



Artigo

O uso de tecnologia social para tratamento de esgoto doméstico numa comunidade rural de Gramado, RS, Brasil

Social technology for domestic sewage treatment in a rural community of Gramado, RS, Brazil

El uso de tecnología social para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una comunidad rural en Gramado, RS, Brasil

L'utilisation de la technologie sociale pour le traitement des eaux usées domestiques dans une communauté rurale de Gramado, RS, Brasil

Arthur Fernandes Domingos¹, Marcia dos Santos Ramos Berreta² e Mateus da Silva Reis³

¹ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil. Mestre em Ambiente e Sustentabilidade pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula, RS, Brasil.

E-mail: arthur_domingos89@hotmail.com

² Professora Adjunta e líder do grupo de pesquisa Laboratório de Gestão Ambiental e Negociação de Conflitos da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula, RS, Brasil. Graduada em Estudos Sociais pela Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, e Bacharel em Geografia, mestre e doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

E-mail: marcia-berreta@uergs.edu.br

³ Graduado em Gestão Ambiental e Mestrando em Ambiente e Sustentabilidade pela Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula, RS, Brasil.

E-mail: mateus-reis@uergs.edu.br

Resumo

Esse artigo apresenta uma proposta de Tecnologia Social (TS) para o tratamento de esgoto doméstico na área rural de Gramado/RS, utilizando basicamente os materiais de pneus de caminhão e sistema de raízes *wetland*. O objetivo é demonstrar a viabilidade social, técnica e econômica do sistema proposto para um núcleo urbano de uma área rural de Gramado. Para isso foi realizado um mapeamento da situação urbanística da área com o auxílio de veículo aéreo não tripulado (drone), gerando uma planta de localização de 19 edificações unifamiliares. As residências foram agrupadas em sete células, levando em consideração a proximidade entre elas, o escoamento do efluente por gravidade e o número de pessoas. Os critérios técnicos para o dimensionamento da fossa séptica e filtro anaeróbio foram baseados nas normas brasileiras NBR7229/1993 e NBR13969/1997. Por não haver norma técnica brasileira sobre o tema, a dimensão do sistema *wetland* foi obtida por meio do cálculo proposto por Andrade (2012). Foi realizado também um comparativo de custos de implantação do sistema na área de estudo entre o sistema convencional e o sistema proposto com TS. Concluiu-se, ao término, que o uso do sistema proposto nesse trabalho apresenta-se como uma tecnologia social gerando uma economia aproximada de 87% em comparação com o uso do sistema convencional. Ainda, o sistema proposto contribui para uma boa prática relacionada ao reaproveitamento do resíduo pneu de borracha, resultando num sistema de tratamento mais sustentável, impedindo o escoamento de efluentes não tratados para cursos d'água.

Palavras-Chave: Gestão Pública Municipal; Tecnologia Social; Saneamento Rural; *Wetland*; Sustentabilidade Ambiental.

Abstract

The present work presents a proposal of social technology for the treatment of domestic sewage in the rural area of Gramado / RS using truck tire and wetland root system. Mapping the urban situation of the area with the aid of unmanned aerial vehicle (drone), generating the map of the location of 19 single-family houses. The residences were grouped into 7 groups, taking into account the proximity between the houses, the effluent flow by gravity and the number of people. The technical criteria for the design of the septic tank and anaerobic filter were based on Brazilian standards: NBR7229 / 1993 and NBR13969 / 1997. Since there is still no Brazilian standard on the design of wetlands systems, the design was based on existing literature on the subject. It was concluded that the use of the system proposed in this work presents an economy of approximately 87% in comparison with the conventional system, and that there will be a good practice related to the reuse of the rubber tire residue and sustainability.

Keywords: Municipal Public Management; Social Technology; Rural sanitation; Wetland; Environmental sustainability.

