

GUIA METODOLÓGICO DE  
**CÁLCULO DE  
PĚGADA  
HÍDRICA**  
PARA EDIFICAÇÕES



**GUIA METODOLÓGICO  
DE CÁLCULO DE  
PEGADA HÍDRICA  
PARA EDIFICAÇÕES**

**Presidente**

Odair Garcia Senra

**Vice-presidentes**

Eduardo May Zaidan

Fernando Paoliello Junqueira

Francisco Antunes de Vasconcellos Neto

Haruo Ishikawa

Jorge Batlouni Neto

José Romeu Ferraz Neto

Luiz Antônio Messias

Maristela Alves Lima Honda

Moacir Benvenuti Netto

Paulo Rogério Luongo Sanchez

Ricardo Beschizza

Ronaldo Cury de Capua

Yorki Oswaldo Estefan

**Representantes junto à Fiesp**

Eduardo Ribeiro Capobianco

João Claudio Robusti

Cristiano Goldstein

Sergio Antonio Monteiro Porto

**Conselho Fiscal***Titulares:*

Fabio Villas Bôas

Mauricio Linn Bianchi

Carlos Barbara

*Suplentes:*

Norton Guimarães de Carvalho

Fernando Rossi Fernandes

Rodrigo Fairbanks Von Uhlendorff

**Conselho Consultivo (eleitos)**

Alexandre Luis de Oliveira

André Alexandre Glogowsky

Arthur Rodrigues Quaresma

Artur Rodrigues Quaresma Filho

Delfino Paiva Teixeira de Freitas

Eduardo Ribeiro Capobianco

Emílio Paulo Siniscalchi

Fabio Lacerda Caldeira

Flavio Aragão dos Santos

Francisco Virgílio Crestana

João Batista de Azevedo

João Claudio Robusti

João Lemos Teixeira da Silva

José Batista Ferreira

José Edgard Camolese

José Romeu Ferraz Neto

Júlio Capobianco

Luis Gustavo Ribeiro

Luiz Alberto Matias Lucio Mendonça

Luiz Bonifácio Urel

Luiz Claudio Minniti Amoroso

Mauricio Monteiro Novaes Guimarães

Nelson Farah Fakiani

Renan Persio dos Santos

Renato Genioli Junior

Renato Soffiatti Mesquita de Oliveira

Renato Tadeu Parreira Pinto

Roberto José Falcão Bauer

Roberto Latorraca Lima

Sergio Antonio Monteiro Porto

Sergio Tiaki Watanabe

Stenio Armando Tokumoto de Almeida

Tarcisio Paschoalato

Victor Bassan de Almeida



# FICHA TÉCNICA



## SINDUSCON-SP

Odair Garcia Senra  
*Presidente*

Francisco Antunes de Vasconcellos Neto  
*Vice-Presidente*

Fabio Villas Boas  
*Coordenador do Comitê de Meio Ambiente - COMASP*

Lilian Sarrouf  
*Coordenadora Técnica do COMASP*

Vanessa Lima Nunes Dias  
*Analista Meio Ambiente do COMASP*

Rosilene Carvalho  
*Área de Conteúdo Técnico e Jurídico*



## CAIXA ECONÔMICA FEDERAL

### GERSA - GN Sustentabilidade e Responsabilidade Socio-ambiental

Morenno de Macedo  
*Gerente Executivo*

Sandra Cristina Bertoni Serna Quinto  
*Arquiteta*

### GIHABSP - GE Habitação São Paulo/SP

Luciana dos Anjos Versiani  
*Gerente de Filial*

Sergio Eduardo de Vasconcelos  
*Coordenador de Filial*

Sergio Yoshiyuki Ueno  
*Engenheiro Civil*

## COORDENAÇÃO TÉCNICA

Virgínia Dias de Azevedo Sodré - Infinitytech

Lilian Sarrouf - COMASP/SindusCon-SP

Vanessa Lima Nunes Dias - COMASP/SindusCon-SP





**AUTORES**

**Infinitytech Engenharia e Meio Ambiente**

Bruno Fukasawa,  
Marina Roque Oliveira  
Letícia Costa Cavallini  
Virgínia Dias de Azevedo Sodré

**PARTICIPANTES GRUPO DE TRABALHO**



**FAWER Engenharia e Projetos Ltda**

Iuri Quirino  
Wilson Feldberg



**MRV Engenharia e Participações S.A.**

Angela Aparecida de Oliveira  
Rosana Rodrigues da Costa Santiago



**TECNISA Engenharia e Comercio Ltda**

Eduardo Tassi Damião  
Stephano S. Lattanzi



**TEGRA Incorporadora S.A.**

Djanio Alves de Souza  
Luiz Carlos Junior Abreu



**TRISUL S.A.**

Cleberon Ferraz  
Victor Dias

**PROJETO GRÁFICO**

Setor de Comunicação - SindusCon-SP

**Publicado em 26/11/2019**

Este conteúdo está disponível para download no site do SindusCon-SP: [www.sindusconsp.com.br](http://www.sindusconsp.com.br)



# APRESENTAÇÃO | SINDUSCON-SP

## O primeiro passo na pegada hídrica

O uso eficiente da água na construção civil permeia há anos os debates no SindusCon-SP, tanto em seu Comitê de Meio Ambiente (Comasp) quanto no Comitê de Tecnologia e Qualidade (CTQ). Para manter sua tradição na liderança de temas relevantes para seus associados e demais empresas, a entidade desenvolveu com exclusividade, em parceria com a Caixa Econômica Federal e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Guia Metodológico para Cálculo de Pegada Hídrica no setor da construção civil. É a primeira publicação deste tema voltada ao setor.

O material busca trazer respostas aos diversos profissionais sobre como mensurar, de forma criteriosa, reproduzível e comparável, o consumo de água na produção e operação de um empreendimento. Não se pode gerenciar e melhorar o que não é medido, e a experiência internacional na área de recursos hídricos demonstra que não há gestão eficiente sem acesso à informação de qualidade (UNESCO, 2017).

Demos o primeiro passo, mas sabemos que esta proposta de metodologia deverá ser acompanhada em sua fase de implantação. Gostaríamos de que este trabalho seja difundido para um maior número de empresas e que possam utilizar esta metodologia piloto, para que melhorias possam ser incorporadas.

Queremos registrar aqui um agradecimento especial à Caixa Econômica Federal CEF e ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) que acreditaram e viabilizaram este trabalho. Agradecemos à equipe da CEF que acompanhou e contribuiu para o conteúdo do Guia.

Agradecemos também às empresas e aos profissionais participantes do processo da concepção da metodologia de cálculo, que de forma voluntária contribuíram com sua experiência e conhecimento: FAWER, MRV, TECNISA, TEGRA, TRISUL.

Agradecemos também à Infinitytech, que contribuiu com a sua competência para chegarmos ao resultado final.

Boa Leitura!

**Odair Senra**

*Presidente SindusCon-SP*



# APRESENTAÇÃO | CAIXA

## Caixa: compromisso com o Brasil

Desde que foi criada, em 1861, a Caixa sempre buscou ser mais que apenas um banco, mas uma instituição realmente presente na vida de milhões de brasileiros. É reconhecida como o Banco da Habitação por possibilitar a realização do sonho da maioria dos brasileiros: “a casa própria”. Destaca-se pela prioridade dada a habitações de interesse social, contribuindo para a redução do déficit habitacional e dos impactos ambientais negativos causados pela ocupação irregular.

O compromisso da CAIXA com o meio ambiente traduz-se em medidas concretas para financiar o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis. Em 2010, foi criado o Selo Casa Azul CAIXA, com a ambição de incentivar o uso racional de recursos naturais na construção de empreendimentos habitacionais, reduzir o custo de manutenção dos edifícios e as despesas mensais de seus usuários, assim como promover a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens das construções sustentáveis. A partir de 31/10/2019, com o incremento de novos paradigmas, o Selo Casa Azul CAIXA passa a se denominar Selo Casa Azul + CAIXA, fortalecendo o propósito de reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais.

A iniciativa se somou a outras importantes medidas da CAIXA, indutoras da produção habitacional sustentável, tais como o uso de madeira com origem legal na construção e o incentivo financeiro para sistemas de aquecimento solar de água, entre outras.

A CAIXA, protagonista no financiamento de habitação no Brasil, tem como premissa incentivar, induzir e promover a incorporação da sustentabilidade nos processos de produção habitacional. A indústria da construção é responsável pelo consumo de cerca de 70% de recursos naturais no processo construtivo, uso e manutenção dos edifícios. E a água, um importante recurso natural na produção e uso dos edifícios, essencial à vida, tem se tornado cada vez mais escassa. Portanto, faz-se ainda mais necessário adotar medidas de planejamento para construção de edifícios, visando a redução do consumo de água em todo o processo de construção e uso, bem como incorporar sistemas e medidas que possibilitem a gestão eficiente do uso da água nos edifícios pelos futuros usuários.

Diante desse contexto, a CAIXA, em parceria com o PNUD e o SindusCon-SP, promoveu o desenvolvimento de uma metodologia para cálculo de pegada hídrica no setor da construção civil, com o intuito de ampliar a compreensão sobre a apropriação de água na produção e uso de edificações e adaptar a metodologia estabelecida pela *Water Footprint Network* para aplicação na construção civil brasileira.

Este guia servirá como referência para avaliação da sustentabilidade hídrica no âmbito do Selo Casa Azul + CAIXA e pretende também ser útil a todos os estudantes, profissionais e empresas do setor da construção civil que busquem contribuir para o desenvolvimento sustentável, melhorando de forma progressiva e contínua suas práticas de projeto e construção, e desenvolvendo soluções mais inteligentes e sustentáveis.



# DEPOIMENTOS

“ O SindusCon-SP, através de seu Comitê de Meio Ambiente- COMASP, orienta e apoia as construtoras associadas no desenvolvimento da sustentabilidade como estratégia de negócio, e neste sentido, tem na correta gestão dos recursos hídricos, um dos seus temas prioritários.

O Guia tem o objetivo de orientar e padronizar a elaboração de Inventários de Pegada Hídrica para o Setor da Construção Civil, pois acreditamos que não há gestão sem informação. ”

**Francisco Antunes de Vasconcellos Neto**, *Vice-Presidente do SindusCon-SP*

.....

“ Esse projeto é muito importante para a definição de diretrizes e padrões de sustentabilidade relacionados à gestão de recursos hídricos na construção civil, fomentando a incorporação de boas práticas pelo setor.

No curto prazo, propõe-se que as conclusões desse projeto subsidiem o processo de revisão do Selo Casa Azul no que tange à definição dos critérios pertinentes à gestão eficiente da água. No longo prazo, pretendemos criar uma base robusta de informações sobre a apropriação de recursos hídricos pela indústria da construção civil, entre outros fatores, para subsidiar a tomada de decisões.

É importante ponderar que a ideia não é criar mais um mecanismo de classificação de empreendimentos focado em uma única categoria (no caso, recursos hídricos), mas sim analisá-la com mais profundidade e aperfeiçoar iniciativas como o Selo Casa Azul, que busca reconhecer e incentivar a adoção de um rol de soluções sustentáveis na produção de empreendimentos, reforçando o compromisso da Caixa com o alcance dos ODS – Objetivo do Desenvolvimento Sustentável. ”

**Moreno de Macedo**, *Gerente Executivo de Promoção de Negócios Sustentáveis da CAIXA*

.....

“ O SindusCon-SP, através de seu Comitê de Meio Ambiente- Comasp, vem protagonizando por mais de 20 anos ações para o desenvolvimento sustentável da construção civil brasileira.

Foram inúmeros projetos: Madeira Legal, Gestão de Resíduos, Economia Circular, Eficiência Energética, Gases de Efeito Estufa e outros, todos disponíveis no site do SindusCon-SP. Recentemente através de sua coordenadora técnica, Lilian Sarrouf, liderou as Comissões de Estudo das normas ABNT NBR 16783:2019- Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações e a NBR 16782:2019, Conservação de água em edificações- Requisitos, procedimentos e diretrizes. Esta última experiência culminou na publicação, com a participação de tradicionais e importantes parceiros, como a Caixa e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, do Guia da Pegada Hídrica, importantíssimo instrumento para o uso consciente de recurso fundamental para a vida, a ÁGUA. ”

**Fabio Villas Bôas**, *Coordenador do Comitê de Meio Ambiente do SindusCon-SP*

.....

“ O processo de construção da Metodologia foi muito discutido com as empresas e “traduzido” para a realidade do setor. A experiência das empresas com a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa também contribuiu neste trabalho.

Conceitos como gestão de riscos foram incorporados nas orientações para a concepção dos empreendimentos. Um olhar diferenciado nos projetos e a correta escolha de sistemas construtivos e materiais poderão contribuir muito com a redução da Pegada Hídrica. ”

**Lilian Sarrouf**, *Coordenadora Técnica do Comitê de Meio Ambiente do SindusCon-SP*



“ Os principais objetivos do Guia: padronizar e normalizar as métricas relativas ao uso da água, homogeneidade nas informações e na geração de indicadores, melhoria no gerenciamento hídrico nos empreendimentos e assertividade nas decisões.

O guia aponta que o protagonismo do setor de edificações traz consigo a inegável responsabilidade sobre a utilização eficiente de recursos naturais, entre eles a água, sendo necessário o estabelecimento de indicadores que permitam avaliar criteriosamente a eficiência ambiental das obras e auxiliem tomadores de decisão na escolha por materiais e processos que resultem em menores impactos negativos ao meio ambiente. ”

**Virgínia Sodré**, *Diretora da Infinitytech*

.....

“ Está na política da empresa a questão da sustentabilidade. Então acompanhamos periodicamente as discussões sobre os temas. A participação no grupo de trabalho mostra que o guia é totalmente viável. No transcorrer das atividades testamos a ferramenta, demos sugestões e participamos da elaboração justamente para ser uma ferramenta prática para uso. A metodologia é totalmente aplicável e não tem segredo, é fácil de usar e fácil de implementar no canteiro de obras. ”

**Wilson Feldberg**, *Diretor da Fawer Engenharia*

.....

“ O Guia é uma ideia muito bacana, daqui para frente iremos conseguir implantar em nossas obras, pois estamos sempre atentos à questão da sustentabilidade. Em alguns de nossos canteiros de obras fazemos controles, mas queremos aprofundar a questão. O tema sustentabilidade vem tendo uma crescente aceitação e a pegada hídrica vai pelo mesmo caminho. A sustentabilidade, dentre outros aspectos, está ligada a não poluir; com o guia, vamos conseguir cuidar dos recursos hídricos e entender que, se cuidarmos hoje, teremos um futuro mais próspero. ”

**David Almeida**, *Analista de Qualidade da MRV Engenharia*

.....

“ As construtoras estão cada vez mais atentas a questões relacionadas à sustentabilidade, como redução do consumo de água no canteiro e nos empreendimentos, e redução da pegada hídrica, que são conceitos diferentes. O manual traz luz aos conceitos relacionados à pegada hídrica e padroniza uma forma de cálculo que serve de referência para a tomada de ação pelas construtoras. Ele tem o mérito de tornar um tema complexo, com diversos estudos e formas de avaliação, em algo acessível, com embasamento, passo a passo e exemplos. Parabéns a todos os envolvidos pela iniciativa e pelo trabalho, e espero que venham mais com esse formato colaborativo, que é muito rico. ”

**Eduardo Tasse Damião**, *Analista de Desenvolvimento Tecnológico da Tecnisa*

.....

“ Sem dúvida alguma, o Guia é mais uma ferramenta que vai ajudar a monitorar e conhecer novos indicadores para medir os impactos causados pelo setor. ”

**Djanio Souza**, *Coordenador de Qualidade e de Meio Ambiente da Tegra Incorporadora*

.....

“ O manual é um derivativo de uma equipe multidisciplinar e propõe uma uniformidade das informações, colocando todos os agentes no mesmo caminho, com a chancela da CAIXA. O Guia apresenta uma leitura simples, possui termos técnicos de fácil entendimento, e tem tudo para adquirir mais adeptos e mais visibilidade. ”

**Victor Dias**, *Coordenador de Sustentabilidade da Trisul*



# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO   SOBRE O GUIA .....	12
INTRODUÇÃO   RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO NO BRASIL .....	14
<b>1. PEGADA HÍDRICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES .....</b>	<b>18</b>
1.1 Conceito e relevância na gestão de recursos hídricos .....	18
1.2 Avaliação da pegada hídrica .....	19
1.3 Literatura especializada sobre pegada hídrica para edificações.....	20
1.4 Outras iniciativas de avaliação de impacto sobre recursos hídricos.....	25
<b>2. DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES .....</b>	<b>28</b>
2.1 Definições metodológicas.....	28
2.1.1 Definição de metas e escopo .....	28
2.1.2 Decomposição da pegada hídrica .....	29
2.1.3 Definição de métrica comum: pegada hídrica específica .....	31
2.1.4 Definição de padrões: categorização, agregação e homogeneização .....	32
2.1.5 Simplificações adotadas .....	35
2.1.6 Implicações teóricas de destaque .....	36
2.2 Processo participativo junto a construtoras e incorporadoras.....	37
2.2.1 Metodologia de participação .....	37
2.2.2 Bases documentais e visão geral sobre ações em prol da água .....	39
2.2.3 Gestão de água em canteiros: valores e indicadores .....	41
2.2.4 Avaliação por curvas ABC de custos e de PH de materiais .....	46
2.2.5 Ferramenta de Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações (FPH <sub>edif</sub> ).....	50
<b>3. ROTEIRO DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES .....</b>	<b>54</b>
3.1 Levantamento de dados .....	54
3.2 Pegada hídrica de obra .....	56
3.2.1 Pegada hídrica de obra direta – PH <sub>obra,d</sub> .....	58
3.2.2 Pegada hídrica de obra indireta – PH <sub>obra,i</sub> .....	68
3.2.3 Pegada hídrica de obra – PH <sub>obra</sub> .....	72



3.3 Pegada hídrica de uso.....	74
3.3.1 Pegada hídrica de uso direta – $PH_{uso,d}$ .....	75
3.3.2 Pegada hídrica de uso – $PH_{uso}$ .....	77
3.4 Pegada hídrica da edificação .....	77
3.5 Pegada hídrica específica.....	78
3.5.1 $PH_{obra}$ específica .....	78
3.5.2 $PH_{uso}$ específica.....	78
3.6 Exemplos de aplicação da metodologia .....	78
<b>4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDOS PRÁTICOS, AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO COM LITERATURA .....</b>	<b>95</b>
4.1 Resultados da aplicação da metodologia .....	96
4.1.1 Pegada hídrica de obra – $PH_{obra}$ .....	96
4.1.2 Pegada hídrica de uso – $PH_{uso}$ .....	104
4.1.3 Pegada hídrica da edificação – $PH_{edif}$ .....	106
4.2 Comparação dos resultados com a literatura .....	111
4.3 Outras análises.....	113
4.3.1 Comparação entre os resultados da Infinitytech e do GT .....	113
4.3.2 Análise rápida vs. análise detalhada para $PH_{obra}$ .....	115
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E FUTUROS PASSOS .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 1. Coeficientes de pegada hídrica (CPH) e categorização de materiais (MAT1 e MAT2) .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 2. Instruções de solicitação de dados de PH a fabricantes e fornecedores.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO 3. Instruções para determinação em campo de variáveis (C, cargas etc.).....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO 4. Perguntas frequentes sobre pegada hídrica.....</b>	<b>135</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>142</b>
<b>SUMÁRIO DE TABELAS.....</b>	<b>143</b>
<b>SUMÁRIO DE FIGURAS .....</b>	<b>144</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>145</b>



## INTRODUÇÃO | SOBRE O GUIA

A crescente preocupação com a temática ambiental nas últimas décadas inevitavelmente leva profissionais da área a se deparar com uma questão elementar, mas de difícil resolução: como mensurar, de forma criteriosa, reproduzível e comparável, os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente? É evidente que, se os impactos são observados, há maneiras de quantificá-los, ainda que isso implique na necessidade de simplificações e generalizações inerentes a qualquer tipo de modelagem. Não se pode gerenciar e melhorar o que não é medido, e a experiência internacional na área de recursos hídricos demonstra que não há gestão eficiente sem acesso a informação de qualidade (UNESCO, 2017), seja no que se refere a um único empreendimento, como uma edificação residencial, ou na gestão de bacias hidrográficas transnacionais que requerem cooperação internacional de alto nível.

Metodologias, indicadores, índices e demais elementos de planejamento e gestão ambientais têm sido continuamente desenvolvidos e aprimorados por pesquisadores nos mais diversos temas: pegadas de carbono, índices de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), Análise de Ciclo de Vida (ACV), índices de consumo de energia elétrica de fontes não renováveis, e os dedicados especificamente à água, como água virtual e a pegada hídrica.

A pegada hídrica é um indicador ambiental que mensura a quantidade de água apropriada na realização de processos, sendo “um indicador do uso de água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto” (HOEKSTRA et al., 2011). A partir da quantificação de um ou mais processos, torna-se possível se chegar à pegada hídrica de produtos, consumidores, empresas, municípios e até países. Historicamente, a utilização de PH é muito ligada a produtos agropecuários, mas recentes estudos vêm abordando também outras atividades, entre elas a construção civil.

Ainda que haja certa variabilidade da definição do conceito no meio técnico, indicadores ambientais podem ser considerados variáveis- geralmente quantitativas, mas também qualitativas- que representam de forma sintética as condições e/ou tendências de determinado sistema a partir de um conjunto de dados e informações mensuráveis (GOMES, 2012). A vantagem de seu emprego reside





na facilidade de comunicação junto a tomadores de decisão e ao público não especializado por meio da agregação de múltiplas variáveis complexas em um único valor; sua grande desvantagem, todavia, resulta exatamente da inerente perda de informações ocorrida na simplificação. Indicadores podem ser utilizados para estabelecimento de benchmarking no mercado, bem como de Key Performance Indicators (KPIs) para acompanhamento de ações e monitoramento de metas, sendo elementos indispensáveis de planejamento e gestão.

O protagonismo do setor de edificações no desenvolvimento urbano traz consigo a inegável responsabilidade sobre a utilização eficiente de recursos naturais, entre eles a água, sendo necessário o estabelecimento de indicadores que permitam avaliar criteriosamente a eficiência ambiental dos empreendimentos e auxiliem tomadores de decisão na escolha por materiais e processos que resultem em menores impactos negativos ao meio ambiente. No entanto, hoje não há clareza sobre como mensurar os impactos das atividades do setor sobre os recursos hídricos, havendo notável carência no estabelecimento de métricas comuns que permitam avaliações direcionadas. Nesse contexto, a possibilidade de utilização da pegada hídrica surge como grande oportunidade de avanços nesse campo.

Frente a essa lacuna, este Guia metodológico de cálculo de pegada hídrica para edificações objetiva apresentar metodologia de cálculo de pegada hídrica desenvolvida para o setor de edificações brasileiro, trazendo aspectos conceituais, procedimentos adotados no desenvolvimento, roteiro detalhado de cálculo, exemplos e resultados de testes e de aplicações práticas. O processo de desenvolvimento adotado prezou pela participação ativa de construtoras e incorporadoras associadas do SindusCon-SP, buscando aderência às práticas, possibilidades e expectativas do setor. A participação dos técnicos da Caixa Econômica Federal também contribui com a experiência de seus empreendimentos, sendo essa possivelmente a primeira iniciativa brasileira no tema, ao final do guia são discutidas possibilidades de aprimoramento da metodologia, apontando possíveis caminhos a serem tomados por futuros estudos que venham a enriquecer os conhecimentos sobre o assunto.

Espera-se que os aprendizados obtidos ao longo do desenvolvimento da metodologia e apresentados neste documento ensejem a realização de novos estudos na área, ampliando a compreensão sobre a pegada hídrica para edificações e potencializando práticas positivas de gestão de recursos hídricos.

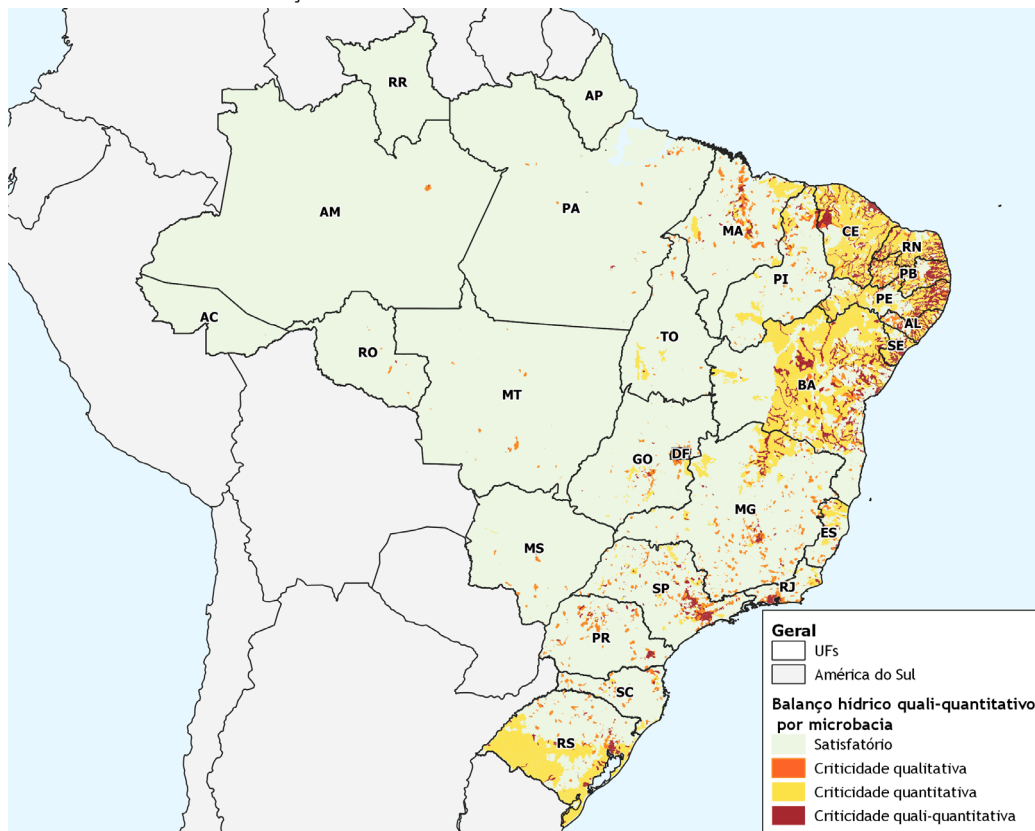


## INTRODUÇÃO | RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO NO BRASIL

A avaliação dos impactos de atividades humanas sobre recursos hídricos não pode ser realizada somente na escala de um único empreendimento, sendo fundamental a compreensão das condições dos entornos, da bacia hidrográfica e até mesmo em níveis estaduais e nacional. Portanto, nesta introdução serão abordados temas gerais sobre a situação de recursos hídricos e saneamento básico no Brasil, almejando trazer visão mais ampla sobre a temática.

O cenário de recursos hídricos e saneamento básico no Brasil é diverso e complexo. Apesar da concepção de abundância que existe sobre a disponibilidade de água, há regiões que sofrem problemas crônicos e severos de escassez de água, sejam eles relacionados à quantidade de água disponível ou à sua qualidade e adequação para diferentes usos, o que pode ser traduzido pelos balanços hídricos. O balanço hídrico é um tipo de indicador que se baseia em relações qualitativas e/ou quantitativas entre as demandas de água para o suprimento de múltiplos usos e a disponibilidade natural do recurso. Áreas altamente adensadas, como é o caso de regiões metropolitanas, historicamente vêm apresentando piores nos valores de balanço hídrico, fato evidenciado pelas cada vez mais comuns crises de abastecimento.

**FIGURA 1**  
BALANÇO QUALI-QUANTITATIVO DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA



Fonte: adaptado de ANA (2016). Elaboração própria.



Nesse contexto, a compreensão de indicadores relativos a saneamento básico (especificamente água e esgoto) é também fundamental, uma vez que esses serviços estão intimamente ligados à exploração e deterioração de corpos hídricos.

Em 2017 a média nacional de abastecimento da população urbana por rede de água foi de 93%; contudo, tal valor não é homogêneo para todo o território nacional, variando entre 70% para a região Norte e 98,4% para a região Sul. Já em termos de esgoto, os dados nacionais são significativamente inferiores, com valores de 58% para coleta e 46% para tratamento (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2019c). Ou seja, a coleta de esgotos contempla menos de 60% da população, e ainda há significativa parcela que é coletada e, por não ser submetida a tratamento, é lançada in natura em corpos hídricos receptores. Esse fato aponta o potencial do impacto sobre a qualidade de corpos hídricos receptores decorrente da gestão atual de água e esgotos no Brasil.

**TABELA 1**

ÍNDICES DE ATENDIMENTO URBANO DE ÁGUA, COLETA, E TRATAMENTO DE ESGOTOS POR UF BRASILEIRA

Região	UF	Índice de atendimento urbano de água (%)	Índice de coleta de esgoto (%)	Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%)
N	Acre	65,41	18,98	18,98
	Amapá	40,44	13,80	13,02
	Amazonas	88,37	47,28	43,59
	Pará	57,02	9,65	6,27
	Rondônia	62,13	10,12	7,97
	Roraima	99,69	72,88	72,88
	Tocantins	98,03	30,97	30,81
	Total região N	69,95	24,77	22,58
NE	Alagoas	88,71	22,35	20,04
	Bahia	94,70	54,65	50,42
	Ceará	79,83	38,16	37,26
	Maranhão	73,83	28,13	9,18
	Paraíba	91,78	39,21	38,10
	Pernambuco	90,56	31,06	31,01
	Piauí	96,40	11,46	11,37
	Rio Grande do Norte	91,13	29,78	29,71
	Sergipe	94,34	30,86	30,86
Total região NE	88,78	37,95	34,73	



Região	UF	Índice de atendimento urbano de água (%)	Índice de coleta de esgoto (%)	Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%)
SE	Espírito Santo	90,59	54,39	41,77
	Minas Gerais	92,59	64,47	37,88
	Rio de Janeiro	93,71	50,80	33,64
	São Paulo	98,60	82,18	64,56
	Total região SE	95,94	69,37	50,39
S	Paraná	99,97	72,00	71,58
	Rio Grande do Sul	97,38	30,02	25,82
	Santa Catarina	97,19	28,97	28,01
	Total região S	98,44	46,92	44,93
CO	Distrito Federal	98,71	84,42	84,42
	Goias	97,52	54,62	47,95
	Mato Grosso	97,65	40,10	33,23
	Mato Grosso do Sul	99,34	42,49	42,46
	Total região CO	98,10	56,07	52,02
<b>Nacional</b>		<b>92,98</b>	<b>58,04</b>	<b>46,00</b>

(1) Indicador operacional de água IN023. Refere-se à porcentagem da população urbana abastecida por água potável.

(2) Indicador operacional de esgoto IN015. Refere-se à porcentagem de esgoto coletado referentemente à água consumida.

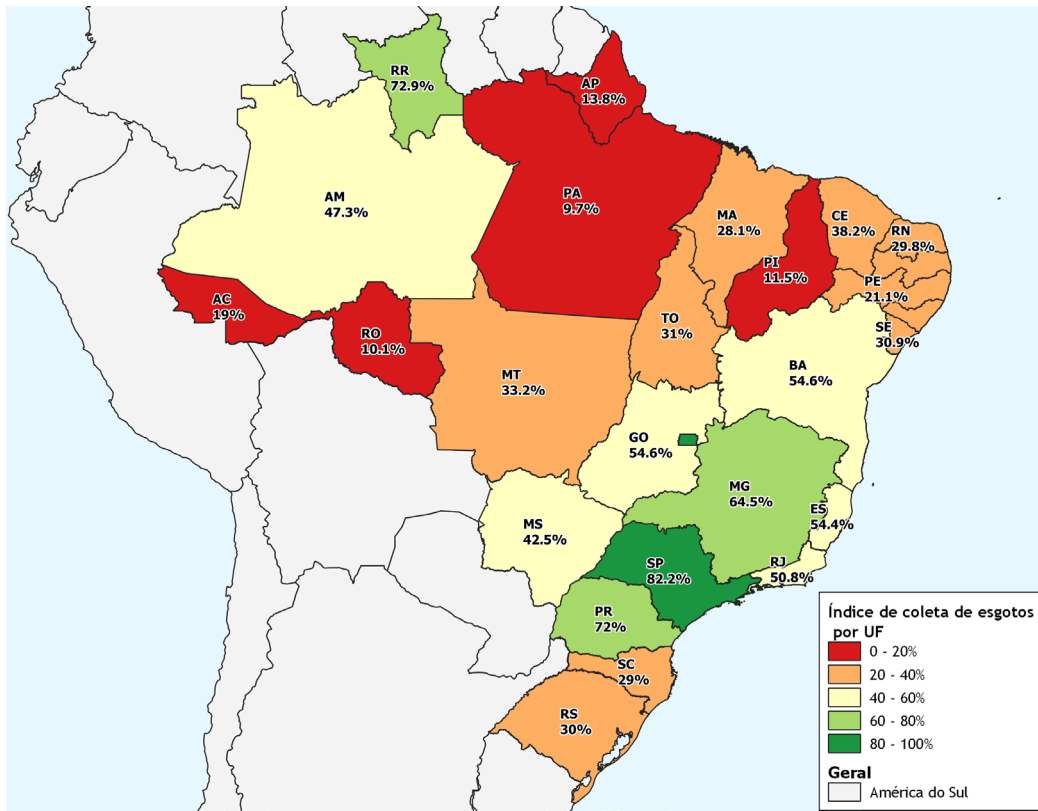
(3) Indicador operacional de esgoto IN046. Refere-se à porcentagem de esgoto tratado referentemente à água consumida.

Fonte: MDR/SNS, 2019c.

Ao longo do território nacional a prestação de serviços de coleta varia, mostrando-se mais intensa nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste. Além disso, mesmo os índices de coleta de esgoto entre capitais podem variar significativamente, como é o caso de São Paulo (89,9%) e Rio de Janeiro (47,7% para a região atendida pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos e 19,8% para a Fab Zona Oeste S.A.) segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Regional (2019b). A **Figura 2** a seguir representa a distribuição por faixas dos dados de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água, facilitando a visualização da distribuição deste indicador no país.



**FIGURA 2**  
ABRANGÊNCIA DE COLETA DE ESGOTOS POR UF



Fonte: Adaptado de MDR/SNS, 2019c. Elaboração própria.

O índice de tratamento de esgoto, que relaciona o volume tratado com o coletado, evidencia que a coleta não implica no encaminhamento dos efluentes para uma estação de tratamento; mesmo para os estados com maiores índices de coleta, a porcentagem de esgoto tratado não representa a totalidade do volume coletado na maioria dos casos (Tabela 1). Novamente, mesmo para as capitais os índices de tratamento variam muito, como para Curitiba (100%), São Paulo (84,9%) e Belo Horizonte (76,6%) segundo dados do Ministério do Desenvolvimento Regional (2019b).

A gestão de recursos hídricos é um assunto altamente complexo, e a atuação de atores privados, públicos e sociedade civil deve ser articulada em múltiplos níveis, englobando a visão ampla e sistêmica na escala do país, regiões e bacias hidrográficas, bem como na de municípios, microbacias, edificações e, em última instância, indivíduos.



# 1. PEGADA HÍDRICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES

## 1.1 Conceito e relevância na gestão de recursos hídricos

Dentre as diversas metodologias de avaliação de impactos humanos sobre os recursos hídricos, a **pegada hídrica** é um dos principais indicadores quantitativos do comprometimento direto e indireto de água ao longo do ciclo de vida de produtos, usuários, empreendimentos, empresas, cidades, países etc. O conceito foi desenvolvido pelo professor israelense Arjen Hoekstra em 2002 e vem sendo, desde então, aprimorado e difundido pela *Water Footprint Network* (WFN), tendo como importante marco a publicação do **“Manual de Avaliação da Pegada Hídrica”** (HOEKSTRA et al., 2011), material que serve como referência para todos os trabalhos na área.

De forma mais objetiva, Hoekstra et al (2011) define pegada hídrica como “um indicador do uso de água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto”, podendo ser considerada como um “indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos”. A metodologia estabelece três tipos de pegada hídrica, cada qual relacionado a distintas maneiras de comprometimento de recursos hídricos.



**Pegada hídrica azul (PH<sub>azul</sub>):** água proveniente de uma bacia hidrográfica (superficial ou subterrânea), evaporada, incorporada a um produto ou retirada e devolvida a outro corpo hídrico. Relevante para agricultura, indústria e uso doméstico. A PH<sub>azul</sub> se refere à água “perdida” em determinado processo, geralmente por evaporação ou incorporação ao produto.

$$PH_{azul} = \text{água evaporada} + \text{água incorporada} + \text{vazão de retorno perdida}$$



**Pegada hídrica verde (PH<sub>verde</sub>):** água precipitada, armazenada no solo, evaporada, transpirada ou incorporada pelas plantas. Relevante para produtos agrícolas, horticultura e florestais ou para a irrigação.

$$PH_{verde} = \text{evaporação de água verde} + \text{incorporação de água verde}$$



**Pegada hídrica cinza (PH<sub>cinza</sub>):** quantidade de água doce necessária para assimilar poluentes e atender aos parâmetros de qualidade da água. Considera a poluição de fonte pontual lançada a um curso de água doce diretamente ou indiretamente através de escoamento superficial ou lixiviação do solo.

$$PH_{cinza} = \frac{L}{(C_{max} - C_{nat})}$$

- L carga de poluente
- C<sub>máx</sub> concentração máxima aceitável do poluente no corpo hídrico
- C<sub>nat</sub> concentração natural<sup>1</sup> do poluente no corpo hídrico

Um dos principais atributos da pegada hídrica é sua capacidade de contabilizar diversas apropriações de água distintas (como a água perdida por evaporação e a necessária para diluição de efluentes) num único indicador quantitativo, permitindo comparações objetivas entre processos, produtos etc.

### Leitura adicional



Esclarecimentos teóricos complementares sobre o conceito de pegada hídrica são apresentados no **ANEXO 4**, e recomenda-se sua leitura para melhor compreensão sobre os fundamentos teóricos da PH.

1 Para substâncias que não ocorrem naturalmente na água C<sub>nat</sub> = 0



**PH<sub>azul</sub> não é igual à demanda de água.**

Um erro recorrente na avaliação de PH é considerar que a PH<sub>azul</sub> é igual à demanda **direta** de água para determinado processo, o que não está de acordo com a metodologia da WFN. Conforme explicado acima, a PH<sub>azul</sub> se refere à água “perdida”, ou seja, não retornada na forma de efluente, o que é somente uma parcela da **diretamente** demandada.

**1.2 Avaliação da pegada hídrica**

A avaliação da PH deve ser realizada dentro de um escopo bem definido, com objetivos, metas e procedimentos estabelecidos, bem como deve embasar propostas de melhoria ao final da análise. O processo é composto por quatro etapas principais e por meio das quais são examinados os usos direto e indireto da água do objeto de estudo. As etapas contemplam a definição dos escopos espacial e temporal para a avaliação da pegada hídrica; quantificação (cálculo) da pegada hídrica; análise dos resultados com relação à sustentabilidade do entorno; e, por fim, propõe medidas corretivas ou de melhoria.

**Definição de metas e escopo | Esclarecer os objetivos da avaliação de pegada hídrica**

O primeiro passo consiste na definição da meta final, ou seja, aquilo que se almeja pela avaliação da pegada hídrica. Esclarecido este ponto, deve-se definir o escopo de estudo, como os produtos ou processos avaliados, classes de PH consideradas, e escalas espacial e temporal.

Uma importante definição desta etapa é o ponto de truncamento, isto é, até qual processo será realizada a análise retroativa ao longo da cadeia de processos. Não há orientação definitiva para a definição deste ponto e, na prática, apenas algumas etapas do processo contribuem substancialmente para a pegada hídrica. Dessa forma, é necessário avaliar de maneira criteriosa quais as etapas mais influentes na pegada hídrica dentro do escopo e definir com clareza até que ponto a avaliação da pegada hídrica deve ser realizada.

**Cálculo da pegada hídrica | Quantificação dos recursos hídricos apropriados**

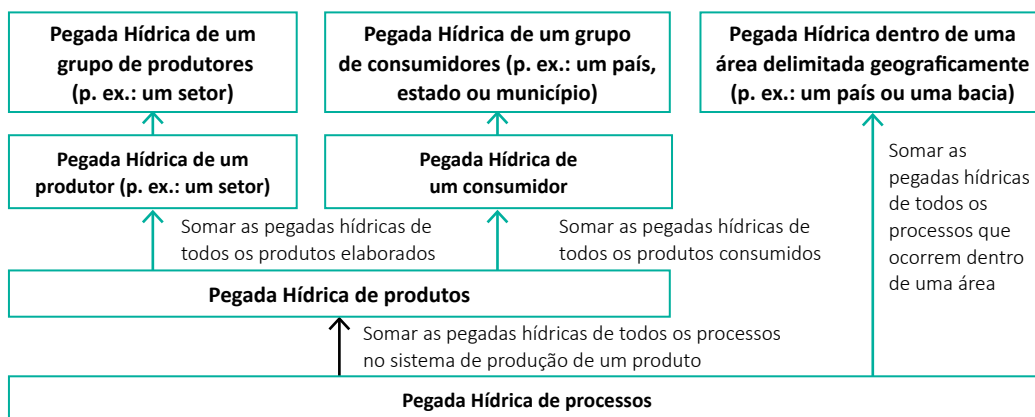
O dimensionamento de pegada hídrica fornece elementos para a quantificação da apropriação de água em espaço e tempo definidos. O cálculo permite a compreensão da relação entre a quantidade e qualidade de água doce disponível e aquelas demandadas pela sociedade no escopo de estudo.

A unidade fundamental para o cálculo é a PH de processo, a qual caracteriza uma dinâmica específica dentro de uma cadeia produtiva ou área e, quando agregada para cada produto ou local, representa sua PH global. A partir da PH de processo, é possível calcular a PH de produto, a qual agrega a pegada de todas as dinâmicas consideradas no escopo de estudo deste item. **Figura 3** ilustra a supracitada relação.



FIGURA 3.

ETAPAS DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA – A PEGADA HÍDRICA DE PROCESSO É A UNIDADE BÁSICA



Fonte: Hoekstra et al. (2011)

Por meio dessa abordagem, é possível também calcular a pegada hídrica para diferentes atores do ciclo produtivo, como empresas e clientes. Por exemplo, a PH de um consumidor pode ser dimensionada pela pegada de todos os produtos que ele consome, bem como pela apropriação de água que este realiza durante o uso destes itens.

#### Avaliação de sustentabilidade | Relação da pegada hídrica com o cenário

A metodologia da WFN propõe que, para análise da sustentabilidade da pegada hídrica, sejam consideradas características do cenário em estudo, cabendo compreensão de como as pegadas hídricas interagem com o entorno. Devem ser levadas em conta as características do processo em seu contexto geográfico-temporal. Recomenda-se que a avaliação apresente como contexto geográfico a bacia hidrográfica, dado que a utilização de unidades territoriais hidrológicas permite a melhor comparação com parâmetros usuais para recursos hídricos, como disponibilidade hídrica, pluviometria e capacidade de assimilação de poluentes pelos corpos hídricos. Assim, situações de estresse hídrico, secas intensas, usos consuntivos de água e variabilidade sazonal no regime hídrico podem ser consideradas na avaliação da pegada hídrica. No caso específico de um contexto geográfico que já possua, em determinado período ou cronicamente, pegada hídrica global insustentável, a PH de um processo, produto ou empresa automaticamente também será considerada insustentável. Caso contrário, pode-se considerar a PH insustentável para um ou mais pilares da sustentabilidade.

#### Formulação de resposta | Definição de ações

Como etapa final da avaliação de pegada hídrica, devem ser definidas as ações para redução da PH, considerando a hierarquia de prioridades da sustentabilidade. Além disso, a PH pode ser utilizada como base para o estabelecimento de benchmarking, de modo a gestão de recursos hídricos possa ser mensurada e possam ser difundidas boas práticas entre os atores da cadeia produtiva.

### 1.3 Literatura especializada sobre pegada hídrica para edificações

Historicamente, a utilização de PH como ferramenta de avaliação é muito ligada a produtos agropecuários (HOKSTRA et al., 2011; GERBENS-LEENES et al., 2018), setor profundamente conectado ao consumo de água. Nos últimos anos, entretanto, vêm sendo desenvolvidos estudos sobre pegada hídrica de determinados materiais empregados na construção civil, como cimento (HOSSEINIAN & NEZAMO-





LESLAMI, 2016); aço, concreto e vidro (GERBENS-LEENES et al., 2018); e concreto (SILVA & VIOLIN, 2013; BARRETO, 2015; LIMA et al., 2016; MACK-VERGARA & JOHN, 2017). A **Tabela 2** abaixo resume distintos estudos que tratam de pegada hídrica (ou de outros indicadores muito similares) para a construção civil.

**TABELA 2**  
 COMPILAÇÃO DE ESTUDOS ESPECÍFICOS DE PH/ÁGUA VIRTUAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Autor(es)	Área de estudo	Estudo	Acesso
Pessarello (2008)	São Paulo	Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores	<a href="http://www.poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/7f3c9143404e82ba87639255e32062e6.pdf">http://www.poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/7f3c9143404e82ba87639255e32062e6.pdf</a>
McCormack et al. (2007)	Austrália	Modelling direct and indirect water requirements of construction	<a href="https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210601125383">https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613210601125383</a>
Bardhan (2011)	Índia	Assessment of water resource consumption in building construction in India	<a href="https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/144/21933">https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/144/21933</a>
Silva & Violin (2013)	Maringá- PR (Brasil)	Gestão da água em canteiros de obras de construção civil	<a href="http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Robson_Rodrigo_da_Silva2.pdf">http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Robson_Rodrigo_da_Silva2.pdf</a>
Souza (2014)	Fortaleza- CE (Brasil)	Proposta metodológica de cálculo para pegada hídrica na construção civil imobiliária	<a href="http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014_tese_jlsouza.pdf">http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014_tese_jlsouza.pdf</a>
Meng et al. (2014)	E-Town (Beijing)	Virtual water accounting for building: case study for E-town, Beijing	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008998">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008998</a>
Saade et al. (2014)	Brasil	Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings	<a href="https://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/SASBE-04-2013-0024">https://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/SASBE-04-2013-0024</a>
Wärmark (2015)	Uppsala (Suécia)	Assessment of water footprint for civil construction projects	<a href="http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Katarina_W%C3%A4rmark.pdf">http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Katarina_W%C3%A4rmark.pdf</a>
Lima et al. (2016)	Sousa- PB (Brasil)	Cálculo da pegada hídrica total em uma empresa da construção civil localizada no semiárido nordestino	<a href="http://www.evolvedoc.com.br/srhne/download-2016-UEFQMDIxNTY1LnBkZg==">http://www.evolvedoc.com.br/srhne/download-2016-UEFQMDIxNTY1LnBkZg==</a>
Han et al. (2016)	E-Town (Beijing)	Virtual water accounting for a building construction engineering project with nine sub-projects: a case in E-town, Beijing	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615009762">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615009762</a>
Gerbens-Leenes et al. (2018)	Global	The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X</a>
Hosseinian & Nezamoleslami (2018)	Irã	Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X</a>
IWP (2016)	Calcutá (Índia)	Calculating the water footprint of buildings	<a href="https://www.indiawaterportal.org/articles/calculating-water-footprint-buildings">https://www.indiawaterportal.org/articles/calculating-water-footprint-buildings</a>



A produção científica no tema de PH para o setor da construção civil ainda é escassa, seja no Brasil (SOUZA, 2014) ou em demais países (MENG et al., 2014; HAN et al., 2016). Segundo Meng et al. (2014), a maioria das ações em prol da conservação de água segue continuamente focando nos usos diretos do recurso, sendo raros os estudos que avaliem apropriações de processos e materiais empregados.

Alguns poucos estudos também possuem abordagem mais completa, considerando tanto os supracitados materiais como também usos em canteiro, tendo como objetivo o cálculo da PH total da construção de empreendimentos. Exemplos são os trabalhos de de McCormack et al. (2007), Bardhan (2011), Souza (2014), Meng et al. (2014), Wärmark (2015) e Han et al. (2016).

Conforme já comentado, a metodologia de pegada hídrica da WFN é bastante abrangente e confere ao usuário alto grau de liberdade na definição de como realizar sua contabilização. Por isso, é muito comum que estudos apresentem nomenclaturas, padrões e definições diferentes entre si, o que dificulta a comparação imediata entre os resultados. O que Souza (2014) considera como PH direta, por exemplo, não é o mesmo que Saade et al. (2014) ou Meng et al. (2014), sendo necessário algum esforço de “reagregação” dos números para que seja possível comparar tipos de PH equivalentes entre si. Essa ressalva é fundamental porque explicita a importância da definição clara dos procedimentos de decomposição e cálculo de PH (como será abordado no item 2.1), ao passo que também justifica as adaptações realizadas para relação dos valores de PH<sub>azul</sub> apresentados na **Tabela 3**. Principalmente para o setor de edificações, é comum o emprego de pegada hídrica específica em função da área total construída (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).

**TABELA 3**  
PH<sub>azul</sub> DIRETA E INDIRETA POR M<sup>2</sup> CONSTRUÍDO

Autor	Local	Tipo	Direta <sup>(1)</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )		Indireta <sup>(2)</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )		Total (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
			m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	%	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	%	
McCormack et al. (2007)	Austrália	Múltiplos usos	0,01-2,0	~5%	1,5-19,0	~95%	2,0-20,1
Bardhan (2011)	Calcutá (Índia)	Residencial	2	7,2%	25,6	92,7%	27,61
Souza (2014)	Fortaleza- CE (Brasil)	Residencial	0,36 <sup>(3)</sup>	0,4%	93,62	99,6%	93,98
Saade et al. (2014)	Brasil	Serviços	-	-	1,97 <sup>(4)</sup>	-	-
Meng et al. (2014)	Pequim (China)	Comercial	0,43 <sup>(5)</sup>	2,1%	20,40	97,9%	20,83

(1) Referente aos consumos efetivos ocorridos em canteiro.

(2) Referente à PH de produção dos materiais/insumos utilizados na obra.

(3) Souza (2014) utiliza conceito de PH direta distinto do adotado neste guia. Foram extraídos do estudo valores referentes somente às demandas efetivas em canteiro (6.744 m<sup>3</sup>) e realizadas aproximações para cálculo do volume consumido e incorporado em canteiro, resultando em PH<sub>obra,d,azul</sub> de 4.496 m<sup>3</sup>, ou 0,27 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> para ACT = 18.500 m<sup>2</sup>.

(4) Estudo tem como escopo somente a avaliação de PH de materiais (indireta).

(5) Meng et al (2014) não dividem seus resultados em PH direta e indireta. No entanto, a apresentação dos resultados permite esse agrupamento. O valor de demanda direta de água é de 51.860 m<sup>3</sup>, e a partir das aproximações de consumo e de ACT = 60.000 m<sup>2</sup>, chegou-se ao valor de 0,43 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

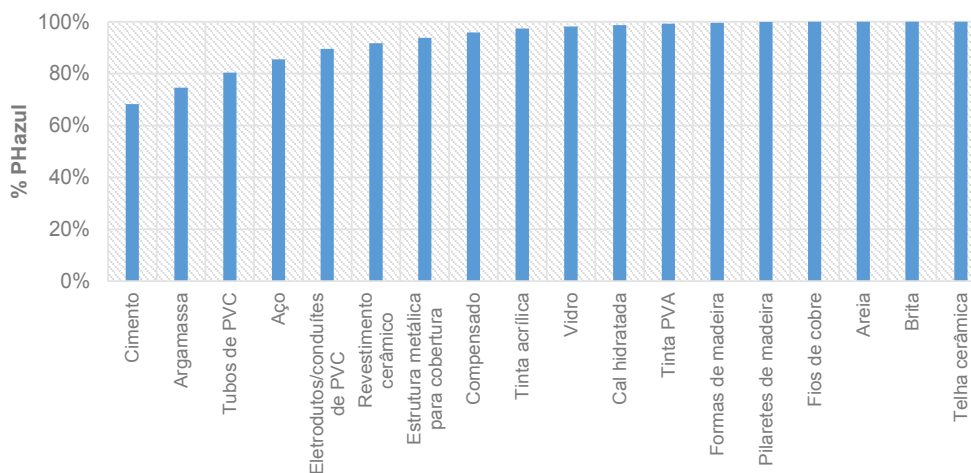
**NOTA:** conforme explicado acima, há considerável variabilidade no tipo de divisão de PH adotada por distintos autores, sendo que nem todos apresentam explicitamente seus resultados em termos de PH direta e indireta, ou também partem de conceitos diferentes aos adotados neste guia para definir o que são PH direta e indireta. Para fins de comparação, os resultados dos estudos foram reagrupados conforme definição de PH direta e indireta deste guia.



