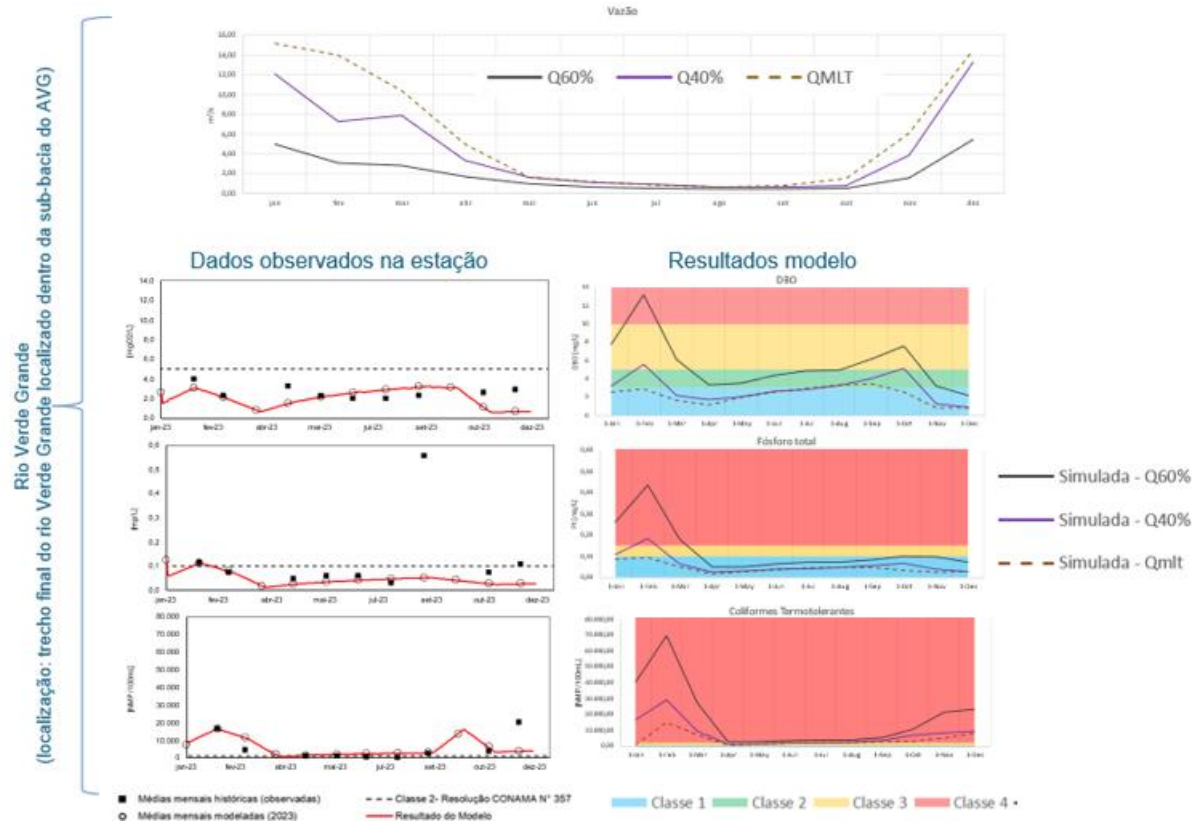


Figura 4 – Resultados das simulações no rio Verde Grande

Como pode ser verificado nos gráficos apresentados na Figura 4 e em análises realizadas para outros cursos de água da mesma bacia, os resultados mostraram maior sensibilidade para vazões como a $Q_{60\%}$ ou a Q_{mlt}, o que leva ao entendimento de que darão melhor resposta à implementação de medidas de melhoria na qualidade das águas da bacia. Esse efeito foi também simulado com a redução das cargas lançadas em cada trecho de curso de água, mostrando que tais vazões levam ao atendimento de classes de melhor qualidade, o que é relevante para o devido enquadramento e seu monitoramento ao longo do tempo.

A partir das simulações realizadas, foi possível identificar diferentes condições de comportamento em termos de classes atendidas, tanto para o período de estiagem quanto para o período úmido com cada uma das vazões de referência adotadas, além de verificar a sensibilidade a variações nos valores de cargas lançadas.

O exame dos resultados antes apresentados permitiu a formulação de três alternativas, expostas no Quadro 1, para seleção da vazão de referência a ser adotada para o enquadramento na bacia do rio Verde Grande, em que são indicados os pontos positivos e negativos de cada uma delas, de forma a subsidiar a avaliação dos órgãos gestores de recursos hídricos. As alternativas identificadas após as modelagens realizadas mostraram diferentes possibilidades para o enquadramento dos corpos de água da bacia do rio Verde Grande, considerando diferentes vazões de referência e períodos do ano. Esses

resultados foram apresentados e discutidos tecnicamente com os OGRHs e o Grupo de Acompanhamento Técnico (GAT) que acompanhou o desenvolvimento dos estudos.