Resumen

Este artículo presenta una propuesta de Tecnología Social (TS) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el área rural de Gramado / RS, básicamente utilizando los materiales de llantas de camión y el sistema radicular del humedal. El objetivo es demostrar la viabilidad social, técnica y económica del sistema propuesto para un centro urbano en una zona rural de Gramado. Para ello, se realizó un mapeo de la situación urbana de la zona con la ayuda de un vehículo aéreo no tripulado (dron), generando un plano de ubicación de 19 edificios unifamiliares. Las residencias se agruparon en siete celdas, teniendo en cuenta la proximidad entre ellas, el caudal del efluente por gravedad y la cantidad de personas. Los criterios técnicos para dimensionar la fosa séptica y el filtro anaeróbico se basaron en las normas brasileñas NBR7229 / 1993 y NBR13969 / 1997. Como no existe una norma técnica brasileña sobre el tema, la dimensión del sistema de humedales se obtuvo mediante el cálculo propuesto por Andrade (2012). También se compararon los costos de implementación del sistema en el área de estudio entre el sistema convencional y el sistema propuesto con TS. Se concluyó, al final, que el uso del sistema propuesto en este trabajo se presenta como una tecnología social que genera ahorros de aproximadamente 87% en comparación con el uso del sistema convencional. Además, el sistema propuesto contribuye a las buenas prácticas relacionadas con la reutilización de residuos de llantas de caucho, lo que resulta en un sistema de tratamiento más sostenible, evitando el flujo de efluentes no tratados a cursos de agua.

Palabras Clave: Gestión Pública Municipal; Tecnología Social; Saneamiento Rural; Humedal; Sostenibilidad del Medio Ambiente.

Resumé

Cet article présente une proposition de technologie sociale (TS) pour le traitement des eaux usées domestiques dans la zone rurale de Gramado / RS, en utilisant essentiellement les matériaux des pneus de camion et le système racinaire des zones humides. L'objectif est de démontrer la viabilité sociale, technique et économique du système proposé pour un centre urbain dans une zone rurale de Gramado. A cet effet, une cartographie de la situation urbaine de la zone a été réalisée à l'aide d'un véhicule aérien sans pilote (drone), générant un plan d'implantation de 19 bâtiments unifamiliaux. Les résidences ont été regroupées en sept cellules, en tenant compte de la proximité entre elles, de l'écoulement des effluents par gravité et du nombre de personnes. Les critères techniques de dimensionnement de la fosse septique et du filtre anaérobie étaient basés sur les normes brésiliennes NBR7229 / 1993 et NBR13969 / 1997. Comme il n'y a pas de norme technique brésilienne sur le sujet, la dimension du système de zones humides a été obtenue grâce au calcul proposé par Andrade (2012). Une comparaison a également été faite des coûts de mise en œuvre du système dans la zone d'étude entre le système conventionnel et le système proposé avec TS. Il a été conclu, à la fin, que l'utilisation du système proposé dans cet ouvrage se présente comme une technologie sociale générant des économies d'environ 87%



par rapport à l'utilisation du système conventionnel. En outre, le système proposé contribue aux bonnes pratiques liées à la réutilisation des déchets de pneus en caoutchouc, aboutissant à un système de traitement plus durable, empêchant l'écoulement des effluents non traités vers les cours d'eau.

Introdução

Pesquisas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE apontam que no Brasil há cerca de 30 milhões de pessoas vivendo em áreas rurais, o que representa aproximadamente 8,1 milhões de domicílios e 16% da população brasileira (IBGE, 2010). O mesmo censo apontou ainda que aproximadamente 20 milhões de pessoas vivem em ambientes provavelmente contaminados pelos esgotos domésticos. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2015), cerca de 83,3% da população brasileira é atendida com sistemas de abastecimento de água; 50,3% têm acesso à rede coletora de esgoto doméstico e, desse percentual, 42,67% do esgoto é tratado. Dados da Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio – PNAD (2014) revelam que na zona rural apenas 5,45% das casas estão ligadas à rede coletora de esgoto. A prestação do serviço na zona rural é mais complexa devido à dificuldade de acesso do poder público ao local, sendo que a metade da população brasileira que vive em condições de extrema pobreza habita as áreas rurais, totalizando cerca de 7,6 milhões de pessoas (FUNASA, 2016).