Mesmo que em proporções diferentes, as pesquisas chegam à conclusão de que a maior parcela da PH está relacionada aos usos indiretos (materiais), e não aos diretos em canteiro. Considerando ainda somente os estudos de escopo e método semelhantes ao do presente guia, para alguns autores, como é o caso de McCormack et al. (2007) e Bardhan (2011), a PH de materiais supera os 90% da total. Ou seja, os consumos diretos em canteiro são pouco representativos, mas não desprezíveis, diante da PH referente aos insumos.

Seguindo a lógica de Hoekstra et al. (2011), em que “na prática [...] existem apenas algumas etapas do processo que contribuem substancialmente para a pegada hídrica total do produto final”, a literatura aponta que, no caso da construção civil, poucos insumos são responsáveis quase pela totalidade da PH da obra. Aponta-se que aqueles que contribuem de forma relevante na composição são concreto, cimento (seja no concreto ou em outras aplicações) e aço. Alguns autores também elencam vidro, argamassa e tubos de PVC.

**FIGURA 4**  
GRÁFICO DE CONTRIBUIÇÃO ACUMULADA DE PH<sub>azul</sub> POR MATERIAL PARA EDIFICAÇÕES DE SERVIÇOS. CONCRETO FOI DESAGREGADO EM CIMENTO, AREIA E BRITA.



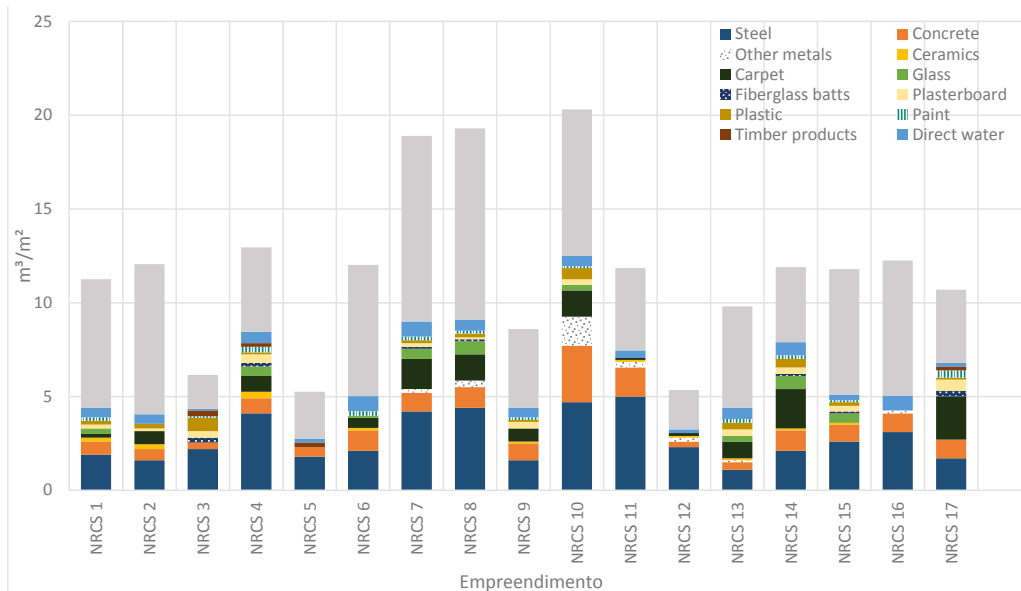
Fonte: adaptado de Saade et al. (2014)

Praticamente não há estudos sobre outros tipos de pegada hídrica (verde e/ou cinza) para o setor da construção civil, sendo todos limitados somente à PH<sub>azul</sub>. A única exceção é o recente trabalho de Gerbens-Leenes et al. (2018), em que os autores avaliaram a PH dos principais materiais empregados na construção civil (aço, cimento e vidro) incluindo, além da PH<sub>azul</sub>, a PH<sub>cinza</sub>, ou seja, aquela referente aos volumes de água necessários para diluição de contaminantes resultantes dos processos de fabricação dos materiais. Uma das principais conclusões obtidas é que a PH<sub>cinza</sub> é, para alguns casos, até 220 vezes superior à PH<sub>azul</sub>, como é possível se verificar na **Figura 6**.



FIGURA 5

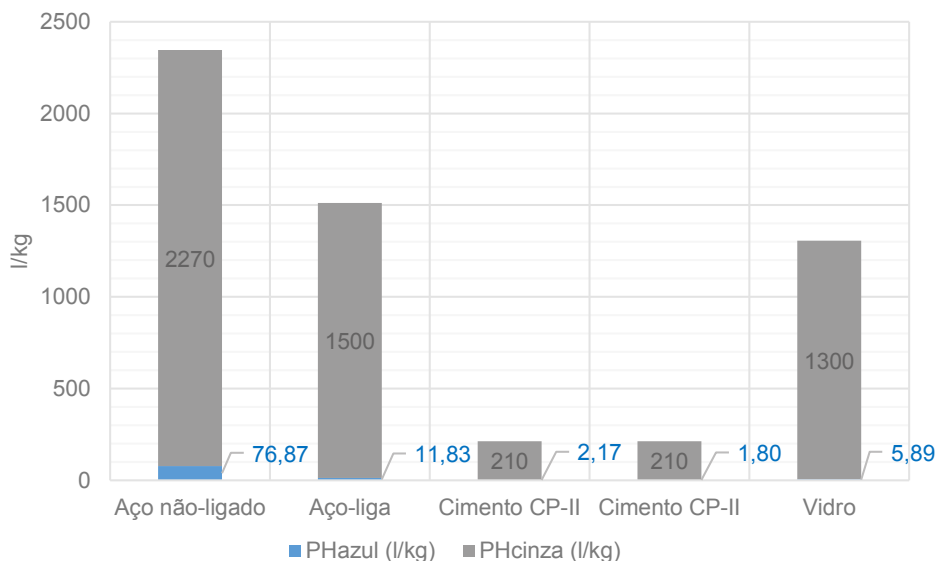
GRÁFICO DE CONTRIBUIÇÃO ACUMULADA DE PHAZUL POR MATERIAL E PROCESSO (DIRECT WATER) EM M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup> PARA 17 EDIFICAÇÕES DISTINTAS.



Fonte: adaptado de McCormack et al. (2007)

FIGURA 6

GRÁFICO DE PH<sub>azul</sub> E PH<sub>cinza</sub> PARA AÇO, CIMENTO E VIDRO.



Fonte: Gerbens-Leenes et al. (2018)



Quanto à  $PH_{\text{verde}}$ , nenhum dos estudos a considera, sendo possível concluir que sua contribuição na composição da PH total da edificação é pouco representativa.

No cálculo de alguns outros indicadores de sustentabilidade, como é o caso das emissões de gases de efeito estufa (principalmente  $CO_2$ ), fatores como as distâncias de percurso entre o local de produção e o canteiro são importantes. Para PH, Gerbens-Leenes et al. (2018) concluem que seu valor (referente ao consumo de combustíveis veiculares) é muito reduzida quando comparada à de produção dos materiais, sendo passível até mesmo de desconsideração.

Obviamente, um dos maiores obstáculos à totalização da PH de uma edificação é a obtenção de coeficientes de PH de materiais (como l/kg,  $m^3/ton$ ,  $l/m^2$  etc.), dado que os processos produtivos são complexos e a divulgação de informações por fabricantes ainda não é uma prática comum. Há também a dificuldade adicional de que um mesmo insumo (por exemplo ferro) é utilizado na produção de múltiplos produtos, o que requer abordagens detalhadas como o método sequencial cumulativo (HOEKSTRA et al., 2011) para a distribuição da PH entre os diversos produtos gerados.

Pesquisadores da área apontam duas principais maneiras de se obter a PH de materiais, sendo:

- Cálculo dos volumes de água por meio de bases de dados de Análise de Ciclo de Vida (ACV), a partir de inventários como o Ecoinvent. (SAADE et al, 2014; WÄRMARK, 2015; GERBENS-LE-EDENS et al., 2018). Esse método requer conhecimento profundo dos processos produtivos específicos de cada um dos produtos.
- Solicitação de valores de uso de água diretamente aos fabricantes (SOUZA, 2014). Esse método requer que os fabricantes possuam conhecimento profundo das vazões retiradas, consumidas, perdidas e retornadas nos processos de fabricação.

Os coeficientes de PH em si serão melhor detalhados no item 3.2.2.1 e no ANEXO 1.

#### 1.4 Outras iniciativas de avaliação de impacto sobre recursos hídricos

Além da WFN, diversas outras organizações vêm se empenhando na criação e difusão de iniciativas em prol da gestão de água, cada qual com metodologias, formatos e objetivos próprios. As iniciativas são bastante diversas: protocolos que estabelecem estruturas de relatórios e métricas como GRI 303 e CEO Water Mandate; ferramentas de quantificação/qualificação de uso de recursos hídricos como Global Water Tool (GWT), Local Water Tool (LWT) e Ceres Aqua Gauge; questionários de divulgação como o CDP-Water; entre outros. O conhecimento de outras iniciativas enriquece a compreensão sobre a importância e de como é realizada gestão de recursos hídricos no mundo e complementa os aprendizados trazidos pelo aprofundamento na pegada hídrica. **A Tabela 4** compila informações básicas sobre onze das mais relevantes iniciativas no tema.



**TABELA 4**

RESUMO DE CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS INICIATIVAS LEVANTADAS

Org.	Iniciativa	Característica principal	Objetivo principal	Características de destaque
CDP	CDP-Water	Questionário	Auxiliar na avaliação de investidores e acionistas	Estruturação clara e completa para divulgação de dados, servindo também como guia para a empresa compreender melhor sua realidade referente à água. Gera abas com métricas compatíveis com Bloomberg WRVT, CDP-Water e Dow Jones Water Index
WBCSD	Global Water Tool (GWT)	Ferramenta (MS Excel)	Auxiliar na avaliação de impactos externos, riscos para o negócio e oportunidades relacionadas à água em uma organização.	Ferramenta muito clara em sua abordagem e que traz análises combinadas entre as práticas da empresa e as condições dos entornos
GEMI	Local Water Tool (LWT)	Ferramenta (MS Excel)	Auxiliar na avaliação de impactos externos, riscos para o negócio e oportunidades relacionadas à água em uma instalação ou processo específico.	Ferramenta muito clara em sua abordagem e que traz análises combinadas entre as práticas da empresa e as condições dos entornos
Ceres	Aqua Gauge	Ferramenta (MS Excel)	Auxiliar na interpretação e avaliação das informações divulgadas sobre a gestão da água e fornecer uma estrutura para orientar o engajamento e o diálogo.	Ferramenta de uso muito simples e que a partir de entradas qualitativas gera análises (também qualitativas) da empresa. Possui opção de “quick gauge”, uma análise expedita e simplificada
WWF	Water Risk Filter (WRF)	Ferramenta online (mapas)	Permitir a compreensão, a partir de mapas de risco, da situação de recursos hídricos em escala global e regional	Criação de mapas considerando múltiplos parâmetros de risco, desde estresse hídrico e cobertura de saneamento até índices de corrupção e valores religiosos ligados à água



Org.	Iniciativa	Característica principal	Objetivo principal	Características de destaque
ISO/ABNT	ISO ABNT 14406	Norma	Auxiliar na avaliação da magnitude dos impactos ambientais potenciais relacionados à água, sua mitigação e gestão estratégica, na promoção da eficiência hídrica e otimização de processos, e no fornecimento de informações consistentes e confiáveis para tomadores de decisão.	Apresenta estruturação metodológica para cálculo de pegada hídrica, permitindo inclusive que outras metodologias (além da WFN) sejam desenvolvidas
WRI	Aqueduct	Ferramenta online (mapas)	Permitir a compreensão, a partir de mapas de risco, da situação de recursos hídricos em escala global e regional	Criação de mapas interativos classificados pelo indicador composto de risco hídrico, contemplando múltiplas variáveis. Permite a variação dos pesos de riscos específicos de acordo com as peculiaridades de diversos ramos de atividade
GRI	GRI 303	Protocolo	Auxiliar na criação de relatórios de divulgação da organização	Estabelece métricas utilizadas em diversas outras iniciativas
CEO Water Mandate	CEO Water Mandate	Protocolo	Auxiliar na criação de relatórios de divulgação da organização	Estabelece métricas utilizadas em diversas outras iniciativas
Bloom-berg	Water Risk Valuation Tool (WRVT)	Ferramenta (MS Excel)	Quantificar os riscos financeiros associados à água	Internalização dos riscos relativos à água nas análises de riscos financeiros da empresa
Ecolab	Water Risk Monetizer	Ferramenta online	Monetizar os diferentes riscos referentes à água	Monetização dos riscos da água. Ferramenta online altamente arrojada, de fácil uso e muito clara em seus objetivos



## 2. DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES

O principal objetivo deste manual é orientar usuários no cálculo de pegada hídrica para edificações. A metodologia estabelecida pela WFN é bastante generalista e confere certa liberdade no que se refere a definições e critérios a serem utilizados e, por isso, é necessária adaptação para sua aplicação a finalidades específicas, tal como é o caso de do setor de edificações brasileiro.

Visando-se aliar rigor metodológico e aderência às práticas do mercado brasileiro, a metodologia guiou-se tanto pelo respeito aos preceitos estabelecidos pela *Water Footprint Network* como pela inclusão de participação direta de importantes atores do mercado de edificações. Tendo isso em mente, os autores decidiram realizar dois grandes grupos de procedimentos, os quais serão detalhados nos itens a seguir e constam resumidos abaixo.

- No **item 2.1** são destacadas as **definições metodológicas** adotadas, buscando-se esclarecer quais foram as adaptações e simplificações realizadas em relação à metodologia da WFN.
- No **item 2.2** são descritos os procedimentos adotados para **participação e colaboração** ativa de agentes atuantes no mercado, mais especificamente construtoras e incorporadoras que atuam no setor de edificações em nível nacional.

O desenvolvimento das atividades dos dois grupos ocorreu concomitantemente, com elaboração de documentos técnicos alternadamente com a eventos de participação do Grupo de Trabalho (GT) formado. Aspectos mais detalhados sobre o cálculo da PH em si serão abordados detidamente no **item 3 - ROTEIRO DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES**, sendo este capítulo dedicado à exposição mais abrangente das definições metodológicas.

### 2.1 Definições metodológicas

#### 2.1.1 Definição de metas e escopo

O presente guia tem como meta final a definição de procedimentos de cálculo de PH para o setor de edificações, limitando-se, portanto, às fases 1 e 2 da metodologia da WFN, conforme ilustrado na **Figura 7**.

**FIGURA 7**  
FASES DA METODOLOGIA DA WFN CONTEMPLADAS NO GUIA



Fonte: adaptado de Hoekstra et al. (2011)

Em termos de escopo, a base temporal para estudo da pegada hídrica engloba desde o projeto – ou seja, a concepção do edifício– até o final de sua vida útil. Com isso, devem ser considerados os processos dentro dos limites da própria edificação, seja durante a obra ou o uso, bem como as etapas envolvidas na cadeia de suprimentos para a edificação.





É necessário destacar que decisões de projeto influenciam diretamente na PH do edifício ao definir, por exemplo, a especificação e a quantidade dos materiais a serem utilizados. Além disso, é nessa fase que se estrutura o orçamento, documento que norteia o cálculo da pegada hídrica para edificações. Contudo, atividades dentro da etapa de projeto, como consumo de água pelos projetistas durante seu trabalho, não necessariamente são consideradas para cálculo de PH. **Por isso, é necessário definir com clareza o ponto de truncamento para o cálculo de PH dentro da base de estudo definida, a qual pode ir além dos processos considerados para dimensionamento.**

A **Tabela 5** resume as principais definições referentes à fase 1.

**TABELA 5**  
RESUMO DAS DEFINIÇÕES PARA CÁLCULO DE PH

Item	Principal	Secundário
Meta final	Criação de metodologia consolidada para a contabilização da pegada hídrica no setor da construção	Definição de métricas quantitativas Criação de benchmark para o setor
Foco em fase específica	Contabilização da pegada hídrica	-
Escopo de interesse	Pegada hídrica azul direta e indireta Pegada hídrica cinza direta	Pegada hídrica cinza indireta Pegada hídrica verde direta e indireta
Base temporal para estudo	Início do projeto até o fim da vida útil da edificação	-
Produto considerado	Edificações residenciais multifamiliares de padrão: - Baixa; - Média; - Alta Edificações comerciais/corporativas	-
Escopo de cálculo / ponto de truncamento	- Edificação/Início da obra até fim de sua vida útil - Cadeia de suprimentos / produção dos materiais definidos em projeto	-

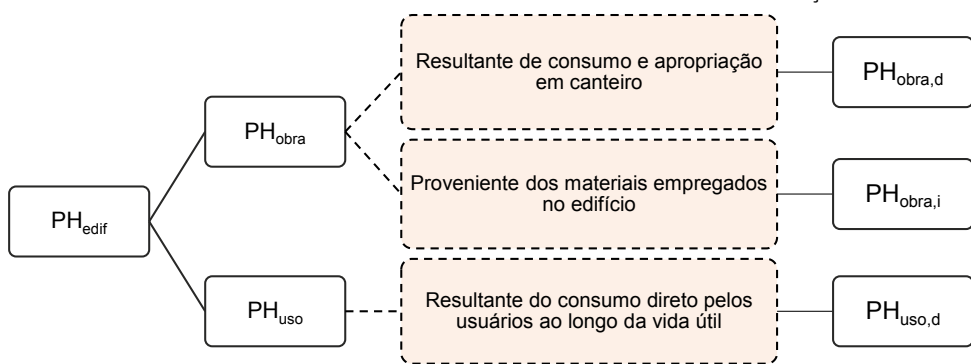
### 2.1.2 Decomposição da pegada hídrica

O cálculo de pegada hídrica foi dividido em duas fases diferentes do ciclo de vida de uma edificação: a construção do edifício ( $PH_{obra}$ ) e o uso durante sua vida útil ( $PH_{uso}$ )<sup>2</sup>. Além disso, foram consideradas as PH conforme sua origem: direta e indireta. De forma sucinta, a  $PH_{direta}$  se refere às apropriações de água que ocorrem ou resultam diretamente de processos ocorridos dentro dos limites do escopo geográfico (edificação) definido; a  $PH_{indireta}$ , por sua vez, contempla as apropriações ocorridas, no caso deste estudo, fora do canteiro, traduzidas pelos materiais empregados na construção da edificação. A **Figura 8** apresenta a divisão adotada, indicando o nível mais abrangente da divisão da PH por tipo.

2 Outras fases, como concepção e demolição, não foram consideradas.



**FIGURA 8**  
ESTRUTURA GERAL DO CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES

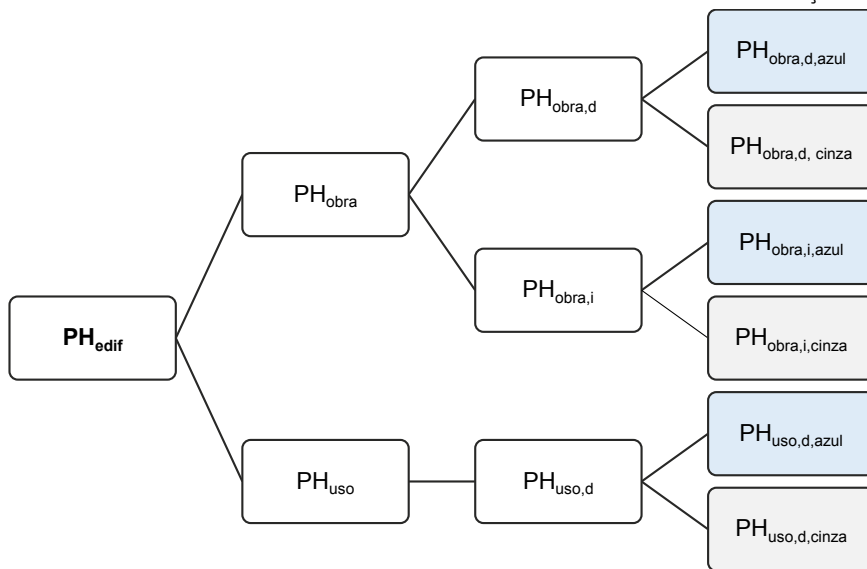


<b>PH<sub>edif</sub></b>	PH da edificação	<b>PH<sub>obra,i</sub></b>	PH de obra indireta
<b>PH<sub>obra</sub></b>	PH de obra	<b>PH<sub>uso</sub></b>	PH de uso
<b>PH<sub>obra,d</sub></b>	PH de obra direta	<b>PH<sub>uso,d</sub></b>	PH de uso direta

Para o caso de  $PH_{uso}$ , adotou-se simplificação de que os usos indiretos (ou seja, referentes aos materiais utilizados) não são contemplados. A justificativa é que os insumos utilizados ao longo da vida útil de uma edificação têm pouca ou quase nenhuma ligação com a aplicação de medidas de conservação de água ou uso de fontes alternativas passíveis de previsão de projeto, afastando-se do intuito deste estudo. Assim sendo, para  $PH_{uso}$  somente os usos diretos de água serão considerados.

Além da decomposição apresentada na **Figura 8**, procedeu-se à divisão de acordo com o tipo de PH: azul e cinza. Conforme já abordado (item 1.3), a PH verde possui pouca relevância no caso de edificações ou construção civil em geral, sendo desconsiderada pela literatura internacional e nacional nesses casos. A **Figura 9** ilustra o segundo nível de detalhamento da decomposição da PH.

**FIGURA 9**  
ESTRUTURA GERAL DETALHADA DO CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES





<b>PH<sub>edif</sub></b>	PH da edificação	<b>PH<sub>obra,i,azul</sub></b>	PH de obra indireta azul
<b>PH<sub>obra</sub></b>	PH de obra	<b>PH<sub>obra,i,cinza</sub></b>	PH de obra indireta cinza
<b>PH<sub>obra,d</sub></b>	PH de obra direta	<b>PH<sub>uso</sub></b>	PH de uso
<b>PH<sub>obra,i</sub></b>	PH de obra indireta	<b>PH<sub>uso,d</sub></b>	PH de uso direta
<b>PH<sub>obra,d,azul</sub></b>	PH de obra direta azul	<b>PH<sub>uso,i,azul</sub></b>	PH de uso direta azul
<b>PH<sub>obra,d,cinza</sub></b>	PH de obra direta cinza	<b>PH<sub>uso,i,cinza</sub></b>	PH de uso direta cinza

Assim, a quantificação da pegada considera a  $PH_{d,azul}$ , a  $PH_{d,cinza}$ , a  $PH_{i,azul}$  e a  $PH_{i,cinza}$ , categorizando os dados de acordo com as classes de pegada hídrica, a fase da vida útil e a origem correspondentes.

### 2.1.3 Definição de métrica comum: pegada hídrica específica

O cálculo de PH resulta em valores de volume (em  $m^3$ , normalmente) de água apropriada, sendo que, no caso de edificações, haverá variação de acordo com a dimensão e demais características do empreendimento. Considerando-se que o objetivo da metodologia é proporcionar a utilização de métricas de comparação e estabelecimento de valores de referência (*benchmarking*), não é adequado realizar comparações diretas de valores totais de PH de empreendimentos distintos, o que incorreria em erros óbvios. É esperado, por exemplo, que uma edificação de 2.000  $m^2$  de área total tenha PH absoluta muito inferior a outra de 20.000  $m^2$ , o que, por si só, não diz respeito à eficiência ambiental de cada uma.

É desejado que seja previsto procedimento de transformação que permita equiparação entre empreendimentos distintos sem que haja prejuízo à consideração de suas peculiaridades. Portanto, a metodologia prevê que sejam utilizadas as pegadas hídricas específicas definidas conforme abaixo, divididas entre  $PH_{obra}$  e  $PH_{uso}$ :

- $PH_{obra}$ : em função da área do empreendimento, adotando-se a área total construída (ACT) como referência e tendo como unidade  $m^3/m^2$ . No setor de edificações é praxe a utilização da área (e neste caso, ACT) para definição de métricas de eficiência.
- $PH_{uso}$ : em função das características de ocupação, adotando-se o número de agentes consumidores (AC) e o período de análise (tempo), tendo como unidade  $m^3/AC/tempo$ . Indicadores de uso de água durante a operação de edificações utilizam geralmente o “consumo<sup>3</sup> diário per capita”.

Como se pode notar, a adoção de variáveis diferentes para a criação de indicadores específicos de  $PH_{obra}$  e  $PH_{uso}$  deu-se pela inviabilidade da utilização do mesmo valor de referência para ambos. Caso se optasse pela utilização de  $PH_{uso}$  também em função da área construída total, incorrer-se-ia no erro de desconsideração do adensamento da edificação; ou seja, edificações mais adensadas, e conseqüentemente com maior número de AC/ $m^2$ , tenderiam a possuir maiores valores de  $PH_{uso}$  do que aquelas com menor número de ocupantes por área, o que configuraria clara incoerência de análise e erros de avaliação de PH.

Para a  $PH_{uso}$  específica, o AC a ser considerado depende da tipologia da edificação, e alguns exemplos seguem listados na **Tabela 6**.

<sup>3</sup> Neste documento, faz-se diferenciação entre “demanda” e “consumo”, os quais são geralmente considerados sinônimos em linguagem não técnica. Em definições mais específicas, “demanda” se refere à água retirada para atendimento às necessidades de processos, enquanto “consumo” é a parcela que não retorna como efluente. A metodologia de PH da WFN estabelece claramente que a PH azul se refere à água não retornada, e não à demandada (ou retirada), justificando a diferenciação supracitada.



**TABELA 6**  
VARIÁVEIS DE OCUPAÇÃO PARA CÁLCULO DE  $PH_{uso}$  ESPECÍFICA

Tipologia	AC	Unidade
Residencial	Moradores	l/morador/dia
Comercial	Funcionários	l/funcionário/dia
Corporativo	Funcionários	l/funcionário/dia
Hoteis	Hóspedes	l/hóspede/dia

### Edificações de uso misto

No caso de edificações de uso misto, como torres residenciais com relevante presença de espaços comerciais nos pavimentos inferiores, não é possível a utilização de AC único para cálculo de indicador para toda a edificação. Como em geral a medição de água é realizada separadamente em casos como esses, recomenda-se que os indicadores sejam determinados separadamente nessas situações.

Em relação ao período de análise, é possível trabalhar com medidas diferentes de acordo com o resultado desejado. Sugere-se avaliar o desempenho do empreendimento ao longo de sua vida útil, mensurando sua PH acumulada ao longo de sua existência, e preferencialmente em período pré-determinado mais curto, como um ano. A consideração direta de toda a PH ao longo da operação da edificação penalizaria empreendimentos com vida útil maior, o que não é adequado. Por isso, a análise também deve ser feita para períodos pré-determinados e aplicáveis a qualquer edificação, como por exemplo  $m^3/AC/ano$  ou  $m^3/AC/VUP$  (vida útil de projeto).

### 2.1.4 Definição de padrões: categorização, agregação e homogeneização

Conforme será abordado no item 2.2.2, há notável heterogeneidade nas nomenclaturas, padrões e agregações das bases de dados de orçamento, projeto e obra no setor de edificações, o que foi identificado pela análise de bases documentais das empresas participantes do GT, sendo isso já de conhecimento de profissionais do ramo de longa data.

Face a isso, foram adotados procedimentos de homogeneização das nomenclaturas visando-se o estabelecimento de padrões comuns principalmente na categorização de materiais, etapa imprescindível para o cálculo da  $PH_{indireta}$ . Além da agregação de materiais, também foram definidas oito etapas de obra, objetivando a discriminação da PH de acordo com materiais e processos referentes à execução da fundação, estrutura, vedação etc.

A homogeneização e agrupamento deram-se pela criação de quatro categorias distintas (ETP, TIC, MAT1 e MAT2), conforme **Tabela 7**. De forma sucinta, cada um deles é como segue abaixo.

- **ETP:** divisão de acordo com as 8 etapas de obra definidas. Tem como objetivo discriminar a pegada hídrica por etapa de obra.
- **MAT1 e MAT2:** categorias para identificação de materiais em níveis mais abrangente (MAT1) e mais detalhado (MAT2). A título de exemplo, o material “barra de aço CA-50 Ø 12,5 mm”



aparece de inúmeras formas nos orçamentos analisados, havendo variações inclusive para obras da mesma empresa. Esse insumo foi classificado como “Aço CA-50 Ø 12,5 mm” para MAT2 e “aço” para MAT1. Foram estabelecidas 27 categorias de MAT1 e 205 de MAT2, buscando-se aliar a possibilidade de análises mais detalhadas e a simplificação na aplicação da metodologia.

**TABELA 7**  
CAMPOS DE AGRUPAMENTO DE ETAPA E DE MATERIAIS

Nome	Descrição/ justificativa	Valores	Se refere a
ETP	Etapa de obra. Divisão de acordo com etapas de obra definidas	E1	Movimentação de terra
		E2	Fundação
		E3	Estrutura
		E4	Vedação
		E5	Instalação predial
		E6	Pavimentação e infraestrutura
		E7	Revestimento (interno e externo)
		E8	Cobertura
MAT1	Agrupamento abrangente de materiais	Vide Tabela 8	Exemplo:
			- aço
			- concreto
			- tinta
MAT2	Agrupamento detalhado de materiais	Vide ANEXO 1	Exemplos:
			- aço CA-50 Ø 8.0 mm, aço CA-50 12.5 mm...
			- concreto fck 15 MPa, concreto fck 20 MPa...
			- tinta PVA, tinta acrílica...
			- cimento CP-II, cimento CP-III...

A divisão dos usos de água em canteiro por etapas de obra não é exatamente uma tarefa simples, dado que em grande parte do tempo elas ocorrem concomitantemente e não há como atribuir precisamente a cada uma delas os volumes demandados de água. O mesmo não ocorre no caso de materiais, já que alguns deles são essencialmente referentes a uma etapa específica (como tintas em revestimentos ou blocos de vedação em vedação), mas principalmente porque os orçamentos são organizados em geral já considerando a alocação de materiais por etapa, como é o caso de separação entre o concreto a ser utilizado na fundação e o que será empregado na estrutura.

A categorização completa em MAT1 e MAT2 foi realizada conforme consta no ANEXO 1. Para MAT1, categoria mais sucinta, os valores são apresentados também na **Tabela 8** abaixo.



**TABELA 8**  
CATEGORIZAÇÃO EM MAT1

<b>MAT1</b>	<b>Quantidade de MAT2</b>
Aço	22
Arame	2
Areia	1
Argamassa	17
Bloco cerâmico	2
Bloco de concreto	2
Cimento	5
Concreto	12
Elétrica	7
Equipamentos	3
Esquadrias	5
Ferragens	4
Formas de madeira	7
Geocomposto	1
Gesso	6
Hidráulica	33
Impermeabilização	5
Laje pré-fabricada	3
Madeira	10
Manta asfáltica	2
Monocapa	1
Outros	10
Outros sistemas	5
Pedra	8
Piso	4
Revestimento	10
Tela	6
Telha	5
Tinta	4
Vidro	3



Optou-se pela separação em classes distintas de alguns materiais que, à primeira vista, poderiam ser agrupados na mesma categoria. Um desses casos é o de lajes pré-fabricadas de concreto, as quais foram incluídas em classe específica, ainda que sejam compostas basicamente por concreto e aço. Blocos de concreto também foram separados de concreto, buscando-se melhor compreensão das diferenças de PH principalmente entre obras de estrutura convencional e alvenaria estrutural.

**TABELA 9**  
EXEMPLOS DE MATERIAIS AGRUPADOS COMO MAT1

MAT1	Materiais incluídos
Aço	Aço de diferentes bitolas, perfis metálicos e armação de estaca hélice
Areia	Diferentes granulometrias e para quaisquer usos
Argamassa	Colantes, básicas ou para rejunte; graute
Bloco cerâmico	Vedação
Bloco de concreto	Estrutural e vedação
Cimento	CP-I, CP-II e CP-III
Concreto	Usinado
Gesso	Painel em drywall e gesso liso
Laje pré-fabricada	Convencional ou protendida
Madeira	Somente aplicada em obra, não incluindo mobiliário
Revestimento em argamassa	Monocapa
Revestimentos de piso	Piso cerâmico, porcelanato
Revestimentos (outros)	Azulejo, ladrilho hidráulico
Pedra	Brita, pedrisco
Telha	Fibrocimento, sanduíche
Tintas	Acrílica, esmalte, PVA
Vidro	Tipos e usos diversos, como incolor, temperado

### 2.1.5 Simplificações adotadas

Como já explicado, houve necessidade de adoção de simplificações para que a metodologia fosse viabilizada, o que foi baseado principalmente no conhecimento sobre as limitações de dados de coeficientes de pegada hídrica (item 1.3) e nas características de gestão de dados hídricos por parte das construtoras (item 2.2.2).

As principais simplificações adotadas, algumas das quais foram/serão abordadas em outros tópicos, seguem resumidas abaixo juntamente com suas respectivas justificativas.

- $PH_{cinza}$ : é prevista na estrutura de cálculo de PH, mas não será efetivamente calculada. As componentes de  $PH_{cinza}$  direta e indireta estão previstas na estrutura de cálculo geral da PH,



mas sua real quantificação é limitada, uma vez que os cálculos requerem dados ainda indisponíveis de coeficientes de pegada hídrica (CPH) de materiais para a  $PH_{obra,i,cinza}$ , bem como informações relativamente complexas (como conhecimento sobre a destinação dos efluentes gerados em canteiro) e fora do alcance imediato de profissionais. Um dos exemplos deste guia (item 3.6) ilustra o cálculo de  $PH_{obra,d,cinza}$ .

- **$PH_{uso}$  só considera usos diretos:** A  $PH_{uso}$  é, em tese, composta pelas suas parcelas direta e indireta. A indireta, referente a materiais/insumos consumidos pelos ocupantes, possui pouca ou nenhuma relação com medidas de gestão de oferta e demanda de água, tendo maior relação com o próprio usuário do que com a edificação em si. Portanto, a  $PH_{uso}$  só considera sua parcela direta, ou seja, .
- **$PH_{verde}$  não é considerada:** A pegada hídrica verde é essencialmente devida a processos de evapotranspiração e/ou incorporação direta em espécies vegetais, principalmente produtos agropecuários. Tendo isso em mente, e seguindo também as práticas da literatura internacional do tema de PH para edificações, essa componente de PH não foi considerada.
- **$PH_{obra,i}$ :** se refere somente a materiais efetivamente empregados na edificação, excluindo aqueles referentes a transporte (combustíveis veiculares) e energia elétrica. Literatura aponta que as PH de materiais secundários podem ser consideradas irrelevantes perante as de materiais como aço e concreto.
- **Pegadas hídricas referentes à água diretamente utilizada em canteiro não foram consideradas:** A água utilizada para suprimento dos usos de canteiro é, em si, também um insumo e requer inúmeros processos (captação, tratamento, pressurização, transporte etc., variando de acordo com a fonte de água) para que esteja disponível. Assim, os processos e insumos requeridos para que 10 m<sup>3</sup> de água da concessionária, por exemplo, cheguem ao canteiro resultam também em apropriações de recursos hídricos. No entanto, esse cômputo é extremamente complexo, já que há inúmeros fatores a serem considerados, como transposição de bacias hidrográficas, multiplicidade de sistemas produtores de água em áreas metropolitanas, desníveis geométricos, distintos processos de tratamento aplicados de acordo com a qualidade da água bruta dos mananciais, condições hidrogeológicas distintas, entre outros. Portanto, neste guia considerou-se que as águas oriundas de diferentes fontes (concessionária, caminhão-pipa, poço, água de chuva, reúso etc.) não possuem pegadas hídricas referentes a seus processos de produção.

### 2.1.6 Implicações teóricas de destaque

A metodologia de cálculo de pegada hídrica leva a algumas implicações pouco intuitivas que podem confundir o leitor. Por isso, serão melhor esclarecidas neste tópico três das principais questões passíveis de entendimento incorreto.

#### **Implicação 1. Práticas de conservação de água reduzem a $PH_{azul}$ , mas não alteram a $PH_{cinza}$ .**

A  $PH_{azul}$  é definida como a água “perdida” em determinado processo. Em outras palavras, sua quantificação dá-se pela subtração dos volumes retornados (esgoto) daqueles demandados, estando estes relacionados pelo coeficiente de retorno (“C”).

A  $PH_{cinza}$ , por sua vez, não depende das vazões de esgoto/efluentes, e sim de sua carga. A carga é uma relação de massa/tempo, não havendo, a priori, influência da vazão. Em engenharia sanitária, considera-se, por exemplo, que cada habitante produz determinada quantidade de matéria orgânica por dia (carga), sendo valor usual 54 gDBO/hab/dia (JORDÃO & PESSÔA,





2005). Portanto, no caso da redução de vazão de determinado efluente gerado, haverá aumento na concentração média de contaminantes, resultando exatamente na mesma carga, conforme **Equação 1**.

$$\text{carga} \left[ \frac{\text{massa}}{\text{tempo}} \right] = \text{concentração} \left[ \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \right] \times \text{vazão} \left[ \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} \right] \quad \text{Equação 1}$$

### Implicação 2. Uso de fontes alternativas de não reduz a PH<sub>azul</sub>.

Entende-se como fonte alternativa a fonte de água alternativa à concessionária (empresa prestadora de serviços de saneamento). A mudança de fonte de água (de convencional para alternativa) não altera as perdas no processo de consumo (PH<sub>azul</sub>). Por exemplo, o fato de um processo utilizar água de chuva, reúso ou potável não altera a demandada nem o coeficiente de retorno; ou seja, não há modificação das vazões perdidas no processo.

É evidente que a água proveniente do sistema municipal de abastecimento é diferente da captada nas coberturas e tratada in loco, por exemplo. No entanto, em razão da simplificação explicada no item anterior, considera-se neste guia que o uso de fontes de água distintas não possui influência sobre a PH<sub>azul</sub>. Caso se considerasse que a água demandada possui também pegada hídrica, o uso de fontes alternativas em substituição à água da concessionária resultaria em valores diferentes de PH.

### Implicação 3. A aplicação de reúso leva a reduções de PH<sub>cinza</sub>.

A prática de reúso (ou somente de tratamento antes de descarte) impacta a PH<sub>cinza</sub>, uma vez que esta é calculada a partir das cargas de contaminantes lançados em corpo hídrico, rede coletora ou outro tipo de corpo receptor. No caso de reúso, parte do esgoto gerado retorna, sendo seus contaminantes, expressos neste guia em termos de matéria orgânica biodegradável (DBO<sub>5,20</sub>), removidos pelo tratamento. Assim sendo, a redução de cargas de contaminantes decorrente do reúso leva a reduções de PH<sub>cinza</sub>.

## 2.2 Processo participativo junto a construtoras e incorporadoras

### 2.2.1 Metodologia de participação

O planejamento da participação de empresas no desenvolvimento da metodologia incluiu a formação de um Grupo de Trabalho (GT) com cinco importantes empresas atuantes no setor, as quais compartilharam dados de 2 a 3 obras que se encaixavam no escopo deste estudo (edificações residenciais/comerciais). Os dados fornecidos serviram como subsídio para a compreensão de como é realizada a gestão de água em canteiros; como são organizados os orçamentos e quais os padrões adotados; e qual é o atual nível de gestão de informações relevantes ao cálculo de PH.

A **Tabela 10** apresenta as empresas que compuseram o GT, as obras analisadas e demais informações. De modo a facilitar a eventual publicação dos resultados deste trabalho, foram adotados códigos identificadores para as construtoras e obras que serão adotados ao longo deste guia, convenções que serão utilizadas ao longo de todo o texto.



TABELA 10

CONVENÇÕES ADOTADAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE EMPRESAS DO GT E OBRAS ANALISADAS

ID <sup>(1)</sup> empresa	ID <sup>(2)</sup> obra	Status	ACT2 (m <sup>2</sup> )
C1	1.1	Concluída	14.715,12
C1	1.2	Concluída	9.236,77
C1	1.3	Concluída	12.132,77
C2	2.1	Concluída	18.334,89
C2	2.2	Concluída	10.841,03
C3	3.1	Concluída	21.465,94
C3	3.2	Em andamento	21.573,64
C4	4.1	Concluída	18.500,00
C4	4.2	Concluída	68.217,00
C5	5.1	Concluída	26.822,44
C5	5.2	Em andamento	20.368,65

*ID: código identificador**ACT: área construída total*

A realização de workshops, visitas às empresas, criação e disponibilização da FPH<sub>edif</sub>, entre outros, não foram simplesmente atividades arbitrárias, e sim elementos dentro de um processo planejado no qual se buscou manter constante engajamento dos atores para discussão, difusão dos aprendizados e obtenção de feedbacks e de sugestões de melhoria. Pode-se dizer, então, que além da própria metodologia de cálculo de pegada hídrica, desenvolveu-se e aplicou-se outra dedicada ao estímulo à participação e engajamento dos integrantes do GT, com os seguintes principais objetivos específicos:

### Ferramenta de cálculo de PH

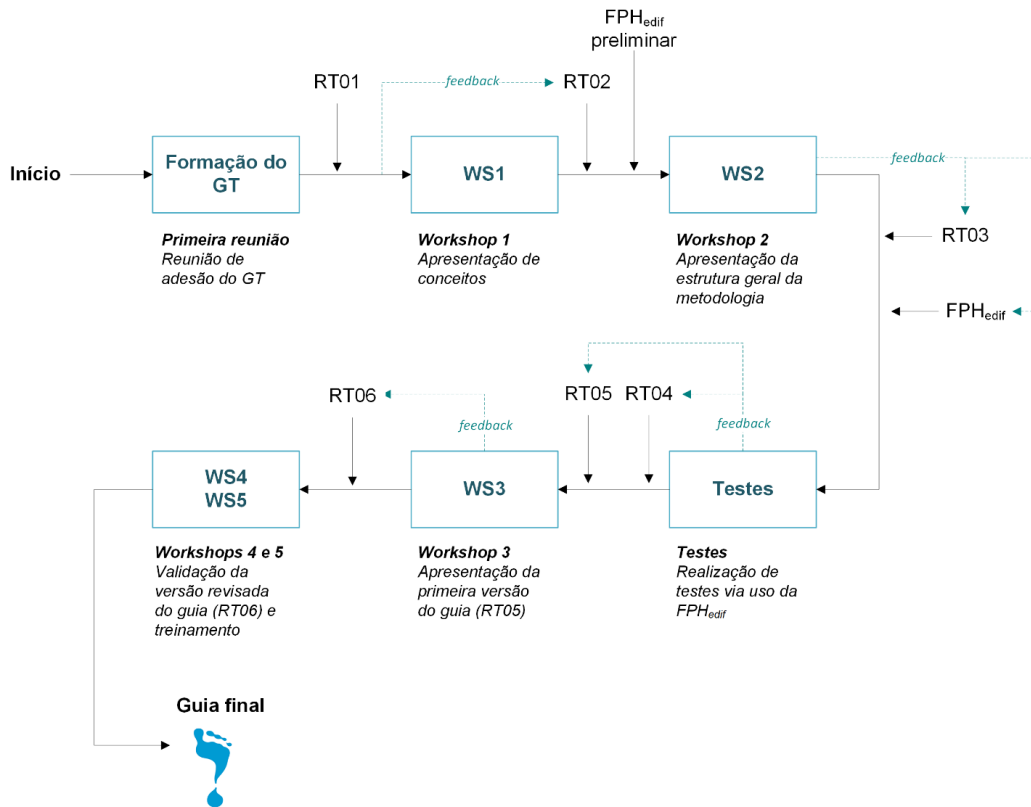
Conforme será detalhado no item 2.2.4, um dos principais instrumentos de otimização da participação das empresas no desenvolvimento foi a criação de uma ferramenta digital denominada Ferramenta de cálculo de Pegada Hídrica para Edificações, a FPH<sub>edif</sub>.

- buscar maior aderência da metodologia de cálculo à realidade do mercado de edificações;
- incluir as impressões, opiniões e sugestões de atores inseridos no mercado, levando em consideração seus conhecimentos específicos sobre edificações e, ao mesmo tempo, as debilidades em relação a assuntos referentes a recursos hídricos e saneamento básico;
- promover engajamento durante o processo de elaboração, de modo que, finalizados os trabalhos, os participantes do GT se tornem agentes difusores dos aprendizados e resultados obtidos.



Foram previstos diversos momentos de feedback para retroalimentação dos conteúdos em desenvolvimento e melhoria continuada ao longo do processo, conforme ilustrado abaixo.

**FIGURA 10**  
PONTOS DE FEEDBACK DO GT PREVISTOS NA METODOLOGIA DE PARTICIPAÇÃO



### 2.2.2 Bases documentais e visão geral sobre ações em prol da água

A compreensão das bases documentais e do atual estado de gestão de dados hídricos foi um dos principais elementos no desenvolvimento da metodologia, uma vez que se deseja que esta seja não só coerente com as premissas da WFN, mas também aderente à realidade do setor de edificações brasileiros.

A partir da análise dos arquivos cedidos pelo GT, vê-se que as empresas possuem diferentes níveis de organização e gestão de dados sobre água em suas obras, o que obviamente implica em maiores ou menores possibilidades de extração de informações a partir dos arquivos disponibilizados. Algumas já adotam práticas avançadas e planejam otimizá-las para os próximos empreendimentos, enquanto outras estão ainda em estágio incipiente em relação à gestão hídrica.

A **Tabela 11** sintetiza a visão geral sobre as informações disponibilizadas, bem como as políticas referentes à gestão de água que puderam ser depreendidas das visitas às construtoras e da avaliação da documentação cedida.



**TABELA 11**

AVALIAÇÃO GERAL DAS BASES DOCUMENTAIS FORNECIDAS PELO GT E DO NÍVEL DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE ÁGUA DAS EMPRESAS

Item	C1	C2	C3	C4	C5
Orçamento de obra completo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Curva ABC de custos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Informações sobre a infraestrutura do canteiro no que se refere a água (metais hidrossanitários, fontes alternativas etc.)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Controle mensal dos usos de água no canteiro	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Medição setorizada: instalação de múltiplos hidrômetros para medição de diferentes demandas nos canteiros (torre, barracão, escritório...)	Sim, em estágio piloto	Não, mas há previsão de instalação	Não, mas há previsão de instalação	Não	Não, mas há previsão de instalação em todos os próximos canteiros
Medição de vazão dos efluentes gerados no canteiro	Não	Não	Não	Não	Sim, em estágio piloto
Controle de qualidade dos efluentes gerados no canteiro	Não	Não	Não	Não	Sim, em estágio piloto
Auditoria contínua dos dados hídricos apresentados em obra através de dados dos demais setores	Não	Não	Não	Não	Sim
Controle do efetivo médio mensal	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Informação sobre a evolução física da obra (%/mês)	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Apontamento de quais as etapas principais (movimentação de terra, fundação, estrutura etc.) estão em execução mês a mês	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Cálculo de indicador de uso de água em função de área (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Estabelecimento de meta do indicador em m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> para gestão das obras	Não. Controle é realizado, mas não há meta	Não	Não	Não	Sim. Metas são estipuladas por etapa de obra
Facilidade na utilização das bases de dados disponibilizadas	Alta	Média	Média	Média	Alta
<b>Avaliação geral do nível de gestão de água da empresa em suas obras</b>	<b>Alto</b>	<b>Baixo</b>	<b>Regular</b>	<b>Regular</b>	<b>Muito alto</b>



As construtoras utilizam padrões muito distintos entre si para organizar informações, havendo também variações significativas entre obras da mesma empresa. Em termos de apresentação de dados, a maior heterogeneidade se refere aos orçamentos das obras, sendo este tipo de documento essencial para a compreensão das dinâmicas previstas em cada empreendimento. Diante disso, foi necessário recategorizar os dados apresentados pelo GT, de forma a possibilitar comparação equalizada entre as diferentes obras e, por consequência, a futura elaboração de inventário de pegada hídrica.

O monitoramento interno da obra sobre os usos dos recursos hídricos apresenta-se como uma tendência de mercado, visto que medidas como medição setorizada vêm sendo estudadas e realizadas em escala piloto pelas construtoras. Tal organização de dados apresenta-se não somente como uma maneira de tornar as atividades de canteiro mais sustentáveis, mas também facilita a definição e priorização de ações de gestão. Além da coleta e estruturação, uma prática que desponta como tendência é a auditoria contínua de dados referentes à gestão de recursos hídricos, aumentando o grau de confiabilidade das bases estruturadas pelas construtoras.

Mesmo assim, hoje ainda são muito raros os casos onde há monitoramento da alocação de água dentro do canteiro (ou seja, utilização de medição setorizada), não havendo assim possibilidade de compreensão detalhada do ciclo da água e tampouco da geração de efluentes. Em termos qualitativos, são praticamente inexistentes práticas de realização de análises de qualidade dos efluentes gerados.

Na prática de mercado, constata-se que normalmente são realizadas estimativas de uso de água e geração de efluentes em orçamento a partir do histórico de obras, não havendo discriminação por uso específico em canteiro (sanitários, refeitório, preparação de material, limpeza etc.). Em geral, o único detalhamento de dados realizado é entre fontes de água (concessionária, caminhão-pipa ou poços). Contudo, o monitoramento de fontes alternativas não potáveis (água de chuva, reúso, água de rebaixamento de lençol freático) geralmente não ocorre durante a obra, havendo uso de água sem adequada contabilização dos volumes. Além disso, o monitoramento dos dados usualmente não é atrelado a metas de consumo a serem englobadas na gestão do empreendimento.

### 2.2.3 Gestão de água em canteiros: valores e indicadores

As demandas diretas de água em canteiro – ou, de maneira muito simplista, as “contas de água” – não são exatamente a  $PH_{azul}$ , diferenciação muito importante e já destacada neste guia. Ainda assim, os autores consideraram importante compreender os volumes de água utilizados para suprir as demandas de canteiro, justamente porque há certa proporcionalidade entre as demandas totais e a  $PH_{azul}$  e também porque atualmente indicadores de eficiência de uso de água em canteiro (como os previsto no PBQP-H<sup>4</sup>) utilizam esse tipo de mensuração. Além disso, a compreensão de indicadores de uso em canteiro permite que sejam realizadas estimativas de demanda para obras ainda em fase de concepção.

Visando a abordar esse importante tema, este tópico traz informações depreendidas das bases documentais das empresas do GT, adotando as convenções abaixo na identificação das variáveis analisadas. Como as contabilizações de demanda de água ocorrem por padrão mensalmente, o período padrão adotado foi o mês.

4 *PBQP-H: Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.*



- **DT:** demanda total. Somatório da oferta de água de todas as fontes (e conseqüentemente das demandas, assumindo-se que toda água retirada é utilizada para suprimento destas), como concessionária, poços, caminhão-pipa, água de chuva, reúso etc. Unidade: m<sup>3</sup>/mês.
- **DPA:** demanda por área. Razão entre os volumes demandados (DT) e a área construída total (ACT) em determinado período. Unidade: m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
- **DPC:** demanda per capita. Razão entre os volumes demandados (DT) e o efetivo médio em canteiro. Unidade: m<sup>3</sup>/func/mês.
- **ACT:** área construída total. Unidade: m<sup>2</sup>.

De modo que fosse possível o cálculo mês a mês do DPA, utilizou-se procedimento já adotado por algumas empresas: a consideração de ACT proporcional por mês em função da porcentagem executada da obra. Em outras palavras, a multiplicação da ACT do empreendimento pela porcentagem mensal de andamento físico resulta em valor, em área, que representa simbolicamente a evolução da obra. É evidente que esse número não é a área efetivamente construída no período analisado, e sim um recurso útil e lógico que pode ser adotado para acompanhamento do DPA ao longo da obra. A título de exemplo, uma obra com ACT = 10.000 m<sup>2</sup> teria, para um mês em que se observou 2,5% de evolução física, acréscimo de 250 m<sup>2</sup>. Vale reforçar que, conforme se notou em discussões junto ao GT, as empresas adotam métodos de mensuração de evolução física ligeiramente distintos, mas que, em geral, adotam os mesmos procedimentos.

