

II-146 - IMPLEMENTAÇÃO DO REUSO NO RJ: O ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES E REUSO RURAL EM CACHOEIRAS DE MACACU

Marcelo Obraczka⁽¹⁾

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Ana Silvia Pereira Santos⁽³⁾

Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – DESMA/UERJ.

Daniele Maia Bila⁽⁴⁾

Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – DESMA/UERJ.

Alfredo Akira Ohnuma Jr

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Douglas do Rosário Silva⁽²⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Liliane Prohmann⁽⁵⁾

Assessora de comunicação da empresa ACTION Tratamento de Resíduos

Endereço⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier, 524, Sala 5029F - Maracanã - RJ - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - Tel: +55 (21) 23340777 – 971012734 - e-mail: **obraczka@ppe.ufrj.br**

RESUMO

A carência de água impacta tanto a qualidade de vida da população como limita a atividade econômica e a geração de emprego e renda. Em função da crescente escassez hídrica, há necessidade de se obter fontes alternativas de abastecimento de água, como o aproveitamento de águas de chuva e de águas de reuso. Utilizada há décadas em diversos países, o emprego de águas regeneradas é uma prática que vem sendo crescentemente adotada tanto em áreas urbanas como rurais para diversas finalidades, especialmente na irrigação. No caso do Brasil, a irrigação é responsável pelas maiores retiradas e consumos de água dos mananciais. A partir do estudo de um sistema de tratamento de esgotos em Cachoeiras de Macacu em que se aproveita parte do efluente tratado para fertirrigação de culturas perenes, essa pesquisa objetiva se aprofundar e gerar maior conhecimento quanto ao tema, contribuindo para a implementação do Reuso para fins agrícolas e dessa forma para uma gestão mais eficiente de recursos hídricos no RJ. Com base no levantamento de referências bibliográficas, de parâmetros/limites de qualidade para águas de reuso para uso na agricultura no Brasil e exterior, e da comparação destes com os resultados de análises de monitoramento disponíveis para essa ETE, foi possível constatar a existência de um bom potencial para essa tipologia de reuso de efluentes tratados. Não obstante, foi possível também identificar algumas fragilidades como: a) reduzido conhecimento e carência de uma cultura sobre Reuso no país, b) ausência de legislação mais específica sobre emprego de águas regeneradas, c) falta de incentivos e de planejamento/políticas públicas e d) grandes distâncias separando os maiores geradores (ETE's situadas em áreas urbanas) dos potenciais consumidores rurais. Vencendo tais obstáculos, o Reuso pode configurar-se de fato como alternativa estratégica de fonte de água em áreas agrícolas, aumentando a segurança hídrica e aperfeiçoando a gestão dos recursos hídricos no país. Essa maior disponibilidade de água tende a impactar positivamente outras áreas como na viabilização de investimentos que ainda não acontecem em determinadas regiões pela carência do sistema local de abastecimento convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso de Efluentes, Estação de Tratamento de Esgoto, Fertirrigação, gestão e segurança hídrica.

INTRODUÇÃO

O forte estresse hídrico que atingiu a região Sudeste do Brasil nos anos de 2014 e 2015 levou a adoção de medidas mais severas para evitar o colapso dos sistemas. Em função de eventos hidrológicos e climatológicos extremos e efeitos adversos nas comunidades em geral, há uma maior percepção sobre a necessidade de mudança de hábitos e paradigmas, incluindo a efetivação de políticas e medidas mais sustentáveis, envolvendo aspectos como racionalização do uso de água e uma maior eficiência dos sistemas de saneamento. Entre essas ações podem ser citadas campanhas de conscientização da população, investimentos em saneamento para melhoria da qualidade dos corpos hídricos, controle de perdas e desperdícios, inclusive através do emprego de instrumentos econômicos, como a maior tarifação de grandes consumidores. Também podem ser utilizadas fontes alternativas de água, como as águas de chuva ou águas de reuso, pratica essa já consolidada e bem difundida em muitos países.

Segundo Telles (2003), há um consenso sobre a necessidade de se racionalizar o uso da água, procurar fontes de reuso e de recuperação da qualidade dos recursos hídricos.

Segundo a ANA (s/d), especialistas indicam que o mundo caminha para um déficit hídrico generalizado, sendo a irrigação o principal contribuinte dessa realidade, em função do aumento e da evolução tecnológica ocorrida em meados do século passado.

Autores como Brown (2003) e Câmara e Santos (2002) sustentam que a irrigação é a atividade humana com a maior demanda por água, podendo chegar à ordem de 80% em relação ao total da demanda mundial.

De acordo com Campos (2018) e Obraczka *et al* (2017), o reuso pode contribuir para minimizar os riscos e problemas de crescente carência e escassez de água tanto para fins urbanos como rurais.

Segundo o PROSAB (2003), um atrativo da utilização de esgotos sanitários é a disponibilidade de água. Considerando a contribuição per capita de esgotos de 150-200 l/hab.dia e a demanda genérica de água para irrigação 1,0-2,0 m³/ano (m³/m².ano), constata-se que as águas residuárias produzidas por pessoa seriam suficientes para irrigar 30-70 m². Ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria “água” para irrigar cerca de 50 ha (PROSAB, 2003).

Não obstante, no Brasil e particularmente no RJ o Reuso a partir de esgotos sanitários é incipiente e mesmo irrelevante em termos relativos (BILA *et al*, 2017; SILVA JR, 2018).

De acordo com estimativas feitas a partir de informações da CEDAE, mais de 40 m³/s de água potável são produzidos somente na ETA Guandu. Considerando que cerca de 80% desse total é transformado em esgoto, a vazão resultante - cerca de 32 m³/s – estaria sendo lançada nos corpos receptores locais, sendo que boa parte dessa vazão após passar por tratamento a nível secundário nas ETE's disponíveis. Em uma época caracterizada pelo grande estresse hídrico, e ainda pelo aumento das tarifas de água e esgoto, o descarte dessas vazões nos corpos receptores, sem qualquer reaproveitamento, pode ser considerado como um imenso e injustificado desperdício.

Mesmo em áreas urbanas como na RMRJ, onde ocorrem grandes demandas concentradas de muitas indústrias por água de reuso, pode ser constatado que há poucas iniciativas no aproveitamento dos efluentes das diversas ETE's disponíveis (SILVA *et al*, 2016; OBRACZKA *et al*, 2017). As exceções atualmente são basicamente as ETE Penha e Alegria da CEDAE, além da ETE Deodoro da Zona Oeste Mais Saneamento (antiga Foz Aguas 5), concessionária dos serviços de saneamento (esgotos sanitários) na Zona Oeste. De qualquer forma, de acordo com Campos (2018) e Araújo *et al* (2017), a vazão total de água reutilizada na RMRJ a partir de ETE's representa menos do que 1% da vazão total de tratamento desses sistemas.

No que tange ao emprego de água de reuso para fins agrícolas, constata-se que no RJ as iniciativas são ainda mais raras e isoladas e, nos casos identificados pela pesquisa, a vazão de água de reuso também é desprezível se comparada à vazão de tratamento das respectivas ETE's.

Mesmo não sendo considerada propriamente uma área rural, há o caso da ETE/ETAR da PROLAGOS em Búzios, sendo a água de reuso empregada para irrigação dos campos do clube de golfe. O sistema de polimento

para fins de reuso é composto por uma unidade de pré filtração, seguida de ultra filtração por membranas e posterior desinfecção, com uma vazão de que corresponde a cerca de 2,3 % da vazão afluyente (SILVA JR, 2018).