O saneamento básico no Brasil constitui um grande desafio a ser alcançado e necessita de um maior envolvimento da sociedade de modo que os serviços de saneamento possam promover a qualidade de vida da população, bem como proteger os recursos naturais (Teixeira, 2010). Fisher (1993) aponta que o paradigma técnico do saneamento básico foi tradicionalmente voltado para sistemas urbanos por intermédio de uma extensa rede de coleta, com as águas residuais sendo encaminhadas para estações de tratamento de efluentes com grande capacidade, a fim de permitir ganhos operacionais à medida que se agregam mais usuários à rede. Entretanto Massoud e cols. (2009) afirmam que tais técnicas necessitam de altos investimentos tanto em sua construção, quanto na sua operação e manutenção, tornando relevante o debate sobre a utilização de soluções alternativas para regiões de baixa densidade populacional, ou seja, comunidades rurais e pequenos núcleos urbanos.

O percentual da população rural brasileira com acesso a uma forma adequada de esgotamento sanitário é semelhante aos percentuais da população rural em países como a Nigéria e Senegal (WHO/UNICEF, 2010). De acordo com os dados do Banco Mundial (2016), os Estados Unidos contêm 60 milhões de pessoas na área rural, sendo que 100% desta população tem acesso ao saneamento básico.

Silva e Nour (2005) apontam que as propriedades rurais recebem pouca atenção ao tratamento de efluentes líquidos pois, individualmente, não produzem quantidades elevadas de compostos poluidores, contudo apresentam um montante significativo quando são considerados as suas totalidades. Os autores afirmam ainda que os efluentes da área rural são lançados no meio ambiente de forma dispersa e que causam uma poluição hídrica e do solo. Dados do IBGE/PNAD (2009) indicam que aproximadamente 75% dos domicílios rurais do Brasil apresentam soluções que poluem o solo e lençol freático. Conforme Esrey (1996), a zona rural é uma área praticamente inexistente aos olhos dos gestores municipais. O autor afirma que a falta de tratamento do esgoto sanitário doméstico traz várias consequências negativas para a sociedade, sendo que a saúde lidera como a principal variável impactada pelas condições sanitárias insuficientes da população.

Este trabalho apresenta uma proposta de Tecnologia Social (TS) para o tratamento de esgoto doméstico na área rural de Gramado/RS, utilizando basicamente os materiais de pneus de caminhão e sistema de raízes wetland. O objetivo é demonstrar a viabilidade social, técnica e econômica do sistema proposto para um núcleo urbano de uma área rural de Gramado por meio de um projeto hidrossanitário contendo o detalhamento gráfico, cálculo dos volumes de tratamento, custos de implantação do sistema e método construtivo.

1. Políticas de Esgotamento Sanitário e Tecnologia Social nas Áreas Rurais

A Política Federal de Saneamento Básico, instituída pela Lei Federal Nº11.445/2007, tem como uma de suas diretrizes a garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares. O Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), previsto na Lei nº 11.445/2007, teve sua elaboração coordenada pelo Ministério das Cidades. A versão final do PLANSAB foi aprovada por intermédio da publicação da Portaria Interministerial Nº 571 de 05/12/13, sendo que o referido documento assume uma abordagem de planejamento com ênfase em uma visão estratégica de futuro (FUNASA, 2016).

Diante do atual panorama da Política Federal de Saneamento Básico, o PLANSAB determina a elaboração de três programas para sua operacionalização: Saneamento Básico Integrado; Saneamento Rural e Saneamento Estruturante (FUNASA, 2016). A coordenação do processo de elaboração e execução do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) é responsabilidade do Ministério da Saúde por meio da FUNASA (Brasil, 2013).

O PNSR terá como objetivo promover o desenvolvimento de ações de saneamento básico em áreas rurais com vistas à universalização do acesso, por meio de estratégias que garantam a equidade, a integralidade, a sustentabilidade dos serviços implantados, a participação e controle social (PLANSAB, 2013). O PNSR visa atender, por ações de saneamento básico, a população rural e as comunidades tradicionais, como as indígenas e quilombolas e as reservas extrativistas (FUNASA, 2016).

O Programa tem como um dos objetivos promover a inclusão social desses grupos sociais, mediante a implantação de ações integradas de saneamento com outras políticas públicas setoriais, tais como: saúde, recursos hídricos, habitação, igualdade racial e meio ambiente. Deverá também garantir, portanto, a integração e interface com as demais políticas de Estado em andamento, como os Planos e Programas: Brasil Quilombola, Territórios da Cidadania, Desenvolvimento Rural Sustentável, Reforma Agrária, Brasil Sem Miséria, entre outros.