A maioria das empresas apresenta acompanhamento detalhado dos materiais e serviços realizados em obra, especificamente com relação a custos, ao número de trabalhadores empregados e a influência destas atividades sobre a evolução global da obra. Especificamente sobre os recursos hídricos, é usual que ocorra controle sobre os volumes totais de água demandados, seja da concessionária, caminhão-pipa, poços ou fontes alternativas.

Até recentemente, o SiAC<sup>5</sup> previa a necessidade de monitoramento do aqui denominado indicador de uso de água per capita (DPC, medido em m<sup>3</sup>/func.mês), o qual foi substituído pelo uso de água por área total construída (DPA, medido em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). Contudo, ainda que o SiAC 2018 estabeleça monitoramento do DPA, não são determinadas metas, cabendo hoje às próprias construtoras fazê-lo. As empresas vêm adotando valores com base na própria experiência ou em literatura internacional, evidenciando a carência de referências nacionais e abrangentes sobre o tema.

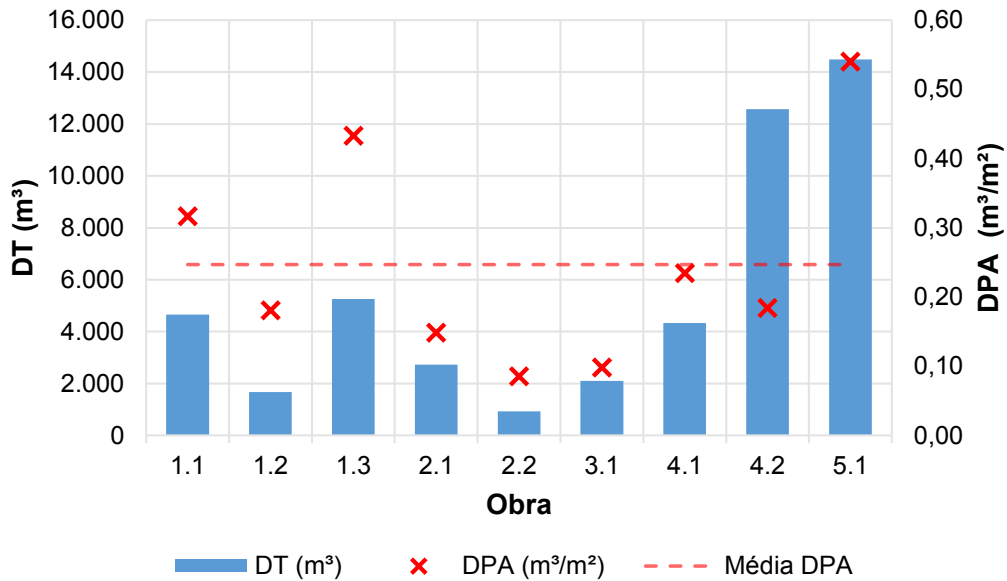
De forma a agregar a análise de demanda e da geração de efluentes, o consumo por funcionário (DPC), ainda que não seja mais exigido pelo PBQP-H, pode ainda ser utilizado como indicador para as obras que apresentam controle do efetivo mês a mês, mas que não apresentam controle direto da alocação de recursos hídricos em canteiro.

A **Figura 11** e a **Tabela 12** a seguir apresentam valores de DT, DPA e DPC para as obras do GT.

<sup>5</sup> SiAC: Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras.



**FIGURA 11**  
 RELAÇÃO ENTRE DEMANDA TOTAL (DT) E POR ÁREA (DPA) PARA O GT



**TABELA 12**  
 PRINCIPAIS INFORMAÇÕES E INDICADORES (DT, DPA E DPC) DAS OBRAS ANALISADAS

ID obra	DT (m³)	ACT (m²)	DPA (m³/m²)	DPC (m³/func.mês)
1.1	4.663	14.715,1	0,32	1,91
1.2	1.671	9.236,8	0,18	2,53
1.3	5.252	12.132,8	0,43	(1)
2.1	2.726	18.334,9	0,15	1,43
2.2	928	10.841,0	0,09	1,31
3.1	2.105	21.465,9	0,10	1,22
4.1	4.335	18.500,0	0,23	3,18
4.2	12.572	68.217,0	0,18	2,57
5.1	14.485	26.822,4	0,54	1,72
<b>Média</b>	<b>5.415</b>	<b>22.252</b>	<b>0,25</b>	<b>1,98</b>
<b>DesvPad</b>	-	-	<b>0,15</b>	<b>0,71</b>

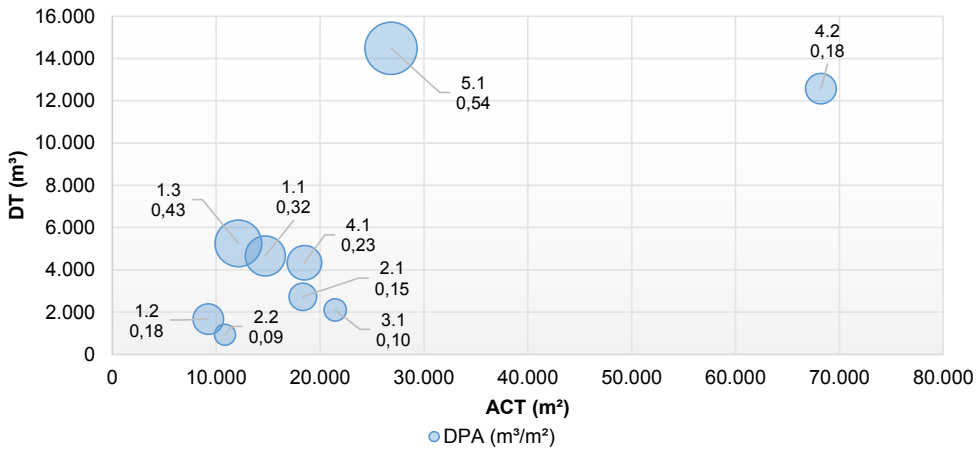
(1) Efetivo da obra não informado.



A DPA média observada é de 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, havendo valores superiores a 0,50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> e outros inferiores 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Destaca-se que edificações de maior área construída total (ACT) não necessariamente apresentam maior DPA, como é o caso da comparação entre os empreendimentos 1.3 e 4.2. Já em relação a DPC, a média é de 1,98 m<sup>3</sup>/func./mês, havendo menor dispersão dos valores em relação à média quando em comparação ao DPA.

Avaliando-se DT em função de ACT, ou DT = f(ACT), paralelamente ao DPA (representado pela área das bolhas), chega-se ao gráfico ilustrado na Figura 12, no qual se verifica que a maior parte das obras analisadas possui de, aprox., 9.000 a 22.000 m<sup>2</sup> de ACT, com DT de até 5.500 m<sup>3</sup> e DPA médio de 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

**FIGURA 12**  
GRÁFICO DE DT EM FUNÇÃO DE ACT (DPA REPRESENTADO PELA ÁREA DE BOLHAS)  
**DT = f(ACT)**



Para as obras cuja evolução física foi fornecida, foi possível cálculo de DPA mês a mês, conforme ilustrado nos gráficos abaixo. Observa-se que o monitoramento mensal das informações também pode contribuir com a gestão de recursos hídricos na obra, evidenciando variações e padrões em seu comportamento.

**FIGURA 13**  
EVOLUÇÃO DE DT E DPA MENSIS AO LONGO DA OBRA 1.1

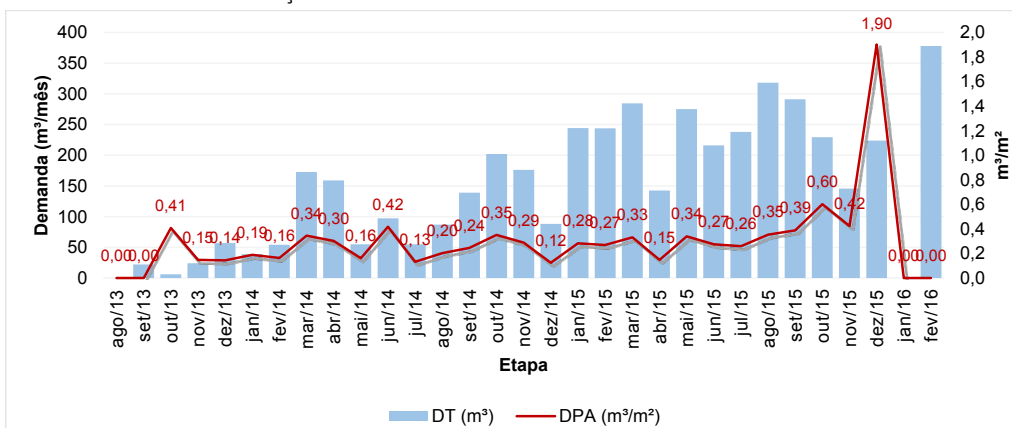






FIGURA 14

EVOLUÇÃO DE DT E DPA MENSIS AO LONGO DA OBRA 1.2

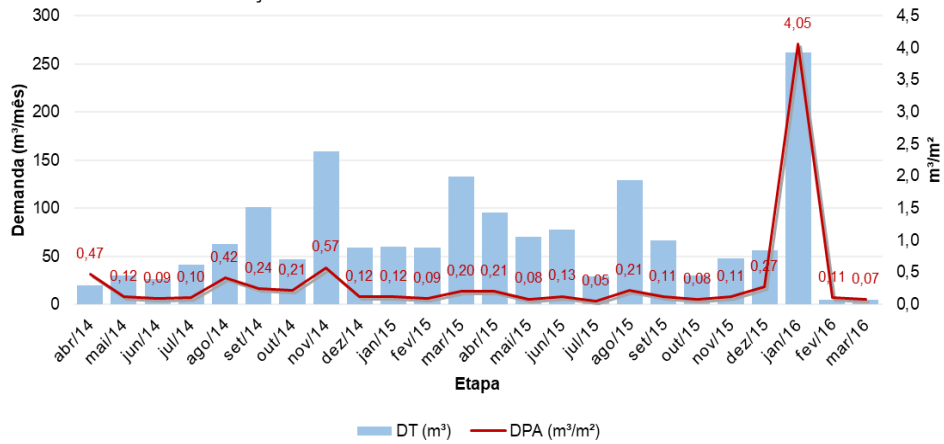


FIGURA 15

EVOLUÇÃO DE DT E DPA MENSIS AO LONGO DA OBRA 1.3

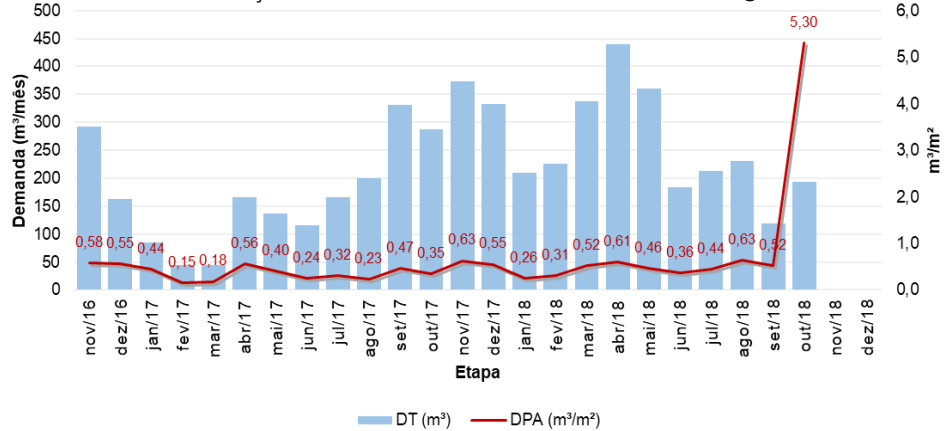
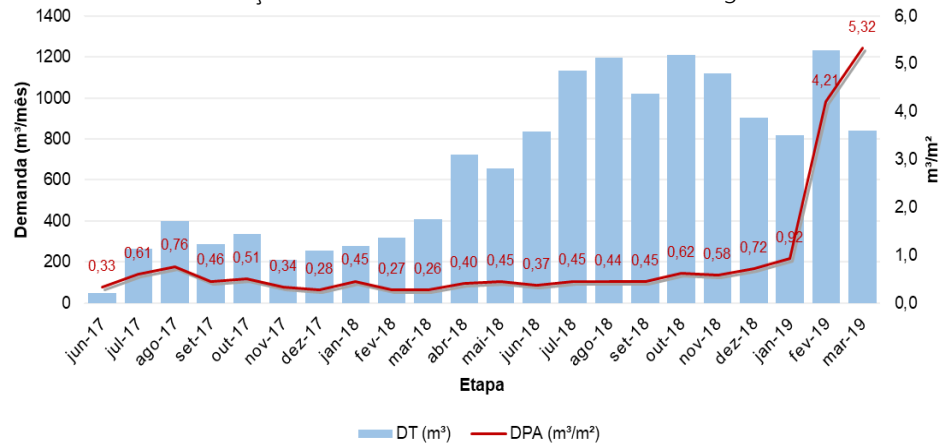


FIGURA 16

EVOLUÇÃO DE DT E DPA MENSIS AO LONGO DA OBRA 5.1





Ainda que possuam diferenças substanciais, as obras apresentam comportamentos similares no que se refere ao DPA e à DT. Em geral, a evolução física de obras é mais lenta no início e final na empreitada, sendo maior durante os meses intermediários. Por esse motivo, curvas de evolução física são geralmente denominadas curvas “S”. As demandas de água acompanham esse padrão, o que pode ser observado pela significativa manutenção dos valores de DPA ao longo do tempo. Contudo, nos últimos meses observa-se aumento substancial do DPA, principalmente por conta da manutenção dos usos de água (limpezas, testes de estanqueidade etc.) aliada à baixa evolução física da obra.

A partir deste panorama, é possível perceber como o monitoramento de processos, a coleta e organização de dados são essenciais para a gestão eficiente de recursos hídricos. Além de contribuírem para cada obra individualmente, o acompanhamento do uso da água e da geração de efluentes em canteiro são a base para indicadores que refletem a sustentabilidade dos processos utilizados na construção civil como um todo.

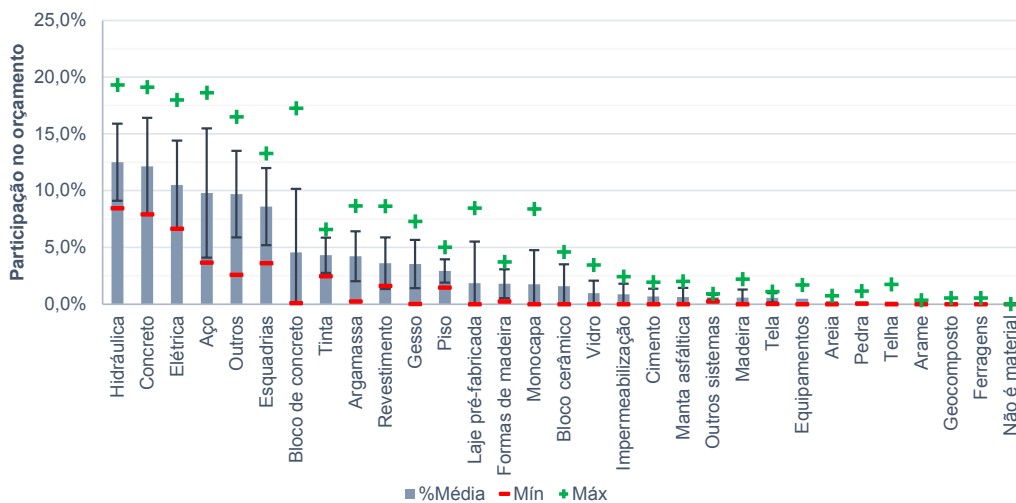
## 2.2.4 Avaliação por curvas ABC de custos e de PH de materiais

### 2.2.4.1 Curva ABC de custos

Realizada a homogeneização e categorização dos materiais, as curvas ABC de cada um dos empreendimentos foram traçadas. Como esperado, há variação significativa da participação dos materiais no orçamento de acordo com cada obra, seja por conta da adoção de diferentes métodos construtivos ou tipologias de edificação. Os gráficos a seguir (Figura 17 e Figura 18) apresentam as participações de acordo com categorização MAT1 para cada obra, os valores médios, desvio padrão e máx/mín.

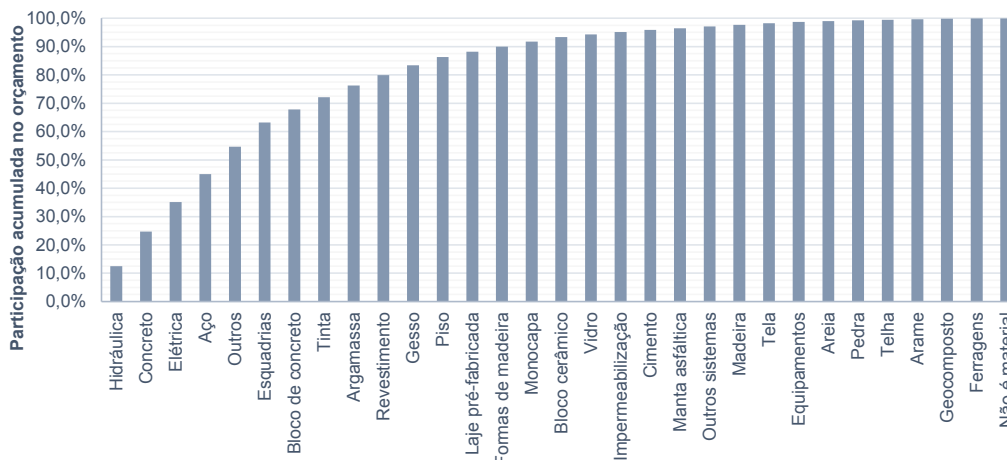
Ressalta-se que as contribuições médias dos materiais são compostas tanto por valores diretos de custo fornecidos quanto por porcentagens de participação dos materiais dentro do orçamento. Contudo, a natureza dos dados não afeta a intenção do levantamento das curvas ABC de custos proposta neste estudo, que se resume a identificar os materiais prioritários para o cálculo de PH. Além disso, nota-se que há um pequeno desvio na composição da média das obras (< 5%), uma vez que a média das porcentagens relativas não é necessariamente igual à proporção dos custos médios de cada material.

**FIGURA 17**  
PARTICIPAÇÃO MÉDIA NO ORÇAMENTO, DESVIO PADRÃO, MÍNIMOS E MÁXIMOS POR MAT1





**FIGURA 18**  
CURVA ABC DE CUSTOS MÉDIA POR MAT1



Conforme esperado, materiais como concreto, aço, esquadrias, blocos, argamassa, tinta e gesso possuem pesos relevantes nos orçamentos, correspondendo a mais de 50% do total em média. Somente concreto e aço juntos representam entre 20 e 40% dos custos totais das obras.

Os sistemas prediais hidráulico e elétrico também possuem grande participação, sendo, em média, cerca de 20% do total. Essas categorias possuem característica bastante específica, dado que, em geral, seus custos são apresentados como “verba” ou “empreitada” global, ou seja, não há discriminação por material. Em outras palavras, somente pelos orçamentos não é possível determinar a PH desses sistemas, dado que não são apresentadas quantidades de tubulações, peças e conexões hidráulicas, metais hidrossanitários, fiações etc. Isso possui implicações diretas na metodologia de cálculo de PH, como será detalhado no item 2.2.4.2.

É necessário compreender que o detalhamento dos materiais para estudo de sua pegada hídrica pode ter como diretrizes aqueles com maior contribuição orçamentaria, mas que cada obra exige uma avaliação própria de cálculo de pegada hídrica devido à alta variabilidade no perfil de contribuição dos materiais.

A categorização dos materiais empregados nas obras possibilitou equiparar diferentes orçamentos e, assim, traçar a curva ABC de cada empresa participante do GT considerando os dados fornecidos individualmente. Esta etapa exige como informações de entrada os materiais empregados em obra, seus quantitativos e preços, sendo este último dado expresso por valores unitários, globais ou percentuais de participação no orçamento total.

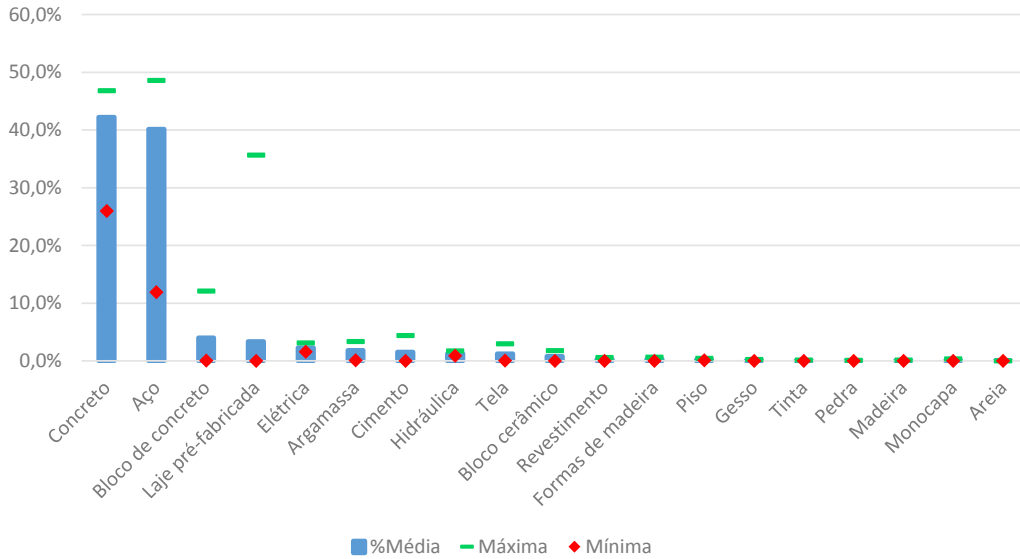
2.2.4.2 Curva ABC de PH

Considerando informações de literatura relativas aos coeficientes de PH dos materiais, é possível traçar a curva ABC de pegada hídrica a partir dos dados de consumo dos materiais nos empreen-

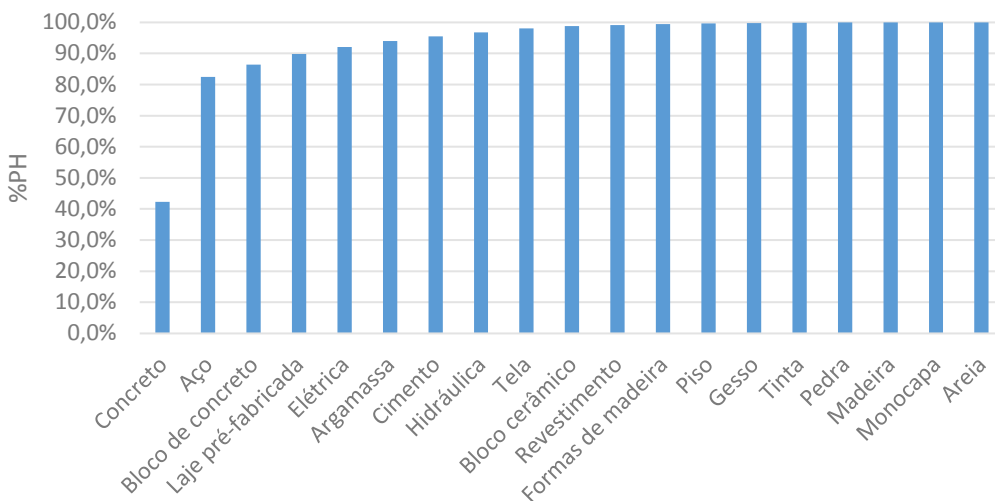


dimentos. É necessário apontar que os materiais cujos dados foram obtidos da literatura disponível são: aço, areia, argamassa, bloco cerâmico, bloco de concreto, cimento, concreto, gesso, laje pré-fabricada, madeira, pisos, revestimentos, rocha (diversos formatos), telha, tinta e vidro. Os coeficientes de PH são apresentados no ANEXO 1.

**FIGURA 19**  
PARTICIPAÇÃO MÉDIA DA PH, DESVIO PADRÃO, MÍNIMOS E MÁXIMOS POR MAT1



**FIGURA 20**  
CURVA ABC DE PH MÉDIA POR MAT1





Os mesmos dados do gráfico acima constam na tabela a seguir.

**TABELA 13**  
CONTRIBUIÇÃO DOS MATERIAIS PARA A PEGADA HÍDRICA DAS OBRAS DO GT

MAT1	% média	% média acum.
Concreto	42,6%	42,6%
Aço	40,5%	83,0%
Bloco de concreto	4,0%	87,1%
Laje pré-fabricada	3,4%	90,5%
Elétrica	2,3%	92,8%
Argamassa	1,9%	94,7%
Hidráulica	1,3%	95,9%
Tela	1,2%	97,2%
Bloco cerâmico	0,8%	98,0%
Cimento	0,8%	98,8%
Revestimento	0,3%	99,1%
Formas de madeira	0,3%	99,4%
Piso	0,2%	99,7%
Gesso	0,1%	99,8%
Tinta	0,1%	99,9%
Pedra	0,1%	99,9%
Madeira	0,0%	100,0%
Monocapa	0,0%	100,0%
Areia	0,0%	100,0%

Como esperado<sup>6</sup>, materiais como concreto e aço detêm as parcelas mais relevantes de pegada hídrica, chegando a 83% de toda a PH de materiais da obra. Isso indica sua relevância no que se refere a impactos sobre os recursos hídricos e aponta para a necessidade de melhor compreensão sobre suas cadeias produtivas.

<sup>6</sup> Conforme apontado pela literatura especializada internacional.



### 2.2.5 Ferramenta de Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações (FPH<sub>edif</sub>)

A sintetização e aplicação prática dos procedimentos definidos para cálculo da pegada hídrica foram consolidados na Ferramenta de Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações (FPH<sub>edif</sub>), um arquivo em MS Excel automático e autoexplicativo voltado ao uso dos participantes do GT para interação prática com a metodologia. A FPH<sub>edif</sub> realiza os cálculos de PH de acordo com as definições metodológicas estabelecidas neste guia a partir de dados de entrada a serem inseridos pelo usuário, com consolidação dos resultados em relatórios automáticos. Seu principal objetivo era instrumentalizar a realização de testes de metodologia, permitindo que todos os participantes do GT realizassem os cálculos de PH a partir das mesmas premissas e definições.

A ferramenta possui seis seções principais, percorrendo os conceitos utilizados para sua elaboração, a forma de processamento de dados, instruções de uso e, por fim, o cálculo da pegada hídrica e apresentação de relatórios.

Como será abordado no item 4, a FPH<sub>edif</sub> prevê duas possibilidades de cálculo da PH<sub>obra</sub>: análise rápida e análise detalhada. A análise simples utiliza informações básicas e não considera todos os tipos de PH (não contempla a PH<sub>cinza</sub>) e tem como objetivo permitir cálculos expeditos e gerais; a detalhada já contempla divisão por etapa de obra, acompanhamentos mensais das demandas de água e as condições de geração e disposição final de efluentes. A **Tabela 14** resume as principais características das duas possibilidades de cálculo.

**TABELA 14**

CARACTERÍSTICAS DA ANÁLISE SIMPLES E DA ANÁLISE DETALHADA DE PH NA FPH<sub>edif</sub>

Assunto	Análise rápida	Análise detalhada
Divisão por etapa de obra	Não contempla	Divisão em oito etapas (ver item 2.1.4)
PH <sub>obra,d</sub>	Efetivo médio mensal Duração da obra Jornada mensal média Demanda total de água no canteiro	Medidas de conservação de recursos hídricos adotadas em canteiro Duração total da obra Jornada mensal média Coeficientes de retorno (Csan e Cproc) Demanda mensal por fonte (concessionária, caminhão-pipa, poço) Evolução física mensal Efetivo mensal Etapa de obra predominante mês a mês Usos sanitários
PH <sub>obra,i</sub>	Materiais empregados no nível de detalhamento MAT1 (ver item 2.1.4)	Materiais empregados no nível de detalhamento MAT2 (ver item 2.1.4)
PH <sub>cinza,d</sub>	Não calculada	Dados sobre tratamento e lançamento de efluentes

A adoção dessas duas possibilidades teve como objetivo responder a duas principais perguntas:



- Conhecidas as dificuldades na organização de dados por parte das empresas, qual seria a adesão à realização da análise detalhada?
- Os resultados globais da análise rápida e da detalhada são parecidos? Como a análise rápida utiliza valores médios dos materiais (ou seja, em nível MAT1 utiliza-se a média dos CPH de MAT2), qual é o nível de desvio dos resultados?

A elaboração da FPH<sub>edif</sub> foi realizada tendo como base:

- ferramentas já consolidadas na área de gestão de recursos hídricos, como a Global Water Tool (GWT), Local Water Tool (LWT) e Aqua Gauge, estudadas;
- a estrutura do guia metodológico definida e apresentada ao GT durante as discussões nos *workshops*;
- bases documentais obtidas junto às empresas nas visitas e contatos posteriores;
- discussões prévias já realizadas junto a participantes do GT.

Abaixo seguem capturas de tela que ilustram a interface da FPHedif, com exemplos das telas de instrução, inserção de dados e de relatórios automáticos gerados.

Uma versão preliminar da FPH<sub>edif</sub> foi elaborada, sendo apresentada e discutida com o GT juntamente com a estrutura preliminar do guia. No workshop de discussão foi possível já captar sugestões e sanar dúvidas referentes à metodologia e à ferramenta, sendo realizados os devidos ajustes para prosseguimento das atividades. Após a finalização do relatório de estrutura geral do guia, uma versão atualizada da FPH<sub>edif</sub> foi disponibilizada ao GT para que cada empresa realizasse os devidos testes e submetesse os resultados à Infinitytech. De maneira a prover adequado suporte à utilização da ferramenta, forneceu-se também material de apoio (manual) e assistência remota via calls para esclarecimento de dúvidas e orientações gerais. Para recebimento estruturado dos feedbacks, foram criados formulários online para que os participantes submetessem seus comentários<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Apesar da disponibilização de endereço online para realização de comentários, algumas empresas preferiram fazê-lo nos próprios calls ou via e-mail, o que não resultou em problemas.



FIGURA 21  
CAPTURAS DE TELA DA FPH<sub>edif</sub>

**FPH<sub>edif</sub>**  
FERRAMENTA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES  
Versão 1.0 - junho de 2019

**Conceitos e instruções**

**Conceituação**

**Conceito de Pegada Hídrica (PH)**

A pegada hídrica (PH) é um indicador de quantificação de água comprometida, direta ou indiretamente, na produção de bens e serviços, incluindo toda a cadeia de suprimentos. São estabelecidos três tipos de pegada hídrica (HOEKSTRA, A.Y. et al., 2011):

- Pegada hídrica azul: água proveniente de uma bacia hidrográfica (recurso superficial ou subterrânea), evaporada, incorporada a um produto ou retirada e devolvida a outro corpo hídrico;
- Pegada hídrica verde: água precipitada, armazenada no solo, evaporada, transpirada ou incorporada pelas plantas;
- Pegada hídrica cinza: quantidade de água doce necessária para assimilar poluentes e atender aos parâmetros qualidade da água, considerando a poluição de uma fonte pontual lançada a um curso de água doce diretamente ou indiretamente.

**Premissas**

No caso de edificações, a pegada hídrica engloba a água necessária para a existência e funcionamento do empreendimento, incluindo a água incorporada e necessária para assimilação dos efluentes durante três etapas de avaliação:

- o processo produtivo dos materiais utilizados;
- os processos de obra;
- o uso da edificação.

Dentro de cada etapa de avaliação, a pegada hídrica deve ser separada em direta e indireta, conforme ilustrado na figura ao lado. A PH direta é relacionada à incorporação de água durante os processos realizados, como as atividades de obra e da ocupação da edificação. A PH indireta é relativa à água incorporada nos materiais utilizados, ou seja, cuja pegada hídrica foi gerada em uma situação anterior ao empreendimento.

A figura abaixo apresenta um panorama geral de como o conceito de pegada hídrica pode ser entendido no setor da construção civil, especificamente em obras de edificações.

**FPH<sub>edif</sub>**  
FERRAMENTA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES  
Versão 1.0 - junho de 2019

**Phobra - análise rápida**

A análise rápida é um recurso de FPH<sub>edif</sub> que permite avaliações expeditas de PH da obra a partir de informações básicas. Assim sendo, há diversas simplificações adotadas, sendo elas:

- cálculo somente para a etapa de obra (uso da edificação não considerado)
- usos diretos de água e não são discriminados mês a mês ou por etapa, sendo utilizadas somente médias distribuídas ao longo de toda a obra
- materiais são inseridos de forma agregada (MAT1)
- materiais não são discriminados por etapa
- Phcinza direta e indireta não são calculadas

Os cálculos detalhados constam nas abas "Phobra", "Phobra.d" e "Phuso.d". Os valores introduzidos aqui não interferem ou se relacionam com os utilizados nas citadas abas, sendo esta análise totalmente independente.

**PH<sub>obra,direta</sub>**

Eleetivo médio mensal	197
Duração da obra (meses)	32
Quantidade média (durante/d)	22
Possui dado de demanda total (DT)?	Não
Se sim, insere abaixo	
DT estimada (m³)	3.358,0
DT mensal (m³/mês)	292,4
DPA (m³/m²)	0,25
DPIC (m³/m², mês)	1,56
Demanda sanitária por capita (Wfunc.dia)	50,0
Demanda sanitária mensal estimada (m³/mês)	205,70
% sanitária/DT	70%
C <sub>mat</sub>	0,00
PHazul (m³/mês)	411
PHazul (m³)	2.392,1

**PH<sub>obra,indireta</sub>**

Material	Qtde.	Unid. func.	PH <sub>mat</sub> (Unid. func.)	PH <sub>mat</sub> (m³)
Água	759.900,0	kg	67,2	51.068,7
Areia	229,9	m³	7,6	1,7
Argamassa	4.344.793,0	kg	10,0	43.447,9
Bloco de concreto	638.343,0	unid.	1,9	1.241,6
Cimento	937.975,9	kg	0,5	422,0
Concreto	11.404,5	m³	3.840,0	43.793,3
Gesso	46.752,4	m²	2,9	120,8
Madeira	3.437,2	m³	13,7	47,0
Piso	20.992,0	m²	19,2	374,0
Revestimentos	646,8	m²	12,0	7,8
Pedra (diversos formatos)	1.298,8	m³	4,2	5,4
Tela	500,0	m²	5,2	2,6
Tinta	300.200,4	m²	2,0	200,3
Vidro	3.533,7	m²	4,2	14,7
			-	-
			-	-

**FPH<sub>edif</sub>**  
FERRAMENTA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES  
Versão 1.0 - junho de 2019

**Relatório 1 - PH<sub>obra</sub> por tipo, etapa, material e processo**

Responsável: Anaela Paresi Agostini@pyp.com.br | (11) 3-8889-8889

**Relatório 1 - PH<sub>obra</sub>**

Este relatório compila os cálculos de PH sobre da obra, permitindo melhor compreensão e análise dos itens decobertos nas abas "Phobra.d" e "Phobra.i". Aqui, os dados são apresentados como valores absolutos (m³), indicadores (m³/m²), por etapa (E1, E2, E3, ...), mês de obra, e por material (opo, concreto, argamassa, ...).

Não são consideradas as entradas de dados realizadas na aba "Análise rápida".

**Dados da edificação**

Nome	51
Tipologia	Residencial
ACT (m²)	26.822,4

**PH por tipo**

Tipo	Direta	Indireta	Subtotal
PHazul	247,05	59.973	62.441,9
Phcinza	40.524,0	0,0	40.524,0
Subtotal	42.994,6	59.973,3	102.968,9

**Valores em m³/m²**

Tipo	Direta	Indireta	Subtotal
PHazul	0,09	2,24	2,33
Phcinza	1,51	0,00	1,51
Subtotal	1,60	2,24	3,33

**Valores em %**

Tipo	Direta	Indireta	Subtotal
PHazul	2,4%	58,2%	60,6%
Phcinza	39,6%	0,0%	39,6%
Subtotal	41,8%	58,2%	100%

**PH por etapa**

Etapa	PH <sub>azul,direta</sub> (m³)	PH <sub>azul,indireta</sub> (m³)	PH <sub>cinza,direta</sub> (m³)	PH <sub>cinza,indireta</sub> (m³)	PH <sub>cinza,subtotal</sub> (m³)	PH <sub>azul,subtotal</sub> (m³)	PH <sub>total,subtotal</sub> (m³)
E1	205	1	206	5388,0	0	5.394	5.574
E2	304	0	304	9465,0	0	9.465	10.767
E3	332	37.956	38.888	3005,0	0	42.925	41.212
E4	383	4.722	5.106	3410,0	0	2.410	9.596
E5	399	2.145	2.505	4670,0	0	4.670	7.189
E6	256	76	332	1848,0	0	1.848	2.189
E7	486	14.725	15.210	9995,0	0	9.995	20.745
E8	446	445	891	4800,0	0	4.800	6.791
Total	2.471	59.971	62.442	40824,0	0	40.524	102.966

**FPH<sub>edif</sub>**  
FERRAMENTA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES  
Versão 1.0 - junho de 2019

**Relatório 3 - DT e informações e indicadores de uso de água e geração de efluentes**

Responsável: Anaela Paresi Agostini@pyp.com.br | (11) 3-8889-8889

**DT e evolução física da obra**

**Meta DPA (m³/m²) 0,25** **Inserir valor meta do DPA (demanda por área) para acompanhamento**

**DT e DPA**

**DT e DPA**





Resumidamente, os passos tomados para otimização da etapa de realização de testes foram:

1. Apresentação de versão preliminar da  $FPH_{edif}$  conjuntamente com a estrutura geral do guia, buscando-se familiarizar os participantes com os principais conceitos e procedimentos de cálculo e lhes apresentar as principais funcionalidades da ferramenta.
2. Finalização do relatório com a estrutura geral do guia e aprimoramento da  $FPH_{edif}$  com base nas discussões do WS2.
3. Criação de formulários para recebimento de feedback.
4. Envio da  $FPH_{edif}$  juntamente com manual de utilização da ferramenta.
  - Solicitou-se que os participantes preenchessem a  $FPH_{edif}$  com dados referentes às obras cujas informações haviam sido cedidas no início das atividades do GT.
  - O manual enviado apresentava instruções objetivas de quais são as funcionalidades da  $FPH_{edif}$  e como utilizá-las de forma correta.
  - Foram enviados às empresas dois arquivos da  $FPH_{edif}$ : um deles totalmente “em branco” e outro preenchido com valores arbitrários que tinha como intuito servir de modelo.
5. Realização de calls e assistência remota para orientação no uso da ferramenta, esclarecimento de dúvidas e breve discussão dos resultados.

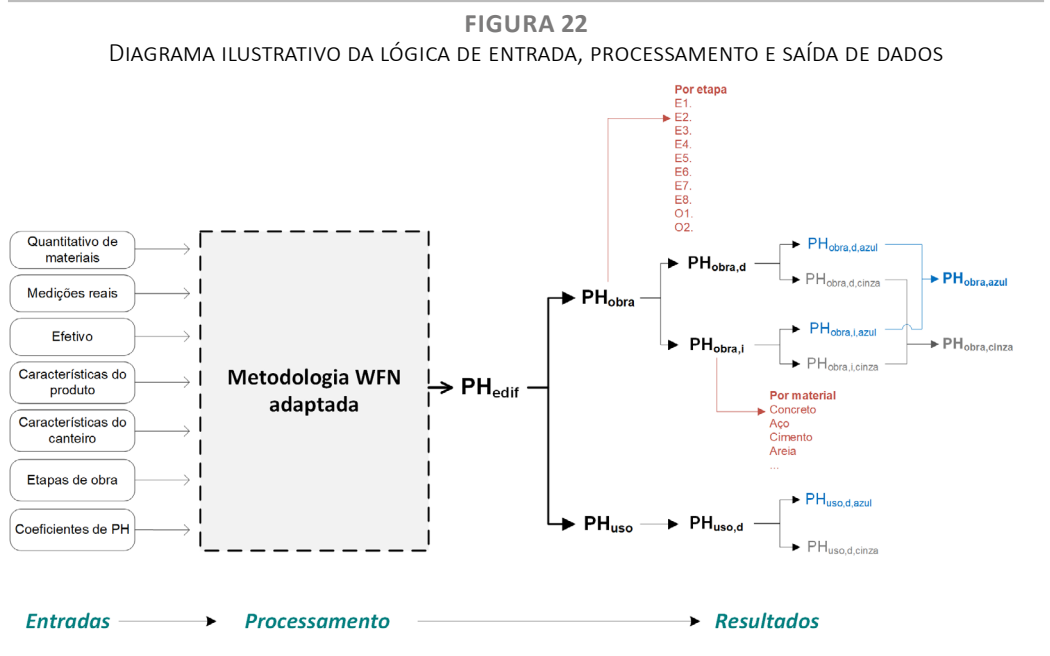
A partir desse processo, os participantes do GT realizaram o cálculo de PH de suas obras e os submeteram à Infinitytech. Os resultados oriundos do uso da  $FPH_{edif}$  serão abordados no item 4.



### 3. ROTEIRO DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA PARA EDIFICAÇÕES

A partir dos itens anteriores, chega-se à pergunta: “quais são os exatos procedimentos de cálculo da pegada hídrica de uma edificação?” Este tópico é um passo-a-passo detalhado, e ainda assim objetivo, de como se chegar aos valores de PH de uma edificação a partir das adaptações e definições já apresentadas no item 2, sendo um resumo prático da metodologia objeto deste manual.

A **Figura 22** abaixo ilustra visão geral do fluxo dos procedimentos de cálculo que serão explicados a seguir.



#### 3.1 Levantamento de dados

O primeiro e indispensável passo para a determinação da PH é a coleta, análise e processamento dos dados necessários à sua contabilização. Ainda que essa tarefa aparente ser relativamente simples, algumas condições e práticas inadequadas podem torná-la muito complicada, comprometendo a qualidade dos dados e, conseqüentemente, da determinação da PH.

É fundamental a manutenção de registros permanentes e atualizados das informações relativas à gestão de recursos hídricos, seja para a gestão de água em canteiro ou para a avaliação de pegada hídrica. No caso da pegada hídrica, é necessário o acompanhamento de dados ao longo de toda a vida útil do empreendimento, observando usos diretos e indiretos. Conforme tratado no item 1.4, a avaliação de PH contempla a  $PH_{obra}$  e  $PH_{uso}$ , estando estas subdivididas em  $PH_{direta}$ ,  $PH_{indireta}$ <sup>8</sup>,  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$ , e o cálculo de cada uma dessas componentes requer utilização de grupos distintos de informações, conforme apresenta a **Tabela 15**.

<sup>8</sup>  $PH_{indireta}$  somente no caso de  $PH_{obra}$ .



**TABELA 15**  
VARIÁVEIS DE INTERESSE PARA PH

Pegada hídrica		Informação	Onde a obter
PH <sub>obra,d</sub>	PH <sub>obra,d,azul</sub>	Duração da obra	Controle de obra
		Efetivo médio mensal	Controle de obra
		Demanda de água total ( $Q_{dem}$ ), demanda para usos sanitários ( $Q_{san}$ ) e demanda para processos ( $Q_{proc}$ ). $Q_{san}$ e $Q_{proc}$ podem ser medidas ou estimadas por meio de “C”.	Literatura, medições <i>in loco</i>
		Coefficientes de retorno (C)	Literatura, medições <i>in loco</i>
PH <sub>obra</sub>	PH <sub>obra,d,cinza</sub>	Carga de contaminante gerada ( $C_{ger}$ )	Literatura, medições /análises <i>in loco</i>
		Eficiência de medidas de tratamento (E) e porcentagem de efluente tratada (%trat)	Literatura, memoriais descritivos de projeto, medições/análises <i>in loco</i>
PH <sub>obra,i</sub>	PH <sub>obra,i,azul</sub>	Quantitativos dos materiais empregados	Orçamentos, sistema de controle de compras
		Coefficiente de pegada hídrica azul de materiais	Literatura ou diretamente com fabricantes/fornecedores (ver 0)
	PH <sub>obra,i,cinza</sub>	Quantitativos dos materiais empregados	Orçamentos, sistema de controle de compras
		Coefficiente de pegada hídrica cinza de materiais	Literatura ou diretamente com fabricantes/fornecedores (ver 0)
PH <sub>uso</sub>	PH <sub>d,azul</sub>	Tipos e quantitativos de agente consumidor (morador, funcionário, visitante etc.)	Informações sobre o produto (edificação)
		Demandas de água per capita	Informações sobre o produto (edificação), literatura, estimativas realizadas pelo projeto de hidráulica e por estudos de redução de uso de água
	PH <sub>d,cinza</sub>	Carga de contaminante gerada ( $C_{ger}$ )	Literatura, medições/análises <i>in loco</i>
Eficiência de medidas de tratamento (E) e porcentagem de efluente tratada (%trat)		Literatura, memoriais descritivos de projeto, medições/análises <i>in loco</i>	
		Concentrações máxima permitida e inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento ( $C_{máx}$ e $C_o$ , respectivamente)	Literatura, legislações, medições <i>in loco</i>



O cálculo de PH dos materiais empregados depende diretamente do produto entre a quantidade de material e seu coeficiente de pegada hídrica (CPH), conforme Equação 2.

$$PH_{material} [volume] = quantidade [UF] \times CPH \left[ \frac{volume}{UF} \right] \quad \text{Equação 2}$$

<b>PH<sub>material</sub></b>	pegada hídrica (azul ou cinza) de material [volume]
<b>CPH</b>	coeficiente de pegada hídrica [volume/UF]
<b>UF</b>	unidade funcional

Como a própria metodologia da WFN e estudos específicos no tema de PH para edificações afirmam, em geral uma pequena parcela dos processos (ou materiais) corresponde a praticamente a totalidade da PH de um produto. Por isso, é importante ponderar quais são os materiais mais influentes no edifício em termos quantitativos e quais apresentam melhor base de dados de coeficientes de pegada hídrica (CPH).

Conforme apresentado no 2.2.4, a curva ABC pode ser utilizada como ferramenta para identificação dos materiais prioritários a serem considerados para cálculo, utilizando dados constantes em orçamento (especificação do material, preço e quantidade) e valores CPH disponíveis em literatura ou obtidos diretamente com o fabricante/fornecedor<sup>9</sup>. Materiais como concreto, aço, esquadrias, blocos, argamassa, tinta e gesso usualmente possuem pesos relevantes nos orçamentos, correspondendo em conjunto a mais de 50% do total. Somente concreto e aço juntos representam entre 20 e 40% dos custos totais das obras. Em termos de PH, aço, concreto e argamassa correspondem a quase 90% do total.

No caso específico de hidráulica e elétrica, é necessário apontar que essas categorias possuem característica bastante particular, dado que, em geral, seus custos são apresentados como “verba” ou “empreitada” global, ou seja, não há discriminação por material. A quantidade de materiais que compõem é extremamente alta, o que inviabiliza sua consideração individual nos procedimentos de cálculo de PH. Por isso, e conforme será detalhada no item específico sobre coeficientes de pegada hídrica (item 3.2.2.1), para esses dois sistemas serão utilizados valores unitários em função de ACT (área construída total), ou seja, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

### 3.2 Pegada hídrica de obra

A PH<sub>obra</sub> é calculada a partir das pegadas hídricas dos processos consumidores de água em canteiro (direta) e dos materiais empregados no edifício (indireta). Os procedimentos de cálculo são os mesmos para obras futuras ou já realizadas, havendo diferença somente no tipo de dado de entrada, visto que no primeiro caso trata-se de uma previsão e no segundo de dados de obtidos de registros operacionais e de compras. A PH<sub>obra</sub> é primeiramente dividida em direta (PH<sub>obra,d</sub>), que se relaciona com os usos efetivos em canteiro, e indireta (PH<sub>obra,i</sub>), referente aos materiais empregados na construção do edifício. Tanto a PH<sub>obra,d</sub> como a PH<sub>obra,i</sub> podem ser decompostas em azul e cinza. A partir disso, tem-se a definição das fórmulas para cálculo da pegada hídrica de obra (Equação 3 e Equação 4).

<sup>9</sup> O O apresenta guia específico para orientação de solicitação de dados de PH a fabricantes/fornecedores.



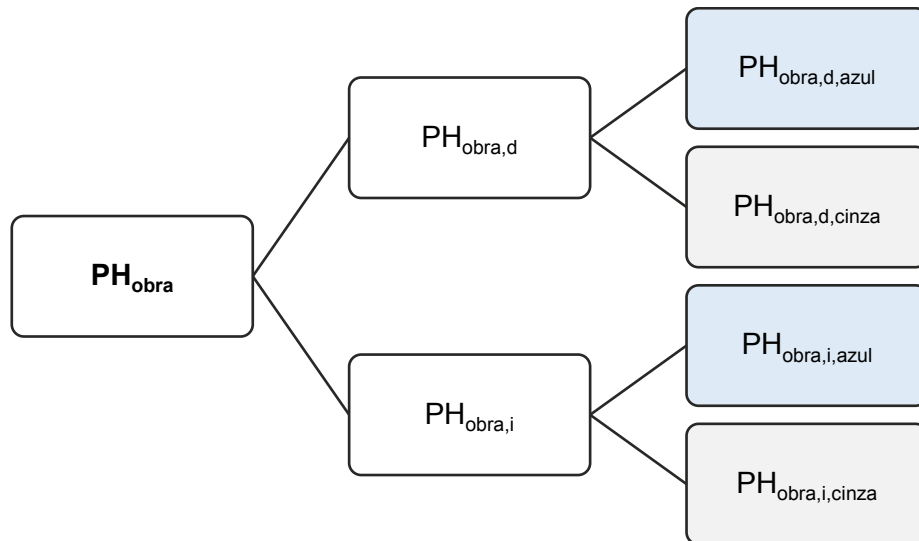
**PH<sub>obra,d</sub>**

Consumos efetivos em canteiro em processos como cura de concreto, preparo de argamassas, lavagens, usos sanitários pelos funcionários. É relacionada ao consumo de água medido no canteiro considerando fontes superficiais e subterrâneas.

**PH<sub>obra,i</sub>**

Pegada hídrica dos materiais utilizados, como concreto, aço, cimento, argamassa e tintas. A pegada hídrica indireta contempla as apropriações de água que ocorrem fora de canteiro, como a água incorporada ao longo de todo processo de usinagem de concreto por exemplo.

**FIGURA 23**  
ESTRUTURA DE CÁLCULO DA PH<sub>obra</sub>



<b>PH<sub>obra</sub></b>	PH de obra	<b>PH<sub>obra,d,cinza</sub></b>	PH de obra direta cinza
<b>PH<sub>obra,d</sub></b>	PH de obra direta	<b>PH<sub>obra,i,azul</sub></b>	PH de obra indireta azul
<b>PH<sub>obra,i</sub></b>	PH de obra indireta	<b>PH<sub>obra,i,cinza</sub></b>	PH de obra indireta cinza
<b>PH<sub>obra,d,azul</sub></b>	PH de obra direta azul		

$$PH_{obra} = PH_{obra,d} + PH_{obra,i} \quad \text{Equação 3}$$

$$PH_{obra} = PH_{obra,d,azul} + PH_{obra,d,cinza} + PH_{obra,i,azul} + PH_{obra,i,cinza} \quad \text{Equação 4}$$

A título de exemplo, a **Tabela 16** relaciona processos e materiais agregados de acordo com as oito etapas de obra definidas no item 2.1.4.