Outro exemplo é o da ETE da empresa ACTION Tratamento de Resíduos LTDA, situada em Cachoeiras de Macacu, que destina parte de seu efluente tratado - por meio de lagoas de estabilização em série - para tratos culturais e uso agrícola (fertilização), sendo o restante da vazão tratada lançada no rio Macacu.

A vazão de reuso empregada na fertilização de culturas de goiaba e limão varia conforme o clima local, embora corresponda somente a uma pequena parcela da vazão afluyente e tratada pelo empreendimento.

Não obstante, embora pouco utilizado, o reuso rural ou agrícola se apresenta como uma ferramenta estratégica na gestão de recursos hídricos, podendo mesmo ser considerado tão ou mais importante que o urbano, haja vista a preponderância da agricultura no tocante ao consumo de água em relação às demais atividades econômicas no país.

De acordo com a ANA (2017), em função das demandas de irrigação, quase 50% do volume de água captada no país é destinada a agricultura, com o agravante de que boa parte dessa água não retorna aos mananciais.

Ainda segundo a ANA (2017), a agricultura (irrigação) retirou cerca de 1085 m³/s e somente 292 m³/s (cerca de 32%) foi reencaminhado aos corpos hídricos; portanto a maior parte da água utilizada não mais esteve disponível para os potenciais consumidores situados a jusante na bacia.

A Tabela 1 reproduz alguns dos dados da ANA (2017), caracterizando o cenário de retiradas, consumos e retorno das vazões demandadas pelas distintas tipologias e finalidades no uso de água do país.

Tabela 1 - Demandas de água no Brasil em 2017 por finalidade (retirada, consumo e retorno)

Usos da água	Retirada		Consumo		Retorno	
	(m ³ /s)	% do total	(m ³ /s)	% do total	(m ³ /s)	% do total
<i>Irrigação</i>	1083,6	52,0	792,1	68,4	291,5	31,5
<i>Abastecimento Urbano</i>	496,2	23,8	99,2	8,6	397,0	42,9
<i>Indústria</i>	189,2	9,1	101,7	8,8	87,5	9,5
<i>Abastecimento Rural</i>	34,5	1,7	27,6	2,4	6,9	0,7
<i>Mineração</i>	32,9	1,6	9,6	0,8	23,3	2,5
<i>Termoelétricas</i>	79,5	3,8	2,5	0,2	77,0	8,3
<i>Uso Animal</i>	166,8	8,0	125,1	10,8	41,7	4,5
Total	2083	100	1158	100	924,9	100

Fonte: ANA (2017)

Se for considerado o uso animal, as retiradas das áreas rurais atingem a 60% do total e o consumo totaliza cerca de 80% de toda a água utilizada no país. Ainda segundo a ANA (2017), no Brasil, a irrigação equivale a 2/3 do total da demanda por água, sendo que em algumas regiões as necessidades já superam as disponibilidades de água.

Além da necessidade de se implementar aspectos como melhoria da eficiência dos sistemas de irrigação, redução de desperdícios, manejos e tratos culturais mais racionais em termos de consumo de água, parte das demandas das áreas rurais pode ser atendida por águas regeneradas ou de reuso.

De acordo com a ANA (s/d), nos últimos anos, vem ocorrendo um aumento da utilização de águas residuárias para irrigação de culturas agrícolas, tanto em países desenvolvidos quanto em países industrializados. Segundo WHO (2006), os principais fatores para que isso ocorra são: o aumento da escassez de água e estresse hídrico, aliados a degradação de recursos hídricos, o crescimento da população e consequente aumento da demanda por alimentos além do crescente reconhecimento do valor das águas residuárias e dos nutrientes que ela contém.

O Reuso de efluente tratado para fins agrícolas pode ajudar a promover uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos não somente em áreas rurais como indiretamente também em áreas urbanas, ao contribuir para

a diminuição da crescente pressão das demandas sobre os mananciais disponíveis, e dessa forma reduzir o déficit, aumentando a disponibilidade e a segurança hídrica nessas bacias (OBRACZKA *et al.*, 2017). Iniciativas dessa natureza, que gerem uma oferta mais segura de água, vão de encontro ao estudo feito pela FIRJAN que credita a falta de alternativas de abastecimento e a não disponibilidade hídrica adequada como principais impedimentos ao desenvolvimento socioeconômico de muitas regiões do estado do RJ (FIRJAN, 2017).

Segundo Novolari (2011), uma das soluções para superar os déficits hídricos é utilizar águas que receberam esgoto sanitário na agricultura, seja ele tratado ou simplesmente diluído (NOVOLARI, 2011).

De acordo com Jordão e Santos (2015), em Israel 80% da água destinada a agricultura israelense é proveniente de sistemas de Reuso.

Na cidade do México, cerca de 45 m³/s de esgotos sanitários, combinados a 10 m³/s de águas pluviais, são utilizados em 80.000 ha, a 60 km da região metropolitana, organizados em perímetros irrigados. As principais culturas irrigadas são forrageiras e cerealíferas, não sendo oficialmente permitido o cultivo de hortaliças (PROSAB apud STRAUSS E BLUMENTHAL, 1989).

Segundo o PROSAB (2003), em 1986 todo o esgoto de Santiago no Chile foi utilizado para irrigação em áreas vizinhas à cidade, através de uso indireto, pois, em tese, a água para irrigação proviria dos corpos receptores de águas residuárias. Entretanto, em épocas de estiagem, alguns dos corpos receptores são praticamente esgotos a céu aberto, configurando, na prática, a utilização direta para irrigação maciça de hortaliças (SHUVAL *et al.*, 1986).

Segundo a ANA (s/d), a reutilização de águas residuárias para fins agrícolas é uma prática antiga. No entanto, cabe ressaltar que a importância da qualidade da água reutilizada, tanto para a saúde dos trabalhadores em contato com essa água como para a aplicação em que será utilizada.

O uso de águas residuárias na produção agrícola apresenta três vantagens principais: o tratamento do dejetos, o fornecimento de água e a disponibilidade de nutrientes, pois essas águas podem ser utilizadas na irrigação principalmente em regiões áridas e semiáridas, desde que haja conhecimento a respeito dos graus de perigo ao meio ambiente e à saúde pública (ANA apud BASTOS e MARA, 1992).

Segundo a ANA (s/d), a qualidade da água reutilizada é importante tanto para a saúde dos trabalhadores em contato com ela quanto para a aplicação em que será utilizada. Pode haver a presença de oligoelementos tóxicos para as culturas como o boro para culturas citrícolas e que não é removido por processos de tratamento convencionais (ANA, s/d).

Hespanhol (2003) ressalta, porém que a simples presença desses organismos, seja no solo ou nas culturas, não significa sumariamente a transmissão de doenças, sendo o risco real muito inferior ao risco potencial de causar doenças.

A reutilização de águas residuárias para fins agrícolas é uma prática antiga embora, de acordo com a ANA (s/d), o reuso de água para fins agrícolas pode acarretar riscos biológicos, uma vez que a água residuária pode conter microrganismos patogênicos, como vírus, protozoários e helmintos.

De acordo com o PROSAB (2003), desde a publicação das recomendações da OMS, diversos estudos vêm sendo conduzidos no sentido de avaliá-las, tanto do ponto de vista de riscos potenciais como reais à saúde (AYRES *et al.*, 1992; BASTOS e MARA, 1995; BLUMENTHAL *et al.*, 1996; CASTRO DE ESPARZA e SÁENZ, 1990).

