



Avaliação da sustentabilidade do uso da água em uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação

Mariane Rangel de Matos
mariane.rmatos@gmail.com
IFF

Deivison Lamonica Barreto
deivisonlb@gmail.com
IFF

Henrique Rego Monteiro da Hora
dahora@gmail.com
IFF

Milton Erthal Jr
miltonerthal@hotmail.com
IFF

Resumo: A maioria das instituições busca sustentabilidade em todas as suas atividades. Para uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT), como a organização que foi o objeto do presente estudo, isso é algo de extrema relevância. Entretanto, o nível de sustentabilidade sobre o uso da água na ICT pesquisada ainda não foi avaliado. O objetivo deste trabalho consiste em efetuar uma estimativa do indicador Pegada Hídrica, que é a relação entre o consumo humano e o uso da água, durante o ano de 2017. O método utilizado separa e classifica a água de acordo com sua fonte e impacto: água azul (água superficial), água verde (evapotranspiração) e água cinza (efluente gerado), e a sua soma irá gerar a pegada hídrica total da instituição. A quantidade da pegada hídrica cinza encontrada foi elevada e isso se deve ao alto valor do componente DBO_{5,20} nas fossas sépticas, que são considerados tratamentos primários do efluente. Faz-se necessário a melhoria na tratativa dos efluentes, como a instalação de um filtro anaeróbio após as fossas.

Palavras Chave: Pegada hídrica - consumo de água - sustentabilidade - -



1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda da humanidade por recursos naturais, dos quais muitos não são renováveis, traz como consequências a escassez de muitos deles e a emissão de resíduos gerados no processo produtivo (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016). As atividades antrópicas continuam degradando a natureza, sem uma solução fatídica para evitar um possível colapso ambiental (ALVES, 2014), ou seja, ultrapassam a capacidade de reposição da natureza a cada ano, incluindo a absorção e reciclagem de resíduos.

A ilusão da inesgotabilidade dos recursos naturais é forjada pelo modelo racionalista, que tem como premissa básica a capacidade infinita da tecnologia de transformar os bens da natureza em recursos e a da ciência de resolver os problemas que possam surgir dessa apropriação (RUTKOWSKI *et al.*, 1999), ou seja, o modelo de desenvolvimento atual tem como premissa a inesgotabilidade dos recursos naturais.

Deve haver manutenção do equilíbrio entre as sustentabilidades socioeconômicas e ambientais e também conhecer a capacidade biológica que é necessária para absorver os impactos ambientais produzidos pela humanidade. O conceito de desenvolvimento sustentável consiste em descobrir como o planeta pode proporcionar recursos suficientes para assegurar o bem-estar das pessoas (SILVA *et al.*, 2013) ou seja, avaliar até que ponto os impactos antrópicos extrapolam os limites de ocupação do território (a nível local, regional ou global) é essencial para a promoção de metas de desenvolvimento de forma sustentável.

Dentre os recursos naturais que estão em declínio, a atenção para este trabalho está voltada para a água por tratar-se de um bem essencial para o desenvolvimento econômico e social da humanidade. Ela é um recurso natural fundamental ao planeta e para a qualidade da humanidade (GIACOMIN; OHNUMA JR., 2017) e, por este motivo, deve-se conhecer a disponibilidade deste recurso para atender às necessidades da sociedade, sem comprometer, de forma significativa a biota, os processos ecológicos e ciclagem de nutrientes que ocorrem nos corpos hídricos. Estabelecer limites de uso da água é um aspecto importante para promover um modelo de desenvolvimento sustentável.

Uma das formas de avaliar o quanto é sustentável o uso de um corpo hídrico se dá através do uso de um indicador de sustentabilidade, chamado de Pegada Hídrica (HOEKSTRA; HUNG, 2002). Para Silva *et al.* (2013), a PH foi introduzida com o propósito de ilustrar as relações pouco conhecidas entre o consumo humano e o uso da água, além do comércio global e a gestão de recursos hídricos. Um aspecto interessante é que o método da PH separa e classifica a água de acordo com sua fonte e impacto (LEÃO, 2013).

Existem algumas instituições, como a Water-Footprint Network (WFN) e a International Organization for Standardization (ISO), que vem apresentando propostas metodológicas para a padronização da PH, porém, de maneira geral, os dados disponibilizados para a avaliação da PH são insuficientes, especialmente quando se trata de informações locais. Para contribuir com novas fontes de pesquisa e dados, este artigo visa justamente a realização de uma análise local da PH de uma Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação (ICT) e para tal, foi definido o Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes (PICG).