**TABELA 16**  
EXEMPLOS DE PROCESSOS E MATERIAIS REFERENTES À PH

Etapa	Exemplos	
	PH <sub>obra,d</sub> Uso direto de água para	PH <sub>obra,i</sub> Uso indireto de água em
E1- Movimentação de terra	Abatimento de poeira, lava-rodas	Cimento
E2- Fundação	Cura de concreto, água de tirante, preparo de lama bentonítica	Concreto usinado (ou cimento + areia, + brita), aço
E3- Estrutura	Cura de concreto, umedecimento e limpeza de formas	Concreto usinado (ou cimento + areia, + brita), aço, bloco estrutural, laje pré-moldada, tela nervurada
E4- Vedação	Preparo de argamassas	Cimento, argamassa, blocos
E5- Instalação predial	Testes de estanqueidade	Tubos de PVC, peças sanitárias
E6- Pavimentação e infraestrutura	Abatimento de poeira	Concreto (ou cimento + areia + brita), asfalto
E7- Revestimento (interno e externo)	Preparo de argamassas, lavagem de pinceis, preparo de gesso	Tintas, gesso, argamassa
E8- Cobertura	Preparo de argamassas, limpezas, testes de carga/estanqueidade	Telhas, cimento, armação metálica
Todas <sup>(1)</sup>	Usos sanitários	-

### 3.2.1 Pegada hídrica de obra direta - PH<sub>obra,d</sub>

Na PH<sub>obra,d</sub>, devem ser consideradas as contribuições de pegada azul e cinza durante a construção. No caso específico de canteiros de obra, a determinação exata dos componentes azul e cinza é possível somente a partir de medições de toda a água utilizada e dos efluentes gerados. Sabe-se, no entanto, que não é comum a existência de medição setorizada de uso de água e de geração de efluentes em canteiros, o que leva à necessidade de utilização de estimativas gerais baseadas em literatura especializada. Ainda que haja medição setorizada de uso de água, é praticamente impossível realizar monitoramento em nível tal que seja possível quantificação e alocação de todas as vazões de água e esgoto na obra, sendo, portanto, sempre necessárias simplificações para compreensão do ciclo da água.

#### 3.2.1.1 Pegada hídrica de obra direta azul - PH<sub>obra,d,azul</sub>

Conceitualmente, a PH<sub>azul</sub> é calculada por:

$$PH_{azul} = \text{água evaporada} + \text{água incorporada} + \text{vazão de retorno perdida} \tag{Equação 5}$$

No caso específico da PH<sub>obra,d,azul</sub> pode-se dizer que o valor de PH é igual a toda a água perdida, ou seja, aquela que não se converte em efluente (esgoto).

#### Por que preciso utilizar o coeficiente de retorno “C”?

Como a PH<sub>azul</sub> se refere à água “perdida” nos processos de uso, a quantificação dos volumes de efluentes gerados é essencial. A água consumida é a diferença entre a demandada (ou retirada) e a retornada (ou efluente).



A partir disso, para fins de viabilização e equacionamento do cálculo de  $PH_{obra,d,azul}$  foram assumidas as seguintes premissas e convenções.

- O somatório de todas as ofertas de água (concessionária, caminhão-pipa, poços próprios, água de chuva, reúso etc.) será denominado  $Q_{dem}$  (vazão demandada).
- Entre os usos em canteiro que geram efluentes, os sanitários (bacias sanitárias, mictórios, chuveiros) são os mais expressivos. Para esses casos, a  $PH_{azul}$  é igual ao volume demandado subtraído pelo retornado (efluente). Valores comuns de coeficiente de retorno (C)<sup>10</sup> se situam entre 0,80 e 0,90. Ou seja, entre 80% e 90% da água demandada se converte em efluente, o que significa que entre 10% e 20% é perdida.
- Para usos sanitários, a adoção de metais hidrossanitários eficientes e de restritores de vazão nas instalações do canteiro possibilita a redução da demanda per capita, o que também influencia nas vazões perdidas. Para contabilização das reduções resultantes da utilização de metais eficientes, serão utilizadas as vazões de referência dos equipamentos instalados e frequências diárias de uso.
- Há usos de água em que há importantes perdas por evaporação/incorporação, como cura de concreto, preparo de argamassas, aplicação de gesso etc. Essas demandas serão denominadas  $Q_{proc}$  (processos). Nesse caso, o valor de C depende de avaliação de cada um dos processos específicos.
- A divisão da  $PH_{obra,azul,d}$  em usos sanitários ( $Q_{san}$ ) e de processos ( $Q_{proc}$ ) tem como objetivo destacar os usos sanitários, os quais podem ser facilmente medidos, têm importante representatividade nos consumos diretos e possuem valores de referência consolidados.
- Sabendo-se que não é prática comum a medição individualizada em canteiros dos consumos nem para fins sanitários nem para os demais, as vazões podem ser determinadas indiretamente a partir de:
  - $Q_{san}$ : com base no efetivo mensal médio (nº médio de funcionários/mês), frequências de uso e dos tipos de metais hidrossanitários presentes nas instalações do canteiro. Caso haja medição setorizada, o dado de vazão para fins sanitários pode ser utilizado diretamente. A vazão perdida (contabilizada como  $PH_{azul}$ ) é calculada por meio do coeficiente de retorno, em geral entre 0,80 e 0,90 para usos sanitários.
  - $Q_{proc}$ : com base em coeficientes unitários específicos (por exemplo, quantidade de água demandada para diluição de tintas, l/m<sup>2</sup>) e nos coeficientes de retorno específicos. Se porventura o uso não gerar efluentes, C = 0, e toda a vazão demanda é perdida e contabilizada como  $PH_{azul}$ . Adotou-se valor genérico de  $C_{proc} = 0,20$  para realização dos cálculos.

O cálculo da  $PH_{obra,d,azul}$  é, então, expressado pela **Equação 6**. A multiplicação por “t” (tempo de obra) é necessária para conversão dimensional de volume/tempo para volume.

$$PH_{obra,d,azul} = (Q_{dem} - Q_{efl})t = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{outros,k} \times (1 - C_k)] \right\} t \quad \text{Equação 6}$$

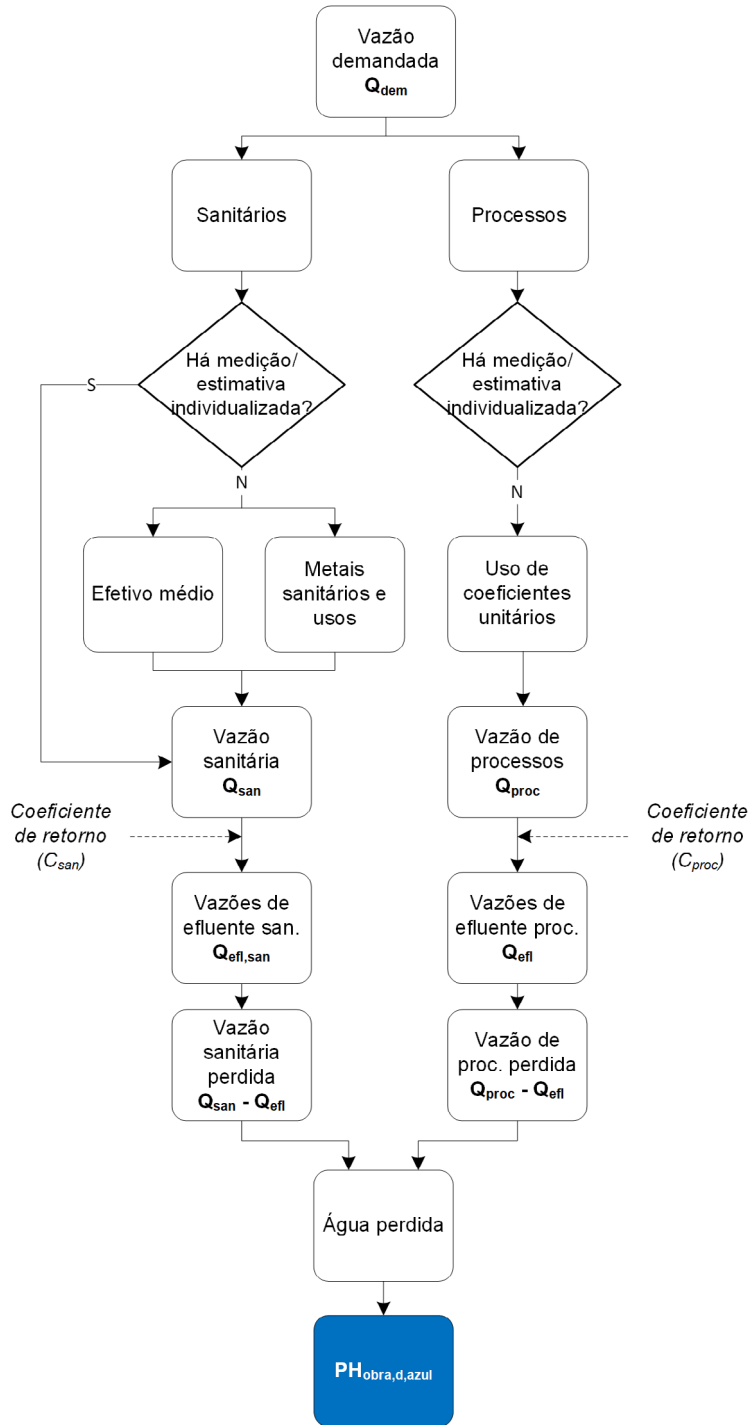
$PH_{obra,d,azul}$	pegada hídrica de obra direta azul [volume]
$Q_{dem}$	vazão demandada total [volume/tempo]
$Q_{efl}$	vazão de efluentes gerados [volume/tempo]
$Q_{san}$	vazão demandada para usos sanitários [volume/tempo]
$Q_{outros,k}$	vazão demandada para uso “k” [volume/tempo]
$C_{san}$	coeficiente de retorno das demandas sanitárias [%]
$C_k$	coeficiente de retorno do uso “k” [%]
$t$	tempo de duração de obra [tempo]

<sup>10</sup> Coeficiente de retorno (C): parâmetro largamente aplicado em projetos de saneamento para correlacionar as vazões de efluente gerado e água demandada. É calculado por  $C = \frac{\text{Vazão de efluente}}{\text{Vazão demandada}}$



Os procedimentos supracitados são ilustrados na **Figura 24**.

**FIGURA 24**  
FLUXOGRAMA DE CÁLCULO DE PHOBRA,D,AZUL







A **Tabela 17** apresenta exemplos genéricos de coeficientes unitários e coeficiente de retorno para distintos usos.

**TABELA 17**  
EXEMPLOS DE VALORES DE DEMANDAS UNITÁRIAS E C PARA PROCESSOS

Tipo	Usos	Unid.	Exemplos			
			Demanda	C	Efluente	Água perdida
Sanitários e refeitório	Descargas de bacias sanitárias, lavatórios, chuveiros etc.	l/func./dia	40-80 <sup>(1)</sup>	0,80 <sup>(5)</sup>	40	10
	Preparo de refeições	l/refeição	20-30 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(5)</sup>	16,00	4,00
	Cura de concreto	l/m <sup>2</sup> (laje)	0,02-0,05 <sup>(3)</sup>	0,0 <sup>(6)</sup>	0,00	0,02-0,05
Processos	Preparo de argamassas	l/kg	0,15-0,26 <sup>(3)</sup>	0,0 <sup>(6)</sup>	0,00	0,15-0,26
	Diluição de tintas (2 demãos)	l/m <sup>2</sup>	0,03 <sup>(3)</sup>	0,0 <sup>(6)</sup>	0,00	0,00
	Limpeza de pisos	l/m <sup>2</sup>	0,5-1,1 <sup>(4)</sup>	0,95 <sup>(7)</sup>	0,48-1,05	0,02-0,05

(1) Tomaz (2000); Pessarello (2008)

(2) Tomaz (2000)

(3) Pessarello (2008)

(4) Sant'Ana et al. (2013)

(5) ABNT NBR 9649 (1986)

(6) Demandas não geram efluentes (toda a água é incorporada/evaporada) e, portanto, C = 0.

(7) No caso de lavagens, praticamente toda água se converte em efluente, havendo poucas perdas por evaporação.

Referente às fontes de água, vale ressaltar o caso específico de aproveitamento de água de chuva. Por se tratar de uso de água oriunda de precipitação, pode haver compreensão de que essa parcela deve ser computada como PH<sub>verde</sub>. No entanto, uma vez que a água coletada normalmente escoaria superficialmente na bacia (considerando-se ambientes majoritariamente urbanos, ou seja, essencialmente impermeabilizados), Hoekstra et al. (2011) recomendam que essa fonte seja incluída como PH<sub>azul</sub>.

### Como posso obter valores de Q<sub>san</sub>, Q<sub>proc</sub> e C mais precisos?

Caso seja devidamente planejado e implantado sistema de medição setorizada acompanhada de monitoramento das vazões em canteiro, profissionais podem chegar a valores mais precisos, ensejando inclusive a criação de bases de dados passíveis de replicação em obras futuras.

O **ANEXO 3** apresenta instruções para realização de medidas em canteiro que permitam obtenção de valores de vazão e de coeficientes de retorno mais próximos à realidade de cada obra.

#### 3.2.1.2 Pegada hídrica de obra direta cinza - PH<sub>obra,d,cinza</sub>

O cálculo da pegada hídrica cinza é dependente da carga (relação massa/tempo, como kg/dia) de contaminantes lançada e das condições do corpo receptor/ponto de lançamento. É importante frisar que carga (massa/tempo) é uma grandeza de fluxo de massa, o que significa que se uma mesma massa de poluente estiver diluída em quantidades diferentes de água, a carga permanecerá a mesma. Matematicamente isso se explica porque em caso de aumento da vazão, a concentração irá diminuir, permanecendo constante a carga, relação demonstrada na **Equação 7**.



$$\text{Carga} \left[ \frac{\text{massa}}{\text{tempo}} \right] = \text{concentração} \left[ \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \right] \times \text{vazão} \left[ \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} \right] \quad \text{Equação 7}$$

Em outras palavras, a redução do volume de efluentes gerados (por conta de uso restritores de vazão, por exemplo), não impacta na pegada hídrica cinza direta do canteiro, dado que as cargas poluidoras permanecerão exatamente as mesmas, porém menos diluídas. Em contraponto, a existência de unidades de tratamento no canteiro, seja para descarte ou reúso, implica em redução das cargas, impactando no valor de  $PH_{\text{cinza}}$ . No exemplo de um canteiro em que as autoridades locais exigiram que todo efluente fosse tratado antes do lançamento com eficiência (E) de 80% de remoção de  $DBO_{5,20}$ , a carga lançada (ou remanescente) seria igual a 20% da gerada.

Dentre as premissas adotadas para este cálculo, é necessário pontuar:

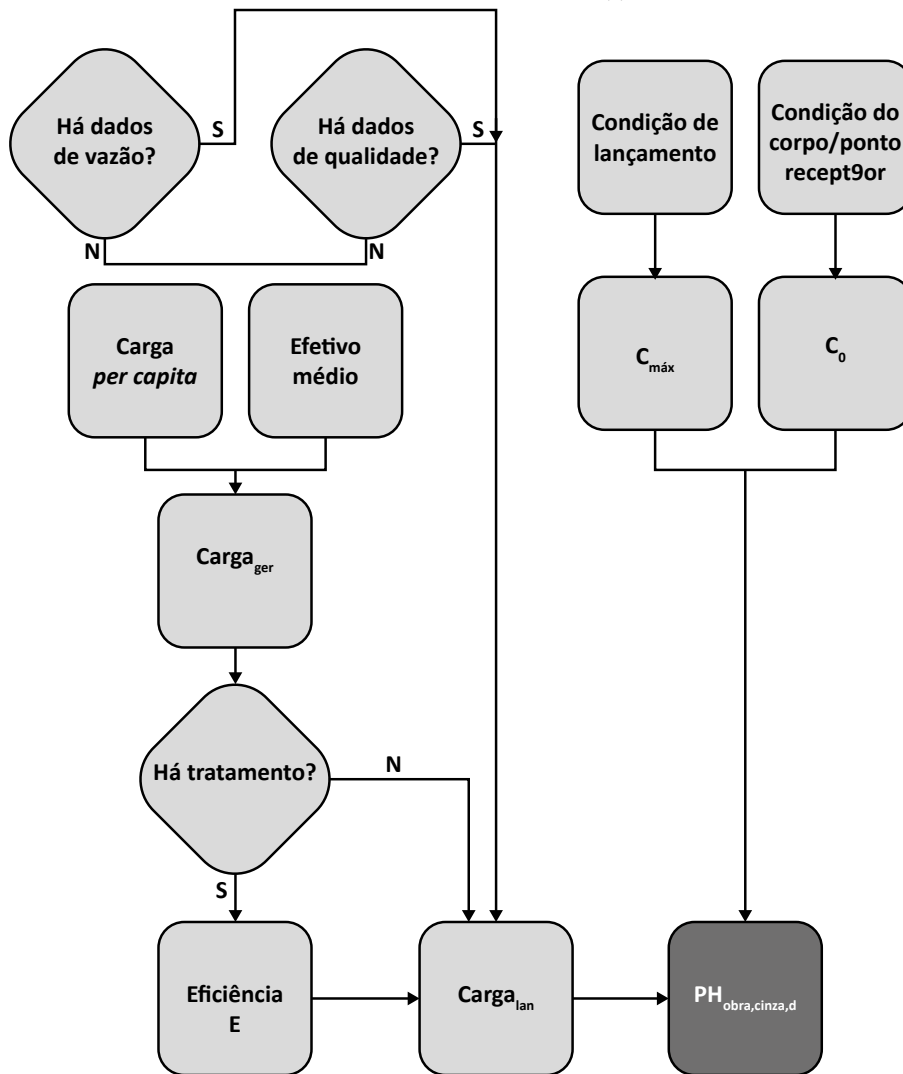
- A metodologia da WFN prevê que seja avaliado um contaminante específico para o cálculo do volume de água necessário para sua assimilação no meio ( $PH_{\text{cinza}}$ ), sendo desejável a escolha daquele que resulte em maiores volumes de apropriação de água. Ou seja, deve ser escolhido o contaminante cuja assimilação proporcione o mesmo processo para os demais, o que é denominado contaminante crítico.
- No Brasil, a principal variável de qualidade para avaliação qualitativa de esgotos sanitários é a Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_{5,20}$ )<sup>11</sup>, a qual expressa indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável de um efluente. A  $DBO_{5,20}$  é amplamente utilizada em legislações para determinação de necessidades de tratamento de esgotos antes do lançamento (Resolução Conama 430/2011), seja em corpos hídricos (Resolução Conama 357/05) ou outros pontos de lançamento (decreto 8.468/76 em SP e DZ-215 no RJ, por exemplo). Sabendo-se que é inviável estipular as concentrações de todos os contaminantes presentes nos efluentes gerados em canteiro, adotou-se como simplificação que a  $DBO_{5,20}$  deve ser utilizada como variável de qualidade orientadora para cálculo da  $PH_{\text{cinza}}$ . Essa simplificação tem como objetivo utilizar um parâmetro de qualidade largamente aplicado em legislações ambientais, de relativa fácil compreensão e que represente de forma adequada o potencial de contaminação do efluente.

O fluxograma de procedimentos de cálculo da pegada hídrica cinza direta de obra ( $PH_{\text{obra,d,cinza}}$ ) segue na **Figura 25**.

<sup>11</sup> O índice "5,20" se refere ao tempo de análise (5 dias) e à temperatura controlada na amostra (20°C).



FIGURA 25  
FLUXOGRAMA DE CÁLCULO DE PH<sub>obra,d,cinza</sub>



Para cálculo da PH<sub>obra,d,cinza</sub> é necessário quantificar a carga lançada (Carga<sub>lan</sub>), a qual é dependente da carga gerada (Carga<sub>ger</sub>) e da existência e características de sistemas de tratamento (E e %trat) É evidente que, na ausência de sistema de tratamento, E = 0 e %trat = 0, e, conseqüentemente, Carga<sub>lan</sub> = Carga<sub>ger</sub>.

$$Carga_{lan} = Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)$$

Equação 8

- Carga<sub>lan</sub>** carga de contaminante efetivamente lançada [volume/tempo]
- Carga<sub>ger</sub>** carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- E** eficiência de remoção de contaminantes da estação [%]
- %trat** porcentagem do efluente gerado tratada [%]



Assim sendo, o cálculo da pegada hídrica cinza direta de obra ( $PH_{obra,d,cinza}$ ) é realizado por:

$$PH_{obra,d,cinza} = \left( \frac{Carga_{lan}}{C_{m\acute{a}x} - C_0} \right) t = \left[ \frac{Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)}{C_{m\acute{a}x} - C_0} \right] t \quad \text{Equação 9}$$

- $PH_{obra,d,cinza}$  pegada hídrica de obra direta cinza [volume]
- $Carga_{lan}$  carga de contaminante efetivamente lançada [massa/tempo]
- $Carga_{ger}$  carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- $E$  eficiência de remoção de contaminantes da estação [%]
- $\%trat$  porcentagem do efluente gerado tratada [%]
- $C_{m\acute{a}x}$  conc. máxima permitida do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
- $C_0$  conc. inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
- $t$  tempo de duração de obra [tempo]

Os valores de  $C_{m\acute{a}x}$  e  $C_0$ <sup>12</sup> são totalmente dependentes de fatores externos ao canteiro, como legislações aplicáveis e condições de qualidade do corpo receptor. Foram compreendidas três principais formas de disposição de efluentes: lançamento em corpo hídrico; em rede pública desprovida de ETE (ou seja, esgoto é coletado pela rede pública e lançado em corpo hídrico sem devido tratamento); e rede pública dotada de ETE (efluentes seguem para ETE antes do lançamento em corpo hídrico). Para cada uma dessas possibilidades, os valores de  $C_{m\acute{a}x}$  e  $C_0$  serão diferentes. Na falta de dados específicos, podem ser utilizados valores padrão, conforme sugerido na **Tabela 18**.

**O esgoto da minha obra é ligado à rede de coleta. Como saber se o efluente segue para tratamento?**

Há concessionárias que praticam tarifas mais baratas no caso de somente coleta e afastamento de esgotos, e maiores quando há também tratamento, diferenciação a partir da qual se pode conhecer o destino do esgoto. No entanto, essa prática não é padrão, e em muitos casos não há como saber prontamente sobre a destinação final do esgoto coletado.

Em alguns casos específicos, a verificação de indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) pode dar pistas, já que existem municípios em que há coleta, mas o tratamento é zero ou quase zero.

Para os demais, pode-se solicitar à companhia responsável pelo saneamento a informação, utilizando a Lei 12.527/11 (Lei de Acesso à Informação) como suporte legal.

<sup>12</sup> O termo originalmente utilizado por Hoekstra et al. (2011) é " $C_{nat}$ ", referindo-se à concentração natural do contaminante no meio. Dado que esta metodologia também considera os cenários de lançamento em rede pública, o termo "natural" foi substituído por "inicial", ou  $C_0$ .



**TABELA 18**

EXEMPLOS DE VALORES DE REFERÊNCIA PARA  $C_{m\acute{a}x}$  (ACIMA) E  $C_0$  (ABAIXO) EM TERMOS DE  $DBO_{5,20}$

Lançamento ocorre em	$C_{m\acute{a}x}$ ( $DBO_{5,20}$ )		
	Padrão	Referência	Depende de / varia com
Corpo hídrico	5 mgO <sub>2</sub> /l	Res. Conama 430/11- corpo hídrico classe 2 <sup>(1)</sup>	Enquadramento do corpo hídrico Legislações estaduais e municipais
Rede pública desprovida de ETE	60 mgO <sub>2</sub> /l	Decreto 8.468/76 (SP) - artigo 18	Legislações estaduais e municipais
Rede pública dotada de ETE	Sem limite <sup>(2)</sup>	Decreto 8.468/76 (SP) - artigo 19	Legislações estaduais e municipais

Lançamento ocorre em	$C_0$ ( $DBO_{5,20}$ )		
	Padrão	Referência	Depende de / varia com
Corpo hídrico	2,5 mgO <sub>2</sub> /l	Valor médio (0- 5)	Qualidade do corpo hídrico
Rede pública sem tratamento	30 mgO <sub>2</sub> /l	Valor médio (0- 60)	-
Rede pública com tratamento	Indiferente <sup>(3)</sup>	-	-

(1) Para outras classes, os valores limites são distintos.

(2) Caso a rede coletora encaminhe os esgotos a uma ETE, não há limitação de  $DBO_{5,20}$ .

(3) Como  $C_{m\acute{a}x}$  é sem limite para o caso de rede pública com tratamento, o valor de  $C_0$  é matematicamente indiferente.

Os valores assumidos acima também foram definidos com base em simplificações e resultam em algumas implicações passíveis de explicitação e justificativa, conforme segue abaixo.

- Lançamentos em rede dotada de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) resultam em  $PH_{cinza} = 0$ . É evidente que a existência de tratamento municipal não garante que o efluente final seja lançado em corpos hídricos em condições tais que não resultem em impactos negativos quantificáveis pela  $PH_{cinza}$ . No entanto, a obtenção de dados necessários para o adequado cálculo é extremamente difícil, uma vez que seria preciso conhecer a eficiência média de remoção de  $DBO_{5,20}$  da ETE específica que recebe os efluentes e das condições naturais e de diluição do corpo hídrico receptor. Portanto, assumiu-se que o impacto é mínimo nesse caso, tendo valor de  $PH_{cinza} = 0$ .

**Leitura adicional**



A leitura do **ANEXO 3** é recomendada para aprofundamento e melhor compreensão de alguns dos pontos apresentados acima e também ao longo deste item.



- Lançamentos em corpos hídricos classe 4 resultam em  $PH_{cinza} = 0$ . Corpos hídricos classe 4 são aqueles destinados somente a usos de navegação e harmonia paisagística, e têm sua qualidade já muito comprometida. Como não são estabelecidos limites legais de  $DBO_{5,20}$  nesse caso,  $C_{máx}$  é ilimitada e, portanto,  $PH_{cinza} = 0$ .
- Lançamentos em redes não dotadas de tratamento levam em consideração limites estipulados em leis para o lançamento em rede, não considerando o corpo hídrico receptor em si. No caso de coleta de esgoto sem tratamento municipal, consideraram-se valores que tratam da qualidade exigida para lançamento em rede, os quais são definidas por legislações estaduais como o decreto 8.468/76 do estado de São Paulo. Isso se justifica pelo fato de que é também extremamente difícil
- Lançamentos diretos em corpos hídricos (ou seja, mediante obtenção de outorga de lançamento) consideram a condição do corpo receptor. Nesse caso, é necessária a obtenção de concessões públicas para uso de recursos hídricos (outorgas de lançamento), as quais requerem estudos específicos para determinação da possibilidade ou não do lançamento. Para tal, em geral são requeridos estudos específicos (estudos de autodepuração) que irão exigir levantamentos mais detalhados das condições locais, o que implica em possibilidade de levantamento dos dados necessários à adequada quantificação de  $PH_{cinza}$ .

De acordo com a classe do corpo receptor<sup>13</sup>, os valores de  $C_{máx}$  e  $C_0$  adotados devem ser distintos, conforme sugestão da **Tabela 19**.

**TABELA 19**

VALORES DE REFERÊNCIA DE  $C_{máx}$  E  $C_0$  PARA CORPOS HÍDRICOS DE ACORDO COM A CLASSE

Classe	DBO <sub>5,20</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)		Nível de exigência
	$C_{máx}$	$C_0$	
Especial	0	0	Absoluto (não é permitido lançamento)
Classe 1	3,0	1,5	Alto
Classe 2	5,0	2,5	Médio-alto
Classe 3	10,0	5,0	Médio
Classe 4	-	-	Baixo

NOTA: valores de referência tomados da resolução Conama n°357/05.

No que se refere à carga gerada, em projetos de saneamento, em geral se considera que cada indivíduo, independentemente da vazão de água demandada, produz determinada massa de carga orgânica ( $DBO_{5,20}$ ) por dia, o que é usualmente expressado em gDBO/pessoa/dia (gramas de Demanda Bioquímica de Oxigênio por pessoa por dia). A carga per capita depende principalmente do tipo de ocupação do indivíduo (residente, funcionário etc.). Assim a Cargager é calculada por:

<sup>13</sup> Frisa-se que legislações estaduais podem adotar nomenclaturas diferentes para a atribuição de classes, como é o caso do decreto 8.468/76.



$$Carga_{ger} = Carga_{per\ capita} \times N^{\circ}\ de\ indivíduos$$

Equação 10

- Carga<sub>ger</sub>** carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- Carga<sub>per capita</sub>** carga per capita de contaminante gerada [massa/per capita/tempo]
- N° de indivíduos** quantidade de indivíduos que geram carga

### Eficiência (E)

E é porcentagem de contaminantes removida em relação ao esgoto não tratado. Por exemplo, se um efluente bruto possui 100 mg/l de determinado contaminante e o tratado 20 mg/l, a eficiência é igual a:

$$E = \frac{100-20}{100} = \frac{80}{100} = 20\%$$

A carga lançada pode ser reduzida caso o canteiro seja dotado de sistema próprio de tratamento. A eficiência é função essencialmente dos processos de tratamento aplicados, sendo, obviamente, dependente das condições de operação reais. Exemplos de valores de carga per capita diária de matéria orgânica (Carga<sub>ger</sub>) e de eficiência de remoção de DBO<sub>5,20</sub> (E) constam na **Tabela 20**.

**TABELA 20**

EXEMPLOS DE VALORES DE REFERÊNCIA DE CARGA<sub>per capita</sub> E EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO

	Tipo	Valor	Unid.
<b>Contribuição de DBO per capita diária (Carga<sub>per capita</sub>)</b>			
Ocupante	Funcionário tempo integral	12,0	gDBO/dia/pessoa
	Funcionário meio período	6,0	gDBO/dia/pessoa
<b>Eficiências de remoção de DBO<sub>5,20</sub> (E)<sup>(1)</sup></b>			
Processo de tratamento	Fossa séptica + filtro anaeróbio	60%	-
	UASB <sup>(2)</sup>	60-75%	-
	UASB <sup>(2)</sup> + FBP <sup>(3)</sup>	85%	-
	Lodos ativados convencional	85-93%	-
	MBR <sup>(4)</sup>	>99%	-

- (1) Valores com base em Cetesb (2018).
- (2) UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – RAFA). Processo biológico anaeróbio.
- (3) FBP: Filtro Biológico Percolador. Processo biológico de aeração passiva.
- (4) MBR: Membrane Bio Reactor. Processo biológico aerado associado a membranas de micro ou ultrafiltração.



**TABELA 21**  
EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE  $DBO_{5,20}$  PARA DIFERENTES  
ARRANJOS DE TRATAMENTO DE ACORDO COM LITERATURA ESPECIALIZADA

Processos contemplados	Eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ (E)			
	ANA (2017)	Oliveira & Sperling (2005)	Von Sperling (2005)	PROSAB (FLORENCIO et al., 2006)
Reator anaeróbio sem pós-tratamento; lagoas somente com etapa anaeróbia	65%	60- 80% (UASB); 50 - 70% (lagoas anaeróbias)	65- 79% (UASB)	60- 75% (UASB); 50 - 65% (lagoas anaeróbias)
Decantação primária quimicamente assistida	70%	45- 80%	-	-
Lagoa aeróbia ou facultativa	75%	75- 90%	65- 88%	75- 85%
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	80%	70- 90%	36- 82%	80- 95%
Reator anaeróbio com pós-tratamento físico-químico	85%	-	-	-
Processo aeróbio de leito fixo sem pós-tratamento; processo aeróbio de leito fixo precedido por tratamento anaeróbio	85%	80- 93%	-	-
Lodos ativados convencional, <b>deep shaft</b> , alta taxa e aeração prolongada sem remoção de nutrientes; lodos ativados precedidos de tratamento anaeróbio	90%	85- 97%	74- 96%	-
Lodos ativados (convencional ou batelada) com remoção biológica ou físico-química de nitrogênio e/ou fósforo; processos híbridos (biomassa aderida e suspensa - MBBR/IFAS) com remoção biológica de nitrogênio	95%	85- 93%	-	-

Fonte: adaptado de Oliveira & Sperling (2005); Sperling (2005); Florencio et al. (2006); ANA (2017).

### 3.2.2 Pegada hídrica de obra indireta - $PH_{obra,i}$

Conforme sugerido no item 3.1, para o cálculo da pegada hídrica de obra indireta pode-se utilizar a curva ABC para avaliar a participação dos materiais na PH e focar o cálculo naqueles de maior relevância. Essa análise preliminar é importante pois há variação significativa da participação dos materiais no orçamento de acordo com cada obra, seja por conta da adoção de diferentes métodos construtivos ou tipologias de edificação. Além disso, é necessário compreender que o detalhamento dos materiais





para cálculo de PH pode ter como diretriz aqueles com maior contribuição orçamentaria, mas que cada obra exige uma avaliação própria de pegada hídrica devido à variabilidade no perfil de contribuição quantitativa dos materiais de acordo com as peculiaridades de cada empreendimento.

### 3.2.2.1 Coeficientes de pegada hídrica - CPH

Coeficientes de pegada hídrica unitária (CPH), no escopo deste manual, representam o volume de água apropriado para produção de determinado material por unidade padrão de determinada (unidade funcional, UF), por exemplo . Em diversas áreas, estudos vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos para estimar novos valores de CPH para maior variedade de materiais, havendo, especificamente para o setor da construção civil, alguns estudados em maior número de pesquisas, como aço, argamassa, cimento e vidro.

Como já comentado no item 1.3, os dados atuais referem-se em sua quase total maioria somente à pegada hídrica azul (coeficientes de pegada hídrica azul,  $CPH_{azul}$ ), não havendo literatura suficiente sobre  $CPH_{cinza}$ . Por esse motivo, a quantificação de  $PH_{obra,i}$  serão realizados somente para a  $PH_{azul}$ , ainda que a estrutura geral de cálculo contemple a  $PH_{cinza}$ .

A **Tabela 22** relaciona  $CPH_{azul}$  para os materiais agrupados (MAT1). **O ANEXO 1 apresenta valores detalhados mais detalhados de CPH**, contemplando também categorização em MAT2.

**TABELA 22**  
 $CPH_{azul}$  PARA OS PRINCIPAIS MATERIAIS (MAT1)

Material (MAT1)	$CPH_{azul}$ (l/UF)	Unidade
Aço	67,3	l/kg
Areia	7,5	l/kg
Argamassa	0,8	l/kg
Bloco cerâmico	4,7	l/unid.
Bloco de concreto	13,4	l/unid.
Cimento	2,7	l/kg
Concreto	3840	l/m <sup>3</sup>
Gesso	2,8	l/m <sup>2</sup>
Laje pré-fabricada	8.541	l/m <sup>3</sup>
Madeira	11,4	l/m <sup>2</sup>
Monocapa	4,0	l/m <sup>2</sup>
Pisos	18,2	l/m <sup>2</sup>
Azulejo	12,0	l/m <sup>2</sup>
Pedra (diversos formatos)	93,8	l/m <sup>3</sup>
Tinta	1,1	l/m <sup>2</sup>
Vidro	79,5	l/m <sup>2</sup>



Os valores de CPH apresentados neste guia devem ser compreendidos como referências. Futuros estudos podem rever os valores de CPH, bem como incluir materiais não contemplados.

Um dos principais pontos a serem considerados no cálculo de  $PH_{obra,i}$  é a padronização de unidades dos materiais. Conforme foi detectado tanto na literatura (item 1.3) como nas interações junto ao GT (item 2.1), a heterogeneidade na forma de organização de informações de materiais de obra é muito grande, até mesmo para empreendimentos da mesma empresa. É comum até que o mesmo tipo de material seja quantificado de formas diferentes na mesma obra, como tinta acrílica em  $m^2$  e esmalte em litros ou galões, ou cimento CP-I em sacos e CP-III em kg.

Como os coeficientes de pegada hídrica em geral apresentam alguma padronização em sua apresentação, é necessário que sejam realizadas conversões caso as unidades sejam diferentes. A **Tabela 23** apresenta alguns exemplos de variabilidade de unidades utilizadas em orçamentos de obra, bem como as utilizadas nos CPH de literatura.

**TABELA 23**

EXEMPLOS DE VARIABILIDADE DE UNIDADES EM ORÇAMENTOS DE OBRA

Material	Possíveis unidades	Unidade funcional (UF) recomendada	Unidade de CPH usual
Argamassa	saco, kg, $m^2$	kg	l/kg
Tinta	$m^2$ , litros, $m^3$ , galão	$m^2$	l/ $m^2$
Bloco	$m^2$ , bloco	bloco	l/bloco
Cimento	saco, kg	kg	l/kg
Concreto	$m^3$	$m^3$	l/ $m^3$
Aço	kg	kg	l/kg

Para a utilização de coeficientes unitários, é essencial que sejam esclarecidas as informações que compõem o mesmo, visto que estes podem referir-se tanto à PH<sub>azul</sub> quanto à PH<sub>cinza</sub>. Além disso, os coeficientes podem se referir a um grupo mais abrangente de materiais (categoria) ou a um item específico (material), sendo necessário ponderar seu uso no cálculo de PH de acordo com os dados de entrada disponíveis. A **Tabela 22** apresenta dados de CPH para alguns dos principais materiais da construção civil, e o ANEXO 1 traz a relação completa de todos os valores encontrados em literatura.

Há um caso muito específico dentro da análise de PH de materiais: os sistemas hidráulico e elétrico. Além de não haver referências de valores em literatura, esses sistemas prediais são compostos por variedades muito grandes de materiais, o que inviabiliza a quantificação prática de cada um deles para composição. Posto isso, e dada também a limitação de dados de CPH, o cômputo da PH dos materiais que compõem esses sistemas será realizada de maneira particular, optando-se pela utilização de volume de PH/área total construída (ACT), ou  $m^3/m^2$ , conforme segue abaixo.

Dada a limitação da base de dados para instalações prediais, o cômputo da PH dos materiais que compõem os sistemas hidráulico e elétrico será realizada de maneira particular, optando-se pela utilização de volume de PH/área total construída (ACT), ou  $m^3/m^2$ . Com base em alguns orçamentos de hidráulica e elétrica cedidos pelo GT, os valores adotados foram como segue abaixo.



- **Hidráulica:**  $CPH_{azul}$  calculado com base nos quantitativos cedidos por empresas do GT e valores apresentados por Saade et al. (2014) e Souza (2014). Foram considerados valores de PH para: tubos de PVC e tubos de cobre. O valor calculado e adotado foi de 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
- **Elétrica:**  $CPH_{azul}$  calculado com base em Saade et al. (2014). O valor adotado, referente a condutas/eletrodutos de PVC e cabos de cobre, foi de 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Demais explicações sobre os coeficientes de PH constam no **ANEXO 1**.

### Como são determinados os CPH? Há como obter dados mais detalhados para o caso da minha obra?

Os coeficientes de pegada hídrica de materiais de construção civil são geralmente calculados por meio de uso de métodos de Análise de Ciclo de Vida (ACV), tendo como base inventários como o Ecoinvent e chegando-se a valores médios nacionais ou globais, ou por solicitação direta aos fabricantes, os quais, por conhecerem detalhadamente seus processos, podem realizar os cálculos adequadamente.

Como tem se tornado cada vez mais comum no mercado, empresas e fornecedores disponibilizam a seus clientes dados, certificações, selos etc. que lhes permitam avaliar a eficiência ambiental da produção ou desempenho de produtos, como fatores de emissão de GEE, selo Procel de eficiência energética, certificação Forest Stewardship Council de manejo florestal etc. A Declaração Ambiental de Produto (EPD, Environmental Product Declaration), baseada nas normas ISO 14025 e EN 15804, e mais especificamente na ISO 21930:2017 para a construção civil, fornece informações sobre o desempenho ambiental de materiais e é um instrumento viável para a solicitação de dados adicionais de PH junto a fabricantes e fornecedores.

Sendo a PH um conceito ainda novo no Brasil, não há inventários completos para materiais da construção civil, sendo que essa movimentação poderá inclusive partir das próprias construtoras e incorporadoras. Tendo isso em vista, o 0 apresenta instruções para solicitação de dados de PH junto a fornecedores e fabricantes, destacando quais informações devem ser solicitados, quais os formatos e como avaliá-las.

#### 3.2.2.2 Pegada hídrica de obra indireta azul - $PH_{obra,i,azul}$

A pegada hídrica azul indireta de obra ( $PH_{obra,i,azul}$ ) é calculada pelo somatório das PH<sub>azul</sub> dos materiais empregados na construção da edificação. Vale lembrar que o consumo de água no processamento in loco do material (como preparo de argamassa, cura de concreto etc.) já está contabilizado na  $PH_{obra,d,azul}$  e não deve ser incluído nesse cálculo. A  $PH_{obra,i,azul}$  é calculada por:

$$PH_{obra,i,cinza} = \sum_{k=1}^N (PH_{cinza,mat_k} \times qtde_k) \quad \text{Equação 11}$$

$PH_{obra,i,azul}$	pegada hídrica azul indireta da fase de concepção/obra [volume]
$CPH_{mat,azul,k}$	coeficiente pegada hídrica azul unitária do material “k” [volume/unid.func.]
$qtde_k$	quantidade do material “k” [unid.func.]
<b>N</b>	número de materiais empregados [adimensional]



### 3.2.2.3 Pegada hídrica de obra indireta cinza - $PH_{obra,i,cinza}$

O cálculo da  $PH_{obra,i,cinza}$  é análogo ao da pegada hídrica de obra, indireta azul sendo igual ao somatório das  $PH_{cinza}$  dos materiais empregados:

$$PH_{obra,i,azul} = \sum_{k=1}^N (CPH_{mat,azul,k} \times qtde_k) \quad \text{Equação 12}$$

- $PH_{obra,i,cinza}$  pegada hídrica cinza indireta da fase de concepção/obra [volume]
- $CPH_{mat,cinza,k}$  coeficiente de pegada hídrica cinza unitária do material “k” [volume/unid.func.]
- $qtde_k$  quantidade do material “k” [unid.func.]
- N** número de materiais empregados [adimensional]

### 3.2.3 Pegada hídrica de obra - $PH_{obra}$

Determinadas as pegadas hídricas direta ( $PH_{obra,d}$ ) e indireta ( $PH_{obra,i}$ ) e suas respectivas parcelas azul e cinza, é possível calcular a  $PH_{obra,total}$ , conforme abaixo:

$$PH_{obra} = PH_{obra,d} + PH_{obra,i} \quad \text{Equação 13}$$

- $PH_{obra}$  pegada hídrica da fase de concepção/obra [volume]
- $PH_{obra,d}$  pegada hídrica direta da fase de concepção/obra [volume]
- $PH_{obra,i}$  pegada hídrica cinza da fase de concepção/obra [volume]

Para cálculo exclusivo da  $PH_{obra,d}$  deve ser utilizada a **Equação 14**, composta somente pelas componentes de PH direta azul e cinza.

$$PH_{obra,d} = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{j=1}^N [Q_{outros_j} \times (1 - C_j)] \right\} t + \left[ \frac{Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)}{C_{m\acute{a}x} - C_0} \right] t \quad \text{Equação 14}$$

- $PH_{obra,d}$  pegada hídrica direta da fase de concepção/obra [volume/tempo]
- $Q_{san}$  vazão consumida para usos sanitários [volume/tempo]
- $C_{san}$  coeficiente de retorno sanitário [%]
- $Q_{outros}$  vazão demandada para outros usos [volume/tempo]
- $C_j$  coeficiente de retorno do uso “j” [%]
- $Carga_{ger}$  carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- E** eficiência de remoção de contaminantes da estação [%]
- $C_{m\acute{a}x}$  conc. máxima permitida do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
- $C_0$  conc. inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
- N** número de materiais empregados [adimensional]
- t** tempo de duração de obra [tempo]

Já para cálculo exclusivo da  $PH_{obra,i}$ , deve ser utilizada a Equação 15, composta apenas pelas componentes de PH indireta azul e cinza.



$$PH_{obra,i} = \sum_{k=1}^N (CPH_{mat,azul,k} \times qtde_k) + \sum_{k=1}^N (CPH_{mat,cinza,k} \times qtde_k) \quad \text{Equação 15}$$

- PH<sub>obra,i</sub>** pegada hídrica cinza da fase de concepção/obra [volume]
- CPH<sub>mat,azul,k</sub>** coeficiente de pegada hídrica azul unitária do material “k” [volume/unid.func.]
- Qtde<sub>k</sub>** quantidade do material “k” [unid.func.]
- CPH<sub>mat,cinza,k</sub>** coeficiente de pegada hídrica cinza unitária do material “k” [volume/unid.func.]
- N** número de materiais empregados [adimensional]

Caso o cálculo de pegada hídrica de obra seja realizado a partir da divisão entre PH<sub>azul</sub> e PH<sub>cinza</sub>, é possível realizar o cálculo exclusivo da pegada hídrica de obra azul (PH<sub>obra,azul</sub>) pela **Equação 16**:

$$PH_{obra,azul} = PH_{obra,d,azul} + PH_{obra,i,azul} = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{outros_j} \times (1 - C_j)] \right\} t + \sum_{k=1}^N (CPH_{mat,azul,k} \times qtde_k) \quad \text{Equação 16}$$

- PH<sub>obra,azul</sub>** pegada hídrica azul da fase de concepção/obra [volume]
- PH<sub>obra,d,azul</sub>** pegada hídrica azul direta da fase de concepção/obra [volume]
- PH<sub>obra,i,azul</sub>** pegada hídrica azul indireta da fase de concepção/obra [volume]
- Q<sub>san</sub>** vazão consumida para usos sanitários [volume/tempo]
- C<sub>san</sub>** coeficiente de retorno no uso sanitário[%]
- Q<sub>outros</sub>** vazão demandada para outros usos [volume/tempo]
- C<sub>j</sub>** coeficiente de retorno do uso “j” [%]
- CPH<sub>mat,azul,k</sub>** coeficiente pegada hídrica azul unitária do material “k” [volume/unid.func.]
- qtde<sub>k</sub>** quantidade do material “k” [unid.func.]
- N** número de materiais empregados [adimensional]
- t** tempo de duração de obra [tempo]

Já a pegada hídrica cinza de obra (PH<sub>obra,cinza</sub>) calcula-se por:

$$PH_{obra,cinza} = PH_{obra,d,cinza} + PH_{obra,i,cinza} = \left[ \frac{Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)}{C_{máx} - C_0} \right] t + \sum_{k=1}^N (CPH_{mat,cinza,k} \times qtde_k) \quad \text{Equação 17}$$

- PH<sub>obra,cinza</sub>** pegada hídrica cinza da fase de concepção/obra [volume]
- PH<sub>obra,d,cinza</sub>** pegada hídrica cinza direta da fase de concepção/obra [volume]
- PH<sub>obra,i,cinza</sub>** pegada hídrica cinza indireta da fase de concepção/obra [volume]
- Carga<sub>ger</sub>** carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- E** eficiência de remoção de contaminante da estação [%]



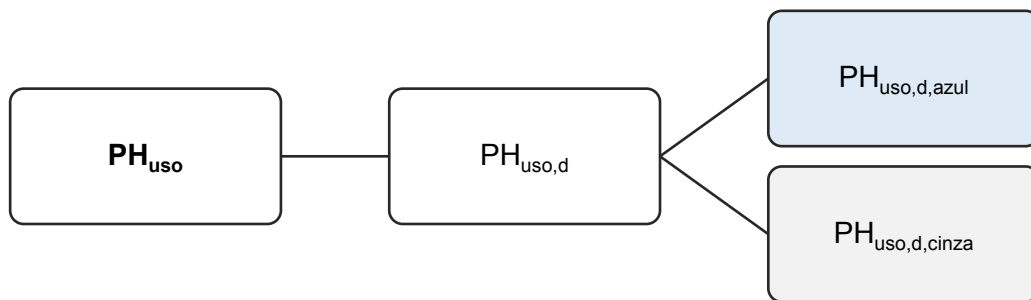
<b>%trat</b>	porcentagem do efluente gerado tratada [%]
<b>C<sub>máx</sub></b>	conc. máxima permitida do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>C<sub>0</sub></b>	conc. inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>CPH<sub>mat,cinza k</sub></b>	coeficiente de pegada hídrica cinza unitária do material “k” [volume/unid.func.]
<b>Qtde<sub>k</sub></b>	quantidade do material “k” [unid.func.]
<b>N</b>	número de materiais empregados [adimensional]
<b>t</b>	tempo de duração de obra [tempo]

### 3.3 Pegada hídrica de uso

A  $PH_{uso}$  se refere ao uso e operação da edificação e objetiva avaliar como a concepção da edificação resulta em apropriações de água diferentes ao longo de sua vida útil. A aplicação de medidas que resultem em redução do consumo de água ou previsão de fontes alternativas, por exemplo, conduz a pegadas hídricas distintas ao longo da vida útil da edificação, o que deve ser considerado na avaliação da  $PH_{total}$ . Em outras palavras, o cálculo possibilita analisar o impacto da adoção de medidas que, seja por meio de gestão de demanda ou de oferta, resultem em menores volumes apropriados de água ao longo da vida útil da edificação.

A metodologia deste guia, como já justificado em **2.1.2**, considera somente as pegadas hídricas diretas para a etapa de uso ( $PH_{uso,d,azul}$  e  $PH_{uso,d,cinza}$ ), conforme ilustrado na **Figura 26**

**FIGURA 26**  
ESTRUTURA DE CÁLCULO DA  $PH_{uso}$



<b>PH<sub>uso</sub></b>	PH de uso
<b>PH<sub>uso,d</sub></b>	PH de uso direta
<b>PH<sub>uso,d,azul</sub></b>	PH de uso direta azul
<b>PH<sub>uso,d,cinza</sub></b>	PH de uso direta cinza

Matematicamente, essas componentes se relacionam da seguinte forma:

$$PH_{uso} = PH_{uso,d} = PH_{uso,d,azul} + PH_{uso,d,cinza} \quad \text{Equação 18}$$

Há inúmeros fatores que influenciam no uso de água durante a vida útil da edificação, sendo os principais as medidas relacionadas à gestão da demanda e dos efluentes. Medidas de redução de consumo de água irão impactar na  $PH_{azul}$ , enquanto as de redução de cargas lançadas (tratamento de esgotos, reúso etc.) irão reduzir a  $PH_{cinza}$ .



Exemplos de fatores que influenciam a  $PH_{uso}$  da edificação são:

- tipo de peças hidrossanitárias utilizadas;
- existência de medidas de redução de vazão nos pontos de uso, como controle de pressão estática;
- medição individualizada;
- sistemas de tratamento e/ou reúso de esgotos.

Vale lembrar que a demanda não é igual à  $PH_{azul}$ , mas há proporcionalidade entre essas duas grandezas. Assim, a redução da água retirada para atendimento aos usos cotidianos de operação da edificação irá também abater a  $PH_{azul}$ .

### 3.3.1 Pegada hídrica de uso direta - $PH_{uso,d}$

Como já definido, a  $PH_{uso}$  abordará somente os usos diretos, ou seja, aqueles que efetivamente ocorrem ou são resultantes de processos e atividades realizadas no empreendimento. Dessa forma, não serão consideradas apropriações indiretas de água, as quais são referentes aos processos de fabricação de insumos consumidos pelos ocupantes. A  $PH_{uso}$  se divide em  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$ , como segue na **Equação 19**.

$$PH_{uso} = PH_{uso,d} = PH_{uso,d,azul} + PH_{uso,d,cinza} \quad \text{Equação 19}$$

$PH_{uso}$	pegada hídrica de uso e ocupação da edificação [volume]
$PH_{uso,d}$	pegada hídrica direta de uso e ocupação da edificação [volume]
$PH_{uso,d,azul}$	pegada hídrica azul direta de uso e ocupação da edificação [volume]
$PH_{uso,d,cinza}$	pegada hídrica cinza direta de uso e ocupação da edificação [volume]

#### 3.3.1.1 Pegada hídrica de uso direta azul - $PH_{uso,d,azul}$

A  $PH_{azul}$  refere-se somente à água “perdida” em processos, podendo ser calculada pela diferença entre a água demandada e a retornada (efluente). Alguns processos específicos, presentes principalmente em edificações comerciais, têm alto impacto nas perdas de água por evaporação, como é o caso de sistemas de torres de resfriamento e devem ser avaliados individualmente.