As justificativas para o lançamento do PNSR são o significativo passivo que o País acumula no saneamento para as áreas objeto do Programa e as especificidades desses territórios, que requerem abordagem própria e distinta da convencionalmente adotada nas áreas urbanas, tanto na dimensão tecnológica, quanto na da gestão e da relação com as comunidades (Brasil, 2013, p. 157).

Em fevereiro de 2015, a FUNASA firmou uma parceria com a Universidade Federal de Minas

Gerais (UFMG), para o desenvolvimento de estudos relacionados ao panorama do saneamento rural no Brasil, visando obter os dados técnicos necessários para a formulação do Programa Nacional de Saneamento Rural e a sua gestão no nível do Governo Federal.

O PNSR é composto de diretrizes e estratégias para ações de saneamento básico em áreas rurais, objetivando a universalização do acesso em um horizonte de 20 anos (UFMG, 2016). Os estudos compreenderão a análise da situação do saneamento rural no país, propostas de diretrizes nos eixos da tecnologia, gestão e educação e participação social, metas para o saneamento rural a curto, médio e longo prazo e o detalhamento dos investimentos necessários conforme cada região geográfica do Brasil (FUNASA, 2016).

Para Eigenheer (2009), os esforços públicos são dedicados a afastar da vista comum tudo o que seja desagradável à comunidade sem necessariamente envolvê-la na problemática ambiental. Diante desse cenário, o autor afirma que é necessário que se proponham soluções viáveis para o saneamento em áreas rurais, que sejam seguras, acessíveis, simples de serem implantadas e que estejam de acordo com a realidade e peculiaridades de cada município. Ostrom (1996) e Bovaird (2007) vão mais além ao afirmar que as soluções implantadas devem, necessariamente, prever a participação ativa dos usuários finais, e que se adequam às chamadas tecnologias sociais.

A Tecnologia Social (TS) é considerada uma solução de desenvolvimento sustentável para o gestor público municipal que procura resolver os variados problemas das áreas rurais oriundas de legislações defasadas aliado a baixos recursos financeiros (Dagnino, Brandão & Novaes, 2004). Algumas alternativas para o tratamento de esgoto vêm sendo implantadas em áreas rurais por meio do uso dessas tecnologias. Fraga (2011) sustenta que universidades, institutos públicos de pesquisa ou organizações da sociedade civil devem construir soluções tecnológicas para os problemas a serem enfrentados de maneira conjunta com os usuários-produtores. Conforme o referido autor, a tecnologia não pode ser vista como um artefato isolado, pois ela carrega seu contexto e se relaciona com diversos aspectos da sociedade, gerando impacto sobre eles. Assim, Fraga (2011) salienta que buscar alternativas tecnológicas para problemas populares não pode significar soluções padronizadas e em massa, sendo que a construção e a formulação tecnológica devem envolver movimentos sociais, os próprios beneficiários e os atores dos contextos específicos.

As TS passaram a ser mais conhecidas na medida em que as mesmas se apresentam como alternativas modernas, simples e de baixo custo para a solução de problemas estruturais das camadas mais excluídas da sociedade. Por meio dela pode-se encontrar soluções efetivas para temas como a educação, meio ambiente, energia, alimentação, habitação, água, trabalho e renda, saúde, entre outros. As tecnologias sociais alicerçam-se em duas premissas fundamentais para sua propagação: a participação das pessoas das comunidades que as desenvolvem e a sustentabilidade nas soluções apresentadas (Fundação Banco do Brasil, 2010). No quadro 1, encontram-se algumas das principais definições utilizadas para as Tecnologias Sociais:

Quadro 1. Principais definições de Tecnologias Sociais

REFERÊNCIA	DEFINIÇÃO
Instituto de Tecnologia Social (2004, p.130)	“Conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida.”
BAVA (2004, p.106)	“Métodos e técnicas que permitam impulsionar processos de empoderamento das representações coletivas da cidadania para habilitá-las a disputar, nos espaços públicos, as alternativas de desenvolvimento que se originam das experiências inovadoras e que se orientam pela defesa dos interesses das maiorias e pela distribuição de renda”.
DAGNIGNO (2012, p. 02)	“Artefatos ou processos que resultam da ação de um empreendimento em que a propriedade dos meios de produção é coletiva, onde os trabalhadores realizam atividades econômicas de modo auto gestor e a gestão e alocação dos resultados é decidida de forma participativa e democrática”.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em ITS (2004), Bava (2004) e Dagnino (2012).