O Polo de Inovação do Instituto Federal Fluminense, localizado no município de Campos dos Goytacazes, RJ busca sustentabilidade em todas as suas ações. Recentemente, a Pegada Ecológica desta instituição foi avaliada (AMADURO *et al.*, no prelo), no entanto, a captação e tratamento da água e a disposição final dos efluentes líquidos não. Tendo como foco institucional a sustentabilidade, surgem as questões de pesquisa deste artigo. A captação de água, para atender as demandas desta instituição, extrapola os limites corpo hídrico local: o rio Paraíba do Sul? O despejo dos efluentes líquidos no ambiente é coerente com a capacidade



de assimilação do solo? Há disponibilidade de dados a nível local para avaliar a sustentabilidade do uso da água por esta instituição?

Tendo como base as questões apresentadas anteriormente, o objetivo deste estudo é avaliar a PH do Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes (PICG), no decorrer do ano de 2017. A escolha deste local para a realização desta investigação justifica-se por possuir diferentes atividades, como sistemas de irrigação e estufa, descarte de resíduos através de fossa séptica, uso da água em banheiros, cozinha e demandas do Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul (LABFOZ).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo Pegada Hídrica (PH) foi escolhido por Hoekstra e Hung (2002) em analogia à pegada ecológica, no entanto, os conceitos referentes às pegadas possuem outras raízes, visto que pegada ecológica é expressa em hectares e a PH em volume de água doce consumida (SILVA *et al.*, 2013).

2.1. PEGADA ECOLÓGICA

O termo pegada ecológica foi introduzido por Rees (1992) e é definido como a área total de terra necessária para sustentar uma região urbana, sendo geralmente uma ordem de magnitude maior do que a da área localizada dentro dos limites das cidades ou da área construída relacionada.

O conceito e o cálculo da pegada ecológica foram mais tarde desenvolvidos por Wackernagel e Rees (1996), que a definem como a área de terra necessária para produzir exclusivamente os recursos naturais e serviços consumidos por uma população e para assimilar o desperdício que a mesma gera.

Para aprofundar a forma de como esse indicador pode ser medido, Kitzes *et al.* (2009) apontam uma questão que tais cálculos buscam responder: quanto da capacidade biológica regenerativa do planeta é demandada por uma determinada atividade humana? Essas atividades podem se referir ao consumo de recursos de uma população, a produção de um bem ou a prestação de um serviço.

A demanda na biosfera pode ser comparada à biocapacidade, uma medida da quantidade de terra e água biologicamente produtivas disponíveis para uso humano. A terra biologicamente produtiva inclui áreas como terras de cultivo, floresta e pesqueiros.

Segundo Rees (1996), a análise da pegada ecológica fornece uma medida do déficit ecológico de um determinado país, por exemplo, e do quanto precisa ser feito no que diz respeito à sustentabilidade, indicando mudanças necessárias na economia, a fim de adequá-la à capacidade global.

De acordo com Fang *et al.* (2014), a pegada ecológica é uma metodologia eficaz de comunicação para conscientizar o público sobre os impactos ambientais resultantes da produção e do consumo.

Segundo Monfreda *et al.* (2004), os cálculos da pegada ecológica medem a área necessária para fornecer determinados recursos e o quanto de resíduos pode ser assimilado sem comprometer a capacidade produtiva dessas áreas. Além disso, destaca-se que a pegada ecológica é um mecanismo de alerta, um parâmetro que incentiva a discussão sobre os limites ecológicos entre cientistas, políticos e o público, também para estruturar o debate sobre como usar de forma adequada o capital natural.



2.2. PEGADA HÍDRICA

Hoekstra e Hung (2002), fazendo uma analogia à pegada ecológica, criaram o conceito de pegada hídrica, um indicador da soma do uso doméstico da água e da importação líquida de água virtual (água utilizada na fabricação de um produto ou serviço), como uma medida de recursos hídricos globais possuídos por cada nação. Este conceito foi apresentado no encontro internacional de especialistas em comércio de água virtual, que foi realizado em Dezembro de 2002 na Holanda.

De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), a pegada hídrica é um indicador de uso da água que leva em consideração, não somente o seu uso direto por um consumidor ou produtor, mas, também, a sua utilização indireta. Assim, a pegada hídrica de um determinado produto, por exemplo, é o volume de água utilizado para produzi-lo, considerando toda a cadeia produtiva.

Por entender que há algumas variações quanto ao uso da água, Hoekstra *et al.* (2011) propõem que a pegada hídrica seja subdividida em três categorias: PH azul, PH verde e a PH cinza. A PH azul é um indicador do consumo da água superficial ou subterrânea. Esse consumo considera aspectos do consumo da água dos corpos hídricos, por exemplo, quando é incorporada a algum produto ou quando não retorna para a bacia hidrográfica de origem, escoando para outra bacia ou oceano; e quando retorna em um período diferente do que foi coletada (por exemplo, água retirada em época chuvosa e devolvida ao ambiente em período seco). Esta contabilização considera o ciclo biogeoquímico da água, como a precipitação pluviométrica, formação de corpos hídricos e perdas por evaporação.