Os procedimentos de cálculo da  $PH_{uso,d,azul}$  são análogos aos da  $PH_{obra,d,azul}$  (tópico 3.2.1), e as diferenças residem somente nos tipos de usos a serem considerados e seus respectivos valores, e também ao fato de que em projeto há estimativa de consumo para realização dos dimensionamentos hidráulicos e de demais sistemas. No cálculo da pegada hídrica de uso, a variável “t” referente ao período considerado pode estar atrelada a um período específico, como um ano, ou à vida útil da edificação. Assim, a  $PH_{uso,d,azul}$  pode ser calculada pela **Equação 20**.

$$PH_{uso,d,azul} = (Q_{dem} - Q_{efl})t = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{outros_k} \times (1 - C_k)] \right\} t \quad \text{Equação 20}$$

$PH_{uso,d,azul}$	pegada hídrica azul direta da fase de uso [volume]
$Q_{dem}$	vazão demandada total [volume/tempo]
$Q_{efl}$	vazão de efluentes gerados [volume/tempo]



- $Q_{san}$  vazão demandada para usos sanitários [volume/tempo]
- $Q_{outros}$  vazão demandada para outros usos [volume/tempo]
- $C_{san}$  coeficiente de retorno das demandas sanitárias [%]
- $C_k$  coeficiente de retorno do uso “k” [%]
- $t$  período analisado [tempo]

Recomenda-se que a determinação de  $Q_{san}$  seja feita mediante utilização de valores de demanda per capita dos ocupantes, uma vez que os memoriais e/ou documentações para obtenção de certificação ambiental obrigatoriamente apresentam essas informações. Nesse caso, é possível também incorporar a existência ou não de medidas de redução de demanda de água na edificação ao cálculo da pegada hídrica. Portanto, o ideal é que essa informação seja efetivamente calculada durante o projeto, considerando a ocupação e as medidas previstas, e não somente retirada de valores de bibliografia.

**TABELA 24**

EXEMPLOS GENÉRICOS DE DEMANDA PER CAPITA POR TIPO DE OCUPANTE

Tipologia	AC	Valor	Unidade
Residencial	Moradores	150	l/morador/dia
Comercial	Funcionários	50	l/funcionário/dia
Comercial	Visitantes	1,5	l/visitante
Hoteis	Hóspedes	80	l/hóspede/dia

NOTA: os valores acima são exemplos genéricos de demanda per capita. Como já explicado, o ideal é que cada empreendimento calcule valores próprios de acordo com as características da edificação.

No caso de  $Q_{proc}$ , eventuais usos específicos, tais como torres de resfriamento, piscinas etc. devem ser também contabilizados com base em informações de projeto, buscando-se junto às disciplinas responsáveis os dados necessários para seu cômputo.

3.3.1.2 Pegada hídrica de uso direta cinza -  $PH_{uso,d,cinza}$

Os procedimentos de cálculo da pegada hídrica de uso direta cinza ( $PH_{uso,d,cinza}$ ) são análogos aos da de obra (tópico 3.2.1.2), havendo diferença apenas nos valores de entrada, como as cargas per capita diárias, mas com a mesma lógica de cálculo. Assim como para  $PH_{uso,d,azul}$ , a variável “t”, referente ao período considerado, pode estar atrelada a um período específico, como um ano ou à vida útil da edificação.

$$PH_{uso,d,cinza} = \left( \frac{Carga_{lan}}{C_{máx} - C_0} \right) t = \left[ \frac{Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)}{C_{máx} - C_0} \right] t \quad \text{Equação 21}$$

- $PH_{uso,d,cinza}$  pegada hídrica cinza direta da fase de uso [volume]
- $Carga_{lan}$  carga de contaminante efetivamente lançada [massa/tempo]
- $Carga_{ger}$  carga de contaminante gerada [massa/tempo]
- $E$  eficiência de remoção de contaminantes da estação [%]





<b>%trat</b>	porcentagem do efluente gerado tratada [%]
<b>C<sub>máx</sub></b>	conc. máxima permitida do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>C<sub>0</sub></b>	conc. inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>t</b>	período analisado [tempo]

### 3.3.2 Pegada hídrica de uso - PH<sub>uso</sub>

Determinadas as pegadas hídricas azul direta (PH<sub>uso,d,azul</sub>) e cinza direta (PH<sub>uso,d,cinza</sub>) é possível calcular a PH<sub>uso</sub> por meio de:

$$\begin{aligned}
 PH_{uso} &= PH_{uso,d,azul} + PH_{uso,d,cinza} = \\
 &= \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{outrosk} \times (1 - C_k)] \right\} t \\
 &+ \left[ \frac{Carga_{ger} \times (1 - E \times \%trat)}{C_{máx} - C_0} \right] t
 \end{aligned}
 \tag{Equação 22}$$

<b>PH<sub>uso</sub></b>	pegada hídrica de uso
<b>PH<sub>uso,d,azul</sub></b>	pegada hídrica de uso direta azul [volume]
<b>PH<sub>uso,d,cinza</sub></b>	pegada hídrica de uso direta cinza [volume]
<b>Q<sub>san</sub></b>	vazão demandada para usos sanitários [volume/tempo]
<b>C<sub>san</sub></b>	coeficiente de retorno das demandas sanitárias [%]
<b>Q<sub>outros</sub></b>	vazão demandada para outros usos [volume/tempo]
<b>C<sub>k</sub></b>	coeficiente de retorno do uso “k” [%]
<b>Carga<sub>ger</sub></b>	carga de contaminante gerada [massa/tempo]
<b>E</b>	eficiência de remoção de contaminantes da estação [%]
<b>%trat</b>	porcentagem do efluente gerado tratada [%]
<b>C<sub>máx</sub></b>	conc. máxima permitida do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>C<sub>0</sub></b>	conc. inicial do contaminante no corpo receptor/ponto de lançamento [massa/volume]
<b>t</b>	período analisado [tempo]

### 3.4 Pegada hídrica da edificação

O cálculo das pegadas hídricas de obra (PH<sub>obra</sub>) e de uso (PH<sub>uso</sub>) levam à possibilidade de contabilização da PH total da edificação, denominada PH<sub>edif</sub>.

$$PH_{edif} = PH_{obra} + PH_{uso}
 \tag{Equação 23}$$

<b>PH<sub>edif</sub></b>	pegada hídrica da edificação [volume]
<b>PH<sub>obra</sub></b>	pegada hídrica de obra [volume]
<b>PH<sub>uso</sub></b>	pegada hídrica de uso [volume]

A PH<sub>edif</sub> portanto, contabiliza das apropriações de água, isto é, as pegadas hídricas, tanto da etapa de obras (PH<sub>obra</sub>) como do uso (PH<sub>uso</sub>) da edificação ao longo de sua vida útil.



### 3.5 Pegada hídrica específica

Para realização de comparações coerentes entre edificações distintas, prevê-se que sejam utilizados indicadores específicos que quantifiquem a PH em função de alguma variável pré-determinada. Como já explicado no item 2.1.3, foram adotadas variáveis diferentes para o cálculo de  $PH_{obra}$  e  $PH_{uso}$  específicas, sendo a área total construída (ACT) para a primeira e o número de agentes consumidores (AC) para a segunda.

#### 3.5.1 $PH_{obra}$ específica

A  $PH_{obra}$  específica é calculada pela simples divisão de  $PH_{obra}$  pela ACT, conforme **Equação 24**.

$$PH_{obra,esp} = \frac{PH_{obra}}{ACT} \quad \text{Equação 24}$$

$PH_{obra,esp}$  pegada hídrica específica de obra [volume/área]

$PH_{obra}$  pegada hídrica de obra [volume]

ACT área construída total da edificação [área]

$PH_{obra,esp}$  é uma relação de volume por área, sendo recomendada sua apresentação em  $m^3/m^2$ .

#### 3.5.2 $PH_{uso}$ específica

No caso da  $PH_{uso}$  específica, a variável de referência é o número de ocupantes, ou agentes consumidores (AC), da edificação e o período de tempo analisado.

$$PH_{uso,esp} = \frac{PH_{uso}}{AC \times t} \quad \text{Equação 25}$$

$PH_{uso,esp}$  pegada hídrica específica de uso [volume/AC/tempo]

$PH_{uso}$  pegada hídrica de uso [volume]

AC número médio de agentes consumidores

t período analisado [tempo]

### 3.6 Exemplos de aplicação da metodologia

Este tópico apresenta exemplos de aplicação da metodologia de cálculo de pegada hídrica desenvolvida nos itens 2 e 3 e busca facilitar a compreensão do leitor por meio de simulações práticas e simples. Serão contempladas diferentes situações que, em seu conjunto, contemplam todos os principais pontos da metodologia. Todos os exemplos são baseados em empreendimentos fictícios, e foram adotadas diversas simplificações por fins práticos.

#### E.1 $PH_{edif,azul}$ de edificação em fase de concepção

*Os cálculos abaixo consideram somente as  $PH_{azul}$  de obra e de uso.  
Exemplos de cálculo de  $PH_{cinza}$  são apresentadas no exemplo E.3.*

Imaginemos que a empresa ABC deseja realizar a avaliação da pegada hídrica azul de uma de suas obras que se encontra ainda na fase de concepção/projeto. Por ainda não estar concluída, não é possível a determinação de alguns valores, como as demandas de água em canteiro, e por isso são necessárias estimativas.



### E.1.1 Levantamento de dados

#### i. Dados de canteiro

Dado	Valor
ACT (m <sup>2</sup> )	12.000
Efetivo médio mensal	60
Duração da obra (meses)	20
Jornada média (dias/mês)	22

#### ii. Dados de orçamento

A partir dos orçamentos, foram quantificados os principais materiais a serem contemplados nos cálculos de pegadas hídricas indiretas. Todos foram quantificados em função de suas unidades funcionais (UF) e agrupados conforme categoria MAT1, ou seja, em nível de detalhamento mais abrangente. São eles:

Material (MAT1)	Qtde.	UF
Concreto	9.000	m <sup>3</sup>
Aço	250.000	kg
Argamassa	200.000	kg
Cimento	400.000	kg
Bloco de concreto	900.000	unid.

#### iii. Dados sobre o produto

A edificação é de uso somente residencial, e não são previstos usos intensivos específicos como torres de resfriamento.

Dado	Valor
Tipologia	residencial
AC aplicável	residentes
AC (residentes)	150
Demanda per capita diária padrão (l/AC/dia)	200
Redução de demanda por conta de medidas de uso racional	15%
Demanda per capita diária resultante (l/AC/dia)	170
Presença de processos consumidores específicos relevantes (torre de resfriamento, piscinas etc.)?	Não
VUP (anos)	50



E.1.2 Cálculo da  $PH_{obra}$

i.  $PH_{obra,d,azul}$  (obra direta azul)

Como a edificação ainda está em projeto, não há dados de demanda de água para que a  $PH_{obra,d,azul}$  seja devidamente calculada. Uma opção é a utilização de indicadores médios, como a DPA (demanda por área) e a DPC (demanda per capita) de outras obras similares (ver item 2.2.3). A equipe da ABC resolveu utilizar a média entre valores de DPA e DPC de suas obras, procedendo da seguinte maneira.

$$DPA = 0,25 \frac{m^3}{m^2 ACT} \quad DPC = 2,0 \frac{m^3}{func. \text{ mês}}$$

Com base em DPA e DPC, foram estimadas as demandas totais (DT) com base em cada um deles:

$$DT_{DPA} = 12.000 m^2 \times 0,25 \frac{m^3}{m^2 ACT} = 3.000 m^3$$

$$DT_{DPC} = 2,0 \frac{m^3}{func. \text{ mês}} \times 60 \frac{func.}{mês} \times tempo = 120 \frac{m^3}{mês} \times 20 meses = 2.400 m^3$$

Calculando-se a média entre as duas estimativas:

$$DT = \frac{DT_{DPA} + DT_{DPC}}{2} = 2.700 m^3$$

Com base nisso, calculou-se a  $PH_{obra,d,azul}$  de fato, a qual é uma parcela da DT. De acordo com peças hidrossanitárias instaladas no canteiro, estimou-se que a demanda per capita para usos sanitários era de 40 l/func./dia, chegando-se aos seguintes valores de  $Q_{san}$  e  $Q_{proc}$ :

$$Q_{san} = 40 \frac{l}{func. \text{ dia}} \times 60 func. \times 22 \frac{dias}{mês} \times 20 meses \times \frac{1 m^3}{1.000 l} = 1.056 m^3$$

$$Q_{proc} = DT - Q_{san} = 2.700 - 1.056 = 1.644$$

Os coeficientes de retorno utilizados foram os sugeridos neste guia,  $C_{san} = 0,80$  e  $C_{proc} = 0,20$ , resultando em:

$$PH_{obra,d,azul} = Q_{san} \times (1 - C_{san}) + Q_{proc} \times (1 - C_{proc}) = 1.056 \times (1 - 0,80) + 1.644 \times (1 - 0,20) = 1.526 m^3$$

$$PH_{obra,d,azul} esp = \frac{PH_{obra,d,azul}}{ACT} = \frac{1.526 m^3}{12.000 m^2} = 0,13 \frac{m^3}{m^2}$$



ii.  $PH_{obra,i,azul}$  (obra indireta azul)

A  $PH_{obra,i,azul}$  foi calculada com base nos quantitativos e nos  $CPH_{azul}$  e cada material, chegando-se aos resultados abaixo.

Material	Qtde.	UF	$CPH_{azul}$ (l/UF)	$PH_{obra,i,azul}$ (m <sup>3</sup> )	$PH_{obra,i,azul}$ esp (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Concreto	9.000	m <sup>3</sup>	3.840	34.560	2,9
Aço	250.000	kg	67,3	16.830	1,4
Bloco de concreto	200.000	unid.	13,4	2.680	0,2
Cimento	400.000	kg	2,4	976	0,1
Argamassa	900.000	kg	0,8	720	0,1
<b>Total</b>				<b>55.766</b>	<b>4,6</b>

Portanto:

$$PH_{obra,i,azul} = 55.766 \text{ m}^3$$

$$PH_{obra,i,azul} \text{ esp} = \frac{PH_{obra,i,azul}}{ACT} = \frac{55.766 \text{ m}^3}{12.000 \text{ m}^2} = 4,6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$$

E.1.3 Cálculo da  $PH_{uso}$

i.  $PH_{uso,d,azul}$  (obra direta azul)

Como se assumiu que não há processos hidroativos específicos,  $\Sigma Q_{proc} = 0$ . Assim, a  $PH_{uso,d,azul}$  deve-se somente à parcela referente aos usos sanitários.

$$PH_{uso,d,azul} = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{proc_k} \times (1 - C_k)] \right\} t =$$

$$= \left[ 9.308 \frac{\text{m}^3}{\text{ano}} (1 - 0,80) + 0 \right] \times 50 \text{ anos} = 93.075 \text{ m}^3$$

$$PH_{uso,d,azul} \text{ esp} = \frac{PH_{uso,d,azul}}{AC} = \frac{93.075 \text{ m}^3}{150 \text{ residentes}} = 621 \frac{\text{m}^3}{AC}$$

E.1.4 Cálculo da  $PH_{edif,azul}$

Tendo em mãos os resultados de  $PH_{obra,azul}$  e  $PH_{uso,azul}$  foi possível determinar a  $PH_{edif,azul}$  total da edificação

$$PH_{edif,azul} = PH_{obra,azul} + PH_{uso,azul} = PH_{obra,d,azul} + PH_{obra,i,azul} + PH_{uso,d,azul}$$

$$= 1.526 + 55.766 + 93.075 = 150.367 \text{ m}^3$$



Os valores de PH absolutos obtidos foram, então:

PH	Valor (m <sup>3</sup> )	%
PH <sub>obra,d,azul</sub>	1.526	1,0%
PH <sub>obra,i,azul</sub>	55.766	37,1%
PH <sub>uso,d,azul</sub>	93.075	61,9%
<b>Total</b>	<b>150.367</b>	<b>100,0%</b>

Dividindo-se os valores acima pela ACT em empreendimento, chega-se às PH específicas.

PH	Valor	Unid.	%
<i>PH<sub>obra</sub></i>			
PH <sub>obra,d,azul</sub>	0,13	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	2,7%
PH <sub>obra,i,azul</sub>	4,65	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	97,3%
<b>Total</b>	<b>4,77</b>	<b>m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup></b>	<b>100,0%</b>
<i>PH<sub>uso</sub></i>			
PH <sub>uso,d,azul</sub>	621	m <sup>3</sup> /AC/VUP	-

## E.2 PH<sub>obra,d,azul</sub> de edificação já construída

Os cálculos abaixo consideram somente a pegada hídrica de obra direta azul, complementando o que foi abordado no exemplo anterior.

A empresa XYZ deseja avaliar a PH<sub>obra,d,azul</sub> de uma de suas obras já concluídas. Diferentemente do exemplo E.1, nesse caso há registros das demandas de água ao longo de toda a obra, o que permite avaliação mais precisa das apropriações de água. Paralelamente ao cálculo das pegadas hídricas azuis da obra, a equipe pretende também criar outros indicadores de avaliação, como demanda por área (DPA) e per capita (DPC), para compreensão adicional.

### E.2.1 Levantamento de dados

#### i. Dados de canteiro gerais

O canteiro da obra possuía algumas peculiaridades que permitiram gestão de dados hídricos muito sofisticada. Uma delas era a medição setorizada, com hidrômetros que contabilizavam separadamente as demandas para usos sanitários. Além disso, havia duas estações de tratamento de efluentes: uma biológica para esgotos sanitários e outra físico-química para efluentes resultantes de processos, como lavagens de ferramentas, lava rodas etc.

Dado	Valor
ACT (m <sup>2</sup> )	4.000
Duração da obra (meses)	10
Jornada média (dias/mês)	22

#### ii. Dados mensais de canteiro

Os dados de demanda de água, bem como a evolução física mês a mês e o efetivo médio, são como abaixo. A demanda total (DT) é resultado da soma dos volumes ofertados por todas as fontes (concessionária + caminhão-pipa).



Mês	Demanda pela concessionária (m³)	Demanda por caminhão-pipa (m³)	DT (m³)	Evolução física (%)	Efetivo médio
jan/16	20	0	20	3,0%	20
fev/16	30	20	50	6,0%	32
mar/16	60	0	60	9,0%	35
abr/16	58	50	108	15,0%	60
mai/16	50	40	90	16,0%	35
jun/16	60	80	140	17,0%	88
jul/16	120	60	180	14,0%	95
ago/16	81	20	101	11,0%	74
set/16	72	20	92	6,0%	50
out/16	15	10	25	3,0%	15
<b>Total</b>	<b>566</b>	<b>300</b>	<b>866</b>	<b>100%</b>	<b>-</b>
<b>Média mensal</b>	<b>56,6</b>	<b>30</b>	<b>86,6</b>	<b>10%</b>	<b>50,4</b>

Um dos hidrômetros mede todo o volume destinado a usos sanitários, o que torna possível a quantificação mensal das demandas totais sanitárias ( $DT_{san}$ ) e, por diferença, da demanda de processos ( $DT_{proc}$ ).

Mês	$DT_{san}^{(1)}$	$DT_{proc}^{(2)}$	DT (m³)	% $DT_{san}$	% $DT_{proc}$
jan/16	17,6	2,4	20	88%	12%
fev/16	28,2	21,8	50	56%	44%
mar/16	30,8	29,2	60	51%	49%
abr/16	52,8	55,2	108	49%	51%
mai/16	30,8	59,2	90	34%	66%
jun/16	77,4	62,6	140	55%	45%
jul/16	83,6	96,4	180	46%	54%
ago/16	65,1	35,9	101	64%	36%
set/16	44,0	48,0	92	48%	52%
out/16	13,2	11,8	25	53%	47%
<b>Total</b>	<b>444</b>	<b>422</b>	<b>866</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Média mensal</b>	<b>44,4</b>	<b>42,2</b>	<b>86,6</b>	<b>55%</b>	<b>45%</b>

<sup>(1)</sup> Medida por meio de hidrômetros

<sup>(2)</sup> Calculada por diferença:  $DT_{proc} = DT - DT_{san}$



Em razão da medição dos efluentes gerados foi possível determinar com precisão os coeficientes de retorno (C) para cada mês.

Mês	Efluentes sanitários		Efluentes de processos	
	m³/mês <sup>(1)</sup>	C <sub>san</sub> <sup>(2)</sup>	m³/mês <sup>(1)</sup>	C <sub>proc</sub> <sup>(2)</sup>
jan/16	15,0	0,85	0,3	0,11
fev/16	24,8	0,88	4,4	0,2
mar/16	23,7	0,77	4,4	0,15
abr/16	43,8	0,83	5,0	0,09
mai/16	23,4	0,76	5,9	0,1
jun/16	62,7	0,81	5,0	0,08
jul/16	68,6	0,82	5,8	0,06
ago/16	56,0	0,86	6,5	0,18
set/16	34,8	0,79	7,7	0,16
out/16	11,4	0,86	2,1	0,18
<b>Total</b>	<b>364</b>	<b>-</b>	<b>47</b>	<b>-</b>
<b>Média mensal</b>	<b>36,4</b>	<b>0,82</b>	<b>4,7</b>	<b>0,13</b>

<sup>(1)</sup> Medida por meio dos hidrômetros das estações de tratamento

<sup>(2)</sup> Calculados a partir da razão entre volumes de efluente e demanda:  $C = \frac{\text{efluente}}{\text{demanda}}$

### E.2.2 Cálculo da PH<sub>obra,d,azul</sub>

O cálculo da PH<sub>obra,d,azul</sub> é realizado de acordo com a divisão temporal para a qual eles estão disponíveis (mês a mês). Lembrando-se de que a PH<sub>azul</sub> se refere às perdas de água, é necessária utilização dos coeficientes de retorno. Para o caso do mês de janeiro, tem-se:

$$PH_{obra,d,azul_{jan}} = DT_{san} \times (1 - C_{san}) + DT_{proc} \times (1 - C_{proc}) = 15,0 \times (1 - 0,85) + 2,4 \times (1 - 0,11) = 4,8 \text{ m}^3$$

É evidente que o mesmo cálculo pode ser realizado simplesmente pela subtração da DT pela geração total de efluentes, ou  $20 - 15,2 = 7,4$ .

Realizando-se o cálculo mês a mês, chega-se aos valores de pegada hídrica azul da obra. Procedeu-se também à comparação com a evolução física da obra, utilizando-se como referência a “área proporcional mensal” (ACT prop.), resultante do produto da área construída total (8.000 m<sup>2</sup>) pela evolução mensal.

$$ACT_{prop_{jan}} = ACT \times \% \text{evolução física}_{jan} = 8.000 \times 0,8 = 64 \text{ m}^2$$





Mês	PH <sub>obra,d,azul</sub> (m³)	Evolução física (%)	Evolução física (%) acum.	ACT prop. (m²)	PH <sub>obra,d,azul</sub> (m³/m²)
jan/16	4,8	3,0%	3,0%	240	0,040
fev/16	20,9	6,0%	9,0%	480	0,087
mar/16	31,9	9,0%	18,0%	720	0,089
abr/16	59,2	15,0%	33,0%	1.200	0,099
mai/16	60,7	16,0%	49,0%	1.280	0,095
jun/16	72,3	17,0%	66,0%	1.360	0,106
jul/16	105,7	14,0%	80,0%	1.120	0,189
ago/16	38,5	11,0%	91,0%	880	0,088
set/16	49,6	6,0%	97,0%	480	0,207
out/16	11,5	3,0%	100,0%	240	0,096
<b>Total</b>	<b>455</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>8.000</b>	<b>0,114</b>
<b>Média mensal</b>	<b>45,5</b>	<b>10%</b>	-	<b>800</b>	<b>0,114</b>

Como resultado, chegou-se a PH<sub>obra,d,azul</sub> de 455 m³, com valor específico de 0,114 m³/m².

Caso a gestão de canteiro não permitisse o uso direto destes dados, por exemplo se a empresa não controlasse as vazões por uso, estas podem ser estimadas a partir de uma demanda per capita padrão (como no exemplo E.1).

### E.2.3 Cálculo de outros indicadores

Além da PH, a equipe também calculou os indicadores DPC e DPA por mês. Os cálculos, para o mês de janeiro, foram:

$$DPA_{jan} = \frac{DT_{jan}}{ACT \times \%evolução\ física_{jan}} = \frac{20}{4.000 \times 3,0\%} = 0,17\ m^3/m^2$$

Mês	DT (m³/mês)	DPA (m³/m²)	DPC (m³/func.mês)
jan-16	20	0,17	1,00
fev-16	50	0,21	1,56
mar-16	60	0,17	1,71
abr-16	108	0,18	1,80
mai-16	90	0,14	2,57
jun-16	140	0,21	1,59
jul-16	180	0,32	1,89
ago-16	101	0,23	1,36
set-16	92	0,38	1,84
out-16	25	0,21	1,67
<b>Total</b>	<b>866</b>	<b>2,21</b>	-
<b>Média</b>	<b>86,6</b>	<b>0,22</b>	<b>1,701</b>



### E.3 PH<sub>obra,d,cinza</sub> para diferentes cenários de tratamento e disposição final de esgotos

Cálculo de PH<sub>obra,d,cinza</sub> (PH de obra direta cinza) considerando variações nas opções de tratamento dos esgotos gerados e das condições de lançamento. O cálculo de PH<sub>so,d,cinza</sub> é análogo ao aqui apresentado, havendo variação somente dos valores de entrada.

Profissionais da empresa ABC estudam a possibilidade de construção de novo empreendimento em área onde não há informações sobre a destinação dos esgotos que serão gerados em canteiro, tampouco sobre os corpos hídricos que potencialmente receberão tais efluentes. Consultas realizadas ao site do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontaram que o município possui abrangência de 20% de coleta de esgotos e somente 10% de tratamento, o que indica que provavelmente os efluentes serão lançados in natura em corpos hídricos locais. Preocupados com os eventuais impactos negativos oriundos da obra, decidem utilizar a PH<sub>cinza</sub> como indicador para a quantificação do nível de comprometimento de água, buscando entender a necessidade de implantação de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) própria.

#### E.3.1 Levantamento de dados

Frente à inexistência de dados precisos sobre o entorno, decidiu-se avaliar situação mais provável: a de que não haveria rede de coleta (dada a baixíssima abrangência) e que o descarte ocorreria em corpo hídrico. Geralmente, quando não é conhecido o enquadramento de um corpo hídrico, considera-se que sua classe é 2. Assumiu-se, portanto, que a maioria dos cenários simulados consideraria lançamento em classe 2, e um deles, o mais crítico, em classe 1. A caracterização do canteiro e da carga per capita de DBO<sub>5,20</sub> foi como na tabela abaixo.

Dado	Valor
ACT (m <sup>2</sup> )	20.000
Efetivo médio mensal	100
Duração da obra (meses)	20
Jornada média (dias/mês)	22
Carga diária per capita (gDBO/func./dia)	15

#### E.3.2 Cenários simulados

Foram elencados quatro possíveis cenários:

- **Cenário A:** lançamento direto (sem tratamento) em corpo hídrico classe 1.
- **Cenário B:** lançamento direto (sem tratamento) em corpo hídrico classe 2.
- **Cenário C:** implantação de ETE com processo simples (UASB) + lançamento em corpo hídrico classe 2.
- **Cenário D:** implantação de ETE com processo avançado (MBR) + lançamento em corpo hídrico classe 2.

#### E.3.3 Cálculos e resultados

Os cálculos abaixo são somente para o cenário “C”, mas os procedimentos são idênticos para todos os demais.



A Carga<sub>ger</sub> é, evidentemente, igual para todos os cenários. Considerando a duração de toda a obra, tem-se:

$$\begin{aligned}
 \text{Carga}_{ger} &= \text{Carga}_{per\ capita} \times \text{efetivo} \times \text{duração da obra (dias)} \\
 &= \frac{15gDBO}{func.\ dia} \times 100\ func. \times 22 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} \times 22\ \text{meses} = 660.000\ gDBO \\
 &= 660\ kgDBO
 \end{aligned}$$

A eficiência (E) remoção de DBO<sub>5,20</sub> depende do sistema de tratamento adotado. Assumiu-se que em todos os cenários, 100% do volume será tratado (%trat = 100%). Para o exemplo de sistema com E = 75%, Carga<sub>lan</sub> é:

$$\text{Carga}_{lan} = \text{Carga}_{ger} \times (1 - E \times \%trat) = 660kgDBO \times (1 - 0,75 \times 1) = 165\ kgDBO$$

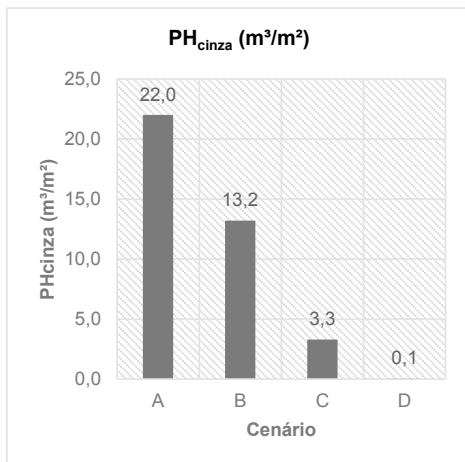
A avaliação da PH<sub>cinza</sub> leva em conta a Cargalan de cada cenário e as condições de recebimento do corpo hídrico. Para corpo receptor classe 2 (C<sub>máx</sub> = 5,0 mgO<sub>2</sub>/l e C<sub>0</sub> = 2,5 mgO<sub>2</sub>/l), tem-se:

$$\begin{aligned}
 PH_{obra,d,cinza} &= \frac{Carga_{lan}}{C_{máx} - C_0} = \frac{165\ kg \times \frac{10^6\ mg}{kg}}{3,0\ mg/l - 1,5\ mg/l} = 66.000\ m^3 \\
 PH_{obra,d,cinza\ esp} &= \frac{PH_{obra,d,cinza}}{ACT} = \frac{66.000\ m^3}{20.000\ m^2} = 3,3\ m^3/m^2
 \end{aligned}$$

Portanto, o cenário 3 resulta, para as condições estudadas e valores assumidos, em PH<sub>obra,d,cinza</sub> total de 66.000 m<sup>3</sup> e específica de 3,3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Para cada um dos cenários, os valores são:

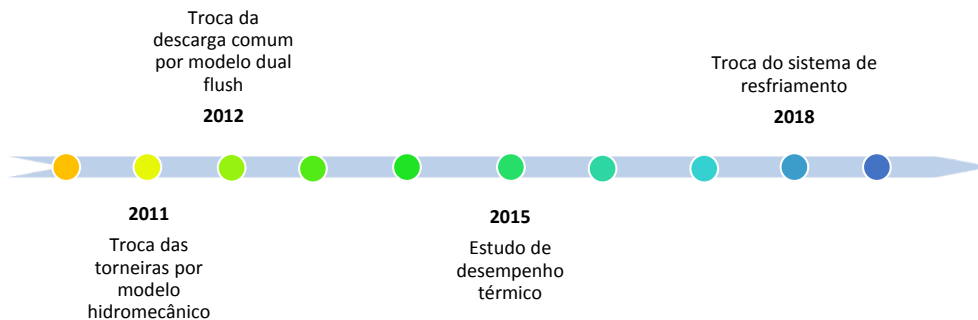
Item	Cenário			
	A	B	C	D
Carga <sub>ger</sub> (kgDBO)	660	660	660	660
%trat	0%	0%	100%	100%
Tipo de tratamento	Nenhum	Nenhum	UASB	MBR
E (%)	0,0%	0,0%	75,0%	99,5%
Carga <sub>lan</sub>	660	660	165	3,3
Lançamento em	Classe 1	Classe 2	Classe 2	Classe 2
C <sub>máx</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	3,0	5,0	5,0	5,0
C <sub>0</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	1,5	2,5	2,5	2,5
PH <sub>cinza</sub> (m <sup>3</sup> )	440.000	264.000	66.000	1.320
PH <sub>cinza</sub> específica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	22,0	13,2	3,3	0,1



### E.4 PH<sub>uso,d,azul</sub> - Edifício comercial em operação

Em 2019, a gestora do empreendimento comercial Azul propôs a utilização da PH como indicador para mensuração do impacto positivo de algumas medidas em prol da gestão de água aplicadas na edificação na última década. A avaliação, por ter como escopo as apropriações diretas de água azul, foi traduzida na forma de PH<sub>uso,d,azul</sub> (pegada hídrica de uso, direta, azul).

A partir de 2011, foram realizadas medidas de redução de vazão de peças sanitárias (torneiras e descargas de bacias) e de melhoria de desempenho/redução de demanda do sistema de resfriamento (torre de resfriamento, TR).



#### E.4.1 Levantamento de dados

O edifício possui área construída total de 4.500 m<sup>2</sup> e manteve média de 400 ocupantes ao longo de sua operação durante o período analisado.

Características da edificação	
ACT (m <sup>2</sup> )	4.500
Ocupação média (func.)	400
Operação mensal (dias/mês)	22
Operação anual (meses/ano)	12



A partir das contas mensais de água a equipe determinou às demandas totais (DT) anuais do edifício. As demandas de água de reposição da torre de resfriamento (TR) foram medidas separadamente, sendo possível determinar por diferença os demais, em sua maioria destinados a finalidades sanitárias<sup>14</sup>.

Ano	DT (m³)	TR (m³) <sup>(1)</sup>	DT <sub>san</sub> (m³) <sup>(2)</sup>
2010	5.163	1.300	3.863
2011	4.402	1.200	3.202
2012	3.460	1.250	2.210
2013	3.460	1.150	2.310
2014	3.460	1.300	2.160
2015	3.460	1.000	2.460
2016	3.245	900	2.345
2017	3.245	950	2.295
2018	2.715	700	2.015
2019	2.715	650	2.065

<sup>(1)</sup> Medida na entrada da TR.

<sup>(2)</sup> Calculada por diferença.

Já à primeira vista foi possível verificar a redução progressiva das demandas de água, o que pode ser atribuído às diversas medidas aplicadas, já que o número médio de ocupantes não se alterou.

#### E.4.2 Cálculo da PH<sub>uso,d,azul</sub>

A PH<sub>uso,d,azul</sub> considera somente a parcela “perdida” de água para os múltiplos usos considerados; ou seja, aquela que não retorna como efluente. Dessa forma, é necessário que sejam determinadas as parcelas de “entram”, “saem” e “se perdem” dentro da edificação. Conforme demonstrado neste guia, essa relação pode ser expressada utilizando-se o coeficiente de retorno, “C”.

Para cada período de tempo, a PH<sub>uso,d,azul</sub> é calculada por:

$$PH_{uso,d,azul} = \left\{ Q_{san}(1 - C_{san}) + \sum_{k=1}^N [Q_{outrosk} \times (1 - C_k)] \right\} t$$

- PH<sub>uso,d,azul</sub>** pegada hídrica de uso direta azul [volume]
- Q<sub>san</sub>** vazão demandada para usos sanitários [volume/tempo]
- C<sub>san</sub>** coeficiente de retorno das demandas sanitárias [%]
- Q<sub>outros</sub>** vazão demandada para outros usos [volume/tempo]
- C<sub>k</sub>** coeficiente de retorno do uso “k” [%]
- t** período analisado [tempo]

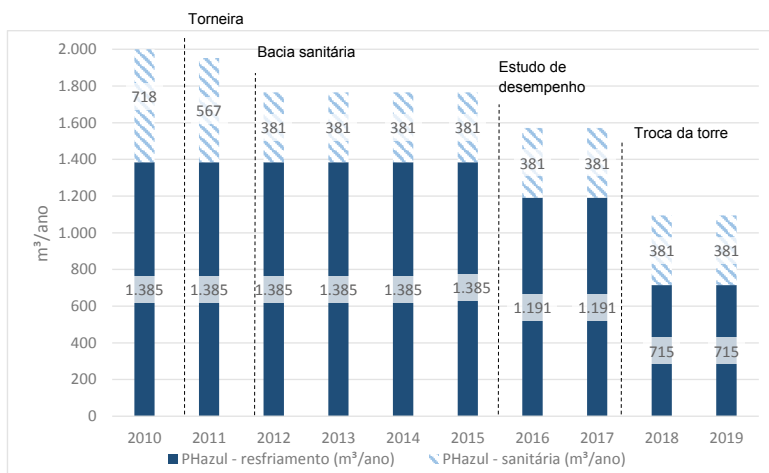
Os usos sanitários em geral resultam em retorno da ordem de 80-90%, adotando-se valor de C<sub>san</sub> = 0,80. Já no caso dos usos para resfriamento, sabe-se que praticamente a totalidade da água é perdida por evaporação nos processos de troca térmica, havendo retorno de pequena parcela na forma de purgas de desconcentração. Por isso, adotou-se C<sub>k</sub> = 0,10.

14 Por simplificação, assumiu-se que os usos são basicamente para resfriamento (TR) e fins sanitários.

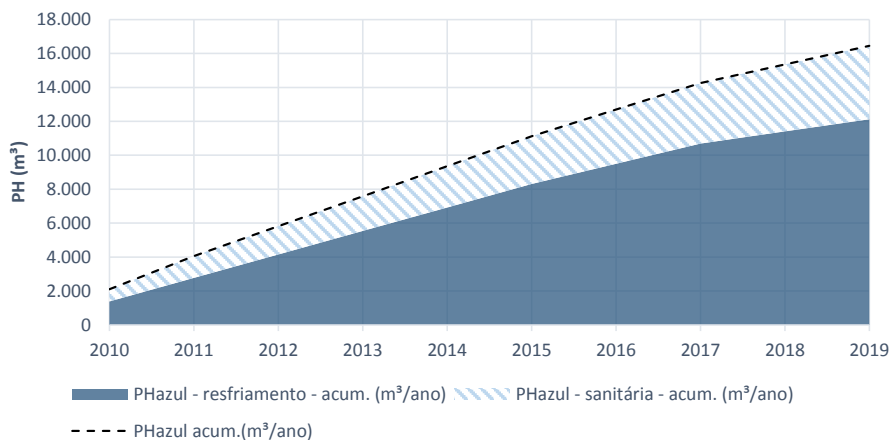


Como resultado do cálculo da pegada hídrica entre 2010 e 2019, chegou-se ao seguinte panorama de  $PH_{azul,d,azul}$ :

DT (m³)	$PH_{azul}$ - sanitária (m³/ano)	$PH_{azul}$ - resfriamento (m³/ano)	$PH_{azul}$ (m³/ano)	$PH_{azul}$ (m³/AC/ano)	Redução em relação a 2010
5.163	718	1.385	2.103	5,3	-
4.402	567	1.385	1.952	4,9	7%
3.460	381	1.385	1.765	4,4	16%
3.460	381	1.385	1.765	4,4	16%
3.460	381	1.385	1.765	4,4	16%
3.460	381	1.385	1.765	4,4	16%
3.245	381	1.191	1.572	3,9	25%
3.245	381	1.191	1.572	3,9	25%
2.715	381	715	1.095	2,7	48%



Em valores acumulados, nota-se clara tendência de redução da tendência de aumento da PH desde 2010, motivado principalmente pelas ações voltadas ao uso eficiente de água para resfriamento.





## E.5 Evolução da pegada hídrica ao longo da vida útil

***Neste exemplo os cálculos foram simplificados com vistas a destacar a evolução da PH ao longo da operação da edificação. Por isso, não foram detalhados os procedimentos de quantificação de cada um dos componentes de pegada hídrica.***

O edifício Verde, um residencial construído na década 1990, tornou-se estudo de caso de pegada hídrica de uma construtora tradicional do mercado. A edificação se localiza em local onde o esgoto é coletado, mas não é tratado, motivo que levou à implantação de ETE desde o início.

Ao longo dos anos, as seguintes intervenções foram realizadas na edificação:

- **2010:** os moradores, preocupados com as constantes crises de abastecimento na cidade, decidiram coletivamente realizar troca das peças hidrossanitárias de seus apartamentos, buscando reduzir a demanda per capita. Paralelamente, foram realizadas manutenções nas redes condominiais de água, especialmente nas válvulas redutoras de pressão (VRPs), reduzindo a pressão máxima nos pontos de uso de 40 mca (metros de coluna d'água) para 30 mca.
- **2013:** em razão do desgaste, as áreas comuns foram reformadas, com troca de revestimentos verticais, pisos e pintura.
- **2017:** diante de exigências da concessionária e órgãos ambientais locais, requereu-se que a ETE fosse modificada e adotasse processos de tratamento mais eficientes.

Já em 2019, a administradora do condomínio decidiu calcular a pegada hídrica da edificação desde sua inauguração até o presente momento, considerando as apropriações de água da obra e de uso. A manutenção de registros de obra junto à construtora e das demandas de água ano a ano permitiu resgate de todo o histórico.

### E.5.1 Levantamento de dados

#### i. Dados da edificação

Características da edificação	
Tipologia	Residencial
ACT (m <sup>2</sup> )	12.000
Operação mensal (dias/mês)	30
Operação anual (meses/ano)	12
Número de residentes	200

#### ii. 1990 – pegada hídrica da obra (PH<sub>obra</sub>)

A PH<sub>obra</sub> foi calculada a partir do orçamento original de obra, contemplando os consumos diretos em canteiro (PH<sub>obra,d,azul</sub>), os materiais empregados (PH<sub>obra,i,azul</sub>) e os efluentes gerados e lançados em rede coletora sem tratamento (PH<sub>obra,d,cinza</sub>)

Tipo de PH	Valor
PH <sub>obra,d,azul</sub> (m <sup>3</sup> )	7.500
PH <sub>obra,i,azul</sub> (m <sup>3</sup> )	45.000
PH <sub>obra,d,cinza</sub> (m <sup>3</sup> )	12.000
PH <sub>obra</sub> (m <sup>3</sup> )	64.500



### iii.2010 - troca das peças hidrossanitárias e medidas de controle de pressão

Entre 1990 e 2010 a média de demanda per capita permaneceu em torno de 180 l/residente/dia, valor razoável diante de estatísticas nacionais. A utilização de restritores de vazão nos chuveiros, arejadores em torneiras de cozinha e dos banheiros, substituição de válvulas por bacias com caixa acoplada e o controle de pressão na rede levaram a reduções muito significativas da ordem de 40%, passando a 110 l/residente/dia.

### iv.2013 - retrofit dos revestimentos e pinturas

A obra realizada em 2013 requereu quantidades consideráveis de materiais, sendo necessário cômputo da pegada hídrica da obra. Considerando-se somente a PH azul de materiais (indireta), chegou-se a valor de 5.000 m<sup>3</sup>.

### v. 2017 - aumento de eficiência da ETE

A ETE instalada inicialmente no edifício Verde possuía eficiência média de 75% de remoção de DBO<sub>5,20'</sub>, o que resultava em cargas remanescentes de contaminantes significativas. Decidiu-se que o processo original (UASB + FBP) seria substituído por tecnologia de membranas (MBR), o que garantiria eficiências superiores a 99%.

## E.5.2 Resultados

Os diversos processos pelos quais o edifício Verde passou podem ser analisados a partir de um panorama geral da pegada hídrica ao longo dos anos, considerando desde sua construção até seu uso na atualidade.

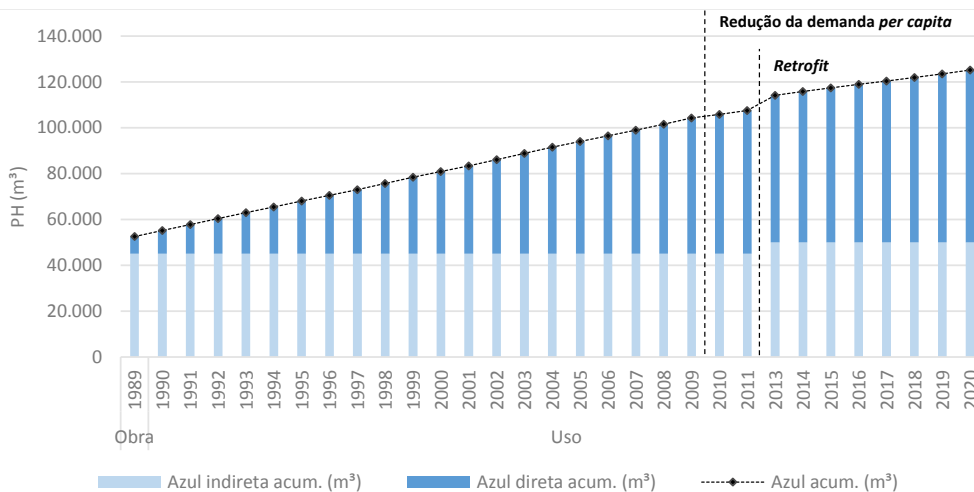
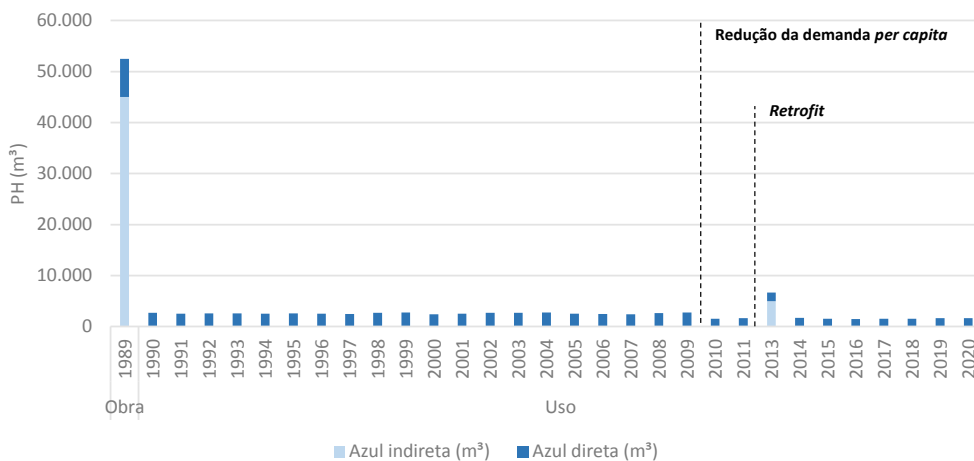
Para realização dos cálculos, as seguintes variáveis foram utilizadas.

Item	Valor
Csan	0,8
Carga do DBO per capita (gDBO/AC/dia)	54
Tipo de lançamento	Rede da concessionária (sem tratamento)
C <sub>máx</sub> DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	60
C <sub>0</sub> DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	30





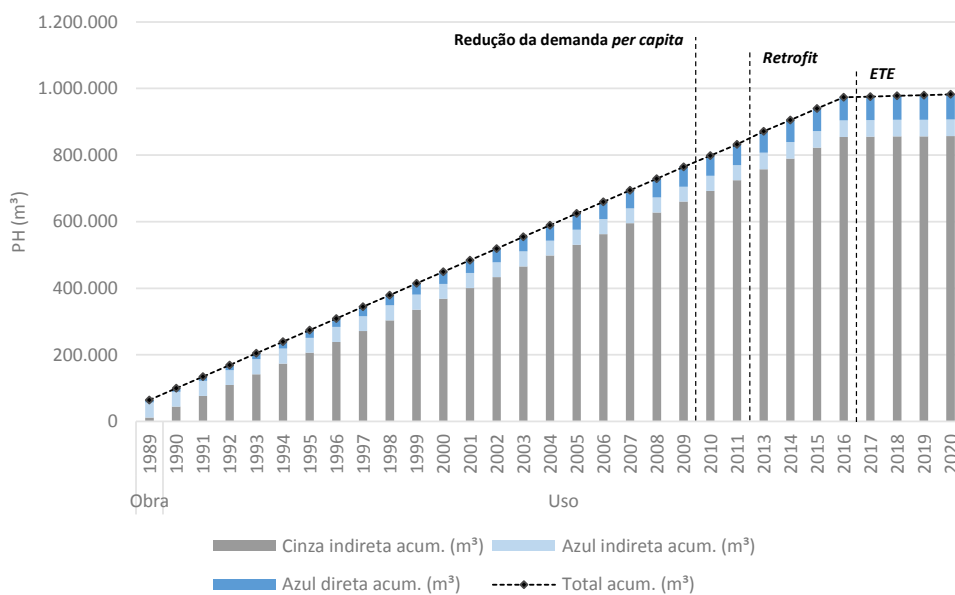
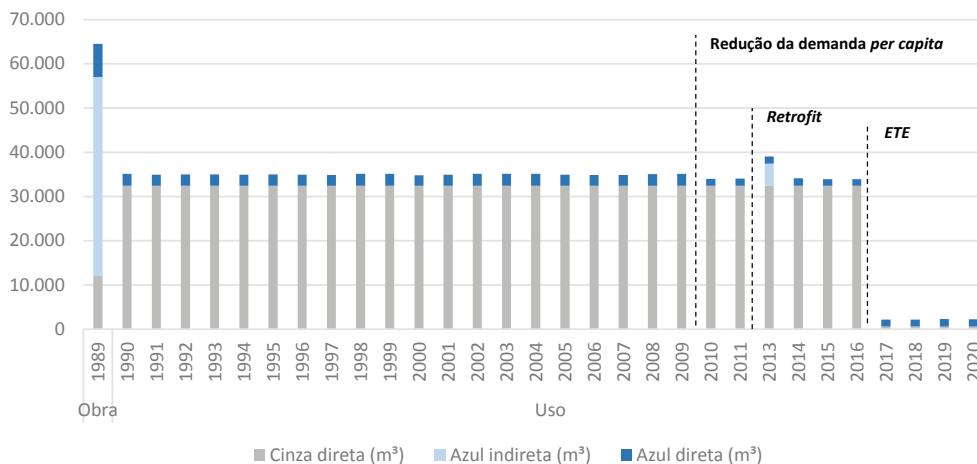
Avaliando-se primeiramente a  $PH_{d,azul}$  isoladamente, de modo que seja possível verificar o impacto das ações realizadas em 2010, tem-se:



É possível notar que a partir de 2010 há redução da  $PH_{d,azul}$ , o que se traduz também pela mudança de tendência dos valores acumulados. Em razão da obra de 2013, vê-se incremento de  $PH_{i,azul}$ .



Considerando-se agora também a  $PH_{cinza}$ , verifica-se que a ordem de grandeza dos valores muda muito notavelmente. O lançamento de esgotos em rede coletora que não os conduz a tratamento resulta em apropriações muito expressivas de água, o que também se devia à adoção, no empreendimento, de processo de tratamento pouco eficaz.



Por fim, considerando todo o histórico do empreendimento, o edifício Verde apresenta em 2020 uma  $PH_{edif}$  de cerca de 1.000.000  $m^3$  acumulados, com tendência de crescimento desacelerado devido às medidas adotadas no período.



## 4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDOS PRÁTICOS, AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO COM LITERATURA

A metodologia desenvolvida e explicada nos itens anteriores foi testada pela própria Infinitytech para as obras das empresas do GT, havendo também realização de testes junto aos participantes do GT com o intuito de verificar sua aderência à realidade e expectativa de agentes atuantes na área. Como já apresentado no item 2.1, desenvolveu-se uma ferramenta digital (FPH<sub>edif</sub>) para otimizar a experiência dos usuários, facilitando a familiarização com os conceitos e procedimentos utilizados no cálculo da PH.

Neste item serão avaliados principalmente os resultados obtidos pela Infinitytech, dado que aqueles enviados pelo GT, apesar da participação ativa dos integrantes do grupo, não apresentaram homogeneidade suficiente para a realização de avaliações amplas. Algumas empresas disponibilizaram somente cálculos para uma de suas obras e outras que realizaram somente quantificações parciais, resultando em redução considerável das amostras a serem analisadas. Esse fator, no entanto, não traz prejuízos aos objetivos específicos da realização de testes junto ao GT, visto que essa etapa visava à familiarização dos participantes com a metodologia, obtenção de feedback e promoção de discussão sobre os principais pontos a serem melhorados.

Como já explicado no item 2.2.5, os cálculos de PH junto ao GT foram mediados pela utilização da Ferramenta de Cálculo de Pegada Hídrica para Edificações (FPH<sub>edif</sub>), um arquivo digital de cálculo automático de PH elaborado especialmente para essa finalidade. A FPH<sub>edif</sub> prevê dois tipos de análise para a PHobra: Análise Rápida (AR) e Análise Detalhada (AD), cada qual contando com níveis de detalhamento distintos. Essa divisão teve como objetivo compreender os impactos nos valores de PH<sub>obra</sub> causados por simplificações nos procedimentos de cálculo, fosse pela utilização de categorias mais abrangentes de materiais (MAT1, ver item 2.1.4) ou de mais detalhadas (MAT2, vide item 2.1.4) para PH<sub>obra,1'</sub> ou pela simplificação dos cálculos de PH<sub>obra,d'</sub>. Outro objetivo foi também facilitar a realização do cálculo pelo GT, dado que a AD exige maior dispêndio de esforços na obtenção e organização de dados, o que poderia comprometer a realização dos testes. A comparação entre os resultados oriundos da AR e AD será realizada no item 4.2.