Ainda segundo o PROSAB (2003), quanto às recomendações originais da OMS o estado da arte do conhecimento sobre os riscos à saúde associados à utilização de esgotos sanitários para irrigação recomenda os seguintes aspectos: a) validação do padrão bacteriológico (10³ CF/100 ml) para irrigação irrestrita; b) a propriedade do estabelecimento de um padrão parasitológico mais exigente (< 0,1 ovo de helmintos/L) para a irrigação restrita e irrestrita; c) a propriedade do estabelecimento de um padrão bacteriológico (≈10⁴ CF/100 ml) para a irrigação restrita; (d) a confirmação da inexistência de justificativas epidemiológicas para o

estabelecimento de um padrão explícito para vírus; e (e) a persistência de dúvidas em relação à necessidade de um padrão explícito para protozoários (PROSAB, 2003 e BLUMENTHAL *et al*, 2000).

A Tabela 2 apresenta uma compilação elaborada pela ANA (s/d) relativa às diretrizes da OMS (1989) quanto a valores limites de determinados parâmetros microbiológicos para irrigação agrícola com esgotos sanitários, incorporando também diretrizes para a irrigação agrícola de esgotos sanitários da USEPA (1992) e PROSAB (2006)

Tabela 2 - Diretrizes da OMS para irrigação agrícola com esgotos sanitários e da USEPA para a irrigação agrícola de esgotos sanitários (ANA, s/d).

USEPA		USEPA/OMS	OMS			
Tipo de irrigação e cultura	Qualidade do efluente	Processo tratamento	Categoria	Grupos de risco	Nematoides intestinais (Ovos/L)	Coliformes fecais (org./100mL)
Culturas alimentícias não Processadas comercialmente ⁽¹⁾ . Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas	DBO \leq 10 mg/l Turbidez \leq 2 UNT Cloro residual \geq 1mg/l Coliformes fecais ND Organismos patogênicos ND	Secundário + filtração + desinfecção Secundário + filtração +desinfecção Lagoas de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos	A	Agricultores, consumidores, público em geral	\leq 1	$\leq 10^3$
Irrigação, campos de esportes, parques, jardins e cemitérios.			C	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
Culturas alimentícias processadas comercialmente (1); Irrigação superficial de pomares e vinhedos	DBO \leq 30 mg/l SS \leq 30 mg/l Cloro residual \geq 1mg/l Coliformes fecais \leq 200/100ml	Secundário + desinfecção Lagoas de estabilização com 8-10 dias de tempo de detenção ou remoção equivalente p/ helmintos e coliformes fecais	B	Agricultores	\leq 1	$\leq 10-10^5$
Culturas não alimentícias Pastagens para rebanhos de leite (2), forrageiras, cereais, fibras e grãos.						

Fonte: Adaptado de WHO (1989), USEPA (1992) e PROSAB (2006)(*) No caso de irrigação de gramados públicos onde o contato seja direto, é recomendado o limite de 200CF/200mL. Notas: ND: não detectável; (1) Culturas alimentícias processadas comercialmente são aquelas que recebem processamento físico ou químico, prévio à comercialização, suficiente para destruição de patógenos. (2) O consumo de culturas irrigadas não deve ser permitido antes de 15 dias após a irrigação; desinfecção mais rigorosa.

A Tabela 3 reproduz alguns critérios microbiológicos para uso de águas residuárias na agricultura, compilados pela ANA (s/d) com base nas principais referências disponíveis (USEPA, OMS e Shuval *et al*).

Tabela 3 – Compilação de critérios microbiológicos para uso de águas residuárias na agricultura (ANA, s/d)

<i>Tipo de irrigação e cultura</i>	<i>Qualidade microbiológica necessária ao efluente</i>	<i>Fonte de referencia utilizada</i>
<i>Culturas alimentícias não processadas comercialmente e potencialmente consumidas cruas</i>	Coliformes fecais (org/100ml)¹	
	Não detectável	USEPA (1992)
	<1000	OMS(1989);Shuval et al (1986)
	Não detectável	USEPA (2004)
	Nematoides intestinais (ovos/l)²	
	Não detectável	USEPA (1992)
	<1	OMS(1989);Shuval et al (1986)
<i>Culturas alimentícias processadas comercialmente</i>	Coliformes fecais (org/100ml)¹	
	<200	USEPA (1992)
	Sem recomendação	OMS(1989);Shuval et al (1986)
	<200	USEPA (2004)
	Nematoides intestinais (ovos/l)²	
	Sem recomendação	USEPA (1992)
	<1	OMS(1989)
<i>Culturas não alimentícias</i>	Coliformes fecais (org/100ml)¹	
	<200	USEPA (1992)
	Não aplicável	OMS(1989)
	<200	Shuval et al (1986);USEPA (2004)
	Nematoides intestinais (ovos/l)²	
	Sem recomendação	USEPA (1992)
	Não aplicável	OMS(1989)
	Sem recomendação	Shuval et al (1986);USEPA (2004)

Fonte: ANA apud Shuval et al., 1986; OMS, 1989; USEPA, 1992, 2004. Notas 1. Média de amostragem de sete dias consecutivos; 2. *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* e *Anncylostoma* – média aritmética durante o período de irrigação.

De acordo com a AGWR (2016), na Austrália os principais limites estabelecidos para irrigação de alimentos para uso comercial são DBO <20 mg/L; RNFT (SST) ≤ 30 mg/L; E. coli <1000 cfu/100 mL e Cloro residual mínimo.

De acordo com a ANA (s/d), as lagoas de estabilização são bem aceitas quando se trata da remoção de agentes microbiológicos, dentre outros parâmetros, sendo considerada uma das principais formas de tratamento de águas residuárias para fins agrícolas, sendo reconhecida pela OMS como uma das melhores formas de tratamento para reuso de água com a finalidade de irrigação de culturas.

Possuem ainda a vantagem, em relação ao tratamento convencional por serem econômicas e de fácil operação e manutenção, além de possuir baixo custo financeiro, sendo, portanto apontadas como alternativas de tratamento de reuso de água para países em desenvolvimento (WHO, 1989; ARTHUR, 1983).

Com base na concentração típica de organismos patogênicos e indicadores no esgoto bruto (PROSAB, 2003), para o atendimento aos critérios da OMS e da USEPA a remoção necessária por meio do tratamento dos esgotos poderia ser estimada como na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa dos requerimentos de remoção de organismos patogênicos e indicadores para o atendimento aos critérios de qualidade de efluentes para a irrigação (unidades logarítmicas)

Microrganismo patogênico/indicador de contaminação	Probabilidade de riscos atribuíveis à irrigação c/ esgotos sanitários (SHUVAL <i>et al</i> , 1986)	Densidade usual nos esgotos sanitários	Irrigação irrestrita		Irrigação restrita	
			OMS	USEPA	OMS	USEPA
Coliformes	NM	$10^6 - 10^8/100\text{ml}^{(1)}$	3-5	>6	2-4 ⁽¹⁾	4-6
Cistos de <i>Guardia</i> sp.	Médio risco	$10^2 - 10^4/\text{litro}^{(2)}$	NA	>6	NA	NA
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp	Médio risco	$10^1 - 10^2/\text{litro}^{(2)}$	NA	>5	NA	NA
Ovos de helmintos	Alto risco	$10^1 - 10^3/\text{litro}^{(3)}$	1-3	1-3	1-3	NA
Vírus	Baixo risco	$10^2 - 10^5/\text{litro}^{(3)}$	NA	3-6 ⁽²⁾	NA	NA

Fonte: adaptado de PROSAB (2003). Notas: NM – não mencionado; NA não aplicável

De acordo com PROSAB (2003), os critérios da OMS são plenamente atendidos com o emprego de lagoas de estabilização ou, por extensão, por processos terciários de tratamento.