A PH verde é um indicador do uso da água referente à precipitação no continente, ficando armazenada no solo, ou permanecendo temporariamente na superfície e na vegetação. Desse modo, a pegada hídrica verde é o volume da água da chuva consumido durante o processo de crescimento de plantas, sendo importante para produtos agrícolas e florestais, como, por exemplo, grãos e madeiras. É medida por meio de estimativas da chuva que sofre evapotranspiração em determinada área.

A PH cinza refere-se ao volume de água necessário para diluir os poluentes gerados durante o processo produtivo, de maneira que a qualidade da água seja mantida acima dos padrões mínimos de qualidade considerados aceitáveis ao corpo receptor.

De acordo com Empinotti, (2013), no Brasil, estudos considerando a PH como método de análise se concentram principalmente nas áreas de produção animal, cosméticos, na análise de dietas e padrões de consumo, na relação da PH com o ambiente e na análise do método da PH na gestão da água.

3. MÉTODO

A PH é um indicador quantitativo formado pelo somatório de seus três componentes: PH azul, PH verde e PH cinza. Neste estudo, desenvolvido em uma ICT, a PH azul se refere à água captada no Rio Paraíba do Sul. A PH verde refere-se à água da evapotranspiração das áreas irrigadas, enquanto que a PH cinza refere-se ao esgoto gerado na unidade. Não foram consideradas perdas no sistema de distribuição.

3.1. INFORMAÇÕES PARA O CÁLCULO

Para a realização do cálculo das pegadas hídricas deve-se conhecer os dados que fazem parte de cada item das pegadas: a população, as atividades desenvolvidas no PICG, a evapotranspiração real e o esgoto descartado.



3.1.1. POPULAÇÃO

Em relação ao público que atua no PICG, pode-se observar que uma parte dele é constante e a outra parte é variável. A parte constante corresponde aos servidores e funcionários de empresas terceirizadas, que desenvolvem suas atividades diariamente no Polo, fazendo com que esse quantitativo de pessoas seja um número mais estável. Já a população de alunos não possui a mesma estabilidade, pois ela pode variar de acordo com o andamento de projetos em que estes estudantes estejam vinculados, aumentando a frequência dos mesmos em determinadas ocasiões e diminuindo em outras. Além disso, ocorrem reuniões com representantes de empresas, pesquisadores de outras instituições, entre outros, resultando em variações na população.

Desse modo, a população constante foi obtida através da contabilização dos profissionais que atuam diariamente no PICG, enquanto que para a população variável, foi realizada uma média baseada nos dados históricos de quantas pessoas compareceram na unidade, conforme demonstrado na tabela 1:

Tabela 1: Dados históricos de quantidade pessoas por dia no PICG durante o ano de 2017

| População | Dia Útil | Sábado | Domingo | Feriado |
|---------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Servidores | 13 | 0 | 0 | 0 |
| Terceirizados | 16 | 9 | 3 | 3 |
| Alunos | 7 | 0 | 0 | 0 |
| Reuniões | 1,46 | 0 | 0 | 0 |
| Entrevistas | 0,17 | 0 | 0 | 0 |
| Defesas de Mestrado | 0,34 | 0 | 0 | 0 |
| Visitas técnicas | 0,09 | 0 | 0 | 0 |
| Outros | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Total: | 42 | 9 | 3 | 3 |

Fonte: os autores

3.1.2. ATIVIDADES

Para a aquisição de dados e demais informações necessárias para o cálculo da Pegada Hídrica do PICG, foi realizada uma coleta de dados no próprio Polo, com os responsáveis pelas atividades de captação, tratamento, distribuição e descarte de efluentes da instituição ao longo do ano de 2017.

Desse modo, pode-se observar que em relação ao uso da água nas atividades na ICT em questão, algumas demandam a utilização de água tratada, enquanto outras atividades ocorrem sem que haja um tratamento prévio da água utilizada.

3.1.2.1. ATIVIDADES REALIZADAS COM UTILIZAÇÃO DE ÁGUA TRATADA

O Polo de Inovação não é atendido pela concessionária que fornece água no município de Campos dos Goytacazes, sendo assim, não havia a disponibilidade dos dados desse consumo em contas de água. Desse modo, as informações referentes à estimativa do consumo foram obtidas juntamente ao profissional responsável pelo tratamento da água.