A **Figura 27** a seguir ilustra a abrangência dos cálculos realizados, indicando os que foram desempenhados pela Infinitytech (IFTH) e quais pelo GT, bem como o tipo de análise (AR ou AD).

### Análise rápida (AR)

Calcula a PH a partir de dados simplificados e considera-se somente a PH<sub>azul</sub>. Para cálculo da parcela direta, são utilizados valores médios de canteiro, enquanto para a parcela indireta os materiais foram agrupados de acordo com as categorias estabelecidas em MAT 1.

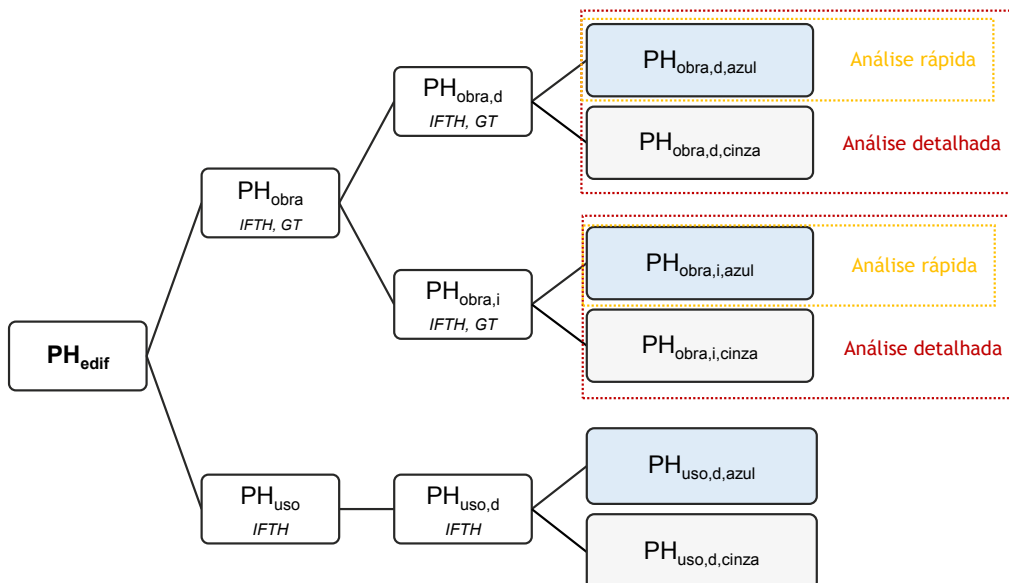
### Análise detalhada (AD)

Engloba também a PH<sub>cinza</sub> e é realizado com base em uma divisão; por mês ou por etapa de obra predominante. Para cálculo da parcela direta, são utilizados os dados de canteiro de acordo como a divisão estabelecida e, com relação à PH<sub>indireta'</sub>, propõe-se trabalhar com valores de CPH de acordo com as especificações dos materiais.



FIGURA 27

PROPOSTA DE CÁLCULO DE TESTE METODOLOGIA: NÍVEL DE DETALHAMENTO DA ANÁLISE E RESPONSÁVEIS PELOS RESULTADOS



## 4.1 Resultados da aplicação da metodologia

### 4.1.1 Pegada hídrica de obra - PH<sub>obra</sub>

#### 4.1.1.1 Pegadas hídricas azuis - PH<sub>obra,d,azul</sub> e PH<sub>obra,i,azul</sub>

Para a PH<sub>obra</sub>, os valores absolutos (m<sup>3</sup>) e respectivos indicadores por área (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) de PH<sub>obra,azul</sub> constam na **Tabela 25**, divididos também em AR e AD. A ordem de grandeza da pegada hídrica indireta é da ordem de dezenas de milhares de m<sup>3</sup>, enquanto a direta ronda entre 1.000 e 10.000 m<sup>3</sup>.

TABELA 25

PH<sub>obra,azul</sub> DIRETA E INDIRETA EM M<sup>3</sup> E EM M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>

Obra	ACT (m <sup>2</sup> )	PH <sub>obra,azul</sub> (m <sup>3</sup> )						PH <sub>obra,azul</sub> esp (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	
		Análise rápida			Análise detalhada			Análise rápida	Análise detalhada
		PH <sub>obra,d,azul</sub>	PH <sub>obra,i,azul</sub>	Total	PH <sub>obra,d,azul</sub>	PH <sub>obra,i,azul</sub>	Total		
1.1	14.715	2.164	79.530	81.694	2.942	71.232	74.173	5,55	5,04
1.2	9.237	508	37.561	38.070	862	28.363	29.225	4,12	3,16
1.3	12.133	3.092	51.765	54.857	4.058	47.742	51.799	4,52	4,27
2.1	18.335	933	44.375	45.308	1.595	47.545	49.140	2,47	2,68
2.2	10.841	164	32.230	32.394	356	46.558	46.914	2,99	4,33
3.1	21.466	557	55.975	56.532	-	-	-	2,63	-



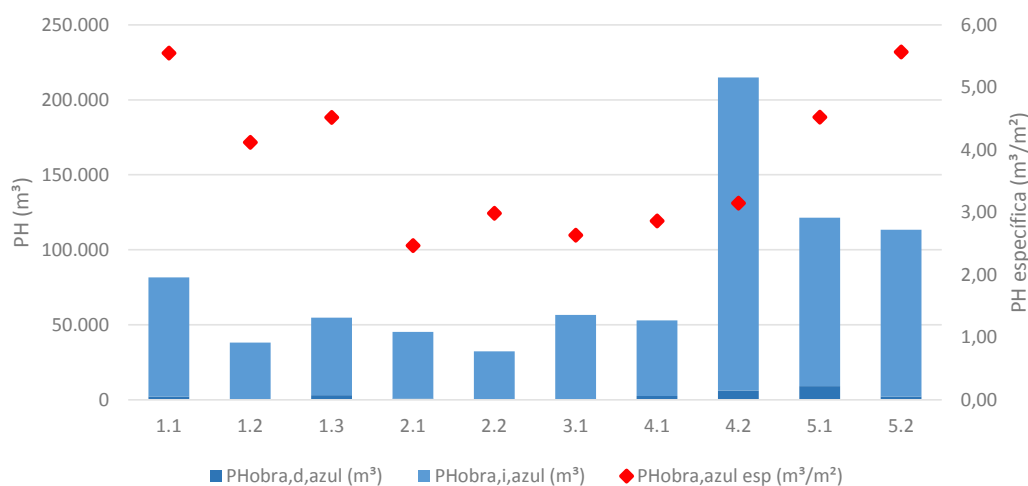
Obra	ACT (m <sup>2</sup> )	PH <sub>obra,azul</sub> (m <sup>3</sup> )						PH <sub>obra,azul</sub> esp (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	
		Análise rápida			Análise detalhada			Análise rápida	Análise detalhada
		PH <sub>obra,d,azul</sub>	PH <sub>obra,i,azul</sub>	Total	PH <sub>obra,d,azul</sub>	PH <sub>obra,i,azul</sub>	Total		
4.1	18.500	2.532	50.428	52.960	2.674	49.590	52.265	2,86	2,83
4.2	68.217	6.245	208.597	214.842	7.699	183.716	191.415	3,15	2,81
5.1	26.822	9.037	112.355	121.393	8.889	139.954	148.843	4,53	5,55
5.2	20.369	2.133	111.232	113.365	2.481	116.007	118.488	5,57	5,82
<b>Média*</b>								<b>3,97</b>	<b>4,05</b>

\*Desconsiderando o empreendimento 3.1 nos cálculos de média

Avaliando-se os resultados somente da análise rápida (muito similares aos da detalhada), obras com maiores valores absolutos de PH (m<sup>3</sup>) não são necessariamente as que possuem os maiores valores específicos (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). Um exemplo evidente é a obra 4.2, a qual possui o maior valor de PH (aprox. 215.000 m<sup>3</sup>) e ao mesmo tempo um dos menores valores específicos (3,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>). De outra forma, a obra 1.1 possui PH absoluta de aprox. 82.000 m<sup>3</sup> e alto valor específico, igual a 5,55 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

FIGURA 28

PH<sub>obra</sub> DIRETA E INDIRETA EM M<sup>3</sup> E EM M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup> (RESULTADOS DA ANÁLISE RÁPIDA)



A avaliação dos valores em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> evidencia a importância de se realizar a comparação com base em indicadores específicos, sem os quais não seria possível considerar variáveis como a dimensão dos empreendimentos, levando a conclusões equivocadas sobre a PH.

4.1.1.1 Direta e indireta

A comparação entre as PH<sub>obra,i</sub> e PH<sub>obra,d</sub> aponta para a mesma conclusão de outros estudos presentes na literatura: a de que a PH<sub>direta</sub> representa parcela muito reduzida da PH<sub>obra</sub>, com valores em geral inferiores a 5% (vide Tabela 26 e Figura 29).



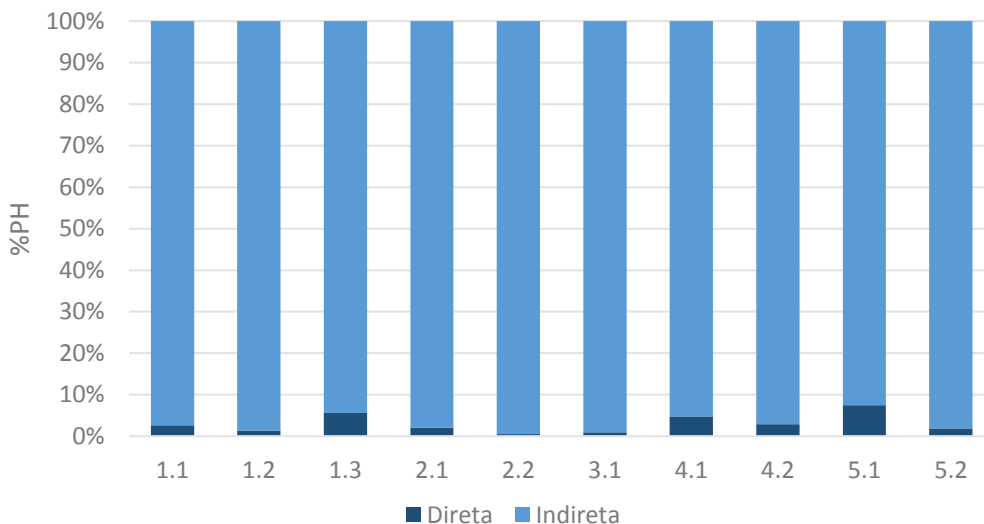
**TABELA 26**

CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS PARCELAS DIRETA E INDIRETA SOBRE  $PH_{obra}$  (RESULTADOS DA ANÁLISE RÁPIDA)

Obra	$PH_{obra,d,azul}$	
	$PH_{obra,d,azul}$	$PH_{obra,i,azul}$
1.1	2,6%	97,4%
1.2	1,3%	98,7%
1.3	5,6%	94,4%
2.1	2,1%	97,9%
2.2	0,5%	99,5%
3.1	1,0%	99,0%
4.1	4,8%	95,2%
4.2	2,9%	97,1%
5.1	7,4%	92,6%
5.2	1,9%	98,1%
<b>Média</b>	<b>3,0%</b>	<b>97,0%</b>

**FIGURA 29**

%  $PH_{obra}$  DIRETA E INDIRETA (RESULTADOS PELA ANÁLISE RÁPIDA)

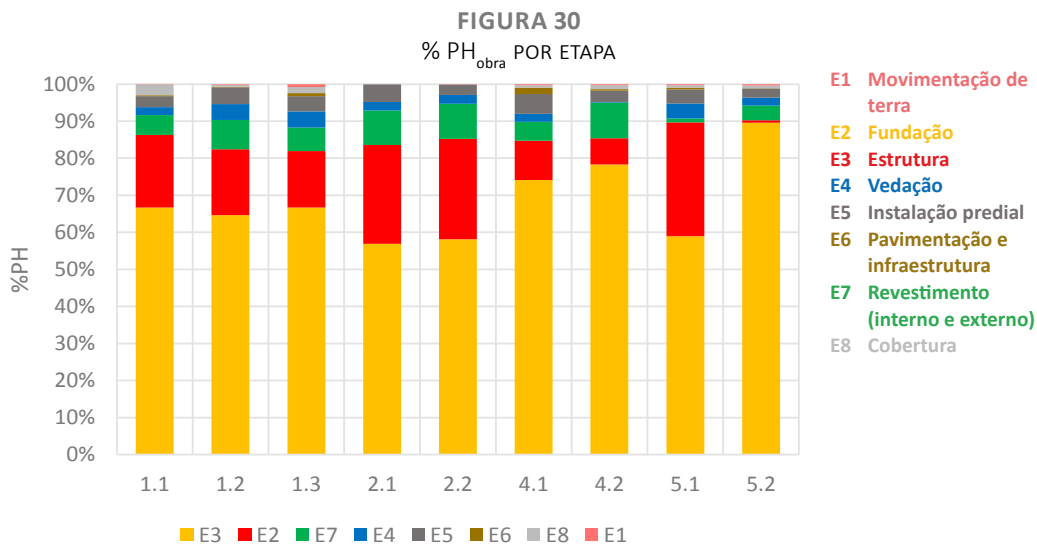


Com base na compreensão dos conceitos básicos de PH, essa conclusão é bastante intuitiva. Mesmo para leigos no assunto, é presumível assumir que materiais como concreto e aço gerem impactos relevantes sobre os recursos hídricos, o que é comprovado pelos coeficientes de pegada hídrica apresentados pela literatura. Isso, somado ao uso intensivo desses materiais na construção civil, leva à atestada preponderância da pegada hídrica indireta em relação à direta.

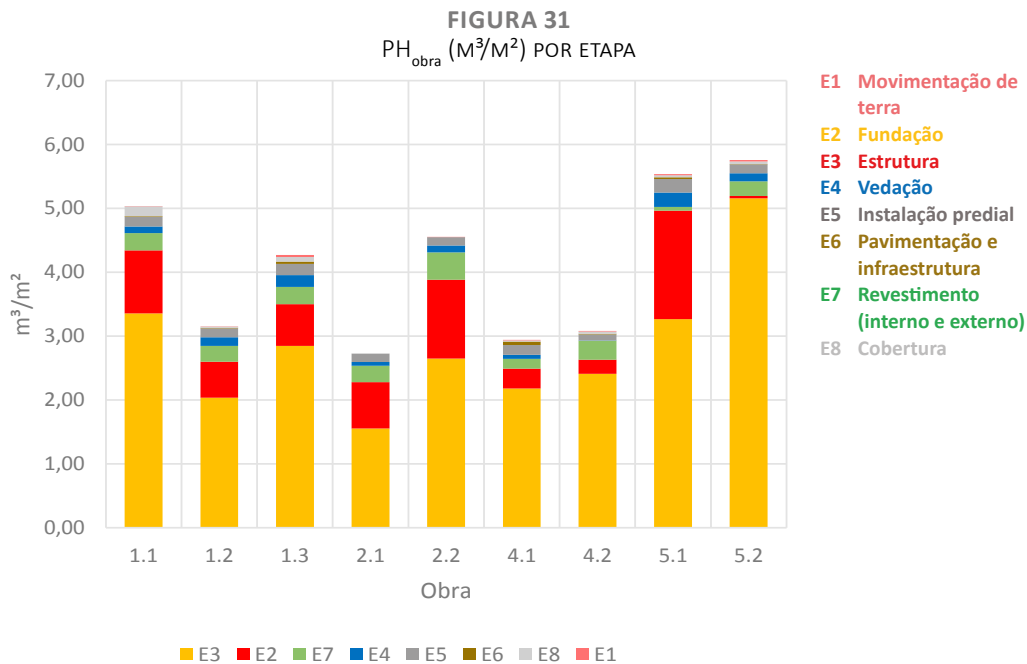


4.1.1.2 Por etapa de obra

As etapas mais relevantes, como esperado, são aquelas que empregam maiores quantidades de aço, concreto, blocos, lajes pré-fabricadas e revestimentos, sendo estas E2 (fundação), E3 (estrutura) e E7 (revestimentos), com importante contribuição da E4 (vedação). Essa etapas se destacam tanto na  $PH_{obra}$  ( $m^3$ ), como consta na **Figura 30**, quanto na  $PH$  ( $m^3/m^2$ ) apresentada na **Figura 31**.



A etapa de estrutura (E3) corresponde quase sempre a mais de 50% da  $PH_{obra}$ , sendo seguida por fundações (E2) e revestimentos (E7). Unidas estas etapas representam entre 84,6% e 97,5% da  $PH_{obra}$ .





**TABELA 27**

PH<sub>obra</sub> ETAPA – DIRETA, INDIRETA, POR ETAPA EM M<sup>3</sup>

Obra	Análise rápida (m <sup>3</sup> )		Detalhada (m <sup>3</sup> )											
	Direta	Indireta	Total	Direta	Indireta	Total	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1.1	2.164	79.530	81.694	2.942	71.232	74.173	20,6	14.507,0	49.365,9	1.557,7	2.199,7	168,4	3.982,5	2.228,6
1.2	508	37.561	38.070	862	28.363	29.225	49,0	5.187,2	18.807,7	1.247,0	1.303,4	52,9	2.301,6	159,9
1.3	3.092	51.765	54.857	4.058	47.742	51.799	385,0	7.889,6	34.549,2	2.243,9	2.148,5	429,2	3.302,7	855,0
2.1	933	44.375	45.308	1.595	47.545	49.140	0,0	13.342,5	28.446,6	1.149,7	2.383,5	0,0	4.657,0	26,1
2.2	164	32.230	32.394	356	46.558	46.914	45,9	13.367,8	28.694,7	1.167,5	1.409,3	0,0	4.674,9	0,0
3.1	557	55.975	56.532	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1	2.532	50.428	52.960	2.674	49.590	52.265	132,5	5.788,6	40.292,5	1.161,1	2.879,4	965,9	2.789,2	371,3
4.2	6.245	208.597	214.842	7.699	183.716	191.415	656,8	14.831,8	164.472,1	275,2	6.478,4	752,4	20.304,7	2.265,5
5.1	9.037	112.355	121.393	8.889	139.954	148.843	464,5	45.606,9	87.548,7	6.044,5	5.625,4	737,9	1.565,0	871,8
5.2	2.133	111.232	113.365	2.481	116.007	118.488	446,8	720,6	105.051,2	2.535,8	2.844,7	123,8	4.672,7	829,8

**TABELA 28**

PH<sub>obra</sub> POR ETAPA – % DIRETA, INDIRETA, POR ETAPA

Obra	Análise rápida (%)		Análise detalhada (%)											
	Direta	Indireta	Total	Direta	Indireta	Total	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1.1	2,6%	97,4%	100,0%	4,0%	96,0%	100,0%	0,0%	19,6%	66,6%	2,1%	3,0%	0,2%	5,4%	3,0%
1.2	1,3%	98,7%	100,0%	2,9%	97,1%	100,0%	0,2%	17,7%	64,4%	4,3%	4,5%	0,2%	7,9%	0,5%
1.3	5,6%	94,4%	100,0%	7,8%	92,2%	100,0%	0,7%	15,2%	66,7%	4,3%	4,1%	0,8%	6,4%	1,7%
2.1	2,1%	97,9%	100,0%	3,2%	96,8%	100,0%	0,0%	27,2%	57,9%	2,3%	4,9%	0,0%	9,5%	0,1%
2.2	0,5%	99,5%	100,0%	0,8%	99,2%	100,0%	0,1%	28,5%	61,2%	2,5%	3,0%	0,0%	10,0%	0,0%
3.1	1,0%	99,0%	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1	4,8%	95,2%	100,0%	5,1%	94,9%	100,0%	0,3%	11,1%	77,1%	2,2%	5,5%	1,8%	5,3%	0,7%
4.2	2,9%	97,1%	100,0%	4,0%	96,0%	100,0%	0,3%	7,7%	85,9%	0,1%	3,4%	0,4%	10,6%	1,2%
5.1	7,4%	92,6%	100,0%	6,0%	94,0%	100,0%	0,3%	30,6%	58,8%	4,1%	3,8%	0,5%	1,1%	0,6%
5.2	1,9%	98,1%	100,0%	2,1%	97,9%	100,0%	0,4%	0,6%	88,7%	2,1%	2,4%	0,1%	3,9%	0,7%

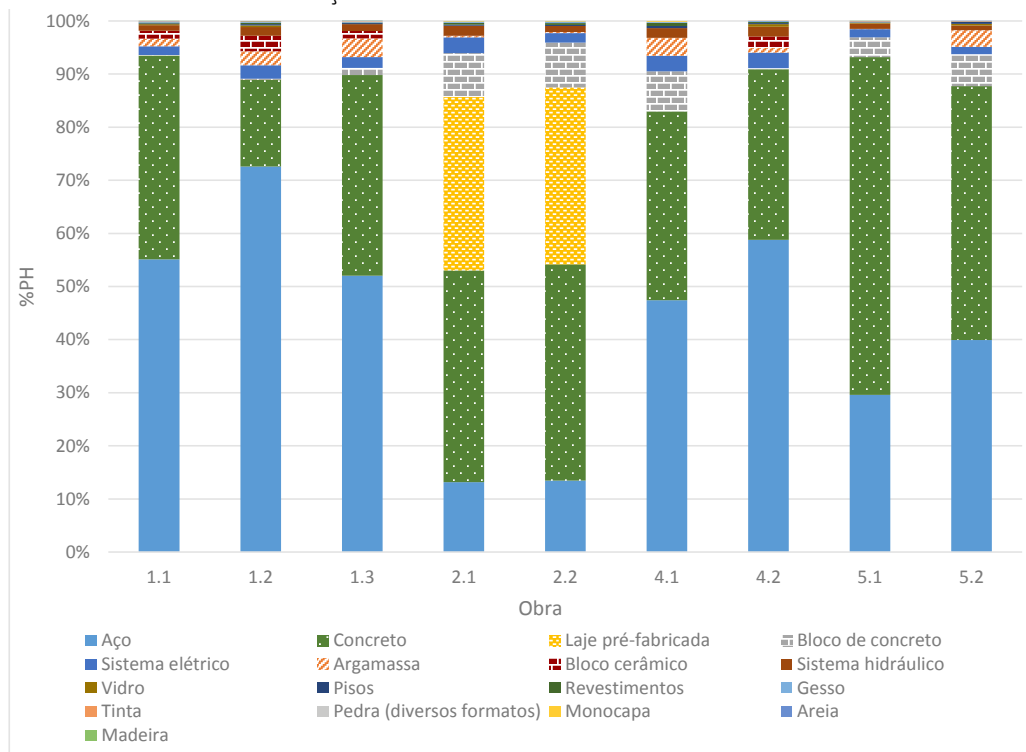




4.1.1.3 Por material

No que se refere aos materiais, aço e concreto possuem maior importância em todas as obras, os quais em conjunto totalizam entre 60% e 95% PH<sub>obra,i,azul</sub>. A depender do método construtivo, lajes pré-fabricadas e blocos também possuem significância alta (obras 2.1 e 2.2).

FIGURA 32 PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DOS MATERIAIS NA PH INDIRETA



Avaliando-se cada um dos materiais de acordo com suas pegadas específicas, isto é, em função da ACT, chega-se a valores em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> conforme a **Tabela 29**.

TABELA 29 PH INDIRETA POR MATERIAL EM M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup>

Material	PH em m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>								
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Aço	2,62	2,20	2,01	0,34	0,58	1,27	1,58	1,49	2,27
Concreto	1,82	0,50	1,46	1,03	1,75	0,95	0,86	3,21	2,72
Laje pré-fabricada	0,00	0,00	0,00	0,85	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Bloco de concreto	0,00	0,01	0,05	0,21	0,36	0,20	0,01	0,19	0,34
Sistema elétrico	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Argamassa	0,07	0,08	0,14	0,01	0,01	0,09	0,02	0,00	0,18



Material	PH em m³/m²								
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Sistema hidráulico	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cimento	0,09	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,01
Bloco cerâmico	0,07	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
Pisos	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
Revestimentos	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Vidro	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02
Gesso	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Tinta	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Monocapa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedra (diversos formatos)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Areia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**TABELA 30**  
PH POR MATERIAL (MAT1) EM M³

Material (MAT1)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Aço	38.558,8	20.361,4	24.430,3	6.267,0	6.267,0	23.475,9	108.013,5	40.028,2	46.208,0
Concreto	26.849,3	4.574,0	17.737,0	18.954,2	18.954,2	17.602,6	58.932,5	86.007,7	55.316,4
Laje pré-fabricada	0,0	0,4	0,0	15.517,4	15.517,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Bloco de concreto	68,2	52,4	644,9	3.918,8	3.918,8	3.731,5	422,0	4.980,4	6.967,5
Sistema elétrico	1.147,8	720,6	946,4	1.430,1	845,6	1.443,0	5.320,9	2.092,1	1.588,8
Argamassa	992,1	732,9	1.654,9	101,0	74,9	1.669,2	1.623,7	46,9	3.659,7
Sistema hidráulico	735,8	461,9	606,6	916,7	542,1	925,0	3.410,9	1.341,1	1.018,4
Bloco cerâmico	1.067,3	818,4	650,7	20,9	1,6	0,0	3.945,3	0,0	0,0
Vidro	123,7	85,6	3,3	0,0	0,0	0,0	861,1	280,9	355,4
Pisos	98,3	68,1	91,2	80,7	95,0	200,4	394,5	36,7	417,3
Revestimentos	126,7	65,0	60,8	163,6	163,6	286,0	370,6	3,6	3,5
Gesso	71,8	44,6	52,2	124,7	128,2	78,2	325,6	129,7	0,2
Tinta	91,9	38,7	66,0	0,0	0,0	0,0	31,4	161,6	112,5
Pedra (diversos formatos)	5,2	7,7	12,0	4,3	4,3	26,6	2,3	39,0	73,8
Monocapa	0,0	0,0	0,0	45,3	45,3	71,3	0,0	0,0	0,0



Material (MAT1)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Areia	8,7	2,7	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	7,9
Madeira	17,8	9,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	23,5	0,0
<b>Por obra</b>	<b>71.231,8</b>	<b>28.363,3</b>	<b>47.741,5</b>	<b>47.544,8</b>	<b>46.557,9</b>	<b>49.590,2</b>	<b>183.715,5</b>	<b>139.953,9</b>	<b>116.006,8</b>

**TABELA 31**  
PH POR MATERIAL (MAT1) EM %

Material (MAT1)	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	4.1	4.2	5.1	5.2	% média	% média acum.
Aço	54%	72%	51%	13%	13%	47%	59%	29%	40%	42%	42%
Concreto	38%	16%	37%	40%	41%	35%	32%	61%	48%	39%	81%
Laje pré-fabricada	0%	0%	0%	33%	33%	0%	0%	0%	0%	7%	88%
Bloco de concreto	0%	0%	1%	8%	8%	8%	0%	4%	6%	4%	92%
Sistema elétrico	2%	3%	2%	3%	2%	3%	3%	1%	1%	2%	94%
Argamassa	1%	3%	3%	0%	0%	3%	1%	0%	3%	2%	96%
Sistema hidráulico	1%	2%	1%	2%	1%	2%	2%	1%	1%	1%	97%
Cimento	2%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	1%	98%
Bloco cerâmico	1%	3%	1%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	99%
Revestimentos	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	99%
Pisos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	99%
Vidro	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Gesso	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Tinta	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Monocapa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Pedra (diversos formatos)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Madeira	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Areia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

4.1.1.2 Pegadas hídricas cinzas -  $PH_{obra,d,cinza}$  e  $PH_{obra,i,cinza}$

As pegadas hídricas cinzas de obra ( $PH_{obra,d,cinza}$  e  $PH_{obra,i,cinza}$ ) ou não foram calculadas ou têm valor igual a zero pelos seguintes motivos:

- $PH_{obra,d,cinza}$ : como todas as obras analisadas encontram-se em áreas urbanizadas e providas de coleta de esgotos, os efluentes produzidos são lançados em rede pública. Dada a impossibilidade de levantamento de dados mais precisos sobre a destinação dos esgotos



coletados por parte da concessionária durante a elaboração deste estudo, assumiu-se que, frente às condições existentes, os efluentes seguem para tratamento em ETE municipal, o que implica em  $PH_{obra,d,cinza} = 0$ .

- $PH_{obra,i,cinza}$ : como estudado no item 1.3 e explicado nos itens 2.1.2 e 2.1.4, atualmente são virtualmente inexistentes coeficientes de  $PH_{cinza}$  em literatura, inviabilizando seu cálculo. Ainda que a metodologia apresente e inclua essa componente em sua estrutura, não foi possível a realização dos cálculos.

Portanto, nesse caso a  $PH_{obra}$  será igual somente à parcela referente à  $PH_{azul}$ , ou seja.

$$PH_{obra} = PH_{(obra,d,azul)} + PH_{(obra,i,azul)}$$

#### 4.1.2 Pegada hídrica de uso - $PH_{uso}$

O cálculo de  $PH_{uso}$  requer a estimativa de condições futuras de operação da edificação, o que nem sempre é simples durante a concepção da edificação. Como abordado no item 3.3.1.1, recomenda-se que a  $PH_{uso}$  seja quantificada tendo como base o número de ocupantes e em demandas per capita calculadas com base em características de ocupação da edificação e na existência ou não de medidas que promovam sua redução, o que pode ser obtido junto às disciplinas de hidráulica, arquitetura e em estudos específicos de avaliação de eficiência ambiental e/ou de obtenção de certificações ambientais.

As premissas adotadas para cálculo de  $PH_{uso,d,azul}$  e  $PH_{uso,d,cinza}$  são as apresentadas na **Tabela 32**, e destacam-se abaixo duas delas:

- Com exceção de duas obras (5.1 e 5.2), não foi possível estimar as demandas per capita a partir das bases documentais disponibilizadas, adotando-se valores genéricos.
- Assim como se considerou para  $PH_{obra,d,cinza}$ , adotou-se que os empreendimentos irão lançar seus efluentes em rede coletora dotada de tratamento, ou seja,  $PH_{uso,d,cinza} = 0$ .

Esses valores foram utilizados para que fosse possível a determinação da ordem de grandeza da  $PH_{uso}$ , e é evidente que devem ser adaptados à realidade de cada uma das edificações avaliadas.

**TABELA 32**  
PREMISSAS PARA CÁLCULO DE  $PH_{uso}$

Escopo	Variável	Fonte de dados	Valor adotado
Projeto	Vida útil do projeto (VUP)	Estabelecido em projeto ou por instruções normativas	50 anos <sup>(1)</sup>
	Categoria de agentes consumidores	Por tipologia do edifício	Residentes
Ocupação da edificação	Número de residentes	Arquitetura	Número de unidades x 3,1 <sup>(2)</sup>
	Período ocorre demanda	Tipo de operação	Residentes: 365 dias/ano
	Demanda de água per capita	Valores de estudos municipais ou bases de dados hidrográficas, como o SNIS	150 litros/residente/dia



Escopo	Variável	Fonte de dados	Valor adotado
Ocupação da edificação	Csan	Valores de referência para uso sanitário	0,8
	Presença de usos específicos relevantes?	Projetos das disciplinas específicas	Não
	Carga per capita de DBO <sub>5,20</sub>	Valor obtido por análise do efluente ou referência normativa	54g DBO <sub>5,20</sub> /hab/dia <sup>(3)</sup>
Infraestrutura de saneamento	Tratamento de esgotos	Cenário de acordo com a tecnologia aplicada no edifício ou disponível na rede de coleta	Lançamento em rede de coleta provida de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). $PH_{uso,d,cinza} = 0$

<sup>(1)</sup> Valor de VUP previsto para a estrutura na ABNT NBR 15575:2013

<sup>(2)</sup> IBGE - Censo demográfico 2010

<sup>(3)</sup> Jordão & Pessoa (2005)

A **Tabela 33** apresenta os valores absolutos de  $PH_{uso,d,azul}$  para um ano de operação (m<sup>3</sup>/ano) e para a vida útil de projeto (m<sup>3</sup>/VUP), bem como os valores específicos em função do número de agentes consumidores (m<sup>3</sup>/AC/ano e m<sup>3</sup>/AC/VUP).

**TABELA 33**

RESULTADOS DE CÁLCULO DE PHUSO CONSIDERANDO SOMENTE RESIDENTES COMO AC

Obra	Nº de unidades habitacionais	Nº de AC	Demanda per capita (l/AC/dia)	Valores absolutos de $PH_{uso,d,azul}$		Valores específicos de $PH_{uso,d,azul}$	
				m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /VUP	m <sup>3</sup> /AC.ano	m <sup>3</sup> /AC/VUP
1.1	114	353	150	3.865	193.268	11,0 <sup>(2)</sup>	547,5 <sup>(3)</sup>
2.1	300	930	150	10.184	509.175	11,0 <sup>(2)</sup>	547,5 <sup>(3)</sup>
2.2	255	791	150	8.661	433.073	11,0 <sup>(2)</sup>	547,5 <sup>(3)</sup>
3.1	288	893	150	9.778	488.918	11,0 <sup>(2)</sup>	547,5 <sup>(3)</sup>
4.1	252	781	150	8.552	427.598	11,0 <sup>(2)</sup>	547,5 <sup>(3)</sup>
5.1	108	854 <sup>(1)</sup>	190 <sup>(1)</sup>	11.814	592.249	13,9	693,5
5.2	60	520 <sup>(1)</sup>	196 <sup>(1)</sup>	7.444	372.008	14,3	715,4

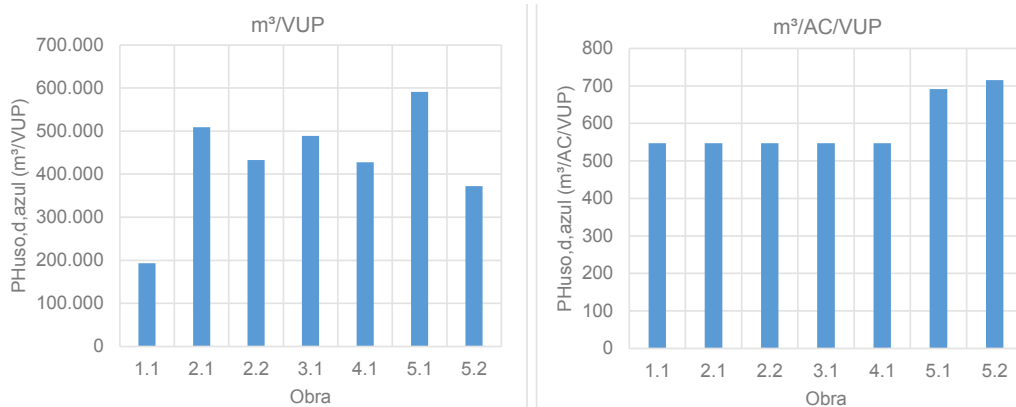
<sup>(1)</sup> Valores fornecidos pela Construtora 5. O número de hab/unidade habitacional, ainda que bastante alto, foi mantido.

<sup>(2)</sup> e <sup>(3)</sup> Valores iguais devido às premissas padronizadas para cálculo



**FIGURA 33**

RESULTADOS DE  $PH_{uso,d,azul}$  (M<sup>3</sup>) AO LONGO DA VIDA ÚTIL DOS EMPREENDIMENTOS



A pegada hídrica para a fase de uso das edificações possui ordem de grandeza de centenas de milhares de m<sup>3</sup>, superando muito os de  $PH_{obra}$ . Essa relação é de alguma forma esperada, já que a ocupação contínua ao longo da vida útil (adotada como igual a 50 anos para o cálculo) gera inevitáveis impactos sobre recursos hídricos.

**Potencial de redução de  $PH_{uso,d,azul}$  por meio de ações de gestão da demanda**

O ANEXO 5 apresenta estudo quantitativo sobre como medidas que visam à redução da demanda de água da edificação, como opção por peças hidrossanitárias eficientes, impactam na  $PH_{uso}$ .

**4.1.3 Pegada hídrica da edificação -  $PH_{edif}$**

A pegada hídrica total dos edifícios ( $PH_{edif}$ ) engloba a  $PH_{obra}$  e a  $PH_{uso}$ , cujos resultados foram apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2, respectivamente. Conforme a estrutura de cálculo de  $PH_{edif}$  tem-se:

$$PH_{edif} = PH_{obra} + PH_{uso}$$

$$PH_{edif} = PH_{obra,d,azul} + PH_{obra,i,azul} + \cancel{PH_{obra,d,cinza}^0} + \cancel{PH_{obra,i,cinza}^0} + PH_{uso,d,azul} + \cancel{PH_{uso,d,cinza}^0}$$

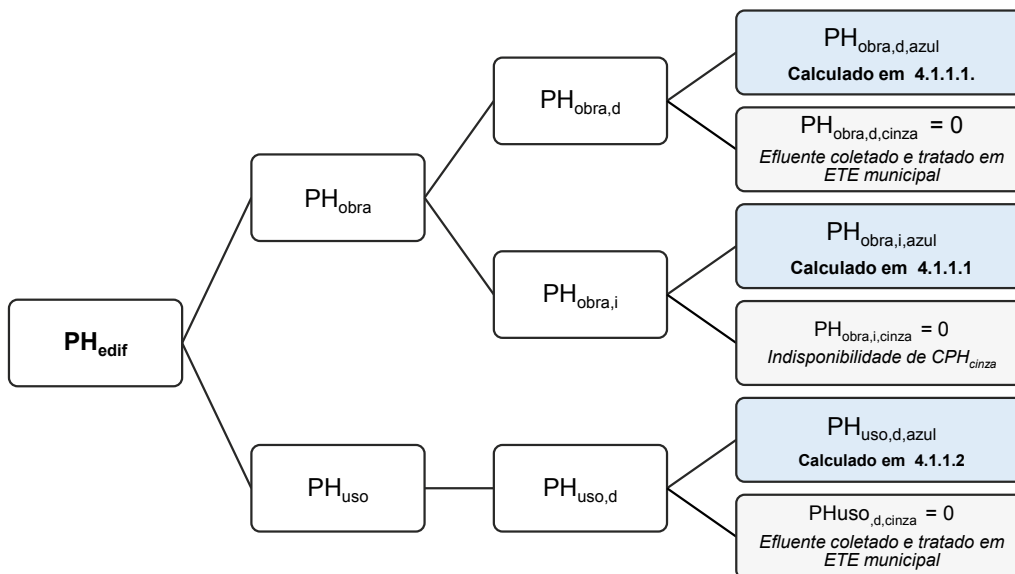
Como explicado nos itens anteriores, as parcelas de  $PH_{cinza}$  não foram consideradas. Os resultados apresentam somente a  $PH_{azul}$  em razão da adoção do tratamento de efluentes em ETE para o cálculo das parcelas diretas de  $PH$  e devido à dificuldade de obtenção de coeficientes de pegada hídrica cinza para os materiais ( $CPH_{cinza}$ ).

A estrutura de cálculo de  $PH_{edif}$  bem como informações sobre todas as componentes consideradas, segue ilustrada na **Figura 34**.



**FIGURA 34**

ESTRUTURA DE CÁLCULO DE PEGADA HÍDRICA E RESULTADOS ESPERADOS DA METODOLOGIA



A **Tabela 34** compila os resultados totais de  $PH_{obra}$  e  $PH_{uso}$  para todo o período de obra e para a vida útil de projeto de cada edifício. Como destacado pela **Figura 35**, a relevância das duas fases para a  $PH_{edif}$  é significativamente diferente. Considerando como premissa a inexistência de medidas de redução de consumo direto de água no edifício, a  $PH_{uso,d,azul}$  é preponderante sobre o resultado total ( $PH_{edif}$ ), representando entre 70,3% e 93,0% da  $PH_{edif}$ .

**TABELA 34**

VALORES DE  $PH_{edif}$  E DECOMPOSIÇÃO EM  $PH_{obra,d,azul}$ ,  $PH_{obra,i,azul}$  E  $PH_{uso}$

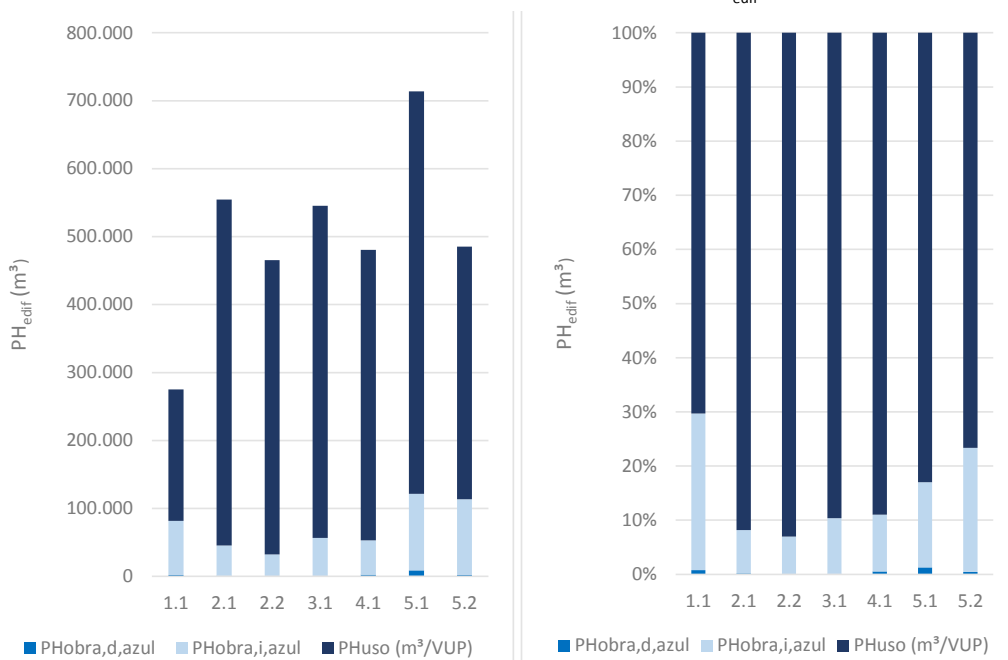
Obra	$PH_{obra}$ (m <sup>3</sup> )			$PH_{uso}$ (m <sup>3</sup> /VUP)	$PH_{edif}$ (m <sup>3</sup> )
	$PH_{obra,d,azul}$	$PH_{obra,i,azul}$	$PH_{obra}$		
1.1	2.164	79.530	81.694	193.268	274.962
2.1	933	44.375	45.308	509.175	554.483
2.2	164	32.230	32.394	433.073	465.467
3.1	557	55.975	56.532	488.918	545.450
4.1	2.532	50.428	52.960	427.598	480.558
5.1	9.037	112.355	121.392	592.249	713.641
5.2	2.133	111.232	113.365	372.008	485.373



**TABELA 35**  
PARTICIPAÇÃO DE  $PH_{obra,d,azul}$ ,  $PH_{obra,i,azul}$  E  $PH_{uso}$  NA  $PH_{edif}$

Obra	$PH_{obra}$ (m <sup>3</sup> )			$PH_{uso}$ (m <sup>3</sup> /VUP)	$PH_{edif}$ (m <sup>3</sup> )
	$PH_{obra,d,azul}$	$PH_{obra,i,azul}$	$PH_{obra}$		
1.1	0,8%	28,9%	29,7%	70,3%	100,0%
2.1	0,2%	8,0%	8,2%	91,8%	100,0%
2.2	0,0%	6,9%	7,0%	93,0%	100,0%
3.1	0,1%	10,3%	10,4%	89,6%	100,0%
4.1	0,5%	10,5%	11,0%	89,0%	100,0%
5.1	1,3%	15,7%	17,0%	83,0%	100,0%
5.2	0,4%	22,9%	23,4%	76,6%	100,0%

**FIGURA 35**  
CONTRIBUIÇÃO DAS PH DE OBRA E DE USO NA  $PH_{edif}$



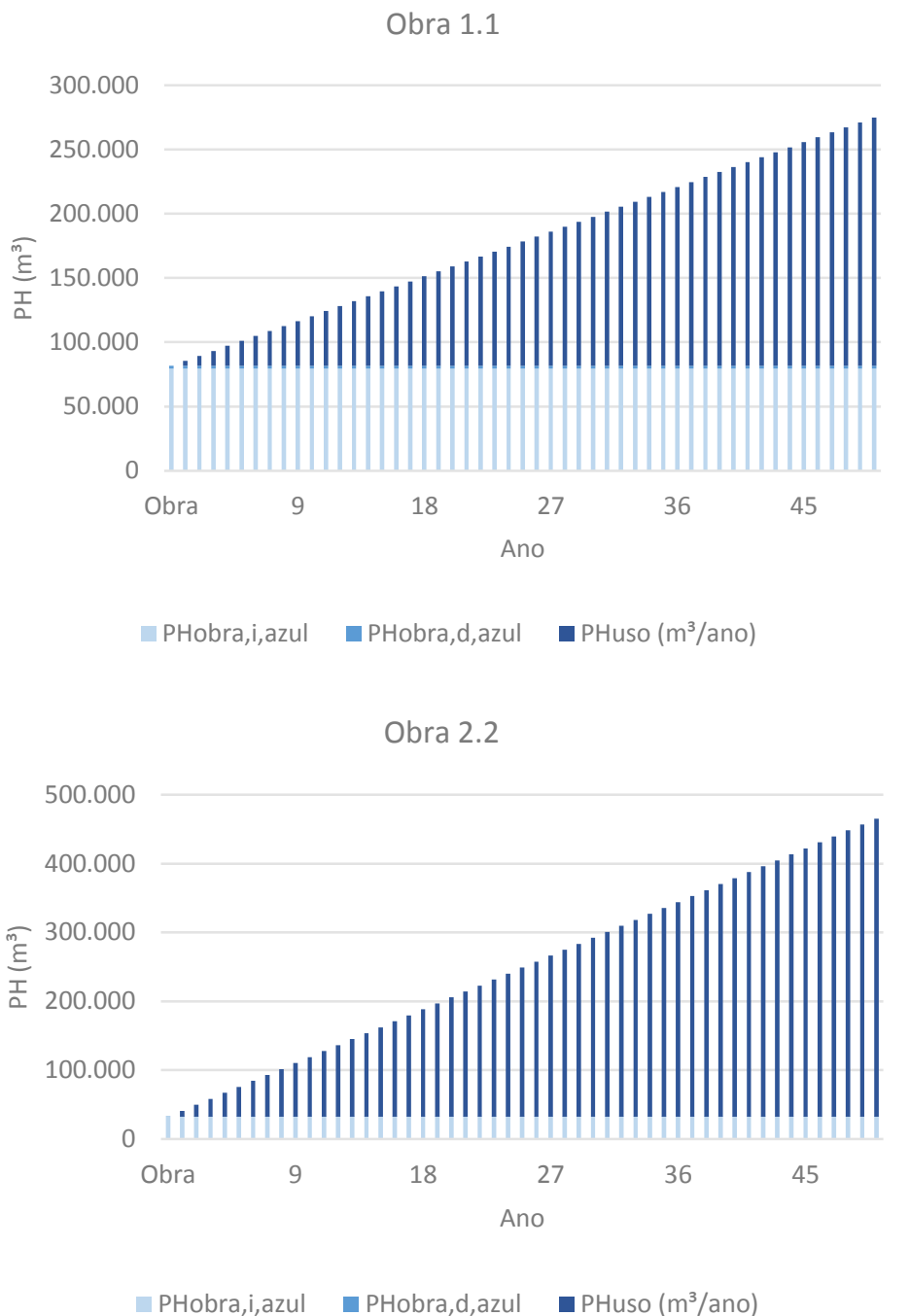
Além dos valores absolutos finais, é possível também se verificar o comportamento dos valores de PH acumulados ao longo da vida útil, considerando-se tanto a obra como o uso da edificação, conforme gráficos a seguir.





FIGURA 36

$PH_{obra}$  E  $PH_{uso}$  ACUMULADAS PARA AS OBRAS 1.1, 2.2 E 5.1



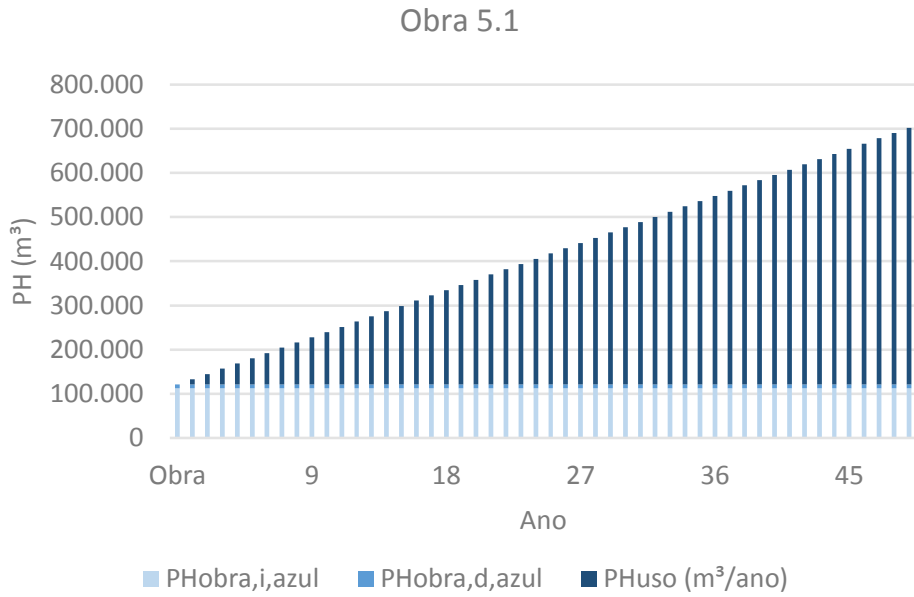
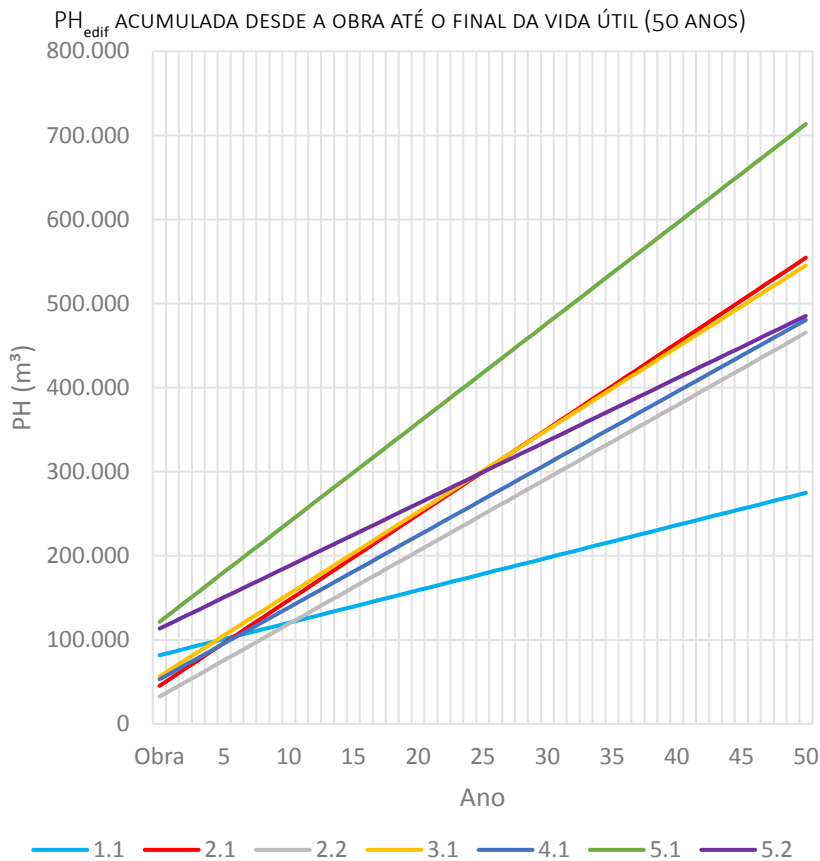


FIGURA 37





## 4.2 Comparação dos resultados com a literatura

A literatura não reporta cálculos de PH para a fase de uso ( $PH_{uso}$ ) e por isso as comparações serão realizadas somente para a  $PH_{obra}$ . Dentro da  $PH_{obra}$ , também não há referências sobre a  $PH_{cinza}$  e, portanto, as análises serão restritas à  $PH_{obra,azul}$ .