O Quadro 1 indica que a TS é um método transformador de realidades, o qual há a participação efetiva da comunidade afetada na solução de algum problema visando a melhora das suas condições de vida, promovendo a inclusão social.

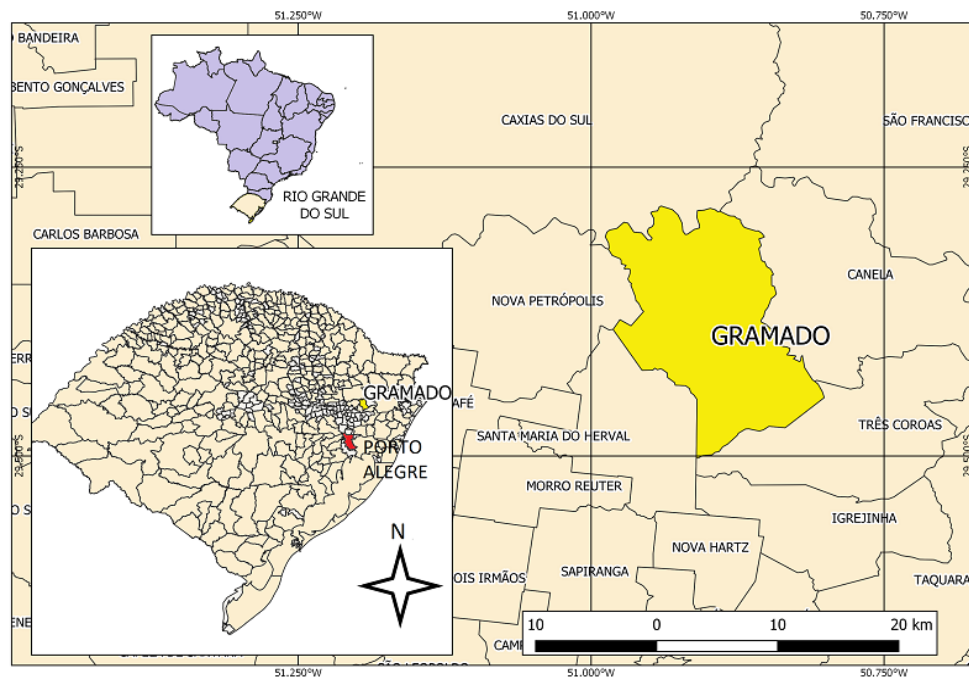
1.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado na área rural de Gramado, Rio Grande do Sul. O município está localizado no divisor de águas de duas importantes bacias hidrográficas, a do Sinos e Caí. O principal rio é o Caí, mas outros importantes cursos d'água passam por esse território, o que torna o manejo das águas pluviais um tema de relevância, sobretudo em termos de universalização dos serviços conforme prevê a Lei Federal 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico no país.

Gramado é o destino de maior expressão turística do estado do Rio Grande do Sul, sendo que foram recebidos em 2014 cerca de 7,6 milhões de turistas (Brasil, 2015). O referido município conta com uma economia predominantemente voltada para o turismo, sendo que cerca de 90% de sua receita é proveniente desse tipo de atividade. Gramado apresenta IDHM de 0,764 (PNUD, 2010) sendo classificado na faixa de Desenvolvimento Humano Alto entre 0,700 e 0,799¹. A Figura 1 apresenta a localização do município de Gramado no estado do Rio Grande do Sul.

¹ IDHM: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. O índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano do município.