Para irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do solo (como as culturas perenes e frutíferas) a OMS (2006) uma concentração de *E. coli* $<10^5$ org/100 ml, além de tratamento de esgotos e remoção de patógenos na ordem de 3 (log₁₀).

Especialmente quando se incluem as lagoas de maturação e de polimento, é possível reduzir a densidade de coliformes termotolerantes abaixo de 10^3 org/100 mL, número tomado por referência por constituir padrão de classificação de certas águas naturais, inclusive as usadas para irrigação (PROSAB, 2006)

Ainda segundo o PROSAB (2006), essa característica induz à consorciação lagoas-reuso, já que o processo, à exceção de lagoas de polimento / maturação especialmente rasas e à custa de elevados tempos de detenção, não remove nutrientes (que podem ser úteis na agricultura ou na piscicultura) com a mesma eficiência elevada de descontaminação (PROSAB, 2006).

Entretanto, os critérios da USEPA para irrigação irrestrita, que exigem ausência de indicadores e patogênicos, somente seriam atendidos com o emprego de tratamento terciário, incluindo a filtração e a desinfecção, como estabelecido na própria norma (PROSAB, 2003).

Por outro lado, do ponto de vista das culturas, a irrigação com o emprego de águas servidas é capaz de atender a demanda hídrica das plantas, e fornecer um acréscimo de nutrientes (LUDWING *et al.*, 2012), em especial Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K). Assim, as águas servidas podem se tornar um potencial fertilizante e atraente do ponto de vista agrônômico (FONSECA, 2001).

De acordo com PROSAB (2006), com a prática do reuso busca-se a dupla contribuição para os setores agrícola e de saneamento. Do lado agrônômico, a contribuição com insumos importantes como a água e nutrientes parece sedutora, mas a avaliação precisa dos possíveis efeitos adversos sobre o sistema solo-planta e sobre o lençol freático deve ser considerada. Os resultados disponíveis demonstram indiscutível ganho em produtividade comparado às culturas não irrigadas, prática comum no Brasil (PROSAB, 2006).

A concepção integrada de sistemas de tratamento e reuso podem demandar complexidade e flexibilidade necessárias para atender a padrões de qualidade de efluentes compatíveis com a utilização e, ou, o lançamento em corpos receptores (PROSAB, 2006).

De acordo com a ANA (s/d), o sucesso do reuso de água na agricultura depende de estratégias para otimização da produção agrícola e a qualidade dos produtos agrícolas irrigados, tendo como norteadores a qualidade da água, a manutenção das propriedades do solo e a proteção da saúde pública e do meio ambiente (ANA, s/d).

Quando se trata de reuso de água para irrigação agrícola, certos componentes que podem estar presentes nas águas residuais devem ser considerados, compostos estes que podem ou não trazer benefícios às culturas

irrigadas por esse tipo de água (KUMMER *et al.*, 2012). Ainda segundo Kummer *et al* (2012), a qualidade da água utilizada no reuso agrícola e florestal é de grande importância, tanto em relação à vida útil do sistema quanto na uniformidade da distribuição da água de irrigação.

Segundo a ANA (s/d), alguns parâmetros devem ser observados nas águas utilizadas para irrigação, sendo esses os que afetam, principalmente, a conservação do solo e o rendimento e qualidade das culturas.

Andrade e Brito (2010) sustentam que a qualidade da água é definida a partir de critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade, entre outros.

OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo geral principal gerar maior conhecimento de forma a contribuir para a implementação do Reuso de águas servidas no meio rural no RJ, proporcionando, portanto uma alternativa de fonte de água. Espera-se que a partir de uma maior disponibilidade de água e aumento da segurança hídrica, seja mais viável atrair novos empreendimentos que possam gerar empregos e renda para as populações locais, incrementando a revitalização ambiental e socioeconômica de áreas atualmente estagnadas pela carência de infraestrutura adequada de saneamento.

O presente estudo objetiva mais especificamente analisar aspectos técnicos e ambientais do projeto de reaproveitamento do efluente tratado da ETE operada pela empresa ACTION, situada no distrito de Papucaia, município de Cachoeira de Macacu, no estado do Rio de Janeiro. Parte desse efluente do sistema de tratamento é empregado na fertirrigação de culturas frutíferas locais, como goiaba e limão.

Com base nos resultados, objetiva-se ainda identificar potencialidades e fragilidades do modelo atual de reuso com enfoque rural, bem como apresentar sugestões que contribuam para sua implementação do reuso em áreas agrícolas, e indicar possíveis e/ou necessários desdobramentos dessa pesquisa.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para contextualização do objeto do estudo foram inicialmente levantadas diversas referências bibliográficas disponíveis, notadamente quanto ao reuso para fins agrícolas. Foram também levantados estudos de caso similares, além de legislação e normatização sobre esse tema no Brasil e no exterior, inclusive em países considerados como referência, tais como EUA e membros da União Europeia. Foi realizada então uma compilação da evolução da legislação/normatização quanto ao tema no país nas últimas décadas.

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido em três etapas básicas, a partir de um estudo de caso em parceria com a empresa ACTION Tratamento de Resíduos LTDA, que opera uma estação de tratamento de efluentes domésticos (e eventualmente efluentes industriais de baixa toxidez), situada na área rural do município de Cachoeiras de Macacu, RJ.

Na Etapa 1, procedeu-se uma análise estatística descritiva dos dados disponibilizados pela ACTION, a partir dos resultados de monitoramento dos efluentes da ETE, com base em sete amostragens/análises realizadas entre janeiro de 2017 e maio de 2018, monitoramento esse feito em atendimento as demandas do órgão ambiental.

Na Etapa 2 foi realizado um monitoramento complementar, através de seis campanhas de coleta e amostragem dos efluentes bruto e tratado efetuadas entre janeiro e novembro de 2018, sendo as respectivas análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ (LES).

Por fim, foi empreendida uma terceira fase (Etapa 3), na qual foi desenvolvida a comparação dos resultados obtidos nas Etapas 1 e 2 com parâmetros estabelecidos por diversos dispositivos legais de âmbito nacional e internacional, referentes ao reuso agrícola de efluentes tratados, entre eles a USEPA, a OMS, além de limites recomendados por estudos realizados no Brasil pelo projeto PROSAB.

A ETE da ACTION e o emprego de águas de reuso para fertirrigação

Através de um sistema de lagoas de estabilização em série, a ETE da ACTION recebe e trata os rejeitos líquidos de diversas empresas, de forma a adequá-los para lançamento no corpo receptor, o Rio Macacu.

A empresa/empreendimento possui Outorga de Licença de Recursos Hídricos válida até agosto de 2019 para lançamento de resíduos tratados, para vazões mínima e máxima de 25 e 30 m³/h, respectivamente. Com base nos dados de vazão máxima discriminada na Outorga de lançamento o tempo de detenção teórico médio estimado no sistema é de cerca de 20 dias.

Não obstante, pode ser verificado que a vazão afluyente ao sistema de tratamento apresenta grande variação, em função da época do ano e do grau de atividade econômica das empresas clientes, entre outros aspectos.

A ETE é composta por um sistema preliminar de remoção de sólidos grosseiros (grade), espuma e areia (Figura 1), seguido por uma sequência de três lagoas de estabilização, que utilizam uma manta de PEAD como elemento de impermeabilização.

As três lagoas ocupam uma área de cerca de 1 ha e possuem profundidades médias que variam de 1,2 a 1,5 metros. As duas primeiras são lagoas aeradas (Figura 2) e a última de sedimentação/decantação. Nessa terceira lagoa foram introduzidas algumas espécies de peixes, em sua maioria tilápias.