Avaliando o cenário internacional de cálculo de pegada hídrica, a metodologia proposta neste guia apresenta-se bem posicionada com relação a outros estudos realizados. Foram consultados cinco estudos para comparação com os resultados do PH, incluindo obras na Austrália (McCormack et al., 2007), Índia (Bardhan, 2011), China (Meng et al., 2014) e no Brasil (Souza, 2014; Saade et al., 2014). É importante ressaltar que o escopo dos estudos apresentados não é equivalente em todos os casos, principalmente no que se refere ao ponto de truncamento escolhido na determinação do escopo. Apesar disso, o indicador por área para a PHdireta,azul resultante das análises práticas feitas pela Infinitytech aproxima-se em ordem de grandeza dos valores da literatura (**Figura 38**).

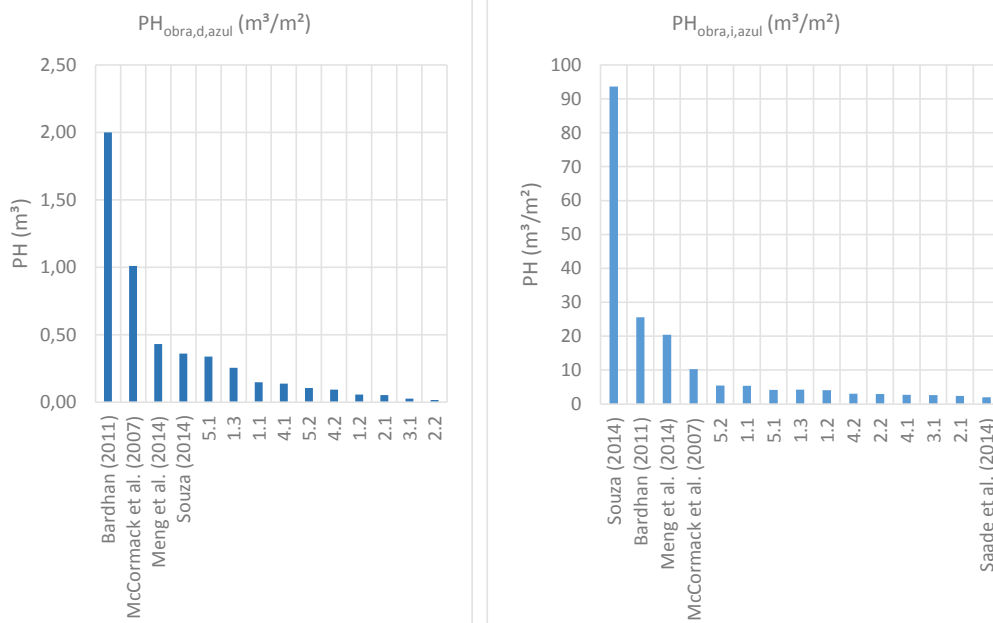
**TABELA 36**

$PH_{obra}$  ESPECÍFICA DIRETA E INDIRETA- COMPARAÇÃO COM LITERATURA

Estudo/obra	$PH_{obra,d,azul}$ (m³/m²)	$PH_{obra,i,azul}$ (m³/m²)	Total (m³/m²)
Souza (2014)	0,36	93,6	93,6
Bardhan (2011)	2	25,6	25,6
Meng et al. (2014)	0,43	20,4	20,4
McCormack et al. (2007)	1,01	10,3	10,3
5.2	0,10	5,5	5,6
1.1	0,15	5,4	5,6
5.1	0,34	4,2	4,5
1.3	0,25	4,3	4,5
1.2	0,05	4,1	4,1
4.2	0,09	3,1	3,1
2.2	0,02	3,0	3,0
4.1	0,14	2,7	2,9
3.1	0,03	2,6	2,6
2.1	0,05	2,4	2,5
Saade et al. (2014)	-	2,0	2,0



FIGURA 38

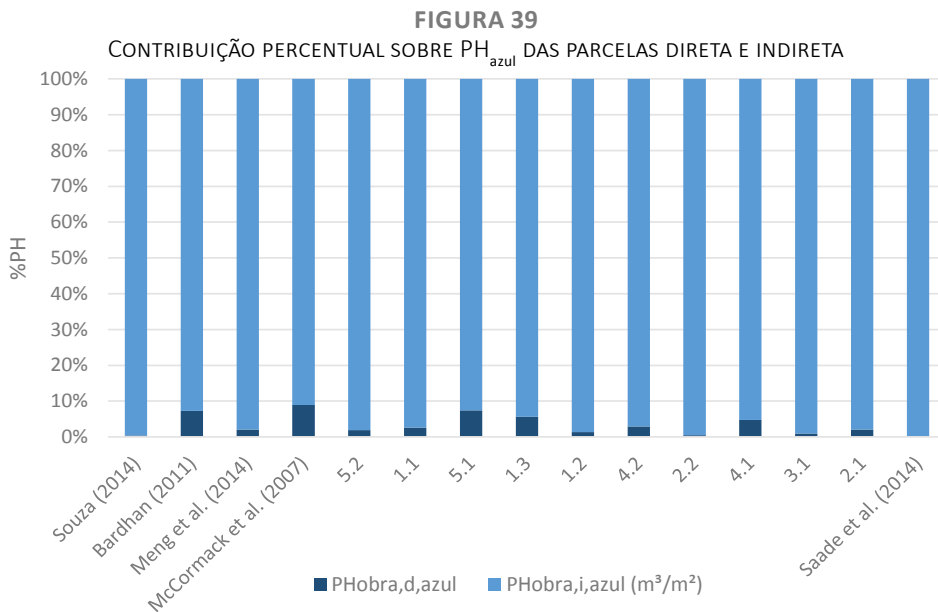
PH<sub>obra</sub> ESPECÍFICA DIRETA E INDIRETA – COMPARAÇÃO COM LITERATURA

NOTA: McCormack et al. (2007) apresentam faixa de valores de 0,01 a 2,0. O gráfico representa o valor médio.

Ainda que se mantenham na mesma ordem de grandeza, as diferenças entre os resultados obtidos neste guia e os de literatura são significativas. Destacam-se dois principais fatores que possivelmente geram as diferenças observadas.

- **Adoção de escopos (ponto de truncamento) distintos em cada um dos estudos.** Souza (2014), por exemplo, considera pegadas hídricas de materiais consumidos por funcionários da obra fora do canteiro, como aquisição de vestimentas, definição metodológica pouco ortodoxa. Já no caso de Meng et al. (2014), os autores consideram as apropriações de água ocorridas no próprio processo de tratamento e distribuição da água da concessionária, aspecto também pouco ortodoxo nos cálculos de PH.
- **Heterogeneidade dos valores de CPH.** Como pode ser verificado no ANEXO 1, há expressiva variabilidade nos valores de CPH de acordo com a fonte para materiais da construção civil. Isso inevitavelmente leva a valores de PH distintos. Neste estudo, foram utilizados os CPH mais consistentes encontrados em literatura, os quais nem sempre são exatamente os mesmos adotados por estudos específicos.

Além disso, a contribuição proporcional de cada parcela na PH<sub>obra</sub> (direta e indireta) também é um fator a ser avaliado. Conforme Figura 39, as simulações apresentaram contribuição mais significativa da parcela de PH indireta do que os demais estudos, mas ainda próxima dos resultados apresentados por Meng et al. (2014) e McCormack et al. (2007).

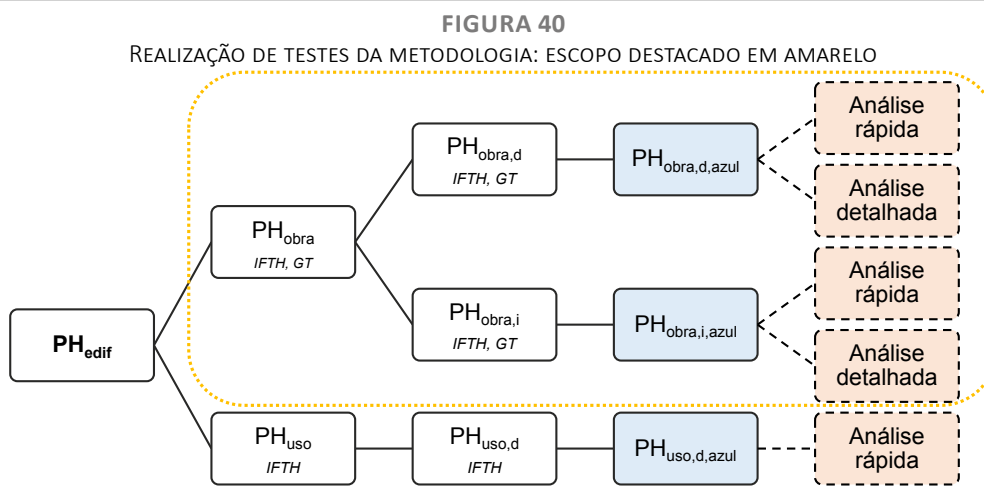


### 4.3 Outras análises

#### 4.3.1 Comparação entre os resultados da Infinitytech e do GT

Uma maneira objetiva de se avaliar se houve compreensão satisfatória dos procedimentos de cálculo é a comparação entre os resultados de PH obtidos pela própria Infinitytech (IFTH) e aqueles enviados pelo GT, o que foi realizado por intermédio do uso da  $FPH_{edif}$  (vide item 2.2.4). A assunção lógica adotada é que a proximidade entre os valores indica boa compreensão de quais são os valores de entrada, sua forma de inserção e o que deve ser considerado no cálculo da PH.

Como base para avaliação, utilizou-se a  $PH_{obra'}$ , a qual foi calculada tanto pela Infinitytech quanto pelo GT (destaque na **Figura 38**). Além disso, dos 10 edifícios existentes somente 6 foram calculados pelo GT, de maneira que a amostra disponível para comparação é menor do que a simulada pela Infinitytech.





Os resultados demonstraram notável similaridade, conforme se verifica na **Tabela 37** e na **Figura 41**. Para alguns empreendimentos, os valores foram praticamente coincidentes, como no caso do 5.1. Ressalta-se que as empresas não tiveram acesso prévio aos arquivos preenchidos pela Infinitytech (IFTH).

**TABELA 37**

COMPARAÇÃO ENTRE VALORES DE  $PH_{obra,azul}$  CALCULADOS PELA INFINITYTECH E PELO GT NA ANÁLISE RÁPIDA

Obra	$PH_{obra}$ (m <sup>3</sup> )		$PH_{obra}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )		Dif. (%)
	IFTH <sup>(1)</sup>	GT <sup>(2)</sup>	IFTH <sup>(1)</sup>	GT <sup>(2)</sup>	
1.1	81.694	57.899	5,6	3,9	29%
1.2	38.070	(3)	4,1	(3)	-
1.3	54.857	(3)	4,5	(3)	-
2.1	45.308	(3)	2,5	(3)	-
2.2	32.394	38.853	3,0	3,6	20%
3.1	56.532	53.191	2,6	2,5	6%
4.1	52.960	59.491	2,9	3,2	12%
4.2	214.842	(3)	3,1	(3)	-
5.1	121.393	124.360	4,5	4,6	2%
5.2	113.365	87.036	5,6	4,3	23%

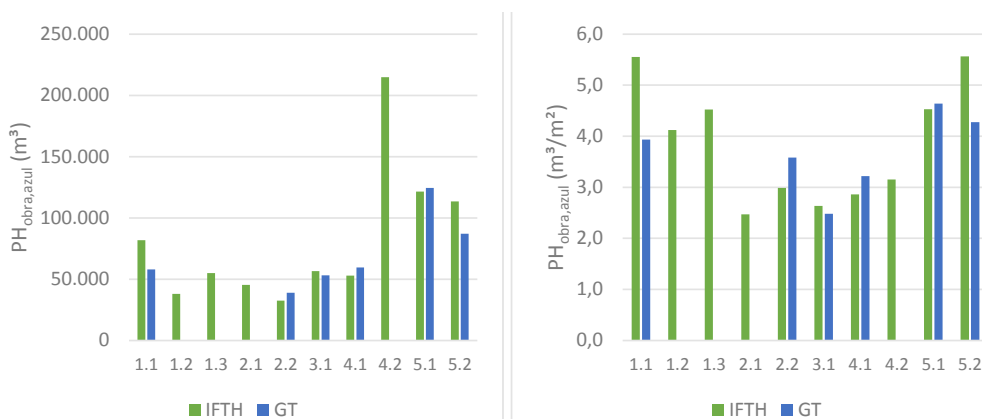
<sup>(1)</sup> IFTH: valores calculados pela Infinitytech previamente ao início da etapa de testes

<sup>(2)</sup> GT: valores calculados pelos participantes do GT durante a etapa de testes

<sup>(3)</sup> Empresa não realizou o cálculo detalhado.

**FIGURA 41**

GRÁFICOS DE COMPARAÇÃO DE VALORES DE  $PH_{obra,azul}$  CALCULADOS PELA INFINITYTECH E PELO GT – VALORES ABSOLUTOS (ESQ.) E INDICADOR EM M<sup>3</sup>/M<sup>2</sup> (DIR.)





### 4.3.2 Análise rápida vs. análise detalhada para $PH_{obra}$

Nos testes realizados pela Infinitytech, os resultados da AR para  $PH_{obra,azul}$  ficaram entre 320.000 e 215.000  $m^3$ , com valores específicos ( $m^3/m^2$ ) entre 2,5 e 5,6. Já para a análise detalhada (AD), valores absolutos estiveram entre 29.000 e 191.000  $m^3$ , e os específicos entre 2,7 e 5,8  $m^3/m^2$ . A **Tabela 38** apresenta as PH específicas e a diferença porcentual para AR e AD.

**TABELA 38**  
COMPARAÇÃO ENTRE AR E AD PARA  $PH_{obra,azul}$

Obra	$PH_{obra,azul}$ esp ( $m^3/m^2$ )		Dif. (%)
	Análise rápida	Análise detalhada	
1.1	5,6	5,0	12%
1.2	4,1	3,2	28%
1.3	4,5	4,3	5%
2.1	2,5	2,7	7%
2.2	3,0	4,3	30%
3.1	2,6	-	-
4.1	2,9	2,8	4%
4.2	3,1	2,8	11%
5.1	4,5	5,5	18%
5.2	5,6	5,8	3%
Média*	4,0	4,1	2%

\*Desconsiderando o empreendimento 3.1 nos cálculos de média

Vê-se que a variação foi muito sutil, com diferenças notáveis para apenas uma das obras (1.2). Assim, seja com menor ou maior detalhamento dos dados de entrada, as obras apresentam comportamento e grandezas semelhante em termos de  $PH_{obra}$  e, com isso, corroboram com a premissa de que os dois níveis de detalhe apresentam equivalência razoável em seus resultados. Isso se deve, em grande parte, à pouca especificidade dos CPH reportados na literatura. Para uma mesma categoria de materiais (MAT1), há diversos casos em que os itens detalhados (MAT2) possuem todos os mesmos valores de CPH. Como na AR o CPH de MAT1 é a média dos coeficientes de MAT2, espera-se, de fato, que não haja variação significativa.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E FUTUROS PASSOS

A metodologia de cálculo de pegada hídrica para edificações desenvolvida e apresentada neste guia é possivelmente a primeira do gênero no Brasil, já que busca estabelecer padrões e métricas comuns para a avaliação de pegada hídrica em todo o território nacional e inclui a participação ativa de agentes atuantes no mercado de edificações brasileiro. Desse modo, buscou-se estabelecer as bases iniciais sobre as quais novos estudos possam se ancorar para futuros aprimoramentos de aspectos que foram intencionalmente simplificados ou desconsiderados.

Todo o desenvolvimento apresentado foi baseado em dois grandes grupos de atividades: definições metodológicas a partir de estudos já consolidados na área, havendo notória prevalência de publicações internacionais e escassez de pesquisas nacionais; e participação ativa de agentes atuantes no mercado de edificações brasileiro. Esses procedimentos tiveram o intuito de desenvolver metodologia criteriosa e alinhada às boas práticas no tema e, ao mesmo tempo, aderente à realidade e às expectativas do setor de edificações.

Dado o caráter generalista da metodologia da Water Footprint Network (WFN), estudada no capítulo 1, diversas adaptações foram realizadas para adequação ao escopo deste trabalho, o que foi devidamente apresentado e justificado no capítulo 2. No mesmo capítulo também foram detalhadas as atividades de participação de agentes do mercado de edificações brasileiros, fundamentais colaboradores no desenvolvimento e aprimoramento deste guia.

Os procedimentos de cálculo de pegada hídrica detalhados e exemplificados no capítulo 3 expressam matematicamente as definições metodológicas adotadas, possibilitando a aplicação prática da metodologia apresentada no capítulo 4. A comparação com literatura especializada no tema demonstra que os resultados estão coerentes com o esperado, ainda que haja diferenças significativas.

Portanto, este guia contempla todas as atividades compreendidas como necessárias para o cálculo de pegada hídrica para edificações, permitindo que até mesmo profissionais não familiarizados com o tema compreendam os principais conceitos, consultem valores de referência e exemplos práticos e verifiquem os procedimentos gerais de cálculo. Complementarmente, este material também propõe padrões que, se utilizados em larga escala, podem possibilitar a homogeneização dos cálculos de PH pelo Brasil, permitindo comparabilidade entre os valores obtidos.

É importante destacar que a pegada hídrica, como indicador ambiental, carrega consigo vantagens e desvantagens em sua utilização. A compreensão das potencialidades e limitações da metodologia é fundamental para que sua aplicação seja adequada às finalidades propostas. Além disso, análises de desempenho ambiental devem, preferencialmente, ser realizadas considerando-se múltiplos indicadores que abrangem também outras áreas, como energia elétrica, gases de efeito estufa e resíduos sólidos, de modo que a complexidade da temática ambiental seja encarada de forma mais realista.

Em todo processo de pesquisa é fundamental que sejam sugeridos caminhos a serem seguidos por outros trabalhos, e os autores destacam abaixo alguns pontos compreendidos como potenciais objetos de interesse de novos estudos.

- **Ampliação da base de dados de coeficientes de pegada hídrica** azul e cinza para os principais materiais empregados em edificações, priorizando aqueles que contribuem mais intensamente na PH da edificação, como aço, concreto e argamassa. Estudos mais detalhados podem buscar a quantificação de diferentes traços de concreto, tipos de cimento, considerar uso ou não de aditivos, qualidade de aço diferentes etc., de modo que sejam possíveis comparações mais precisas que norteiem a escolha de materiais com menores valores de PH.





- **Desenvolvimento das fases 3 (avaliação de sustentabilidade) e 4 (formulação de resposta) da metodologia da WFN** O escopo deste guia contempla somente as fases 1 (definição de escopo e metas) e 2 (cálculo da PH) e, sem dúvidas, o desenvolvimento de aspectos referentes às duas etapas seguintes pode representar importantes avanços para o setor de edificações.
- **Aprimoramento da metodologia por meio de realização de testes em maior número de obras e empresas.** O GT formado para desenvolvimento colaborativo era composto por cinco empresas, e os cálculos foram realizados para 11 obras. A realização de testes e de avaliações com maior número de empreendimentos, em diferentes regiões brasileiras, com as mesmas e outras empresas, e até mesmo incluindo outras tipologias etc. permitirá a verificação da aplicabilidade, aderência e consistência da metodologia.
- **Realização de comparações de pegada hídrica com base em características específicas das obras, como sistemas construtivos.** Com a expansão do uso da metodologia de cálculo, será possível expandir a amostragem de obras, contemplando diversos sistemas e tecnologias construtivos, permitindo criar valores de referência para comparação de, por exemplo, edificações que empreguem estrutura convencional, estrutura metálica e alvenaria estrutural.
- **Comparação da PH com outros indicadores de impacto sobre os recursos hídricos.** A PH é um indicador quantitativo de comprometimento de recursos hídricos, mas não o único. A comparação de valores e classificações resultantes do uso da metodologia de PH com outros indicadores é desejável para que seja possível realizar avaliações sob diferentes óticas.
- **Criação de ferramentas/plataformas digitais para cálculo de PH de edificações.** Assim como a própria Water Footprint Network (WFN) disponibiliza ferramenta online de cálculo de pegada hídrica pessoal (ver links abaixo), a criação de plataforma web de cálculo de PH de edificações pode ser um importante instrumento na difusão do uso do indicador pelo setor. A ferramenta criada ao longo do desenvolvimento deste guia ( $FPH_{edif}$ , item 2.2.5) pode ser utilizada como base para tal, dado que os principais procedimentos matemáticos, condicionantes e definição de inputs/outputs já constam no arquivo. Além disso, a depender das condições de uso a serem aplicadas, a ferramenta online pode também ensejar a criação de bases de dados de PH de edificações muito amplas em todo território nacional. Os links para as calculadoras de PH da WFN são:
  - Calculadora simplificada: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/personal-water-footprint-calculator/>
  - Calculadora detalhada: <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/personal-water-footprint-calculator/personal-calculator-extended/>

Assim sendo, espera-se que as contribuições trazidas por este guia, juntamente com as que serão ainda desenvolvidas por outras iniciativas, tragam ganhos expressivos ao setor de edificações no que se refere à gestão de recursos hídricos, munindo tomadores de decisão e demais envolvidos com elementos práticos para planejamento e gestão de seus empreendimentos.



## ANEXO 1. Coeficientes de pegada hídrica (CPH) e categorização de materiais (MAT1 e MAT2)

### Coeficientes de PH (CPH)

O cálculo da pegada hídrica indireta depende dos coeficientes de pegada hídrica (CPH) e dos respectivos quantitativos. Para realização da análise prática da metodologia deste Guia foram adotados valores de coeficiente baseados na literatura nacional e internacional. A ainda incipiente produção científica sobre o tema aborda praticamente somente valores para a  $PH_{\text{azul}}$ , havendo somente um estudo que também considera a  $PH_{\text{cinza}}$  de materiais (GERBENS-LEENES, 2017). Por isso, e conforme já foi comentado no texto, apenas os coeficientes de  $PH_{\text{azul}}$  ( $CPH_{\text{azul}}$ ) foram aplicados nos cálculos demonstrados e exemplificados.

***Os valores de CPH apresentados e utilizados neste guia devem ser compreendidos como referências. Novos estudos podem atualizar os valores e incluir novos materiais.***

Para determinação de valores de CPH de referência, foi necessária adoção de alguns procedimentos específicos, os quais serão explicados a seguir.

- Para materiais que apresentaram somente um resultado na literatura, esse valor foi adotado como referência para cálculo. Exemplos: areia, gesso, bloco cerâmico, cimento CP-III, cobre etc.
- Para materiais com mais de um coeficiente na literatura, foram adotados os valores presentes em estudos considerados mais rigorosos ou a média entre os encontrados. Exemplos: tubos de PVC, aço, cimento CP-I e CP-II, concreto usinado, piso cerâmico, azulejo cerâmico.
- Houve materiais que não possuíam CPH em literatura (tela nervurada, laje pré-fabricada) e outros cujos valores se encontravam muito distanciados do esperado (com base em materiais semelhantes), como é o caso de bloco de concreto e argamassa. Para esses, foram realizadas composições a partir de CPH de outros materiais e de outras informações:



- **laje pré-fabricada (l/m<sup>3</sup>):** composição de concreto usinado e aço, na proporção de 71 kg aço/m<sup>3</sup> concreto;
- **argamassa (l/kg):** composição de cimento CP-II, cal hidratada e areia, traço 1 : 2 : 8;
- **monocapa (l/m<sup>2</sup>):** composição a partir de argamassa com aplicação de 5 kg/m<sup>2</sup>;
- **bloco de concreto (l/unid.):** composição a partir da massa por bloco (8 kg), dimensões (19x9x39 cm) e CPH do concreto usinado;
- **tela nervurada (l/m<sup>2</sup>):** composição a partir do CPH do aço e de massa específica de tela Q61 (0,97 kg/m<sup>2</sup>).

No caso específico de materiais que compõem os sistemas elétrico e hidráulico, adotou-se procedimento distinto. Esses sistemas são compostos por variedades muito grandes de materiais, o que inviabiliza a quantificação prática de cada um deles para composição. Posto isso, e dada também a limitação de dados de CPH, o cômputo da PH dos materiais que compõem esses sistemas será realizada de maneira particular, optando-se pela utilização de volume de PH/área total construída (ACT), ou m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, conforme segue abaixo.

- **Hidráulica:** CPH calculado com base nos quantitativos cedidos por empresas do GT e valores apresentados por Saade et al. (2014) e Souza (2014). Foram considerados valores de PH para: tubos de PVC e tubos de cobre. O valor calculado e adotado foi de 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
- **Elétrica:** CPH<sub>azul</sub> com base em Saade et al. (2014). O valor adotado, referente a conduítes/eletrodutos de PVC e cabos de cobre, foi de 0,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Essas simplificações possuem a vantagem de não requerer desagregação dos múltiplos materiais que compõem os sistemas prediais hidráulico e elétrico para cômputo da PHazul. De outra forma, a desvantagem é que não é possível realizar adequada comparação entre obras para esses sistemas, dado que todas elas terão o mesmo valor de PHazul em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. Tal divergência ressalta a importância da coleta de dados primários com fabricantes para a estruturação de um banco de dados robusto e representativo do cenário atual da construção civil no Brasil.



Material	Detalhe	Unidade Funcional (UF)	CPH <sub>azul</sub> (l/unid.func.)										CPH <sub>cinza</sub> (l/unid.func.)			
			Índia	Brasil	Belém (PA-Brasil)	Brasil	Fortaleza (CE-Brasil)	Finiândia	Brasil	Holanda	Valor de referência	Fonte		Detalhe	Observação	
Aço	CA-50	kg	200-250	-	-	10	67,3	9,0	-	76,87	67,3	Souza (2014)	-	Igual para todos os tipos de aço (bitolas e CA)	Holanda	2.270
Areia	Todos os tipos	m <sup>3</sup>	-	7,5	0,0	-	-	-	-	-	7,5	Silva & Violin (2013)	-	Igual para todos os tipos de areia (fina, média e grossa)	-	-
Argamassa	Todos os tipos Diferentes traços e varão a PH distintas	kg	-	0,10	40	-	-	-	-	-	0,80	Composição (cimento, cal hidratada e areia)	Traço adotado: 1 : 2 : 8 (cimento: cal : areia)	Composição realizada a partir dos CPHs de cimento CP-II, areia e cal hidratada. Consideração de traços diferentes conduzirá a PH diferente.	-	-
Azulejo / ladrilho	-	m <sup>2</sup>	-	-	-	de 12 a 24	-	-	-	-	12	Souza (2014)	-	-	-	-
Bloco cerâmico	09x19x39 cm	kg	4,7	-	-	-	-	-	-	-	4,7	Saade et al. (2014)	-	-	-	-
Bloco de concreto	09x19x39 cm Estrutural ou vedação	bloco	-	-	-	1,94(1)	-	-	-	-	13,4	A partir da PH de concreto	Calculado a partir da massa de concreto (não armado) por bloco e PH do concreto. Blocos de 8 kg. 9x19x39 cm.	-	-	-
Cal hidratada	-	kg	-	-	1,52	0,01(1)	-	-	-	-	1,52	Saade et al. (2014)	-	-	-	-
Cimento	CP-I	kg	1,00	-	0,1	0,45	-	-	-	2,17	0,5	Saade et al. (2014)	-	-	-	210
	CP-II	kg	-	-	2,44	-	-	-	-	1,8	2,4	Saade et al. (2014)	-	-	-	210
	CP-III	kg	-	-	5,26	-	-	-	-	-	5,3	Saade et al. (2014)	-	-	-	-
Cobre	-	kg	-	-	-	-	30	-	-	-	30	Saade et al. (2014)	-	Utilizado somente na composição dos sistemas hidráulico e elétrico	-	-



Material	Detalhe	Unidade funcional (UF)	CPH <sub>azul</sub> (l/unid.func.)										CPH <sub>cinza</sub> (l/unid.func.)				
			Índia	Brasil	Belém (PA-Brasil)	Brasil	Fortaleza (CE-Brasil)	Finlândia	Brasil	Holanda	Valor de referência	Fonte		Detalhe	Observação		
	fck 45 MPa	m³	-	211	13.670	-	-	4000	209,9	-	-	-	-	-	-	-	Holanda
	fck 40 MPa	m³	-	-	12.547	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Holanda
Concreto usinado	fck 35 MPa	m³	-	-	12.542	-	0,577(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Holanda
	fck 30 MPa	m³	-	-	12.554	3840(2)	-	-	-	-	-	-	3.840	-	-	-	Holanda
	fck 25 MPa	m³	-	-	12.474	-	0,641(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Holanda
	fck 20 MPa	m³	-	-	-	-	125(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Holanda
Forma de compensado	e = 12 cm	m²	-	-	-	9,1	-	-	-	-	-	-	9,1	Composição / Saade et al. (2014)	Dado original: compensado 760 l/m³ (SAADE et al., 2014)	-	Holanda
Forma de compensado	e = 18 cm	m²	-	-	-	13,7	-	-	-	-	-	-	13,7	Composição / Saade et al. (2014)	Dado original: compensado 760 l/m³ (SAADE et al., 2014)	-	Holanda
Gesso	Acartonado	m²	-	-	-	-	2,75	-	-	-	-	-	2,8	Saade et al. (2014)	-	-	Holanda
Grout	-	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	Composição (cimento, cal hidratada e areia)	Traço adotado: 1 : 2 : 8 (cimento: cal : areia)	Composição realizada a partir dos CPHs de cimento CP-II, areia e cal hidratada. Ainda que haja diferenças entre grout e argamassa p/ outros usos, os valores foram adotados como iguais	Holanda
Laje pré-fabricada	-	m³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,541	Composição (concreto e aço)	Coefficiente aço/concreto: 71 kg/m³	Considerando-se aço CA-50	Holanda
Louças	Bacia sanitária	unid.	-	-	-	-	67,7-69	-	-	-	-	-	69	Souza (2014)	-	-	Holanda
Louças	Cuba	unid.	-	-	-	-	11,2	-	-	-	-	-	11,2	Souza (2014)	-	-	Holanda
Metais	Torneira	unid.	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	17	Souza (2014)	-	-	Holanda



Material	Detalhe	Unidade Funcional (UF)	CPH <sub>azul</sub> (l/unid.func.)										CPH <sub>cinza</sub> (l/unid.func.)	Observação		
			Índia	Brasil (2013)	Belém (PA-Brasil) (2015)	Brasil (2014)	Fortaleza (CE-Brasil)	Finlândia (2015)	Brasil (2016)	Holanda (2018)	Valor de referência	Fonte			Detalhe	
Monocapa	-	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	Composição a partir argamassa por m <sup>2</sup>	-	-
Pedra	Todos os tipos de brita	m <sup>3</sup>	-	-	-	-	93,75	-	-	-	-	-	93,8	Souza (2014)	-	-
Perfil metálico / armações metálicas	-	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67,3	Assumido como igual a aço	-	-
Piso	Cerâmico	m <sup>2</sup>	-	-	-	10	18,16	-	-	-	-	-	18,2	Souza (2014)	-	-
	Porcelanato	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	18,16	-	-	-	-	-	18,2	Souza (2014)	-	-
Tela	-	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65,3	Referência: Outros tipos de tela levarão a diferentes razões kg/m <sup>2</sup> e, consequentemente, PH kg/m <sup>2</sup>	-	-
Tinta	PVA	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2,0	Souza (2014)	-	-
	Acrílica	m <sup>2</sup>	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,2	Souza (2014)	-	-
Tube de PVC	-	kg	-	-	-	110	35	-	-	-	-	-	72,5	Utilizado somente na composição do sistema hidráulico (usado no elétrico também como referência para condutores e eletrodutos em PVC)	-	-
Vidro	-	m <sup>2</sup>	-	-	-	10 (l/kg)	0,15(1)	-	-	-	-	-	5,89 (l/kg)	Adaptado de Saade et al. (2014) e Gerbens-Leendes (2018)	Calculado considerando-se esp = 4mm e massa esp. do vidro de 2,5 kg/l	13.000

Valores muito fora do esperado e desconsiderados.



**Categorização de materiais em MAT1 e MAT2**

MAT1	MAT2
Aço	Aço CA-25 Ø 10.0 mm
	Aço CA-25 Ø 12.5 mm
	Aço CA-25 Ø 16.0 mm
	Aço CA-25 Ø 20.0 mm
	Aço CA-50 Ø (outros)
	Aço CA-50 Ø 10.0 mm
	Aço CA-50 Ø 12.5 mm
	Aço CA-50 Ø 16.0 mm
	Aço CA-50 Ø 20.0 mm
	Aço CA-50 Ø 25.0 mm
	Aço CA-50 Ø 32.0 mm
	Aço CA-50 Ø 5.0 mm
	Aço CA-50 Ø 6.3 mm
	Aço CA-50 Ø 8.0 mm
	Aço CA-60 Ø 5.0 mm
	Armação para estaca hélice
	Armadura
	Chapa de aço
Perfil I de 6	
Perfil metálico (outros)	
Perfil metálico W250	
Vergalhão de aço	
Arame	Arame galvanizado 18 BWG
	Arame recozido 18 BWG
Areia	Areia média
Argamassa	Adesivo para argamassa
	Argamassa (outros)
	Argamassa para assentamento
	Argamassa para chapisco
	Argamassa para emboço
	Argamassa para proteção mecânica
Argamassa	Argamassa para rejuntamento
	Chapisco
Argamassa	Contrapiso
	Graute (outros)
Argamassa	Graute 15 MPa
	Graute 20 MPa
	Graute 25 MPa
	Graute 28 MPa
	Graute 32 MPa
	Graute 39 MPa
	Graute 40 MPa
Monocapa	Monocapa
Bloco cerâmico	Bloco cerâmico de vedação
	Bloco cerâmico estrutural
Bloco de concreto	Bloco de concreto de vedação
	Bloco de concreto estrutural
Cimento	Cimento CP-I
	Cimento CP-II
	Cimento CP-III



MAT1	MAT2
Cimento	Cimento CP-IV
	Cimento CP-V
Concreto	Anel de concreto
	Concreto (outros)
	Concreto fck 10 MPa
	Concreto fck 15 MPa
	Concreto fck 20 MPa
	Concreto fck 25 MPa
	Concreto fck 30 MPa
	Concreto fck 35 MPa
	Concreto fck 40 MPa
	Contrapiso em concreto
	Tampa em concreto
Verga de concreto	
Elétrica	Centro de medição
	Gerador
	Infraestrutura elétrica
	Interruptores e tomadas
	Luminária
	Materiais para empreitada de elétrica
Equipamentos	Quadro
	Equipamentos de automação
	Equipamentos de pressurização
Esquadrias	Equipamentos diversos
	Corrimão
	Esquadrias
	Guarda-corpo
Ferragens	Materiais para esquadrias
	Porta
	Dobradiça
	Fechadura
	Puxador
Madeira	Trinco
	Chapa de compensado (outros)
	Chapa de compensado plastificado 12 mm
	Chapa de compensado plastificado 17 mm
	Chapa de compensado plastificado 18 mm
	Chapa de compensado resinado 12 mm
	Chapa de compensado resinado 18 mm
	Formas em geral
	Forro em madeira
	Pergolado em madeira
	Pontaletes de pinus
	Prancha de pinus
	Prancha peroba
	Sarrafo de cedrinho
Sarrafo de pinus	
Tábua de cedrinho	
Tábua de pinus	
Tampo	
Geocomposto	Geocomposto para drenagem
Gesso	Forro de gesso





MAT1	MAT2
Gesso	Gesso em placa
	Gesso liso
	Painel em drywall
	Sanca em gesso
Hidráulica	Tabica
	Acessórios de hidráulica
	Adaptador de hidrante
	Bacia sanitária
	Barrilete
	Bomba hidráulica
	Carenagem de PVC
	Chuveiro
	Cuba
	Cuba cerâmica
	Cuba em aço inox
	Ducha
	Engate flexível
	Equipamentos de incêndio diversos
	Extintor
	Infraestrutura hidráulica
	Lavatório
	Louça
	Mangueira de hidrante
	Materiais para empreitada de hidráulica
	Metals
	Misturador
	Monocomando
	Recalque
	Registro
	Reservatório
	Sifão
	Tanque
	Torneira
	Tubo de PEAD
	Tubo de PVC
	Tubulação hidráulica
Unidade hidráulica	
Válvula	
Impermeabilização	Argamassa para impermeabilização
	Impermeabilização (outros)
	Impermeabilização de esquadrias
Impermeabilização	Impermeabilizante para concreto
	Materiais para impermeabilização
Laje pré-fabricada	Laje pré-fabricada
	Painel de laje 12 cm
	Painel de laje 15 cm
Manta asfáltica	Manta asfáltica
	Materiais para manta asfáltica
Outros	Agente de desforma
	Andaime
	Bandeja
	Escada marinheiro



MAT1	MAT2
Outros	Gradil
	Outros
	Placa cimentícia
	Sistema antiquedas
	Tapume
Outros sistemas	Treliças
	Equipamentos de comunicação
	Equipamentos de exaustão
	Exaustão de banheiros
	Infraestrutura de gás e exaustão
Pedra	Materiais para empreitada de exaustão
	Bica corrida
	Brita
	Pedra
	Pedra 1
	Pedra 2
	Pedra 3
	Pedrisco
	Rachão
	Piso
Piso cerâmico	
Piso intertravado	
Piso porcelanato	
Revestimento	Azulejo
	Baguete
	Granito
Revestimento	Ladrilho hidráulico
	Materiais para empreitada de pintura
	Pastilha cerâmica
	Revestimento (outros)
	Rodapé
	Soleira
	Tento
Tela	Tela (outros)
	Tela fachadeira
	Tela galvanizada
	Tela nervurada aço
	Tela para laje painel Q61
Telha	Tela tapume
	Telha (outros)
	Telha cerâmica
	Telha de fibrocimento
	Telha galvanizada
Tinta	Telha termo-acústica
	Tinta (outros)
	Tinta acrílica
	Tinta esmalte
Vidro	Tinta PVA
	Vidro (outros)
	Vidro incolor
	Vidro temperado



## ANEXO 2. Instruções de solicitação de dados de PH a fabricantes e fornecedores

**Este anexo tem como objetivo orientar profissionais que desejam obter coeficientes de pegada hídrica (CPH) junto a fabricante e fornecedores. As instruções abordam temas como: Como o conceito de PH ainda não é difundido no Brasil, é muito provável que haja confusões sobre aspectos elementares, como considerar a PH<sub>azul</sub> igual à demanda de água. Esse erro, inclusive, já foi verificado em estudos publicados sobre o tema, o que reforça a importância em se realizar solicitação consciente dos possíveis erros.**

### 1. Convenções

- **CPH<sub>azul</sub>** coeficiente de pegada hídrica azul. Valor de volume de PH<sub>azul</sub> por unidade funcional, como l/kg.
- **CPH<sub>cinza</sub>** coeficiente de pegada hídrica cinza. Valor de volume de PH<sub>cinza</sub> por unidade funcional, como l/kg.

### 2. O que é necessário explicar ao fornecedor para obter a PH de forma correta?

Inicialmente é necessário que o conceito de pegada hídrica seja explicado como “um indicador do uso de água que considera não apenas o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, seu uso indireto”, podendo ser considerada como um “indicador abrangente da apropriação de recursos hídricos”.

Neste guia, definiu-se que para materiais de construção civil, são consideradas somente as pegadas hídricas azul e cinza.



**Pegada hídrica azul (PH<sub>azul</sub>):** água proveniente de uma bacia hidrográfica (superficial ou subterrânea), evaporada, incorporada a um produto ou retirada e devolvida a outro corpo hídrico. Relevante para agricultura, indústria e uso doméstico. A PH<sub>azul</sub> se refere à água “perdida” em determinado processo, geralmente por evaporação ou incorporação ao produto.

PH<sub>azul</sub> = água evaporada+água incorporada+vazão de retorno perdida



**Pegada hídrica verde (PH<sub>verde</sub>):** água precipitada, armazenada no solo, evaporada, transpirada ou incorporada pelas plantas. Relevante para produtos agrícolas, horticultura e florestais ou para a irrigação. PH<sub>verde</sub> = evaporação de água verde+incorporação de água verde

**Pegada hídrica cinza (PH<sub>cinza</sub>):** quantidade de água doce necessária para assimilar poluentes e atender aos parâmetros de qualidade da água. Considera a poluição de fonte pontual lançada a um curso de água doce diretamente ou indiretamente através de escoamento superficial ou lixiviação do solo.



$$PH_{cinza} = \frac{L}{(C_{máx} - C_{nat})}$$

L carga de poluente  
 C<sub>máx</sub> concentração máxima aceitável do poluente no corpo hídrico  
 C<sub>nat</sub> concentração natural<sup>15</sup> do poluente no corpo hídrico

A determinação da PH requer correto entendimento desses conceitos. O fabricante necessita de notável conhecimento sobre o ciclo da água em seus processos para cálculo da PH.

15 Para substâncias que não ocorrem naturalmente na água c<sub>nat</sub> = 0



### 3. Como é calculada a PH de um produto?

A pegada hídrica de um produto é calculada, em última instância, com base nas pegadas de todos os processos envolvidos em sua cadeia. No entanto, é muito raro que processos produtivos resultem, ao longo de toda sua cadeia, em um produto único (HOEKSTRA et al., 2011). Sabendo-se disso, há duas formas de se calcular a pegada hídrica de um produto, seja para  $PH_{azul}$  ou para  $PH_{cinza}$ .

#### Método da soma das cadeias

Parte do pressuposto de que o sistema de produção resulta em um único produto. Ou seja, nesse caso, a pegada hídrica é calculada pelo simples somatório de todos os processos dividido pela quantidade produzida, ou:

$$PH_{prod[p]} = \sum_{i=1}^y \frac{PH_{proc}[s]}{P[p]} \quad \text{[volume/massa]}$$

- $PH_{prod}[p]$  pegada hídrica do produto “p” [volume/massa]
- $PH_{proc}[s]$  pegada hídrica do passo “s” do processo [volume/tempo]
- $P[p]$  quantidade produzida [massa/tempo]

Esse método é muito limitado a situações específicas incomuns, e se trata de simplificação adequada a situações peculiares.

#### Método sequencial cumulativo

De forma mais genérica, pode-se considerar que a pegada hídrica de um produto é igual ao somatório de todos os insumos necessários na última etapa do sistema somado ao último processo para finalização do produto. Há o caso também em que, por exemplo, um único insumo resulta em múltiplos produtos, o que pode ser computado pela distribuição da pegada hídrica (do insumo) proporcionalmente à massa ou, mais comumente, ao valor comercial dos produtos.

Dessa forma, tem-se:

$$PH_{prod}[p] = \left( PH_{proc}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{PH_{prod}[i]}{f_p[p, i]} \right) \times f_v[p] \quad \text{[volume/massa]}$$

Em que:

- $PH_{prod}[p]$  pegada hídrica do produto final “p” [volume/massa]
- $PH_{prod}[i]$  pegada hídrica do insumo “i” [volume/massa]
- $PH_{proc}[p]$  pegada hídrica do processamento que transforma os “y” insumos em “z” produtos de saída expressos com base no uso da água por unidade de produto “p” [volume/massa]
- $f_p[p, i]$  fração do produto [adimensional]
- $f_v[p]$  fração de valor [adimensional]

Em outras palavras, a equação acima contabiliza o processo ( $PH_{proc}[p]$ ) que transforma os últimos insumos em produto final acrescida ao somatório das pegadas hídricas dos insumos proporcionalmente à sua participação em massa (fração de produto,  $f_p[p, i]$ ) na composição do produto final ( $\sum (PH_{prod}[i]/f_p[p, i])$ ), realizando a multiplicação final pela razão fração de valor  $f_v[p]$ . As supracitadas frações são calculadas por:

$$f_p[p, i] = \frac{peso[p]}{peso[i]} \quad \text{[massa/massa]}$$

$$f_v[p] = \frac{preço[p] \times peso[p]}{\sum_{p=1}^z (preço[p] \times peso[p])} \quad \text{adimensional}$$



<b>fp [p,i]</b>	fração do produto [adimensional]
<b>fv [p]</b>	fração de valor [adimensional]
<b>preço [p]</b>	preço do produto “p” <sup>16</sup> [unidade monetária/massa]
<b>peso [p]</b>	quantidade do produto “p” [massa]
<b>peso [i]</b>	quantidade do insumo “i” [massa]

O preço é utilizado como indicador de valor econômico dos produtos e insumos, o que não necessariamente é um fato real. A metodologia aponta que há outras maneiras de se obter o valor econômico, mas não indica referências ou procedimentos.

#### 4. Para $CPH_{azul}$ , quais são as variáveis que precisam ser averiguadas por meu fornecedor?

Para a  $PH_{azul}$ , é necessário que haja compreensão sobre os seguintes principais pontos.

- **Quantificação das “perdas” de água**, principalmente em virtude de incorporação e evaporação. O conceito de coeficiente de retorno é relativamente familiar à indústria, dado que é comum a existência de perdas muito relevantes em alguns processos. No caso de plantas industriais que lancem seus esgotos em corpos hídricos,
- **Balanco hídrico**, alocando os usos de água de acordo com os processos e, conseqüentemente, produtos.
- **Correlação entre usos de água e produção**, possibilitando a mensuração de PH por unidade funcional (UF) de cada um dos produtos.

É essencial entender como é realizada a atribuição da **d demanda total de água** para um produto, pois o fabricante pode tanto dividir os valores globais da indústria pelos itens produzidos quanto realizar um controle mais detalhado por linha produtiva e período de operação. Além disso, é importante avaliar as fontes e os respectivos usos de água durante o processo fabril.

Para coleta destes dados, é preferível que se avalie os consumos mensais por fonte e por item produzido, especialmente caso o fabricante possua medição setorizada por linha produtiva e medida em períodos menores, como dia ou hora.

**Esta informação pode ser questionada da seguinte forma:** quanto de água entra no processo e qual parcela dessa demanda é incorporada no produto, evaporada ou perdida de outras maneiras?

#### 5. Para $CPH_{cinza}$ , quais são as variáveis que precisam ser averiguadas por meu fornecedor?

Para a  $PH_{cinza}$ , é necessário que haja compreensão sobre os seguintes principais pontos.

- **Determinação do contaminante crítico.** O guia determina que o contaminante de referência é a  $DBO_{5,20}$ , o que é aderente à realidade de geração de efluentes em edificações em meio urbano. No entanto, no caso da indústria da construção civil, a  $DBO_{5,20}$  é um parâmetro de qualidade de pouca relevância, uma vez que os processos adotados não são biológicos. Portanto, e conforme foi explicado no item 1.1, a  $PH_{cinza}$  deve ser calculada para o contaminante crítico,

<sup>16</sup> Recomenda-se estimar as frações de valores com base no preço médio de um período de, no mínimo, 5 anos, de forma a evitar que a pegada hídrica seja fortemente afetada pela flutuação dos preços.



podendo ser, para o caso da indústria, nitratos, fosfatos, fenóis, ferro, manganês, óxidos metálicos, “metais pesados”, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos/condutividade elétrica etc.

- **Quantificação das cargas geradas e lançadas.** Determinado o contaminante crítico, devem ser determinadas as cargas geradas e lançadas, sendo essas diferenças caso haja tratamento.
- **Compreensão sobre as características de disposição final/lançamento.** Caso haja lançamento em corpo hídrico, deve ser verificado com o efluente irá responder aos lançamentos de efluentes, realizando-se essa avaliação para o contaminante crítico, ou seja, aquela para a qual serão necessários os maiores volumes de água para apropriação ( $PH_{cinza}$ ). No caso de lançamento em copos hídricos, é mandatório que o usuário (no caso a indústria) tenha realizado um estudo denominado “estudo de autodepuração”, o qual avalia as condições de diluição dos efluentes lançados no corpo hídrico, considerando condições críticas de vazão natural. Essa documentação pode ser utilizada para o cálculo da PH.
- **Correlação entre usos de água e produção.** Como no caso da  $PH_{azul}$  a  $PH_{cinza}$  também requer alocação de acordo com os processos e produtos, procedimento a partir do qual serão quantificadas as pegadas hídricas cinza.

## 6. Recebi os dados de PH. Como posso avaliá-los?

É fundamental que seja possível avaliar se os valores submetidos pelo fornecedor são coerentes com a realidade. Sendo praticamente inviável verificar se todos os processos e usos de água ocorrem na planta exatamente como informado, uma maneira de se fazer essa verificação é comparar com valores conhecidos e levantados por estudos na área. A tabela abaixo e o ANEXO 1 apresentam valores que podem ser utilizados como referência.

Material (MAT1)	CPH <sub>azul</sub> (l/UF)	Unidade
Aço	67,3	l/kg
Areia	7,5	l/kg
Argamassa	0,8	l/kg
Bloco cerâmico	4,7	l/unid.
Bloco de concreto	13,4	l/unid.
Cimento	2,7	l/kg
Concreto	3840	l/m <sup>3</sup>
Gesso	2,8	l/m <sup>2</sup>
Laje pré-fabricada	8.541	l/m <sup>3</sup>
Madeira	11,4	l/m <sup>2</sup>
Monocapa	4,0	l/m <sup>2</sup>
Pisos	18,2	l/m <sup>2</sup>
Azulejo	12,0	l/m <sup>2</sup>
Pedra (diversos formatos)	93,8	l/m <sup>3</sup>
Tinta	1,1	l/m <sup>2</sup>
Vidro	79,5	l/m <sup>2</sup>
Aço	67,3	l/kg



### ANEXO 3. Instruções para determinação em campo de variáveis (C, cargas etc.)

Este anexo tem como objetivo orientar a realização de medições e análises em campo, as quais permitem o detalhamento do ciclo da água no canteiro e, conseqüentemente, em cálculos de PH mais precisos.

#### 1. Como calcular os coeficientes de retorno (C) na minha obra?

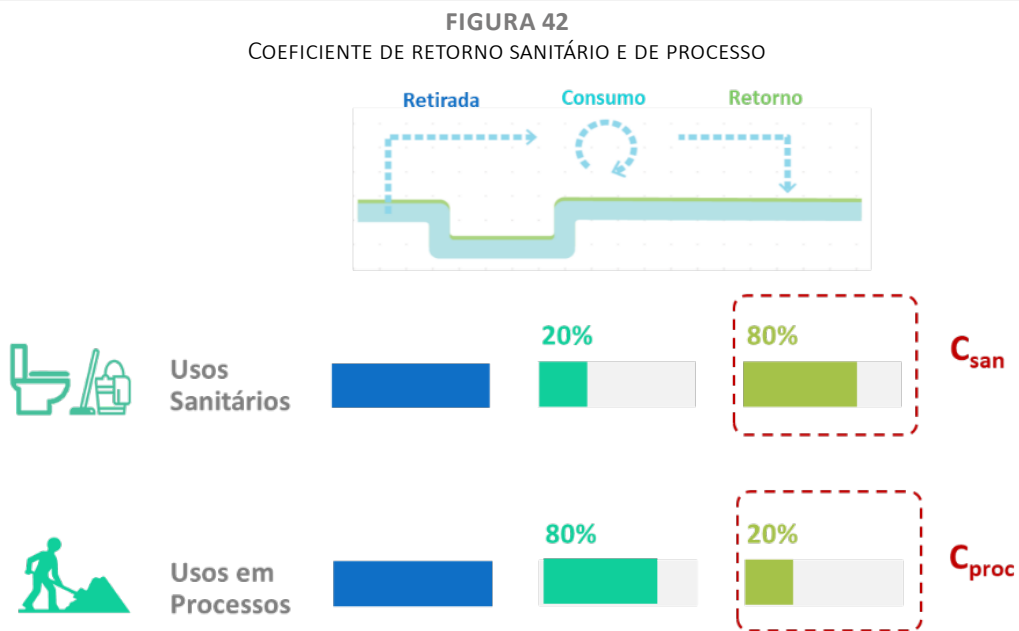
O coeficiente de retorno (C) é a relação entre o volume de esgoto produzido e de água demandada (retirada). Entende-se por água consumida aquela que se perde por evaporação, incorporação etc.). Ou seja, o consumo é a diferença entre a demanda e o retorno:

$$Demanda = Consumo + Retorno (esgoto) \rightarrow Consumo = Demanda - Retorno$$

O coeficiente de retorno é simplesmente a relação entre o que retorna e que é demandado, sendo:

$$C = \frac{retorno}{demanda}$$

A **Figura 42** mostra a relação entre retirada (demanda), consumo e retorno, bem como o coeficiente de retorno, em forma gráfica.