Quadro 1 – Alternativas avaliadas para seleção da vazão de referência

Alternativa		Vazão proposta	Pontos positivos	Pontos negativos
Nº	Descrição			
1	Enquadramento no período seco e úmido: uma única vazão	Q_{mlt} mensal	Passível de atender classes de qualidade superior	Não se mostra representativa da dinâmica natural da bacia, especialmente no período seco
2	Enquadramento sazonal: duas vazões, uma para o período seco e outra para o período úmido	Período úmido (nov a abr): Q_{mlt} Período seco (mai a out): $Q_{60\%}$	Representativa da sazonalidade climática da bacia	- Realidade: não tem escoamento no período seco – vazões nulas - Simulação de período seco considerada fictícia, uma vez que, mesmo com o melhor tratamento possível, o lançamento em leito seco será considerado como esgoto a céu aberto.
3	Enquadramento apenas no período úmido	Consideração de uma vazão de referência apenas para o período úmido, Q_{mlt} ou $Q_{60\%}$	- Condição representativa da sazonalidade climática da bacia em termos de período seco e chuvoso; - Desconsidera um potencial enquadramento fictício para o período seco; - Atende à Resolução CNRH n° 141/2012.	No período seco não tem enquadramento, implicando a necessidade de estabelecer padrões de lançamento mínimo para os parâmetros de enquadramento.

Após discussões realizadas, foi selecionada a alternativa 3, que apresentou mais vantagens comparativamente às outras duas, com a aplicação da vazão de referência $Q_{60\%}$ para o enquadramento, considerando o período úmido da bacia, entre os meses de novembro e abril.

6. CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES

Os estudos realizados levaram à conclusão principal de que, em bacias hidrográficas com cursos de água intermitentes, a adoção de vazões de estiagem como referência para o enquadramento deve ser sempre reavaliada, inclusive, com a consideração de uma vazão de referência de período úmido, tal como a $Q_{60\%}$, utilizada no estudo em pauta e como recomenda a Resolução do CNRH nº 141/2012.

Contudo, essa conclusão levou a outro desafio ao processo de enquadramento da bacia do rio Verde Grande: a definição de ações para melhoria da qualidade das águas adaptadas ao período úmido, quando as cargas de origem difusa assumem maior relevância. Conforme simulações realizadas, as cargas difusas correspondem a cerca de 90% do total disposto nos corpos de água da bacia, sendo, portanto, as principais responsáveis pelas condições de qualidade diagnosticadas.

Dessa forma, para a construção do Programa de Efetivação do Enquadramento, foram estudadas e propostas alternativas de ações voltadas à redução das cargas difusas, tais como: instalação de

biodigestores para rebanhos confinados; recuperação de matas ciliares; e ações de conservação de água e solo, como restauração ou conservação de vegetação nativa, construção de barraginhas, adequação de estradas vicinais, terraceamento e recuperação de pastagens degradadas. Tais ações foram avaliadas tecnicamente quanto às melhorias possíveis em termos de qualidade das águas na bacia e foram propostas em áreas piloto, de forma complementar à densificação do monitoramento de qualidade das águas, visando acompanhar e identificar o potencial da melhoria obtida ao longo do tempo, e atendimento às classes de qualidade requeridas pelos usos preponderantes mais restritivos de cada trecho de curso de água.

Os estudos culminaram na elaboração das minutas de resoluções do enquadramento dos rios de domínio da União e dos estados, a serem avaliadas pelo CBH e, na sequência, a serem homologadas pelos respectivos Conselhos de Recursos Hídricos Nacional e dos estados de Minas Gerais e da Bahia.

7. CONTEXTO INSTITUCIONAL DA ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS

Os estudos foram contratados à empresa de consultoria de engenharia Engecorps Engenharia S.A. pela Agência Peixe Vivo (APV), com recursos financeiros provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos da bacia aportados pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), mas com a participação ativa do CBH Verde Grande ao longo de todo o tempo.

O trabalho foi acompanhado pelo GAT formado por representantes do CBH Verde Grande e dos três OGRHs, que participaram ativamente das discussões sobre o conteúdo dos produtos gerados, e contribuíram com sugestões para melhorias e ajustes visando à sua aprovação, sempre sob a condução, coordenação geral, mediação e articulação da APV junto aos órgãos gestores.

Durante o período de desenvolvimento dos estudos, foram realizados eventos participativos como consultas públicas, além de uma audiência pública com participação das equipes da APV e do GAT, além da empresa contratada.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Relatório Pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Disponível em https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos. Acesso em maio de 2026. 2025.

BRUNNER, G. W. (2024). HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual. Version 6.5. Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2024.

INSA – Instituto Nacional do Semiárido. Disponível em https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro. Acesso em maio de 2026. Sem data.