Figura 1 – Caixa de chegada e gradeamento do afluyente bruto. Figura 2 – 1ª Lagoa de estabilização aerada na ETE da ACTION



Fonte: imagens cedidas pela ACTION

De acordo com informações fornecidas pela ACTION, a maior parte dos esgotos brutos é proveniente de fossas, tanques sépticos e banheiros químicos, que são utilizados em empreendimentos, obras e eventos. A ACTION possui uma frota própria de caminhões limpa fossa que recolhe esses efluentes e os encaminha diretamente a ETE (Figura 3).

Segundo informações do responsável técnico pela operação da ETE, os aeradores funcionam alternadamente, tanto na 1ª como na 2ª lagoa, usualmente com 50% da capacidade instalada, sendo o tempo de aeração uma função da vazão afluyente. Em alguns momentos, quando a vazão é muito reduzida, um sistema de recirculação a partir da 3ª lagoa entra em operação, retornando o efluente para as primeiras lagoas do sistema.

Desde 2014, através de parceria com a EMATER/PESAGRO, a empresa vem utilizando uma parte de seu efluente tratado para irrigar culturas frutíferas de limão e goiaba (Figura 4), situadas em área de 4 ha, contígua a ETE.

Figura 3 – Chegada de caminhão limpa fossa para descarga de efluente na ETE da ACTION. Figura 4 – Fertilrigação de cultura de goiaba utilizando o efluente tratado da ETE da ACTION com o emprego de micro aspersores



Fonte: imagens cedidas pela ACTION

Parte dessa produção agrícola é comercializada como produtos orgânicos em feiras especializadas, certificados inclusive como “orgânicos” pelos órgãos competentes (https://pt-br.facebook.com/pg/ActionShopWeb/posts/?ref=page_internal).

O efluente tratado da ETE da não é integralmente reutilizado na irrigação de culturas, sendo sua maior parte lançada no Rio Macacu em seu trecho lindeiro ao empreendimento, em trecho situado a montante da área urbana do distrito de Papucaia.

O Rio Macacu é principal rio/corpo receptor da bacia hidrográfica local, sendo também um dos mais relevantes para o abastecimento da região de Niterói e São Gonçalo (PERHI RJ, 2014).

Segundo o PERHI RJ (2014), trata-se de uma bacia estratégica para o estado do Rio de Janeiro, sendo responsável pelos mananciais que atualmente abastecem Niterói, São Gonçalo, Alcântara e outras áreas vizinhas e abrigando as últimas reservas de águas superficiais com potencial para atendimento da demanda da porção leste da Baía de Guanabara, incluindo Niterói e sua região metropolitana.

RESULTADOS OBTIDOS

A partir dos resultados do levantamento, foi possível fazer uma compilação dos dados referentes a legislação e regulamentação sobre Reuso no país, associada aos usos permitidos para as águas regeneradas ou de reuso. Foi também possível avaliar a evolução dessa normatização especialmente nas duas últimas décadas.

Segundo a ANA (s/d), no Brasil não existem normas e padrões técnicos específicos para regulamentar e direcionar em nível nacional o reuso de águas residuárias, provavelmente devido à falta de tradição quanto à aplicação desta prática.

Não obstante, algumas leis citam o reuso de forma complementar, embora não estabelecendo tipologias e/ou limites para o emprego de águas regeneradas (CAMPOS, 2018)

Um exemplo clássico é a NBR 13969/97 da ABNT sobre unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos e que trata do reuso de maneira complementar. Na falta de um marco legal mais específico, essa regulamentação vem sendo empregada em muitos casos até os dias de hoje.

De uma maneira geral, pode ser constatado que até o início da década de 2000 a preocupação maior em relação aos recursos hídricos era principalmente se evitar enchentes e posteriormente com a qualidade dos corpos receptores, especialmente os hídricos.

Notadamente a partir da última década, em função dos recorrentes períodos de escassez hídrica, a gestão e o uso racional de água passaram a ser considerados como temas prioritários. Mais recentemente, o

aproveitamento de fontes alternativas de água também se constituíram em objeto de maior atenção por parte dos gestores e dos órgãos competentes. A princípio, foi enfatizado o reaproveitamento de águas de chuva e em sequência o reuso de águas servidas propriamente dito.

Não obstante, ainda atualmente pode ser constatada a carência de uma legislação que aborde (e regule) especificamente o tema águas de reuso ou águas regeneradas a nível federal no Brasil, o que de certa forma reflete a “carência de uma cultura de reuso” em nosso país. Isso pode ser justificado por uma natural (e lógica) prioridade em universalizar o saneamento básico na realidade de um país no qual boa parte da população ainda não possui sequer coleta de esgoto.

Alguns municípios do estado de São Paulo como Campinas e São Paulo merecem maior destaque por seu pioneirismo na definição de parâmetros e limites para distintas tipologias de reuso, ainda que o enfoque seja basicamente uso urbano dessas águas regeneradas (SÃO PAULO, 2017; CAMPINAS, 2014).

No que se refere ao uso agrícola, pode ser constatado que a legislação brasileira também é ainda incipiente.

As regulamentações existentes não são voltadas exatamente para esse tema, como é o caso de normas técnicas no estado de São Paulo referentes à aplicação de vinhaça proveniente no beneficiamento da indústria sucroalcooleira (CETESB, 2006) e de manejo de efluentes líquidos e lodos gerados pelo processamento de cítricos, de forma a minimizar o risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2010).

Por outro lado, já há estudos bastante relevantes e consolidados como aqueles realizados pelo projeto PROSAB (2003), do qual foram inclusive extraídas algumas recomendações e limites para uso agrícola de efluentes e esgotos sanitários, de forma a fornecer maiores subsídios as discussões trazidas pelo presente pesquisa.

Já no exterior, verifica-se que tanto a legislação como a prática de Reuso se encontram largamente difundidos, inclusive no que se refere à utilização de efluente tratado como água potável, como é o caso de diversos países, entre eles os EUA, Cingapura, Israel, Austrália, Namíbia e vários outros (SILVA *et al*, 2016; OBRACZKA *et al*, 2017; BILA *et al*, 2017).

Segundo a ANA (s/d), órgãos importantes como OMS, FAO (WHO) e USEPA publicaram diversos guias contendo diretrizes para o reuso de águas residuárias com fins agrícolas e florestais.

De acordo com a ANA, entre eles podem ser destacadas as diretrizes da “*Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*”, publicação da OMS de 1989 e a publicação mais recente “*Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture*”, de 2006.

A FAO (WHO) também publicou outro importante documento, com diretrizes sobre o reuso de água, o paper 47 “*Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage*”.

Já a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) publicou normas sugerindo categorias de reuso: a)urbano; b)agrícola; c)ambiental e recreacional; d)recarga de aquíferos e e)aumento do suprimento de água potável (ANA, s/d)

Por seu turno, a Austrália publicou em 2016 suas diretrizes para reuso de águas para irrigação de paisagem, cultivos de alimentos para uso comercial bem como uso restrito, incluindo a aplicação de água de reuso não potável em ambientes municipais onde o acesso é controlado ou restrito por barreiras (*Australian Guidelines for Water Recycling - AGWR*, 2016).

Como pode ser constatado e corroborado pelo farto arcabouço legislativo/regulatório disponível e em constante evolução, o Reuso foi definitivamente incorporado aos sistemas de planejamento, gestão e manejo de recursos hídricos no âmbito internacional, sendo as águas regeneradas empregadas indistintamente em áreas/demandas urbanas e rurais, complementando os sistemas de abastecimento de água de diversos países.