Fonte: adaptado de ANA (2017). Elaborado pelos autores

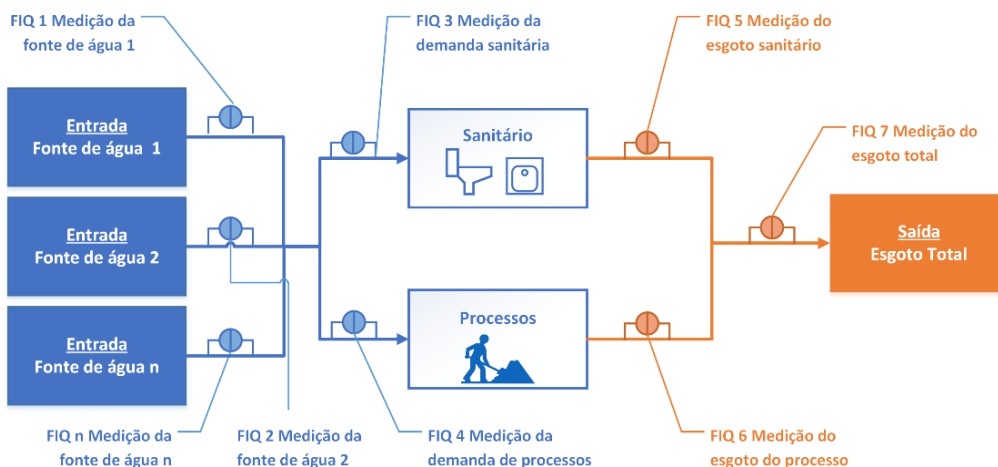


Para o caso de usos sanitários, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 9649) recomenda a utilização do coeficiente de retorno igual 0,8 quando inexistem dados locais. No caso de caso de outros processos, em geral é necessário estudo específico para obtenção de valores de C.

No caso de obras, sabe-se que em geral a medição de água é realizada de forma bastante ampla, sendo geralmente a soma entre água da concessionária e de caminhões-pipa, sem setorização por área de consumo (como escritórios, sanitários, torre etc.). A medição de volumes de esgotos é praticamente inexistente, dado que isso não é comum para nenhum tipo de empreendimento no Brasil, inclusive pelas concessionárias de saneamento.

Em teoria, para a determinação exata do coeficiente de retorno é necessária a medição da demanda de água e do volume de esgoto. A medição pode ser feita em diversos pontos como mostra a imagem abaixo.

**FIGURA 43**  
PONTOS DE MEDIÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO. ELABORADO PELOS AUTORES



FIQ: nomenclatura de instrumentação referente a medidores de vazão

A medição de vazões em tubulações varia de acordo com características como o tipo de escoamento (em carga/pressurizado ou livre/gravidade) e a qualidade do fluido (presença de sólidos, pH, condutividade elétrica, viscosidade etc.), sendo necessários dispositivos diferentes para cada caso. No caso de escoamentos por gravidade, como esgotos, a mensuração é mais complexa, o que é também um dos motivos pelos quais vazões de esgoto não são medidas permanentemente.

Ainda assim, é possível realizar medições de volumes de água e de esgotos conforme a imagem acima. Os medidores de vazão podem ser instalados, a depender do coeficiente de retorno que será avaliado, como segue:

- **C<sub>san</sub> (usos sanitários):** instalação dos medidores FIQ 3 e FIQ 5;
- **C<sub>proc</sub> (usos de processo):** é instalação dos medidores FIQ 4 e FIQ 6;
- **C (global):** instalação de medidores FIQ 1, FIQ 2, FIQ n e FIQ 7.





É importante frisar que caso seja realizada a medição de  $C_{san}$  e  $C_{proc}$ , não é necessária a avaliação do C total, já que este pode ser estimado por meio dos primeiros.

Uma sugestão é realizar a avaliação de C somente para determinada amostragem de obras, já que os valores de coeficiente de retorno tendem a se manter próximos mesmo para canteiros distintos. A execução de campanhas em determinada amostragem de obras pode criar base de dados suficiente para extrapolação para obras futuras.

É importante lembrar que a demanda total também considera fontes alternativas, como caminhão pipa, poço, água de chuva ou reúso.

## 2. Como calcular as cargas geradas ou lançadas?

Para avaliar as cargas geradas ou lançadas é necessário realizar análise do esgoto do empreendimento para  $DBO_{5,20}$ , no caso deste guia.

As amostras devem ser retiradas da caixa de inspeção que antecede a rede pública.

Os laudos de qualidade serão apresentados em termos de  $mgO_2/l$ , ou seja, concentração. A conversão em carga dá-se por:

$$Carga \left[ \frac{massa}{tempo} \right] = concentração \left[ \frac{massa}{volume} \right] \times vazão \left[ \frac{volume}{tempo} \right]$$

Ou seja, é necessário conhecer a vazão de esgoto gerado, o que pode ser realizado por meio de medições (conforme item acima) ou estimativas. É fundamental manter atenção às conversões de unidade, dado que em geral a concentração é apresentada em  $mg/l$ , vazão diária em  $m^3/dia$  e carga em  $kg/dia$ .

Caso haja tratamento, a eficiência a ETE pode ser atestada pela realização de coletas de amostras antes (à montante) e depois (à jusante) da estação. A eficiência é calculada por:

$$Carga \left[ \frac{massa}{tempo} \right] = concentração \left[ \frac{massa}{volume} \right] \times vazão \left[ \frac{volume}{tempo} \right]$$

## 3. É possível saber o efluente da minha obra segue para alguma ETE? E, em caso positivo, como posso saber a eficiência de tratamento?

Apenas algumas empresas prestadoras de serviços de saneamento divulgam a seus clientes se o tratamento dos efluentes coletados é realizado. Um exemplo é Saneago (Companhia Saneamento Goiás), a qual define uma tarifa para coleta e afastamento do esgoto e outra para a rede provida também de tratamento. Em São Paulo a Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) não disponibiliza esta informação.

O atlas de esgoto da Agência Nacional de Águas (ANA) tem informações sobre o tratamento das ETEs do Brasil por meio de um arquivo shapefile (arquivo vetorial para uso em programas de geoprocessamento) disponível aqui. É possível também checar a informação via o mapa interativo da ANA disponível [aqui](#).



## 4. Minha obra não está em SP. Onde posso encontrar valores de referência para lançamento em rede?

No estado de São Paulo a Lei n° 997/76 (Decreto N° 8.468/76) dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e, em seu artigo 19ª indica a qualidade de água requerida para lançamento em rede de esgoto.

Assim como São Paulo, estados como Minas Gerais (pela Deliberação Normativa Conjunta CO-PAM/CERH-MG nº01/08) e Mato Grosso do Sul (pela Deliberação CECA/MS Nº 36/12), possuem suas próprias legislações para disposição de esgoto na rede.

Outros estados, como é o exemplo do Paraná, pela Portaria n° 256/2013/IAP/GP, indica que devem ser obedecidos os critérios definidos pela concessionária dos serviços de água e esgoto, não sendo autorizada a disposição do efluente sem a devida anuência/autorização concedida pela mesma.

Além disso, a nível municipal também pode ser exigida uma qualidade específica para o lançamento, como é o exemplo de Manaus-AM pela Resolução 034/2012- COMDEMA.

Desta forma, é necessário realizar uma pesquisa a nível estadual, municipal e nas concessionárias de legislações e normas referentes a este tópico.

## 5. O canteiro utiliza fontes alternativas não potáveis para suprimento de algumas demandas. É possível considerá-las nos cálculos de pegada hídrica?

Sim. Para considerar as fontes alternativas no cálculo da pegada hídrica é necessário que todas as fontes sejam medidas. Na metodologia da WFN, a utilização de fontes como água de chuva não impacta na  $PH_{\text{direta}}$  da obra, dado que esta contabiliza as perdas de água nos processos e não considera a diferença entre as fontes.

N caso de reúso de esgoto (ou também de tratamento somente), sua aplicação implica em redução de  $PH_{\text{cinza}}$  em razão da redução de cargas de poluentes a serem descartados, conforme indicado no item 2.1.2.



## ANEXO 4. Perguntas frequentes sobre pegada hídrica

De acordo com o Hoekstra et al. (2011), existem algumas perguntas pertinentes para a avaliação da pegada hídrica e que devem ser ponderadas com seriedade. A seguir, são reproduzidos alguns dos questionamentos presentes no Manual de avaliação da pegada hídrica (HOEKSTRA et al, 2011) que podem sanar possíveis dúvidas que ainda restem ao leitor.

### 1. A água é um recurso renovável, permanece no ciclo, então qual é o problema?

A água é um recurso renovável, mas isso não significa que sua disponibilidade seja ilimitada. Em um determinado período, a precipitação é sempre limitada a uma determinada quantidade. O mesmo vale para a quantidade de água que reabastece as reservas de águas subterrâneas ou as vazões dos rios. A água da chuva pode ser utilizada na produção agrícola e a água dos rios e aquíferos pode ser utilizada para a irrigação, para fins industriais ou domésticos. Mas não se pode usar uma quantidade de água maior do que aquela que está disponível. Não se pode extrair mais água de um rio do que sua vazão permite em um determinado período e, em longo prazo, não se pode extrair mais água de lagos e reservatórios subterrâneos além da proporção com que eles são reabastecidos. A pegada hídrica mede a quantidade de água disponível em um determinado período em que é consumida (evaporada) ou poluída. Desse modo, ela fornece uma medida da quantidade de água disponível que foi apropriada pelo homem. O restante fica para a natureza. A água da chuva que não é utilizada na produção agrícola é mantida para sustentar a vegetação natural. As vazões das águas subterrânea e superficial que não são evaporadas para propósitos humanos ou poluídas são mantidas para sustentar os ecossistemas aquáticos (Hoekstra et al., 2011, p. 158).

### 2. Quando posso considerar que a minha pegada hídrica é sustentável?

A pegada hídrica de um consumidor é sustentável quando (i) o total permanece abaixo da cota justa dos consumidores de todo o mundo; (ii) nenhum componente da pegada hídrica total está localizado em um ponto crítico; e (iii) nenhum componente da pegada hídrica total pode ser reduzido ou evitado como um todo a um custo social razoável (Hoekstra et al., 2011, p. 153).

### 3. O que as empresas podem fazer para reduzir suas pegadas hídricas?

As empresas podem reduzir sua pegada hídrica operacional economizando água em suas próprias operações e reduzindo a poluição da água a zero. As palavras-chave são: evitar, reduzir, reciclar e tratar antes de descartar. Para muitas empresas, no entanto, a pegada hídrica da sua cadeia de suprimento é muito maior do que a sua pegada hídrica operacional. Portanto, é fundamental que as empresas também abordem essa questão. Promover melhorias na cadeia produtiva pode ser mais difícil – pois não há controle direto – mas pode ser mais eficaz. As empresas podem reduzir a pegada hídrica de sua cadeia produtiva estabelecendo acordos com seus fornecedores que incluam deter-



minados padrões ou, simplesmente, trocando de fornecedor. Em muitos casos, este pode ser um processo bastante trabalhoso, pois todo o modelo de negócios pode precisar ser modificado para incorporar ou controlar melhor as cadeias produtivas e torná-las completamente transparentes para os consumidores. Entre as várias alternativas ou ferramentas complementares que podem ajudar a melhorar a transparência estão: a definição de metas quantitativas de redução da pegada hídrica, o processo contínuo de comparação das pegadas hídricas, a elaboração de rótulos com as informações pertinentes, certificação e relatório de pegada hídrica (Hoekstra et al., 2011, p. 152).

#### 4. Como posso compensar a minha pegada hídrica?

Essa pergunta geralmente é feita por pessoas que estão familiarizadas com a ideia da compensação de carbono. No caso do carbono não importa onde as medidas de mitigação ocorrem, ou seja, é possível compensar a sua própria emissão de CO<sub>2</sub> ajudando a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> ou aumentando o sequestro de carbono em outros lugares. No caso da água é diferente, pois a escassez e a poluição da água de um lugar não podem ser compensadas através de medidas tomadas em outro lugar. Portanto, o foco deve ser na redução da sua própria pegada hídrica priorizando os locais e os períodos em que essa pegada hídrica causa problemas. Devemos fazer tudo o que for ‘razoavelmente possível’ para reduzir a nossa própria pegada hídrica, tanto a direta como a indireta. Isso vale tanto para os consumidores como para as empresas. Somente depois que todas as medidas forem tomadas para reduzir a pegada hídrica devemos pensar em uma forma de compensação. Isso significa que a pegada hídrica residual é compensada quando se faz um ‘investimento razoável’ na criação ou no apoio a projetos que visam o uso sustentável, quantitativo e eficiente da água na bacia onde a pegada hídrica residual está localizada. Os termos ‘razoavelmente possível’ e ‘investimento razoável’ incluem elementos normativos que precisam de maior especificação e sobre os quais um consenso social deve ser atingido (Hoekstra et al., 2011, p. 153).

#### 5. O que são metas razoáveis para a redução da pegada hídrica?

Não existe uma resposta genérica para essa pergunta, pois isso vai depender de cada produto, da tecnologia disponível, do contexto local e assim por diante. Além disso, é importante ter em mente que essa questão envolve um elemento normativo, o que significa que ela deve ser respondida com base em um contexto sociopolítico. No entanto, podemos indicar algumas orientações gerais. Em primeiro lugar, é necessário distinguir as metas com relação à redução das pegadas hídricas verde, azul e cinza. No caso da pegada hídrica cinza, que se refere à poluição da água, é possível exigir que seja reduzida a zero para todos os produtos, pelo menos no longo prazo. A poluição não é necessária. É possível tornar uma pegada hídrica cinza equivalente a zero através da prevenção, da reciclagem e do tratamento. Somente a poluição térmica (decorrente do uso de água para refrigeração) dificilmente será reduzida a zero, mas mesmo esse tipo de poluição pode ser evitado (em grande parte) através da recaptura do calor. A pegada hídrica azul no estágio agrícola dos produtos pode ser substancialmente reduzida com a diminuição das perdas do uso consuntivo da água com o aumento da produtividade da água azul e investindo mais na agricultura de sequeiro. No estágio industrial, vai depender muito do setor e das medidas que já foram tomadas. Do ponto de vista tecnológico, as indústrias podem reciclar completamente a água de modo que a pegada hídrica azul seja reduzida em todos os lugares até a quantidade de água que é realmente incorporada ao produto. É possível desenvolver indicadores de comparação para produtos específicos ao tomar como referência o desempenho dos melhores produtores. Geralmente, as pegadas hídricas verdes na agricultura podem ser reduzidas substancial-



mente através do uso mais eficaz dos recursos de água verde; em outras palavras, aumentando a produtividade da água verde. O aumento da produção com base nos recursos de água verde em um determinado lugar reduzirá a necessidade de produção com base nos recursos de água azul em outro local. Uma regra geral para qualquer estratégia de mitigação de pegada hídrica é evitar a pressão da pegada hídrica em áreas ou períodos em que as demandas ambientais de água são violadas. Uma lógica final para a estratégia de mitigação da pegada hídrica pode ser o compartilhamento justo dos recursos hídricos. Essa pode ser a base para reduzir a pegada hídrica, principalmente para os usuários que utilizam muita água (Hoekstra et al., 2011, p. 155).

## 6. Qual a diferença entre a pegada hídrica e a água virtual?

A pegada hídrica é um termo que se refere à água utilizada para produzir um determinado produto. Neste contexto, também podemos falar em ‘conteúdo de água virtual’ de um produto, ao invés de ‘pegada hídrica’. O conceito da pegada hídrica, no entanto, tem aplicação mais ampla. É possível, por exemplo, falar sobre a pegada hídrica de um consumidor ao analisar as pegadas hídricas dos bens e serviços consumidos por ele ou sobre a pegada hídrica de um produtor (a empresa, o fabricante, o provedor de serviços) ao analisar a pegada hídrica dos bens e serviços produzidos. Além disso, o conceito da pegada hídrica não se refere simplesmente ao volume de água, como é o caso do termo ‘conteúdo de água virtual’ de um produto. A pegada hídrica é um indicador multidimensional e não se refere somente ao volume de água utilizado, mas também torna explícito onde a pegada hídrica está localizada, qual é a fonte e quando a água é utilizada. As informações adicionais são fundamentais para avaliar os impactos locais da pegada hídrica de um produto (Hoekstra et al., 2011, p. 162).

## 7. Como a pegada hídrica está relacionada com a pegada ecológica e com a pegada de carbono?

O conceito da pegada hídrica faz parte de uma família de conceitos que foram desenvolvidos nas ciências ambientais na última década. Em geral, o termo ‘pegada’ é conhecido como uma medida quantitativa que indica a apropriação dos recursos naturais pelo homem ou o estresse ambiental causado por ele. A pegada ecológica mede o uso do espaço bioproductivo (em hectares). A pegada de carbono mede a quantidade de gás do efeito estufa (GEE) que é produzida em unidades de carbono equivalente (em toneladas). A pegada hídrica mede o uso da água (em metros cúbicos por ano). Os três indicadores são complementares uma vez que medem coisas completamente diferentes. Do ponto de vista metodológico, existem muitas semelhanças entre as diferentes pegadas, mas cada uma tem suas próprias peculiaridades devido à singularidade das substâncias em questão. No caso da pegada hídrica é importante especificar o espaço e o tempo. Isso é necessário porque a disponibilidade de água varia muito no espaço e no tempo, de modo que a apropriação da água deve ser sempre considerada em seu contexto local (Hoekstra et al., 2011, p. 162).

## 8. Estudo sobre potencial de medidas de redução de demanda de água sobre a PHuso,d,azul

A pegada hídrica de uso depende diretamente das medidas hidráulicas e sanitárias propostas na fase de projeto, visto que estas condicionam o uso de recursos hídricos no empreendimento. Como



exemplo, podem ser aplicados acessórios hidrossanitários voltados à economia de água (restritores de vazão, aeradores, temporizadores), bem como sistemas de descarga de efluentes diferentes (descarga de duplo acionamento, vácuo).

Assim, para fins ilustrativos, este guia apresenta o impacto da adoção de algumas medidas de gestão de consumo de água sobre a  $PH_{uso,d,azul}$ . Como forma avaliar essa parcela da pegada hídrica, é possível mapear as demandas de água em uma edificação e dimensionar os consumos efetivos por meio de coeficientes de retorno (C). Barreto (2008) apresenta perfil de demanda de água em edifícios residenciais do município de São Paulo, o qual considera os seguintes usos: chuveiro, torneira da cozinha, lavatório, tanque, tanquinho, sistema de descarga por caixa acoplada, máquina de lavar roupa e outros (**Tabela 39** e **Tabela 40**).

**TABELA 39**  
CONTRIBUIÇÕES POR USO FINAL EM RESIDÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Amostra	Demanda por uso (l/d)							
	Chuveiro	Torneira da cozinha	Lavatório	Tanque	Tanquinho	Caixa acoplada	Máquina + tanque	Outros
1	-	113	50	50	-	-	-	225
2	60	90	14	-	-	-	63	215
3	200	71	39	-	-	-	-	314
4	58	78	18	3	-	42	-	-
5	87	82	55	-	-	-	-	-
6	40	75	25	69	28	-	-	202
7	190	127	25	-	112	-	63	205
<b>Média*</b>	<b>106</b>	<b>91</b>	<b>32</b>	<b>41</b>	<b>70</b>	<b>42</b>	<b>63</b>	<b>232</b>

\*Calculada a partir dos valores apresentados por Barreto (2008)

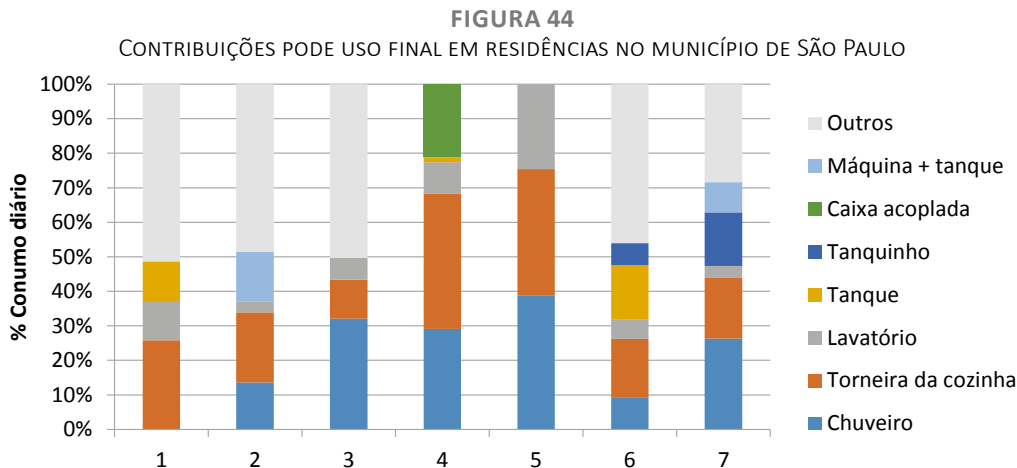
**TABELA 40**  
CONTRIBUIÇÕES POR USO FINAL EM RESIDÊNCIAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Amostra	Demanda por uso (l/d)							
	Chuveiro	Torneira da cozinha	Lavatório	Tanque	Tanquinho	Caixa acoplada	Máquina + tanque	Outros
1	-	26%	11%	11%	-	-	-	51%
2	14%	20%	3%	-	-	-	14%	49%
3	32%	11%	6%	-	-	-	-	50%
4	29%	39%	9%	2%	-	21%	-	-
5	39%	37%	25%	-	-	-	-	-
6	9%	17%	6%	16%	6%	-	-	46%
7	26%	18%	3%	-	16%	-	9%	28%
<b>Média*</b>	<b>16%</b>	<b>13%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>10%</b>	<b>6%</b>	<b>9%</b>	<b>34%</b>

Fonte: adaptado de Barreto (2008)

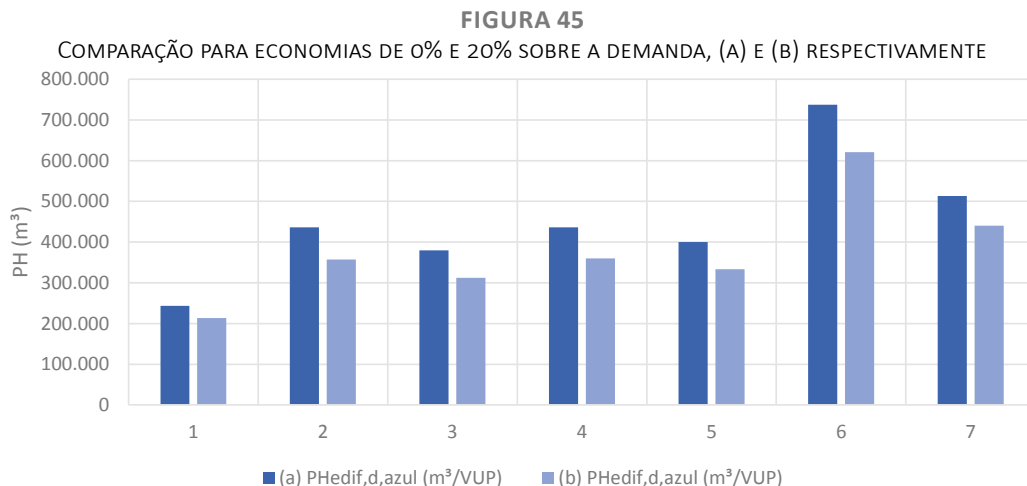


Adotando o perfil de uso apresentado por Barreto (2008) como referência, aqueles que apresentam maior contribuição na demanda de água são o chuveiro e a torneira da cozinha conforme Figura 44. Contudo, na residência onde a descarga de efluentes foi contabilizada, sua contribuição é significativa (21% da demanda total).



Fonte: adaptado de Barreto (2008)

Como exemplos práticos de medidas de redução de consumo, Neto e Júlio (2014) apresentam uma série de possibilidades para bacias sanitárias, mictórios, torneiras e chuveiros que podem ser adotados no lugar das tecnologias convencionais. A **Figura 45** abaixo representa a contribuição sobre a  $PH_{edif,d,azul}$  da adoção de medidas redutoras de consumo, assumindo uma eficiência hipotética de 20%, frente ao desempenho do empreendimento sem as mesmas.



**A partir do cenário adotado, é possível estimar como medidas de conservação de água impactam no consumo global em um empreendimento. Para isso, serão considerados diferentes sistemas de descarga de efluentes e sua capacidade de redução da  $PH_{edif,d,azul}$**



Os valores de economia apresentados por Neto e Júlio (2014) para bacias sanitárias são baseados em seu desempenho com relação a um aparelho convencional, assumindo que a descarga de efluentes líquidos (urina) representa 80% dos acionamentos realizados e que a bacia convencional utiliza 6L/acionamento (**Tabela 41**).

**TABELA 41**  
ECONOMIA PROPORCIONADA POR MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO EM BACIAS SANITÁRIAS

Equipamento	Economia prevista	Premissas adotadas
Descarga dual	40%	A caixa de descarga dual oferece ao usuário a possibilidade de escolha entre dois volumes de descarga, um maior (6 L), igual ao volume útil da caixa, e outro menor (3 L), igual à metade desse volume, utilizado, por exemplo, no caso da bacia sanitária ter uma quantidade menor de dejetos líquidos e sólidos
Descarga econômica	67%	Caixa de descarga que utiliza apenas 2 L de água por acionamento. O vaso usa um basculante que despeja os dejetos diretamente no canal do esgoto do edifício, sem uso de sifonagem, por meio da própria dinâmica da água, sem uso de eletricidade. Outro diferencial é que o selo hídrico ou fecho hídrico (a camada de água que impede a passagem dos gases e de insetos provenientes das instalações de esgoto) do vaso economizador precisa apenas de 200 mL de água, enquanto os demais utilizam mais água para esse fim. Destaca-se ainda que a matéria prima utilizada que é o ABS, um polímero mais resistente em relação à louça utilizada nos vasos convencionais. Outras vantagens são o peso, bem abaixo dos vasos de louça, e a durabilidade
Vaso sanitário segregador de urina	85%	Sua função é conduzir a urina (águas amarelas) para um fim diferente daquele destinado às fezes e ao papel higiênico (águas negras). São dotados de dois compartimentos separados, sendo um específico para urina e outro para fezes e papel, duas saídas e uma válvula de descarga dual (descarga longa = 4 L a 6 L, descarga curta = 0,15 L a 0,2 L). Vale ressaltar que os vasos sanitários segregadores de urina são mais indicados em áreas rurais ou vilas ecológicas, uma vez que, em centros urbanos, o saneamento ecológico, que prevê o armazenamento e posterior coleta da urina, é logisticamente inviável nas condições atuais.
Descarga a vácuo	75%	Nesta bacia, o consumo é de 1,5 L de água por descarga, que é usada apenas para lavagem da superfície interna e do poço da bacia. Além do custo de implantação, o sistema a vácuo consome também quantidades significativas de energia elétrica. A energia elétrica é necessária para o funcionamento das bombas de vácuo e demais componentes do sistema, que é da ordem de 3,0 W.h por descarga (Alves et al., 2006). No estudo de viabilidade econômica da implantação desse sistema, é importante considerar ainda o custo de manutenção das bombas de vácuo e demais equipamentos.
Bacia sanitária com pia acoplada	Até 100%	Atualmente já existem dois sistemas de acoplamento da pia à bacia sanitária: por bombeamento e por gravidade. No acoplamento por bombeamento, a água que cai da pia passa por um filtro, depois vai para um depósito abaixo do lavabo. Quando acionada a descarga do vaso, um dispositivo bombeia a água que estava armazenada para o tanque do vaso e a utiliza na próxima descarga. Já o sistema de acoplamento por gravidade utiliza a água limpa pela primeira vez para lavar as mãos e depois, pela gravidade, corre para a bacia sanitária para finalmente ser usada na descarga. Além disso, ele incorpora um botão exclusivo integrado dual-flush e bico projetado para reduzir o uso total de água do banheiro.

Fonte: Neto & Júlio (2014)





Nesse exemplo, somente a adoção de diferentes sistemas de descarga no lugar da caixa acoplada com duplo acionamento (prevista por Barreto (2008) para o perfil de uso residencial) levaria a uma redução na demanda diária de 2% a 6% (**Tabela 42**). Na metodologia de cálculo proposta para a PH, tal economia teria impacto sobre a  $PH_{uso,d,azul}$  de modo que, mantido o padrão de uso da edificação, ocorreria uma redução proporcional nesta parcela da PH. Seguindo com os valores de  $PH_{uso,d,azul}$  apresentados na **Figura 45**, é possível calcular o volume economizado devido ao uso dos diferentes sistemas de descarga, cujos resultados são apresentados na **Tabela 42**.

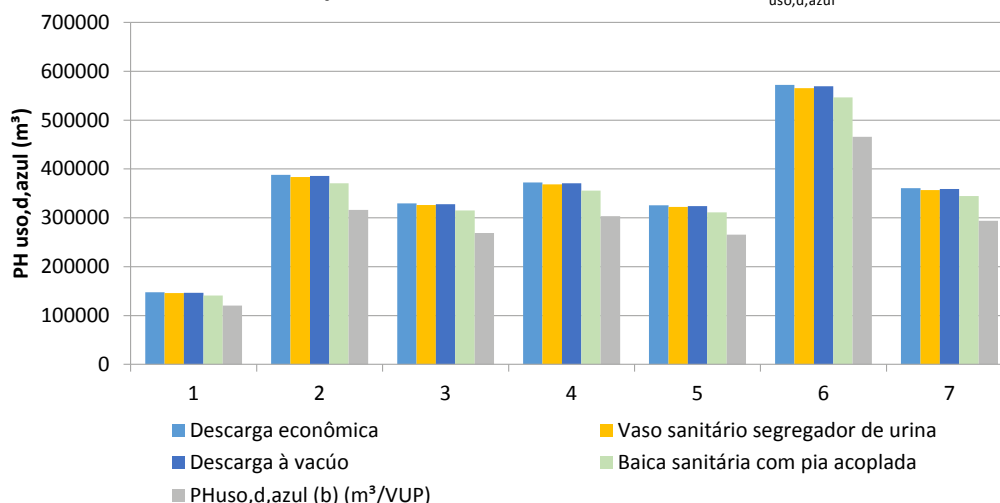
**TABELA 42**

ECONOMIA NO CONSUMO DE ÁGUA DIÁRIO PELA SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA DE DESCARGA

Equipamento	Descarga econômica	Vaso sanitário segregador de urina	Descarga a vácuo	Bacia sanitária com pia acoplada
<b>Economia de água (%Economia)</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>
1.1	2.731	4.355	3.453	9.316
2.1	7.187	11.460	9.086	24.515
2.2	6.109	9.741	7.723	20.838
3.1	6.900	11.001	8.723	23.534
4.1	6.037	9.626	7.632	20.593
5.1	10.597	16.896	13.396	36.145

**FIGURA 46**

CONTRIBUIÇÃO DAS MEDIDAS DE ECONOMIA SOBRE A  $PH_{uso,d,azul}$



Medidas de redução da demanda de água durante o uso da edificação podem parecer ter pouco impacto sobre a pegada hídrica, visto sua pequena porcentagem de economia proporcionada. No entanto, devido ao alto valor da  $PH_{uso,d,azul}$ , mesmo medidas com %Economia reduzida têm impacto significativo. Como exemplo, na **Tabela 42** o menor volume economizado foi de 2731,1 (m³), valor da mesma ordem que aquele obtido para  $PH_{obra,d,azul}$  nos testes realizados (item 4.1).



## GLOSSÁRIO

- ACT (m<sup>2</sup>)** Área construída total do empreendimento. Na metodologia apresentada neste guia, não foram utilizadas outras métricas de área, com a área total equivalente.
- DBO<sub>5,20</sub>** Demanda Bioquímica de Oxigênio, variável que representa indiretamente a quantidade de matéria orgânica biodegradável em determinada amostra. A DBO<sub>5,20</sub> é a quantidade de oxigênio consumida durante 5 dias em uma temperatura de 20°C em razão da decomposição biológica da matéria orgânica.
- C** Coeficiente de retorno, valor que corresponde à parcela da água demanda que se converte em efluentes. Em outras palavras, é a porcentagem de água que retorna como esgoto. Por exemplo, se um processo demanda 100 litros de água e dele resultam 90 litros de esgoto, diz-se que  $C = 90/100 = 0,90$ .
- C<sub>san</sub>** Coeficiente de retorno para usos sanitários, ou seja, a parcela (%) de água utilizada que se converte em efluente após o uso.
- C<sub>proc</sub>** Coeficiente de retorno para usos em processos, ou seja, a parcela (%) de água utilizada que se converte em efluente após o uso.
- CPH (l/UF)** Coeficiente de pegada hídrica, valor de PH por unidade funcional de produto (material), como l/kg aço, l/m<sup>3</sup> de concreto, l/kg de cimento etc.
- DT (m<sup>3</sup>)** Demanda total de água, ou seja, a quantidade que é efetivamente requerida para realização de processos. No caso de canteiros de obras, é a soma de todas as fontes de água, como concessionária, água de poço e caminhão-pipa, por exemplo.
- DPA (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)** Demanda por área, indicador que relaciona a demanda de água (DT) com a área construída total do empreendimento.
- DPC (m<sup>3</sup>/func.mês)** Demanda per capita indicador que relaciona a demanda de água (DT) com o efetivo mensal em canteiro.
- ETE** Estação de tratamento de esgotos.
- GT** Grupo de trabalho formado durante a elaboração deste trabalho, constituído por construtoras/incorporadoras.
- MAT1** Categorização de materiais em nível menos detalhada (mais abrangente).
- MAT2** Categorização de materiais em nível mais detalhada (mais detalhada).
- PH (m<sup>3</sup>)** Pegada hídrica, unidade de mensuração de volumes de água apropriados pelo ser humano na realização de processos.
- UF (ou unid.func.)** Unidade funcional, unidade de medida padrão, adotada de acordo com a prática, para quantificação de materiais de construção civil e posterior estabelecimento de coeficientes de pegada hídrica. A depender da empresa, obra ou outras condições, são adotadas unidades distintas na quantificação do mesmo material, como é o caso de tinta em litros, galões, m<sup>2</sup> etc. São exemplos de unidades funcionais: aço (kg); concreto (m<sup>3</sup>); tinta (m<sup>2</sup>); laje pré-moldada (m<sup>2</sup>); tela nervurada (m<sup>2</sup>); bloco (unid.).
- VUP** Vida útil de projeto, conforme ABNT NBR 15.575:2013. Período de tempo estimado para o qual um edifício e/ou seus sistemas, elementos e componentes são projetados a fim de atender às atividades para as quais foram projetados e construídos.



# SUMÁRIO DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Índices de atendimento urbano de água, coleta, e tratamento de esgotos por UF brasileira .....	<b>15</b>
<b>Tabela 2</b>	Compilação de estudos específicos de PH/água virtual na construção civil .....	<b>21</b>
<b>Tabela 3</b>	PH <sub>azul</sub> direta e indireta por m <sup>2</sup> construído .....	<b>22</b>
<b>Tabela 4</b>	Resumo de características principais das iniciativas levantadas.....	<b>26</b>
<b>Tabela 5</b>	Resumo das definições para cálculo de PH .....	<b>29</b>
<b>Tabela 6</b>	Variáveis de ocupação para cálculo de PH <sub>uso</sub> específica .....	<b>32</b>
<b>Tabela 7</b>	Campos de agrupamento de etapa e de materiais.....	<b>33</b>
<b>Tabela 8</b>	Categorização em MAT1.....	<b>34</b>
<b>Tabela 9</b>	Exemplos de materiais agrupados como MAT1.....	<b>35</b>
<b>Tabela 10</b>	Convenções adotadas para identificação de empresas do GT e obras analisadas .....	<b>38</b>
<b>Tabela 11</b>	Avaliação geral das bases documentais fornecidas pelo GT e do nível de gestão de informações sobre água das empresas.....	<b>40</b>
<b>Tabela 12</b>	Principais informações e indicadores (DT, DPA e DPC) das obras analisadas.....	<b>43</b>
<b>Tabela 13</b>	Contribuição dos materiais para a pegada hídrica das obras do GT .....	<b>49</b>
<b>Tabela 14</b>	Características da análise simples e da análise detalhada de PH na FPH <sub>edif</sub> .....	<b>50</b>
<b>Tabela 15</b>	Variáveis de interesse para PH .....	<b>55</b>
<b>Tabela 16</b>	Exemplos de processos e materiais referentes à PH .....	<b>58</b>
<b>Tabela 17</b>	Exemplos de valores de demandas unitárias e C para processos .....	<b>61</b>
<b>Tabela 18</b>	Exemplos de valores de referência para C <sub>máx</sub> (acima) e C <sub>0</sub> (abaixo) em termos de DBO <sub>5,20</sub> .....	<b>65</b>
<b>Tabela 19</b>	Valores de referência de C <sub>máx</sub> e C <sub>0</sub> para corpos hídricos de acordo com a classe .....	<b>66</b>
<b>Tabela 20</b>	Exemplos de valores de referência de Carga <sub>per capita</sub> e eficiência de tratamento.....	<b>67</b>
<b>Tabela 21</b>	Eficiências de remoção de DBO <sub>5,20</sub> para diferentes arranjos de tratamento de acordo com literatura especializada.....	<b>68</b>
<b>Tabela 22</b>	CPH <sub>azul</sub> para os principais materiais (MAT1).....	<b>69</b>
<b>Tabela 23</b>	Exemplos de variabilidade de unidades em orçamentos de obra.....	<b>70</b>
<b>Tabela 24</b>	Exemplos genéricos de demanda per capita por tipo de ocupante .....	<b>76</b>
<b>Tabela 25</b>	PH <sub>obra,azul</sub> direta e indireta em m <sup>3</sup> e em m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .....	<b>96</b>
<b>Tabela 26</b>	Contribuição percentual das parcelas direta e indireta sobre PH <sub>obra</sub> (resultados da análise rápida).....	<b>98</b>
<b>Tabela 27</b>	PH <sub>obra</sub> etapa – direta, indireta, por etapa em m <sup>3</sup> .....	<b>100</b>
<b>Tabela 28</b>	PH <sub>obra</sub> por etapa – % direta, indireta, por etapa .....	<b>100</b>
<b>Tabela 29</b>	PH indireta por material em m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .....	<b>101</b>
<b>Tabela 30</b>	PH por material (MAT1) em m <sup>3</sup> .....	<b>102</b>
<b>Tabela 31</b>	PH por material (MAT1) em %.....	<b>103</b>
<b>Tabela 32</b>	Premissas para cálculo de PH <sub>uso</sub> .....	<b>104</b>
<b>Tabela 33</b>	Resultados de cálculo de PH <sub>uso</sub> considerando somente residentes como AC.....	<b>105</b>
<b>Tabela 34</b>	Valores de PH <sub>edif</sub> e decomposição em PH <sub>obra,d,azul</sub> , PH <sub>obra,i,azul</sub> e PH <sub>uso</sub> .....	<b>107</b>
<b>Tabela 35</b>	Participação de PH <sub>obra,d,azul</sub> , PH <sub>obra,i,azul</sub> e PH <sub>uso</sub> na PH <sub>edif</sub> .....	<b>108</b>
<b>Tabela 36</b>	PH <sub>obra</sub> específica direta e indireta- comparação com literatura .....	<b>111</b>
<b>Tabela 37</b>	Comparação entre valores de PH <sub>obra,azul</sub> calculados pela Infinitytech e pelo GT na análise rápida.....	<b>114</b>
<b>Tabela 38</b>	Comparação entre AR e AD para PH <sub>obra,azul</sub> .....	<b>115</b>
<b>Tabela 39</b>	Contribuições por uso final em residências no município de São Paulo.....	<b>138</b>
<b>Tabela 40</b>	Contribuições por uso final em residências no município de São Paulo.....	<b>138</b>
<b>Tabela 41</b>	Economia proporcionada por medidas de conservação em bacias sanitárias .....	<b>140</b>
<b>Tabela 42</b>	Economia no consumo de água diário pela substituição do sistema de descarga .....	<b>141</b>



# SUMÁRIO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Balanco quali-quantitativo de disponibilidade de água .....	<b>14</b>
<b>Figura 2</b>	Abrangência de coleta de esgotos por UF .....	<b>17</b>
<b>Figura 3.</b>	Etapas de cálculo de pegada hídrica – a pegada hídrica de processo é a unidade básica .....	<b>20</b>
<b>Figura 4</b>	Gráfico de contribuição acumulada de $PH_{azul}$ por material para edificações de serviços Concreto foi desagregado em cimento, areia e brita .....	<b>23</b>
<b>Figura 5</b>	Gráfico de contribuição acumulada de $PH_{azul}$ por material e processo (direct water) em $m^3/m^2$ para 17 edificações distintas .....	<b>24</b>
<b>Figura 6</b>	Gráfico de $PH_{azul}$ e $PH_{cinza}$ para aço, cimento e vidro. ....	<b>24</b>
<b>Figura 7</b>	Fases da metodologia da WFN contempladas no guia.....	<b>28</b>
<b>Figura 8</b>	Estrutura geral do cálculo de pegada hídrica para edificações .....	<b>30</b>
<b>Figura 9</b>	Estrutura geral detalhada do cálculo de pegada hídrica para edificações.....	<b>30</b>
<b>Figura 10</b>	Pontos de feedback do GT previstos na metodologia de participação .....	<b>39</b>
<b>Figura 11</b>	Relação entre demanda total (DT) e por área (DPA) para o GT.....	<b>43</b>
<b>Figura 12</b>	Gráfico de DT em função de ACT (DPA representado pela área de bolhas) .....	<b>44</b>
<b>Figura 13</b>	Evolução de DT e DPA mensais ao longo da obra 1.1.....	<b>44</b>
<b>Figura 14</b>	Evolução de DT e DPA mensais ao longo da obra 1.2.....	<b>45</b>
<b>Figura 15</b>	Evolução de DT e DPA mensais ao longo da obra 1.3.....	<b>45</b>
<b>Figura 16</b>	Evolução de DT e DPA mensais ao longo da obra 5.1.....	<b>45</b>
<b>Figura 17</b>	Participação média no orçamento, desvio padrão, mínimos e máximos por MAT1.....	<b>46</b>
<b>Figura 18</b>	Curva ABC de custos média por MAT1 .....	<b>47</b>
<b>Figura 19</b>	Participação média da PH, desvio padrão, mínimos e máximos por MAT1 .....	<b>48</b>
<b>Figura 20</b>	Curva ABC de PH média por MAT1 .....	<b>48</b>
<b>Figura 21</b>	Capturas de tela da FPH <sub>edif.</sub> .....	<b>52</b>
<b>Figura 22</b>	Diagrama ilustrativo da lógica de entrada, processamento e saída de dados.....	<b>54</b>
<b>Figura 23</b>	Estrutura de cálculo da PH <sub>obra.</sub> .....	<b>57</b>
<b>Figura 24</b>	Fluxograma de cálculo de PH <sub>obra,d,azul</sub> .....	<b>60</b>
<b>Figura 25</b>	Fluxograma de cálculo de PH <sub>obra,d,cinza</sub> .....	<b>63</b>
<b>Figura 26</b>	Estrutura de cálculo da PH <sub>uso</sub> .....	<b>74</b>
<b>Figura 27</b>	Proposta de cálculo de teste metodologia: nível de detalhamento da análise e responsáveis pelos resultados .....	<b>96</b>
<b>Figura 28</b>	PH <sub>obra</sub> direta e indireta em $m^3$ e em $m^3/m^2$ (resultados da análise rápida).....	<b>97</b>
<b>Figura 29</b>	% PH <sub>obra</sub> direta e indireta (resultados pela análise rápida).....	<b>98</b>
<b>Figura 30</b>	% PH <sub>obra</sub> por etapa .....	<b>99</b>
<b>Figura 31</b>	PH <sub>obra</sub> ( $m^3/m^2$ ) por etapa .....	<b>99</b>
<b>Figura 32</b>	Participação percentual dos materiais na PH indireta .....	<b>101</b>
<b>Figura 33</b>	Resultados de PH <sub>uso,d,azul</sub> ( $m^3$ ) ao longo da vida útil dos empreendimentos .....	<b>106</b>
<b>Figura 34</b>	Estrutura de cálculo de pegada hídrica e resultados esperados da metodologia .....	<b>107</b>
<b>Figura 35</b>	Contribuição das PH de obra e de uso na PH <sub>edif.</sub> .....	<b>108</b>
<b>Figura 36</b>	PH <sub>obra</sub> e PH <sub>uso</sub> acumuladas para as obras 1.1, 2.2 e 5.1.....	<b>109</b>
<b>Figura 37</b>	PH <sub>edif</sub> acumulada desde a obra até o final da vida útil (50 anos) .....	<b>110</b>
<b>Figura 38</b>	PH <sub>obra</sub> específica direta e indireta – comparação com literatura .....	<b>112</b>
<b>Figura 39</b>	Contribuição percentual sobre PH <sub>azul</sub> das parcelas direta e indireta .....	<b>113</b>
<b>Figura 40</b>	Realização de testes da metodologia: escopo destacado em amarelo.....	<b>113</b>
<b>Figura 41</b>	Gráficos de comparação de valores de PH <sub>obra,azul</sub> calculados pela Infinitytech e pelo GT – valores absolutos (esq.) e indicador em $m^3/m^2$ (dir.) .....	<b>114</b>
<b>Figura 42</b>	Coefficiente de retorno sanitário e de processo .....	<b>131</b>
<b>Figura 43</b>	Pontos de medição de água e esgoto. Elaborado pelos autores .....	<b>132</b>
<b>Figura 44</b>	Contribuições por uso final em residências no município de São Paulo.....	<b>139</b>
<b>Figura 45</b>	Comparação para economias de 0% e 20% sobre a demanda, (a) e (b) respectivamente....	<b>139</b>
<b>Figura 46</b>	Contribuição das medidas de economia sobre a PH <sub>uso,d,azul</sub> .....	<b>141</b>



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>.

\_\_\_\_\_. *Balanco Hídrico Quali-Quantitativo [shapefile]*. Disponível em <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuiid=33722737-dc4a-466f-a2f4-d4e16642acec>>. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABTN NBR 9649:1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

BARDHAN, S. *Assessment of water resource consumption in building construction in India*. Ecosystems and Sustainable Development VIII, v. 144, p. 93-101, 2011. Disponível em <<https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-ecology-and-the-environment/144/21933>>

BARRETO, D. *Perfil do consumo residencial e usos finais da água*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008. Disponível em <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5358/3280>>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Fundamentos do Controle de Poluição das Águas (notas de aula)*. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/11/Aula-05-e-06-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas-Tratamento-Efluentes-T3.pdf>>. 2018.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M (coord.). *Tratamento e utilização de esgotos sanitários: projeto PROSAB*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y.; BOSMAN, R. The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water Resources and Industry*, v.19, p. 1-12, 2018. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X>>

GOMES, P.R. *Indicadores ambientais na discussão da sustentabilidade do etanol de cana-de-açúcar no estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). São Carlos: EESC-USP, 2011.

HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. *Manual de avaliação da pegada hídrica: Estabelecendo o padrão global*. 2011

HOEKSTRA, A.Y. *Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field*. *Water Resources Management*. 2017

HOSSEINIAN, S.M.; NEZAMOLESLAMI, R. Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 2454-2463, 2018. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732838X>>

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*, 4ª ed. Rio de Janeiro: 2005.

KRAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.6, n.1, jan./mar. p.75-90. 2006. Disponível em <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3681/2047>>

LIMA, R.A.P.; CANDIDO, L.L.T.; SILVA, E.L.; CANDIDO, R.A.; VIEIRA, A. S. *Cálculo da pegada hídrica total em uma empresa da construção civil localizada no semiárido nordestino*. Artigo técnico apresentado no XIII Simpósio de recursos hídricos do Nordeste (SRHNE). Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH): Sergipe, 2016. Disponível em: <<http://www.evolvedoc.com.br/srhne/download-2016-UEFQMDixNTY1LnBkZg>>.

MCCORMACK, M.; TREOLAR, G.J.; PALMOWSKI, L.; CRAWFORD, R. Modelling direct and indirect water requirements of construction. *Building Research and Information*, v. 32, n.2, p. 156-162, 2007. Disponível em <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0961321060112538>>

MENG, J.; CHEN, C.Q.; SHAO, L.; LI, J.S.; TANG, H.S.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A. *Virtual water accounting*



for building: case study for E-town, Beijing. *Journal of Cleaner Production*, v. 68, p. 7-15, 2014. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613008998>>

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO (MDR/SNS). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília, Brasil: SNS/MDR, 2019a. 226 p.

\_\_\_\_\_. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)*. 2019b. Disponível em <<http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>>

\_\_\_\_\_. *Tabela Resumo de Informações e Indicadores por Estado*. Brasília, Brasil: SNS/MDR, 2019c. Disponível em < [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2017/Planilhas\\_AE2017\\_Resumo\\_PorEstado.zip](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2017/Planilhas_AE2017_Resumo_PorEstado.zip)>

NETO, Rubens F. A. JULIO, Marcelo. Estudo de técnicas sustentáveis para racionalização do uso de água em edificações com enfoque na demanda. [s.l.]: Revista de Engenharia e Tecnologia, 2014.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETes em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I - análise de desempenho. *Eng. Sanit. ambient.*, v. 10, n. 4, p. 347–357, 2005.

PESSARELLO, R.G. Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores. Monografia (MBA) apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. USP: São Paulo, 2008. Disponível em: < <http://www.poliintegra.poli.usp.br/library/pdfs/7f3c9143404e-82ba87639255e32062e6.pdf>>.

REAL PROPERTY ASSOCIATION OF CANADA - REALPac. *Water Management: A Benchmark for Canadian office Buildings*. 2011. 37p. Disponível em < [http://c.ymcdn.com/sites/www.realpac.ca/resource/resmgr/industry\\_sustainability\\_-\\_research\\_reports/rp-water-management-and-benc.pdf](http://c.ymcdn.com/sites/www.realpac.ca/resource/resmgr/industry_sustainability_-_research_reports/rp-water-management-and-benc.pdf)>

SAADE, M.R.M.; SILVA, M.G; GOMES, V.; FRANCO, H.G.; SCHWAMBACK, D.; LAVOR, B. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. *Smart and Sustainable Built Environment*, v. 3, n. 1, p. 54-71, 2014. Disponível em < <https://www.emeraldinsight.com/doi/pdfplus/10.1108/SASBE-04-2013-0024>>

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – Parte 1: redução no consumo de água. *Paranoá: Cadernos De Arquitetura E Urbanismo*, 10(10), 77-84, 2013. Disponível em <<http://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/10637>>

SILVA, R.R.; VIOLIN, R.Y.T. Gestão da água em canteiros de obras de construção civil. Artigo técnico apresentado no VIII Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar (EPCC) do Centro Universitário Cesumar (UNICESUMAR). CESUMAR: Maringá, 2013. Disponível em < [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit\\_mostra/Robson\\_Rodrigo\\_da\\_Silva2.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Robson_Rodrigo_da_Silva2.pdf)>.

SOUZA, J. L. Proposta metodológica de cálculo para pegada hídrica na construção civil imobiliária. Tese (Doutorado) apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará (UFC). UFC: Fortaleza, 2014. Disponível em: < [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014\\_tese\\_jlsouza.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15082/1/2014_tese_jlsouza.pdf)>.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar Editora, 2000.

UNESCO. *The handbook on water information systems: administration, processing and exploitation of water-related data*. Paris: UNESCO, 2018.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 3a ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WÄRMARK, K. *Assessment of water footprint for civil construction projects*. Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). SLU: Uppsala (Suécia): 2015. Disponível em: <[http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Katarina\\_W%C3%A4rmark.pdf](http://www.w-program.nu/filer/exjobb/Katarina_W%C3%A4rmark.pdf)>.

REALIZAÇÃO