Figura 1. Mapa da localização do município de Gramado no estado do Rio Grande do Sul

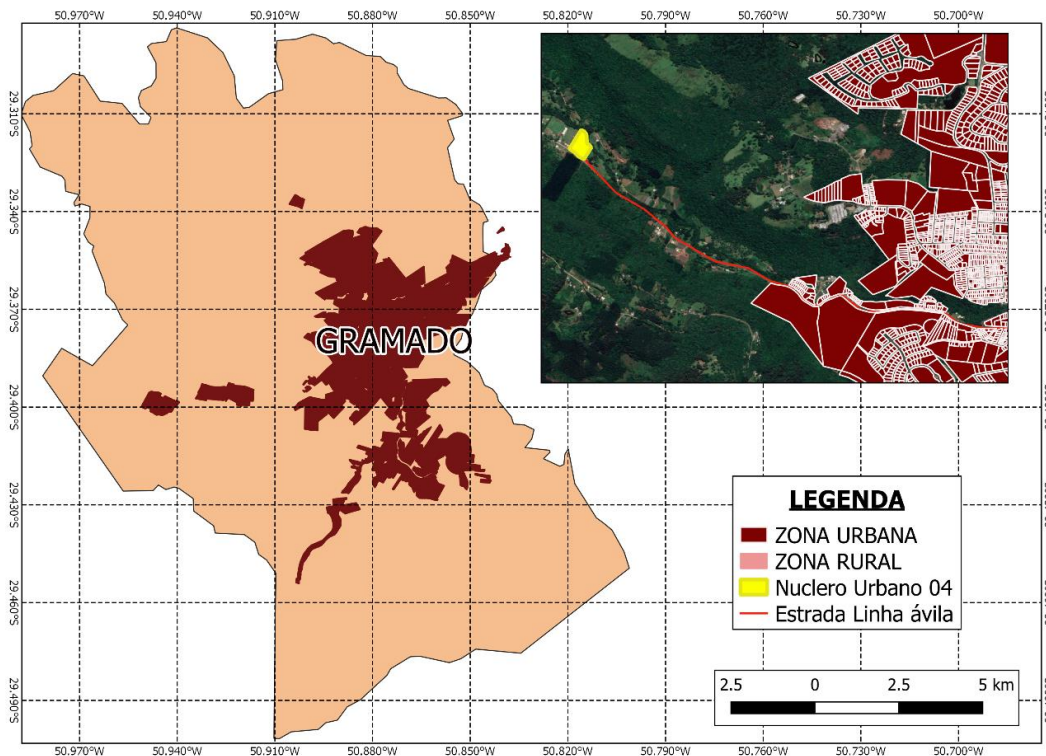


Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Gramado é um dos sete municípios pertencentes ao Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Hortênsias, além de Cambará do Sul, Canela, Nova Petrópolis, Jaquirana, Picada Café e São Francisco de Paula (Brasil, 2013). Segundo o referido documento, observa-se que, entre 2000 e 2010, Gramado cresceu, anualmente, 0,73% a mais que o estado do Rio Grande do Sul. Em 2010, das pessoas ocupadas na faixa etária de 18 anos ou mais do município, 5,76% trabalhavam no setor agropecuário, 0,10% na indústria extrativa, 20,75% na indústria de transformação, 6,97% no setor de construção, 0,18% nos setores de utilidade pública, 14,47% no comércio e 47,06% no setor de serviços (PNUD, 2010).

A área de estudo situa-se na Estrada Municipal da Linha Ávila Baixa, classificada como área rural do município. Essa localidade encontra-se a uma distância de 7km do centro de Gramado, na direção predominantemente oeste. A área de 14.990,00m² contém 20 edificações, sendo 19 residências unifamiliares consolidadas e um galpão para guardar lenha, faz divisa aos fundos com o Arroio Grande, lateralmente com outras áreas rurais e apresenta uma inclinação média de 8%. A comunidade do local é composta por famílias de trabalhadores que atuam no setor de serviços relacionado ao turismo e aposentados. A Figura 2 apresenta um mapa da localização da área de estudo e relaciona graficamente a área urbana e área rural do município de Gramado.

Figura 2. Mapa da localização da área de estudo (NU-4) na Linha Ávila Baixa, Gramado/RS



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Antigamente, na Linha Ávila Baixa encontravam-se sítios com pequenas produções familiares. Com o tempo, esses sítios passaram a ser suprimidos e partilhados em lotes com áreas inferiores ao módulo mínimo de 3,0 hectares (ha) previsto na legislação federal.