Tendo em vista a disponibilidade dessa “expertise” já bem consolidada, alguns dos parâmetros e limites propostos por marcos normativos internacionais ora levantados foram utilizados de forma a contribuir no desenvolvimento da presente pesquisa.

ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS EFLUENTES DA ETE da ACTION

Os resultados da caracterização dos efluentes da ETE podem ser observados na Tabela 5, onde são discriminadas as concentrações obtidas para os parâmetros analisados a partir de dados provenientes das análises realizadas por laboratório terceirizado pela ACTION, incluindo-se um tratamento estatístico básico (estatística descritiva) para esses resultados, discriminando-se os valores máximos, mínimos médios e as respectivas medianas.

Tabela 5: Dados da caracterização dos efluentes da ETE de 2017, disponibilizados pela empresa ACTION (Etapa 1)

PARÂMETROS	CAMPANHAS/DATAS DAS COLETAS							ESTATÍSTICA DESCRITIVA			
	11/01/2017	08/02/2017	15/03/2017	12/07/2017	11/10/2017	08/12/2017	09/05/2018	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIANA	MÉDIA (1)
pH	7,3	7,5	7,6	9,2	5,66	7,38	8,2	9,2	5,66	7,5	7,54
NH ₄ (mg/L)	1,52	0,42	0,07	2,44	9,76	1,22	3,35	9,76	0,07	1,52	2,68
P _{total} (mg/L)	1,4	0,55	0,58	0,54	0,25	0,69	0,85	1,4	0,25	0,58	0,69
SST (mg/L)	<10	<10	11	<10	<10	<10	<10	11	10	10	11
DQO (mg/L)	107,6	<37	<37	79,3	240,36	<50	58,66	240,36	37	58,66	87,13
DBO (mg/L)	37,33	13,96	<3	28,95	85,94	15,55	26,18	85,94	3	26,18	30,13
Toxidade (FT)	1	1	1	-	1	<1	1	1	1	1	1
Cor (uH)	83,8	67,4	112,5	147	71,5	14,2	26,5	147	67,4	71,5	74,7
E.coli (NMP/100 mL)	3300	7000	5800	26	<1,8	4600	33	7000	1,8	3300	2965,8
C. Totais (NMP/100 ml)	4000	11000	7000	70	<1,8	7000	79	11000	1,8	4000	4164,4

Observa-se que não ocorrem grandes discrepâncias entre os resultados encontrados para cada parâmetro analisado nas quatro campanhas, demonstrando certa uniformidade nos valores obtidos, ainda que a qualidade e quantidade de afluente bruto a ETE possa ter variado em função dos clientes atendidos pela ACTION a época. As exceções se remetem basicamente a campanha do dia 11/10/17, para os parâmetros de DBO, DQO, NH₃, *E.coli* e Coliformes totais bem como para os parâmetros de *E. coli* e Coliformes totais referentes as campanhas de 17/07/17 e 09/05/18.

Quanto a parâmetros como DBO, DQO, SST e P_{total}, os valores encontrados se encontram ligeiramente inferiores às faixas discriminadas pelas referências consultadas (Von Sperling, 2005 e PROSAB, 2006). Puderam ser também observadas ainda altas densidades/concentrações remanescentes de Coliformes, mesmo já tendo passado por um processo de maturação no sistema de lagoas, e dispondo de um tempo de detenção estimado bastante elevado (20 dias, em média).

ETAPA 2 - MONITORAMENTO/CARACTERIZAÇÃO COMPLEMENTAR DOS EFLUENTES DA ETE da ACTION

Os resultados do monitoramento complementar podem ser observados na Tabela 6, a partir das concentrações obtidas para os parâmetros de análises realizadas no Laboratório do DESMA (LES/DESMA/UERJ), em 2018. De maneira análoga a Etapa anterior, foi dado um tratamento estatístico aos dados disponíveis.

Tabela 6 – Resultados do monitoramento complementar realizado no LES/DESMA/UERJ

PARÂMETROS	CAMPANHAS/DATAS DAS COLETAS							ESTATÍSTICAS DESCRITIVA			
	23/01/2018	22/02/2018	15/03/2018	17/04/2018	13/06/2018	13/09/2018	10/11/2018	MÁXIMO	MÍNIMO	MEDIANA	MÉDIA
pH	8,6	8,2	8,9	8,4	8,7	8,4	6,22	8,9	6,22	8,4	8,2
Alcalinidade (mg/L)	146,9	137,5	79,6	68	151,1	45,2	118,7	151,1	45,2	118,7	106,7
Dureza (mg/L)	292	140	119	112	315	44	152	315	44	140	168
Cor (Ptco)	-	-	298	226	202	85	-	298	85	214	203
Turbidez(NTU)	-	-	6,9	10,9	38	18,3	11,3	38	6,9	11,3	17,1
SST (mg/L)	16	25	9	34	44	11,3	15,1	44	9	16	22,1
SDT (mg/L)	926	768	1002	868	1907	650,7	803,75	1907	650,7	868	989,4
TOC (mg/L)	36,8	23,9	15,5	15,5	28,9	-	11,96	36,8	11,96	19,7	22,09
DQO (mg/L)	172	50	224	150	214	-	-	224	50	172	162
Toxidade (EC50(%))	-	-	-	-	-	NO	NO	-	-	-	-
Condutividade(μ)	-	-	-	-	-	1102	-	1102	1102	1102	1102

Também de maneira similar ao que foi verificado em relação aos valores obtidos na Etapa 1, os resultados obtidos nas sete campanhas efetuadas na Etapa 2 apresentam certa uniformidade, ainda que a qualidade e quantidade de esgoto afluente bruto a ETE possa ter variado muito, em função dos resíduos líquidos que foram coletados junto aos clientes atendidos a época pela ACTION. Notadamente na campanha de 13/07/18, alguns parâmetros das análises apresentaram algumas discrepâncias em relação às demais, como Turbidez, Dureza, Alcalinidade e SDT.

A concentração média obtida para a DQO encontra-se na faixa discriminada (120-200) pelas referências anteriormente mencionadas, enquanto que o valor médio encontrado para o parâmetro SST situa-se abaixo da faixa preconizada (40-60) pelas mesmas fontes. A única exceção é o valor encontrado para condutividade que se encontra muito além dos sugeridos pelas referências pesquisadas. Como se trata de uma medição pontual, optou-se por não considerá-lo.

ETAPA 3 – COMPARAÇÃO COM LIMITES E PARÂMETROS DE REUSO DE EFLUENTES

Conforme já mencionado, não há uma legislação a nível federal no Brasil com a definição de valores limites para parâmetros de qualidade voltados especificamente para o reuso urbano e rural de efluentes.

A Tabela 7 apresenta uma compilação dos resultados médios das concentrações encontradas nos efluentes nas Etapas anteriores (1 e 2), comparando-os com alguns parâmetros/limites da legislação internacional pesquisada (USEPA) e com valores recomendados por referências importantes como a WHO (OMS) e o PROSAB.

Para uma melhor caracterização dos resultados, foi também inserida uma coluna com os dados/parâmetros esperados de um efluente de um sistema de lagoas similar ao que existe na ETE da ACTION, com base em dados disponibilizados pelo PROSAB (2006).

Tabela 7 – Comparação dos parâmetros de monitoramento (Etapas 1 e 2) com limites referentes a Reuso estabelecidos e/ou recomendados por legislação e referências adotadas.