3.1.2.2. ATIVIDADES REALIZADAS COM UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NÃO TRATADA

Em relação à água não tratada, identificou-se o seu uso para irrigação na produção de mudas (duas casas de vegetação), que possui uma área de 108,80m² e na de cultivo com uma área de 1.338,80 m².



3.1.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

Para obtenção dos dados referentes à evapotranspiração real, foi utilizado o Balanço Hídrico Sequencial disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) utilizando os dados fornecidos pela estação meteorológica mais próxima do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes para um solo muito argiloso, que corresponde ao solo onde está localizado o PICG.

3.1.4. ESGOTO

A Pegada Hídrica cinza, conforme proposta por Hoekstra (2011), considera em seu cálculo, a carga poluente de esgoto tratado e a carga de poluente de esgoto não tratado. O PICG possui tratamento primário de esgoto, que é feito através de duas fossas sépticas. Assim, o valor para a carga não tratada será considerado como zero.

De acordo com fonte de informação interna da instituição, a primeira fossa possui concreto em seu fundo, realizando assim, um processo de decantação dos resíduos sólidos. Após esse processo, os resíduos sólidos restantes vão para a segunda fossa, que por sua vez, possui uma caixa de brita em seu fundo. Essa caixa retém os últimos resíduos, fazendo com que somente resíduos líquidos passem para o solo. De acordo com as informações obtidas na coleta de dados, foi estimado que a quantidade de água descartada para os dias quentes foi de 1,5 m³ por dia e para os demais 1,0 m³ por dia. Dessa forma, obteve-se a estimativa de vazão de saída da fossa séptica n^o. 2 em 287,5 m³/ano. Foi utilizada a segunda fossa, visto que é a partir dela que, de fato, o esgoto vai para o solo.

A DBO (demanda bioquímica de oxigênio), componente necessário para o cálculo da Pegada Hídrica cinza, é definida por Valente *et al.* (1997) como um teste padrão, realizado a uma temperatura constante de 20°C e durante um período de incubação também fixo de cinco dias. É uma medida que procura retratar em laboratório, o fenômeno que acontece no corpo d'água. De maneira geral, uma amostra é coletada em duplicata e, em uma das amostras, é medido o oxigênio dissolvido após a coleta; o oxigênio da outra amostra é medido após cinco dias, período em que a amostra fica em uma incubadora a uma temperatura de 20°C. A diferença de concentração de oxigênio representa a demanda bioquímica de oxigênio (VALENTE *et al.*, 1997).

De acordo com dados fornecidos pelo Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul (LABFOZ) – laboratório localizado no PICG – as medições realizadas em 2015 apontaram que a primeira fossa possuía em média 359 mgL⁻¹ do componente DBO_{5,20}, enquanto a segunda fossa possuía em média 293 mgL⁻¹ do mesmo componente. Para o cálculo de Pegada Hídrica cinza, foi utilizado o segundo valor, visto que este representa melhor a realidade do esgoto que de fato vai para o solo.

Também de acordo com informações fornecidas pelo LABFOZ, o Rio Paraíba do Sul, no ponto de coleta em frente ao PICG, em 2015 possuía uma média de 4 mgL⁻¹ do componente DBO_{5,20}. Nesse trecho, o rio é enquadrado como água doce de classe 3. De acordo com a Resolução CONAMA n^o. 357 (BRASIL, 2005), a concentração máxima para essa classificação é 10 mgL⁻¹.

3.2. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA

Para a realização desse estudo foram utilizadas as equações para o cálculo de cada Pegada Hídrica, conforme Vieira e Sousa (2015), incluindo algumas adaptações, levando em consideração fatores de conversão e os resultados obtidos pelas coletas de dados no Polo com os diferentes setores envolvidos. Estas equações estão apresentadas na tabela 2.