Já na área de estudo, a partir da constatação do Ministério Público Estadual no ano de 2013 que a área de terras rurais de 14.990,00m² tratava-se de um loteamento que ocorreu sem as devidas licenças (loteamento clandestino), iniciou-se um processo judicial em desfavor do proprietário da área. O parcelamento irregular de solo foi enquadrado em crime contra a Administração Pública, conforme o Art. 50 da Lei Federal 6766/1979. Durante o processo judicial, foi exigido que o loteamento fosse regularizado, contudo o parcelamento de imóvel rural (localizado em zona rural) para fins urbanos só é possível se lei municipal redefinir o seu zoneamento, transformando a zona rural ou parte dela em zona urbana ou de expansão urbana. Assim sendo, por intermédio da Lei Municipal 3296/2014, a antiga área de terra rural passou a ser classificada como Núcleo Urbano (NU-04), ou seja, uma fração de área urbana com uso e características urbanas, constituído por unidades imobiliárias de área inferior à fração mínima de três hectares prevista na lei de parcelamento de solo. A criação do referido núcleo urbano se deu em resposta ao processo judicial para regularização fundiária da área.

Conforme informações que constam no processo judicial, as famílias do local estão na fase final do processo de recebimento das escrituras definitivas dos terrenos, sendo que a liberação dos referidos documentos está relacionada incondicionalmente à execução de obras de infraestrutura, como rede elétrica, abastecimento de água e tratamento de esgoto das residências.

2. Material e Métodos

A metodologia da pesquisa adotada neste estudo baseou-se numa abordagem quali-quantitativa desenvolvida em três etapas: exploratória, campo e analítica. A etapa exploratória foi realizada obtendo os dados secundários por intermédio da revisão bibliográfica em publicações nacionais e internacionais de livros, artigos científicos e periódicos sobre os temas relacionados às tecnologias sociais, uso de lodos cultivados (*wetland*), tipos de tratamento de esgoto doméstico, pneus de borracha como resíduo sólido e a situação do tratamento de esgoto na zona rural em âmbito nacional.

A etapa de campo foi realizada na Estrada Linha Ávila, na zona rural do município de Gramado, Rio Grande do Sul, no Núcleo Urbano 04 (NU-04), o qual é oriundo de um histórico fracionamento irregular de solo rural. Nessa etapa houve o mapeamento da situação urbanística da área pelo uso de dados gerados por imageamento aéreo (drone) fornecendo as informações necessárias para o projeto hidrossanitário das edificações existentes. O drone utilizado foi o Phantom 4 da empresa DJI, peso de 1368 gramas e sistema de posicionamento por satélite GPS/GLONASS. A altura de voo foi de 80 metros com sobreposição lateral e frontal de 75% e resolução espacial de 4 cm.

Na etapa analítica, os dados coletados nas duas primeiras etapas foram compilados e serviram de embasamento para o desenvolvimento do projeto de esgotamento sanitário das residências. O sistema de tratamento proposto nessa pesquisa utiliza o pneu inservível de borracha aro 22,5cm (caminhão) como o principal material para um tratamento de esgoto do tipo: fossa séptica, filtro anaeróbio e leito cultivado com uso de plantas denominado *wetland*. O uso do material de borracha justifica-se a partir da necessidade de seu reaproveitamento, posto que a incorreta destinação ou beneficiamento do mesmo torna-se um problema ambiental. Em Gramado, o acondicionamento desse material ocorre na indústria de triagem municipal e a sua destinação final é realizada por uma empresa terceirizada de Caxias do Sul.

Os critérios técnicos de projeto da fossa séptica e filtro anaeróbio foram baseados em duas Normas Técnicas: NBR 13969/1997 – “Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos” e a NBR 7229/1993 – “Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos”. Já o dimensionamento do *wetland* foi realizado conforme metodologia proposta por Andrade (2012).