Parâmetro de monitoramento	Parâmetros analisados(méd)		Limites e valores recomendados						Qualidade media efluente de lagoa aerada +lagoa sedimentação(fonte PROSAB, 2006)
			Irrigação restrita			Irrigação irrestrita			
	Etapa 1	Etapa 2	USEPA (5)	WHO(OMS)	PROSAB	USEPA (4)	WHO(OMS)	PROSAB	
pH	7,5	8,2							
Alcalinidade	-	106,7							
Dureza	-	167,7							
Cor (uC)	74,7	202,8							
Turbidez (uT)	-	17,1	NM		<5uT ⁽⁶⁾	<2uT			
SST (mg/l)	11	22,1	<30		SR				40-60
SDT (mg/L)	-	989,4							
TOC (mg/L)	-	22,1							
DQO (mg/L)	87,1	162			SR				120-200
NH4 (mg/L)	2,68	-							>20
P _{total} (mg/L)	0,69	-							>4
DBO (mg/L)	30,1	-	<30		SR	<10			50-80
Toxicidade (x)	1	NO							
Condutividade (x)	-	1102							
E.coli (NMP/100mL)	2966	-	<200	SR		ND	<10 ³ ⁽⁵⁾		
C.Totais(NMP/100ml)	4164	-							
Parâmetros não analisados, porém recomendados pela legislação e/ou referências adotadas									
C.Ter ⁽²⁾ (Org/100ml)	–	–		SR	<1*10 ⁴ (6)			<1*10 ³ (7)	10 ⁶ - 10 ⁷
Cloro residual total CRT(mg/l)	–	–	>1			>1			
Helmintos(ovos/L)	–	–	ND	<1	<1 ⁽⁸⁾	ND	SR	<1	>1
Tratamento/remoção patógenos(log ₁₀) de médio risco(cistos e oocistos)	–	–	NA	NA	⁽⁹⁾	> 5 a 6	NA		1 a 2

Fonte: PROSAB, 2006; OMS, 1989; USEPA, 1992, 2004

SR – Sem referências. ND – Não detectável. NO – Não observado. NM - Não mencionado. NA – Não aplicável

ANÁLISE DOS RESULTADOS

No caso da ETE da ACTION, tanto a inexistência de procedência fixa dos afluentes brutos levados para tratamento como as variações de vazão de esgoto afluente ao sistema de tratamento que ocorrem em função de aspectos como sazonalidade e grau de aquecimento da atividade econômica não apresentam *a priori* consequências relevantes em termos de mudanças nas concentrações dos parâmetros avaliados nos efluentes tratados.

As diferenças encontradas nos resultados das Etapas 1 e 2 podem ser de certa forma justificadas por essa variação na qualidade do esgoto bruto afluente a ETE da ACTION, considerando ainda que algumas das campanhas/análises referentes a cada Etapa componente do estudo foram realizadas em épocas distintas.

Enquanto parâmetros como DBO e SST se enquadram nos limites da USEPA para irrigação restrita, o parâmetro de Turbidez não atende a recomendação do PROSAB. No que se refere à irrigação irrestrita parâmetros como Turbidez, DBO e *E. Coli* não se enquadram nas demandas da USEPA, sendo que *E. Coli* também não atende os padrões da OMS em sua versão mais conservadora.

Sob a ótica mais recente da WHO-OMS (PROSAB, 2006) para o parâmetro de *E. Coli*, os valores encontrados na Etapa 1 atenderiam tanto aos limites da Classe C como também as concentrações mais restritivas da Classe B (cultivo de folhosas). Por outro lado, essa mesma classe (C) demandaria um tratamento e remoção de patógenos da ordem de 2 log10, ou seja, de 99% (PROSAB, 2006).

Ainda de acordo com PROSAB (2006), o tempo de detenção médio teórico total estimado (20 dias) para o sistema de lagoas da ACTION atenderia as diretrizes da Categoria B da WHO-OMS quanto ao processo de tratamento.

Também a partir do PROSAB (2006), a eficiência de uma lagoa aerada seguida de lagoa de decantação (tecnologia de tratamento similar ao sistema existente na ACTION), correspondente a um padrão tecnológico tipo B, é da ordem de 90 a 99% para C.Ter e 60 a 80% para ovos de helmintos. Segundo o PROSAB (2006), uma lagoa aerada seguida de uma de decantação disporia de uma capacidade de atingir consistentemente as concentrações de até 1×10^6 C.Ter/100ml e de Helmintos superior a 1 ovo/l, não atendendo, portanto, as suas diretrizes gerais para utilização de esgotos tratados (C.Ter $< 1 \times 10^3$ /100 ml para uso irrestrito e C.Ter $< 1 \times 10^4$ /100 ml para uso restrito, e Helmintos < 1 ovo/l para ambos os usos).

Vale ressaltar que boa parte das fontes pesquisadas apresenta o sistema de lagoas de estabilização como um dos mais seguros no que se refere ao reuso agrícola dos efluentes do tratamento de esgotos sanitários.

Para fins de comparação, o valor médio do parâmetro mais próximo disponível - C.Totais - na Etapa 1 foi de $7,25 \times 10^3$, sendo que somente em uma das 4 campanhas o valor encontrado foi superior a 10^4 ($1,1 \times 10^3$, na 2ª campanha) e mesmo assim se situando bem próximo ao limite recomendado para C.Ter.

No que se refere à caracterização e aos parâmetros de controle da qualidade da água de reuso fornecida, os índices bacteriológicos como *E. Coli*, C.Ter e Helmintos são os mais recomendados, segundo a grande maioria das referências pesquisadas.

Ainda que o único resultado disponível (*E. Coli* da Etapa 1) atenda ao limite da OMS, é extremamente recomendável que os demais parâmetros sejam introduzidos e monitorados já nas próximas campanhas de caracterização para o devido aprimoramento e continuidade da presente pesquisa.

Vale ainda destacar a correlação verificada entre os resultados do monitoramento (Etapas 1 e 2) e os dados especificados pelo PROSAB (2006) para essa tipologia de sistema de tratamento, o que de certa forma contribui para validar os números/valores obtidos a partir das análises e respaldar a comparação desenvolvida.

CONCLUSÕES

A disponibilidade de fontes alternativas de água como o Reuso confere uma maior segurança hídrica às atividades agrícolas, que são grandes consumidoras e dependentes de água, especialmente em períodos de escassez, como os que ocorreram recentemente na região SE do país. Também devem ser mencionados os aspectos positivos relacionados aos benefícios e à maior produtividade das culturas irrigadas apontada pelas referências consultadas.

No caso do reuso agrícola, porém, além dos parâmetros e limites relacionados à saúde pública e do consumidor do produto, a viabilidade de seu emprego deve também considerar as demandas características de cada cultura a ser irrigada.

De maneira análoga ao reuso de efluentes tratados para fins urbanos, pode ser constatada a importância/necessidade de se regulamentar/normatizar os limites e critérios para utilização de água de reuso na agricultura, especialmente quanto à irrigação de culturas.

No caso estudado (ETE da ACTION), com base nos resultados e no desenvolvimento da pesquisa, foi possível constatar que há um bom potencial para o reuso rural de efluentes desse sistema.

Para isso contribuem aspectos como a resiliência característica de um sistema de lagoas de estabilização, bem como as alternativas operacionais disponíveis (recirculação, variação no tempo de aeração e no nível d'água das lagoas). A possibilidade de introdução de etapas de polimento como a desinfecção por UV podem conferir uma segurança ainda maior ao sistema/processo.

Quanto a viabilidade do reuso agrícola, ela pode ser ainda maior a medida que o gerador de águas de reuso (no caso a ETE da ACTION) se situar próximo às principais demandas do seu entorno. No presente caso foram identificadas várias demandas importantes localizadas na região, destacando-se os grandes produtores de grama situados próximos ao empreendimento, como a ITOGRASS, GOLDEN GRASS, AGRO GRAMAS, GRAMA FÉRTIL e várias outras.