Tabela 2: Equações utilizadas nos cálculos da Pegada Hídrica

| Descrição | Unidade | Fórmula | Equação |
|-----------------------------------|---------------------|--|---------|
| Pegada Hídrica azul (PH azul) | m ³ /ano | $PH_{azul} = T_{at} + T_{nat}$ Em que: T _{at} = total de água tratada; T _{nat} = total de água não tratada | 1 |
| Pegada Hídrica verde (PH verde) | m ³ /ano | $PH_{verde} = AC \times ETR$ Em que: AC = Área considerada; ETR = Evapotranspiração real | 2 |
| Carga de poluente tratada (LTrat) | mg/s | $L_{trat} = C_{trat} \times Q_{saída}$ Em que: L _{trat} = Carga poluente do esgoto tratado, em mg/s; C _{trat} = Concentração do parâmetro no esgoto tratado, em mgL ⁻¹ ; Q _{saída} = Vazão de saída da fossa séptica em L/s. | 3 |
| Pegada Hídrica cinza (PH cinza) | m ³ /ano | $PH_{cinza} = \frac{L_{trat} + LN_{trat}}{C_{max} - C_{nat}}$ Em que: L _{trat} = Carga poluente tratada (mg/s); LN _{trat} = Carga poluente não tratada (mg/s); C _{max} = Concentração máxima aceitável (mgL ⁻¹); C _{nat} = Concentração natural do poluente selecionado (mgL ⁻¹) | 4 |
| Pegada Hídrica total (PH total) | m ³ /ano | $PH_{total} = PH_{azul} + PH_{verde} + PH_{cinza}$ | 5 |

Fonte: adaptado de Vicira e Sousa (2015)

4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos, classificados em pegada hídrica azul, verde e cinza para a instituição que foi o objeto do presente estudo.

4.1. OBJETO DE ESTUDO

O PICG é uma unidade que evoluiu a partir do *campus* Rio Paraíba do Sul do Instituto Federal Fluminense, que desenvolvia trabalhos associados às ciências ambientais. Através de uma Chamada Pública realizada em 2014 pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), o *campus* foi credenciado como um Polo EMBRAPPII na área de atuação monitoramento e instrumentação para o meio ambiente. Tal credenciamento permitiu que o PICG ficasse habilitado a receber recursos financeiros para prospectar e executar projetos de inovação em parcerias com empresas do setor industrial na área definida, assumindo o compromisso de atingir metas pactuadas com a EMBRAPPII (2014). Em abril de 2018, o PICG assinou o seu décimo contrato em parceria com a EMBRAPPII, visando o desenvolvimento de um protótipo de robô de inspeção de dutos com foco na manutenção corretiva e preditiva de sistemas de escoamento de efluentes industriais e de saneamento (IFF, 2018). Tal contrato superou a meta do Plano de Ação do PICG, que previa a execução de sete projetos. Atualmente, o PICG possui como competência EMBRAPPII a área de Tecnologia para Produção mais Limpa, tendo como linhas de atuação a Eficiência Energética e Fontes Renováveis de Energia; Redução, Tratamento e Reaproveitamento de Resíduos; e Uso



Racional de Recursos Hídricos. Além do escopo da EMBRAPII, o PICG desenvolve atividades nas áreas Aeroespacial e Telecomunicações, entre outras. Na figura 1 pode-se observar o PICG e sua proximidade com o Rio Paraíba do Sul.



Figura 1: Vista aérea do tabuleiro aluvial da bacia hidrográfica do baixo Paraíba do Sul. Em destaque, o Polo de Inovação Campos dos Goytacazes, RJ.

Fonte: <http://portal1.iff.edu.br/nossos-campi/polo-de-inovacao-campos-dos-goytacazes/apresentacao>

4.2. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA AZUL

Este indicador foi estimado a partir da identificação de todas as atividades do Polo de Inovação que utilizam a água superficial, ou seja, água tratada e água não tratada, ambas provenientes do rio Paraíba do Sul.

Conforme demonstrado na tabela 3, a captação da água para posterior tratamento foi estimada em 792,50 m³ ao longo de 2017. Este volume atende às demandas dos banheiros, lavabos, cozinha e do Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul (LABFOZ) da unidade.

Tabela 3: Quantidade de água tratada consumida no Polo de Inovação de Campos dos Goytacazes, RJ, durante o ano de 2017, em m³.

| Consumo de água | Dias Úteis | Sábados | Domingos | Feriados | Total Anual |
|-------------------------------------|------------|---------|----------|----------|-------------|
| Total (m ³) | 732 | 26 | 26,5 | 8 | 792,50 |
| <i>per capita</i> (m ³) | 17,43 | 2 | 4,42 | 1,33 | 25,18 |
| Quantidade de dias | 244 | 52 | 53 | 16 | |

Fonte: os autores

Para o caso da água não tratada, de acordo com a coleta de dados realizada na própria instituição, a irrigação da área de cultivo é feita de forma manual, ocorrendo somente em dias úteis, resultando em um total anual estimado em 976 m³, conforme tabela 4.

Por outro lado, a irrigação da área de produção de mudas é feita de maneira programada e por essa razão, essa atividade ocorre todos os dias, incluindo sábados, domingos e feriados. Os meses mais quentes, de dezembro a março, demandam maior quantidade de



água e ficou estimada em 120 m³ para o ano de 2017. Para o período de baixa demanda, abril a novembro, que dura a maior parte do ano, ficou estimado em 122,50 m³, totalizando um consumo de 242,50 m³, conforme tabela 4.

Tabela 4: Quantidade de água não tratada consumida no PICG no ano de 2017

| Descrição | Dia Útil | Sábado | Domingo | Feriado | Total Anual |
|--|----------|--------|---------|---------|-----------------|
| Irrigação cultivo (m ³) | 976 | 0 | 0 | 0 | 976 |
| Irrigação de mudas – alta demanda (m ³) | 87 | 13 | 14 | 6 | 120 |
| Irrigação de mudas – baixa demanda (m ³) | 78,50 | 19,50 | 19,50 | 5 | 122,50 |
| | | | | | 1.218,50 |

Fonte: os autores

A Pegada Hídrica azul total do PICG, obtida pela soma do volume total de água tratada e não tratada (equação 1), foi de 2.011 m³/ano.

4.3. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA VERDE

Para a estimativa da Pegada Hídrica verde foi considerada toda a área irrigada do PICG, que equivale a 1.447,60 m² e a evapotranspiração real da região, correspondente a 454,41 mm/ano, o que equivale a 0,45441 m/ano.

Conforme equação 2, multiplicando-se os valores encontrados (1.447,60 x 0,45441), obtêm-se uma Pegada Hídrica verde igual a 657,80 m³/ano.

4.4. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA CINZA

Para o cálculo da PH cinza é necessário que seja obtida a carga de poluente tratada (LTrat). Utilizando a equação 3, obtêm-se:

$$LTrat = 2,66 \text{ mg/s}$$

Uma vez possuindo esse dado, é possível realizar o cálculo da PH cinza, conforme equação 4:

$$PH \text{ cinza} = 14.002 \text{ m}^3/\text{ano}$$

4.5. CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA TOTAL

A Pegada Hídrica total foi calculada através das somas dos valores obtidos com os cálculos das PH azul, verde e cinza, conforme equação 5, resultando em um total de 16.544,64 m³/ano. A tabela 5 apresenta de forma resumida os valores obtidos anteriormente, agrupando-os por atividade e por tipo de Pegada Hídrica.

Tabela 5: Resumo da Pegada Hídrica do PICG – 2017

| Descrição | Tipo de Pegada Hídrica | Pegada Hídrica (m ³ /ano) |
|-------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| Água tratada | Azul | 792,50 |
| Irrigação - água não tratada | Azul | 1.218,50 |
| Irrigação - evapotranspiração | Verde | 657,80 |
| Esgoto | Cinza | 14.002 |
| Total | | 16.670,80 |

Fonte: os autores



A figura 2 apresenta em forma de gráfico a porcentagem equivalente de cada pegada calculada por atividade.

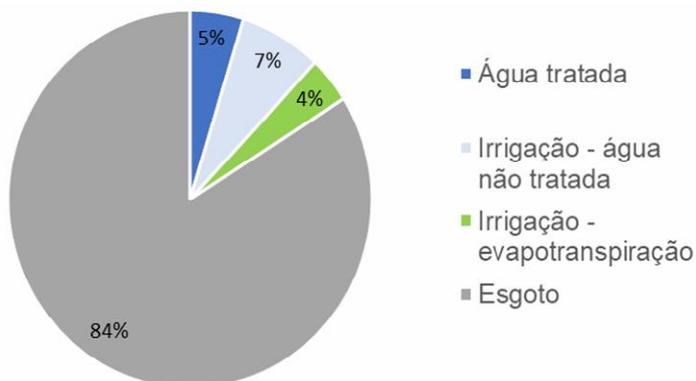


Figura 2: Porcentagem da PH por atividade.

Fonte: os autores

Do mesmo modo, a figura 3 apresenta o gráfico da porcentagem de cada pegada calculada (azul, verde e cinza), porém fazendo junção das atividades que envolvem o uso de água tratada e água não tratada, visto que essas são as atividades utilizadas no cálculo da PH azul. Os demais valores permanecem inalterados, visto que cada um foi composto por somente uma atividade – no caso da PH verde, pela evapotranspiração real e da PH cinza, pelo esgoto.

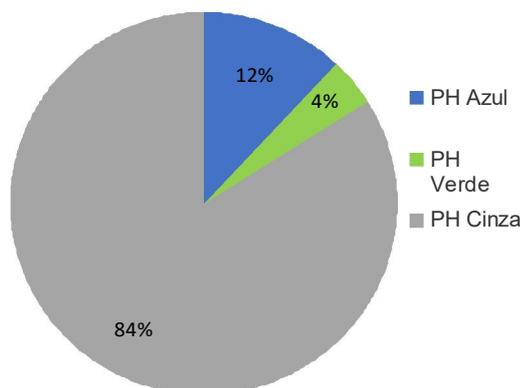


Figura 3: Pegada Hídrica do PICG em 2017.