No caso específico da ACTION, com a possibilidade de haver grande variação de vazão de esgoto afluente a ETE, uma vez que ela depende de fontes sazonais externas, essa variação também ocorrerá em relação a geração de efluente tratado, ainda que o sistema de lagoas disponha de uma capacidade “pulmão”, de grande importância especialmente nessas horas.

Porém, de forma a possibilitar uma maior segurança no provimento de águas regeneradas aos potenciais clientes/consumidores é recomendável que sejam levantadas outras alternativas para fornecimento de esgoto bruto a ETE da ACTION, além das que já existem, especialmente se forem de caráter mais constante.

Nesse sentido, podem ser feitas gestões junto a Prefeitura de Cachoeiras de Macacu para viabilizar o recebimento dos esgotos gerados no distrito de Papucaia, vizinho a ETE, e que são atualmente lançados *in natura* no Rio Macacu, em ponto próximo, a jusante do empreendimento.

Se possível, deve ser também incorporada aos próximos estudos uma avaliação sob a ótica dos benefícios do emprego da fertirrigação com água de reuso quanto aos tratamentos culturais e a produtividade agrícola.

Também deverão ser inseridos nas próximas análises/estudos os parâmetros microbiológicos e bacteriológicos mais importantes, como *E.Coli*, CTer e Helmintos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, 1997.
2. AGENCIA NACIONAL DE AGUAS - ANA Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos 2017.

3. AGENCIA NACIONAL DE AGUAS - ANA – Capacitação para a Gestão de Águas Reuso de Água Agrícola e Florestal, Unidade 3 Aspectos Técnicos do Reuso Agrícola e Florestal – <https://capacitacao.ead.unesp.br/>
4. AUSTRALIAN GUIDELINES FOR WATER RECYCLING (AGWR): Managing Health and Environmental Risks (Phase1) 2006 National Water Quality Management Strategy Environment Protection and Heritage Council, the Natural Resource Management Ministerial Council and the Australian Health Ministers' Conference. Web copy: ISBN 1 921173 06 8 Disponível em <https://www.awa.asn.au/Documents/water-recycling-guidelines-health-environmental-21.pdf>
5. ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. Irrigação. Versão Eletrônica - 6ª edição. Embrapa Milho e Sorgo /2010.
6. ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOUZA, F. P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. Perspectivas Online. 2017.
7. ARTHUR, J. P. Notes on design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries. Technical paper n.7. Washington, DC: The World Bank. 1983.
8. AYRES, R. M.; ALABASTER, G. P.; MARA, D. D. A design equation for human intestinal nematode egg removal. Water Research, v. 26, n. 6, p. 863-865, 1992.
9. BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. The bacterial quality of salad crop drip and furrow irrigated with waste stabilization pond effluent: an evaluation of the WHO guidelines. Water Science and Technology, v. 31, n.12, p. 425-430, 1995
10. BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. Irrigacion de hortalizas com águas residuales: Aspectos sanitários. In: Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, v.23. La Habana. Anais... La Habana: Association Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, p.22-28. 1992
11. BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; AYRES, R. M. et al. Evaluation of the WHO nematode egg guidelines for restricted and unrestricted irrigation. Water Science and Technology, v. 33, n. 10-19, p. 277-283, 1996.
12. BLUMENTHAL, U. J.; PEASEY, A.; RUIZ-PALACIOS, G.; MARA, D. D. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. London: WELL, 2000. (WELL Study, Task N° 68).
13. CASTRO DE ESPARZA, M. L.; SÁENZ, R. F. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en agricultura. Vol. I. Aspectos Microbiológicos. Lima, Peru: CEPIS, p. 1990 97.
14. CÂMARA, J. B. D.; SANTOS, T. C. C. (Orgs.) GEO Brasil 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: IBAMA, 2002.
15. CAMPOS, A.M.S. Aproveitamento De Efluente Tratado Proveniente da ETE Alegria para Reúso em Áreas Urbanas. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2018.
16. CAMPINAS. Resolução conjunta SVDS/SMS nº 09 de 31 de julho de 2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável de água, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. Diário Oficial do Município de Campinas, Campinas, 4 ago. 2014.
17. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica CETESB P4-231. Vinhaça - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/P4_231.pdf>.
18. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica CETESB P4-002. Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas - Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola, 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4002.pdf>>.
19. FIRJAN, 2017 Nota Técnica. Saneamento no estado do RJ. Cobertura e Oportunidades de Investimentos
20. FONSECA, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluentes de esgoto tratado. 126 f. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, Piracicaba, 2001.
21. HESPANHOL, I. Saúde pública e reúso agrícola de esgotos e biossólidos. 2003, 20p. Grupo de Trabalho: Uso agrícola do lodo de esgoto Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/ctgt.cfm>;
22. HILSDORF, A.S; NETO, M. Reúso de água: Comparação de várias tecnologias através de estudo de caso, Saneamento Ambiental- n° 180-2015.
23. JORDÃO, E. P.; SANTOS, A. S.. Reuso de Águas Servidas: Aula 02 – Normas e Padrões para Reuso de Águas Servidas. ABES, seção RS. 2015.

24. KUMMER, A. C. B.; SILVA, I. P. F.; LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. Irriga, Botucatu, Edição Especial, p.297-308. 2012.
25. LUDWIG, R.; PUTTI, F. F.; BRITO, R. R. Revisão sistemática sobre o uso de efluentes na agricultura. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 6, 2012, p. 167-176.
26. NOVOLARI, A., (coord.). Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola – 2ª edição. Ed. Edgard Blücher, 2011, 565 p
27. OBRACZKA, M., CAMPOS, A., ROSÁRIO, D E MURICY, B, 2017. Estado da Arte e Perspectivas de Reuso de Efluente de Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários na RMRJ, 2017. ABES FENASAN 2017
28. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (PERHI RJ) - Relatório Síntese. Maio 2014. Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcx/~edisp/inea0071539.pdf>
29. PROSAB, 2006 Tratamento e utilização de esgotos sanitários /L.FLORENCIO, R. KOPSCHITZ, X. BASTOS, M. M. AISSE (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.427 p. : il
30. PROSAB Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura / Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). – Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003 267 p. : il. ISBN 85-86552-71-2 Disponível em <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabRafaelInternet.pdf>
31. SÃO PAULO. Resolução conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 de 28 de junho de 2017. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 29 jun 2017. Seção I, p. 41/42.
32. SHUVAL, H. I.; ADIN, A.; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. Wastewater irrigation in developing countries: health effects and technical solutions. Word Bank Technical Paper, Washington, DC: The Work Bank, n. 51. 1986.
33. SILVA, K. C; SANTOS, R. A; SANTOS, A. S. P. Estudo sobre a atual situação de reuso de águas servidas tratadas no Brasil e no mundo. In: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, 2016.
34. SILVA JÚNIOR, L. C. S. Panorama do Reúso de Efluentes nas Estações de Tratamento de Esgoto nas Concessionárias de Saneamento da Região Sudeste. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2018.
35. TELLES, D. D. Aspectos da utilização de corpos d'água que recebem esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. p.461-483, 2003. In: NOVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo, FATEC – SP. 2003. 520p.
36. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Guidelines for water reuse. Washington DC: USEPA, 2004.
37. UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – USEPA. Guidelines for Water Reuse. Technical Report Nº EPA/625/R-92/004. Washington: USEPA, 1992
38. WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006. 213p
39. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. World Health Organization Technical Report Series, n.778. World Health Organization, Geneva. 1989.