Fonte: os autores

5. DISCUSSÃO

Conforme os resultados obtidos, pode-se observar que a parte crítica no uso da água da ICT em questão é a PH cinza, que corresponde a 84% do total. O despejo dos efluentes líquidos no ambiente possui componente $DBO_{5,20}$ elevada, mesmo sofrendo um tratamento primário em duas fossas sépticas. Em termos de comparação, temos o caso de Caraguatatuba (VIEIRA; SOUSA, 2015), em que a concentração do DBO_5 de um efluente bruto padrão foi de $175,85\text{mgL}^{-1}$, enquanto para a segunda fossa séptica do PICG o valor fornecido foi de 293mgL^{-1} . Sugere-se melhorias na parte do tratamento dos efluentes como a colocação de filtros anaeróbios após as fossas sépticas. De acordo com Chernicharo (2007), com este tipo de construção é possível a remoção em média de 75% a 85% de DBO .

Para verificar se a captação de água atende às demandas desta instituição ou se extrapola os limites do corpo hídrico local, foi verificado na Agência Nacional das Águas (ANA) que para o rio Paraíba do Sul, a disponibilidade hídrica superficial é de $277,77\text{ m}^3/\text{s}$



(BRASIL, 2018). Como a PH azul (água superficial) ficou em $2.011\text{m}^3/\text{ano}$, o que equivale a $6,4 \times 10^{-5}\text{m}^3/\text{s}$, conclui-se que a água total captada não extrapola o limite do corpo hídrico.

6. CONCLUSÃO

Em relação ao cálculo da PH do Polo de Inovação Campos dos Goytacazes, é importante destacar que houve disponibilidade de dados a nível local para realizar esta avaliação, porém ele não representa fielmente a exatidão da realidade, pois as informações utilizadas em seus cálculos foram obtidas através de estimativas de uso da água, fazendo disso uma limitação dessa abordagem.

Por outro lado, os dados foram estimados buscando-se a maior proximidade possível com a realidade e isso faz com que os resultados obtidos sirvam como referência da Pegada Hídrica do PICG. Esses valores auxiliam na identificação da quantidade de água que tem sido utilizada em cada atividade e qual a quantidade de resíduos que tem sido gerada, proporcionando uma visão geral sobre essas questões e de seus impactos ambientais.

Foi fundamental a separação da pegada hídrica em seus componentes para identificar seu ponto crítico. Assim, pode-se melhorar a gestão deste componente, mas também deve-se avaliar melhor a forma como vem sendo feita a irrigação na área de cultivo, pois esta contribui com quase 50% da pegada hídrica azul. Como sugestão, pode ser feita a sua mecanização, como a irrigação por gotejamento, técnica que possui baixa vazão, na qual a água é depositada por um tempo maior e assim, a perda de água por evaporação também é reduzida, pois a água é depositada diretamente nas raízes das plantas. Outras vantagens são maior controle e eficiência do uso da água a ser fornecida à planta; maior produtividade; melhor controle sanitário; possibilidade de funcionamento em tempo integral; possibilidade de manter o solo próximo à capacidade de campo; menor desenvolvimento de ervas daninhas entre as linhas de plantio; facilidade de automação; adaptação a diferentes tipos de solo e topografias, diminuição do escoamento superficial; percolação profunda; encharcamentos e erosões (SOUSA *et al.*, 2014).

Os resultados apresentados neste estudo podem ser usados para tomadas de decisões da instituição na busca de um uso sustentável dos recursos hídricos locais. A metodologia da PH proposta poderá ser empregada por outras instituições que buscam um planejamento adequado do uso dos recursos hídricos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES J. E. D. População, desenvolvimento e sustentabilidade: perspectivas para a CIPD pós-2014. Rev. bras. estud. popul., São Paulo, v. 31, n. 1, p. 219-230, Jun. 2014.

AMADURO, L. R.; HISSA, L. R.; FREITAS, W. S.; ERTHAL Jr. M. & DA HORA, H. R. M. Determinação e redução da pegada ecológica em um instituto de ciência e tecnologia usando abordagem multicritério. (No prelo).

BRASIL. Agência Nacional da Água. <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua/agua-superficial>. Acesso em: 17 maio 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2018.

CHERNICHARO, CARLOS. A. DE L. Anaerobic Reactor, Biological Wastewater Treatment Series. Department of Sanitary and Environmental Engineering Federal University of Minas Gerais, 188p. 2007

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Chamada pública EMBRAPII 02-2014. 2014.



- EMPINOTTI, V. L.; TADEU, N. D. & MARTINS, R. S. L.** Análise crítica da pegada hídrica cinza na produção de celulose. *Rev. Ambient. Água*. vol.8, n.3, pp.166-177. 2013
- FANG, K.; HEIJUNGS, R. & DE SNOO, G. R.** Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint Family. *Ecological Indicator*. 36, 508 – 518. 2014
- GIACOMIN, G. S. & OHNUMA JR., A. A.** Estimativa da pegada hídrica de um grupo de alunos de uma instituição de ensino superior. *Revista Internacional de Ciências*, v. 07, n. 01, p. 49 - 63, jan-jun, 2017.
- HOEKSTRA, A. Y. & HUNG, P. Q.** Virtual Water Trade: A Quantification of VirtualWater Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. *Value of Water Research Report Series (No. 11)*, UNESCO-IHE Institute for Water Educa-tion, Delft. 2002
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M. & MEKONNEN, M. M.** The WaterFootprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. *Water FootprintNetwork (WFN)*. Earthscan, London. 2011
- IFF.** Instituto Federal Fluminense. Polo de Inovação Campos dos Goytacazes: apresentação e Histórico. Portal IFFluminense. Disponível em: <http://portall.iff.edu.br/nossos-campi/polo-de-inovacao-campos-dos-goytacazes/apresentacao/historico>. Acesso em: 09 jun 2018.
- IFF.** Instituto Federal Fluminense. Polo de Inovação do IFFluminense assina seu 10º contrato Embrapii. Portal IFFluminense. Disponível em: <http://portall.iff.edu.br/nossos-campi/polo-de-inovacao-campos-dos-goytacazes/noticias/polo-de-inovacao-do-iffuminense-assina-seu-10-o-contrato-embrapii>. Acesso em: 09 jun-2018.
- INMET.** Instituto Nacional de Meteorologia. Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária: Balanço Hídrico Sequencial. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>. Acesso em: 09 jun 2018.
- KITZES, J.; GALLI, A.; BAGLIANI, M.; BARRET, J.; DIGE, G.; EDE, S.; ERB, K.; GILJUM, S.; HABERL, H.; HAILS, C.; JOLIA-FERRIER, L.; JUNGWIRTH, S.; LENZEN, M.; LEWIS, K.; LOH, J.; MARCHETTINI, N.; MESSINGER, H.; MILNE, K.; MOLES, R.; MONFREDA, C.; MORAN, D.; NAKANO, K.; PYHÄLÄ, A.; REES, W.; SIMMONS, C.; WACKERNAGEL, M.; WADA, Y.; WALSH, C. & WIEDMANN, T.** A research agenda for improving national ecological footprint accounts.*Ecol. Econ.* 68, 1991–2007. 2009
- LEÃO, R.S.** Pegada Hídrica: Visões e reflexões sobre sua aplicação. *Ambiente & Sociedade n São Paulo v. XVI, n. 4 n p. 159-162 n out.-dez.* 2013.
- MONFREDA, C.; WACKERNAGEL, M. & DEUMLING, D.** Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy* 21, 231–246. 2004
- REES, W. E.** Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out, *Environment and Urbanization*, vol 4, no 2, pp121–130. 1992
- REES, W.E.** Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustaina-bility. *Popul. Environ.* 17, 195–215. 1996
- RUTKOWSKI, E.; NARCISO S. L. & OLIVEIRA E. G.** Desenvolvimento Brasileiro X Meio Ambiente: Trajetória da Problematização da Água. *REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA*. (14ª ed)., p. 23 - 30. 1999
- SILVA, V. P. R. DA; ALEIXO, D. O.; NETO, J. D.; MARACAJÁ, K. F. B. & ARAÚJO, L. E.** Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.1, p.100–105, 2013.
- SOUSA, V.F., MAROUELI, W.A., COELHO, E.F., PINTO, J.M. & COELHO FILHO, M.A.** Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 2ª Ed. Brasília, DF. Embrapa. 2014.
- VALENTE, J. P. S., PADILHA, P. M. & SILVA, A. M. M.** Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Eclética Química*, 22, 49–66, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>
- VEIRA, B. & SOUSA Jr, W.** Contribuições para abordagem municipal da pegada hídrica: Estudo de caso no litoral de São Paulo. *Ambiente & Sociedade, São Paulo v. XVIII, n. 3, p. 231-252 n jul.-set.* 2015.
- WACKERNAGEL, M. & REES, W. E.** Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society, Gabriola Island, British Columbia. 1996
- ZANIRATO, S. H. & ROTONDARO, T.** Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. *Estudos Avançados, São Paulo, v. 30, n. 88, p. 77-92, Dez.* 2016.