As 19 residências unifamiliares foram agrupadas em sete células que irão compor a contribuição de efluentes para cada sistema de tratamento de esgoto. Para isso, levou-se em consideração a proximidade das edificações, o escoamento das águas por gravidade e o número de pessoas em cada residência. A proximidade das edificações foi analisada visualmente a partir da imagem do drone, o número de pessoas em cada residência foi levantado a partir das informações do proprietário da área e o escoamento das águas por gravidade foi possível a partir do levantamento planialtimétrico com curvas de nível existente nos autos do processo judicial. Os pneus foram projetados no sentido vertical e o leito cultivado proposto faz uso de tubulação de PVC corrugada com a plantação de cultivo do tipo jardim filtrante absorvente com o uso da planta Taboa (*Typha domingensis*). Para a realização do projeto hidrossanitário foi utilizado o *software AutoCAD 2018* para o desenho no formato 2D (Plantas e Vista Transversal) e o *software SketchUP PRO 2018* para a modelagem em formato 3D.

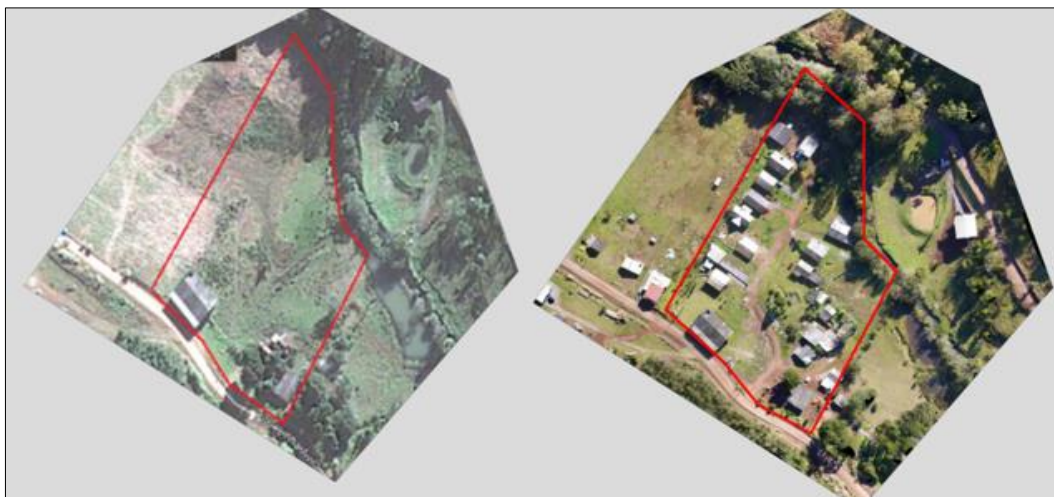
3. Resultado e Discussão

3.1. Projeto Hidrossanitário do Núcleo Urbano 04 Utilizando TS

Para a implantação de um sistema hidrossanitário eficiente faz-se necessário um estudo do local quanto à disponibilidade de área, topografia, permeabilidade do solo, recursos ambientais existentes, assim como possíveis impactos na vizinhança (Dupoldt e cols., 2000). O referido autor sustenta que o melhor local para implantação do sistema deve levar em consideração a proximidade da fonte do efluente, a inclinação suficiente da tubulação para que a água flua por meio da gravidade, o solo deve ser passível de compactação para evitar a contaminação das águas subterrâneas e a *wetland* deve estar acima do lençol freático.

Foi realizado um comparativo do número de edificações da área com o auxílio de imagens de satélite do software *Google Earth Pro 2018* para a situação em 2010 e com o uso de imageamento aéreo para a situação em agosto de 2018. Concluiu-se que existiam apenas duas edificações no local em 2010, mas esse número aumentou para 20 edificações em oito anos. A Figura 3 ilustra essa situação.

Figura 3. Comparativo do crescimento do número de edificações na área de estudo entre 2010 e 2018



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

As 19 residências unifamiliares foram agrupadas em sete células independentes, que irão compor a contribuição de efluentes para cada sistema de tratamento de esgoto, sendo que os agrupamentos levaram em consideração a proximidade das edificações, o escoamento das águas por gravidade e o número de pessoas em cada residência. A edificação 12 não foi agrupada e não será considerada no cálculo do sistema hidrossanitário por se tratar de um galpão para estocagem de lenha. Dessa forma, foram dimensionados sete sistemas de tratamento de esgoto que atenderão a todas as residências existentes no local. A tabela 1 apresenta as combinações realizadas e a quantidade de pessoas envolvidas em cada célula.

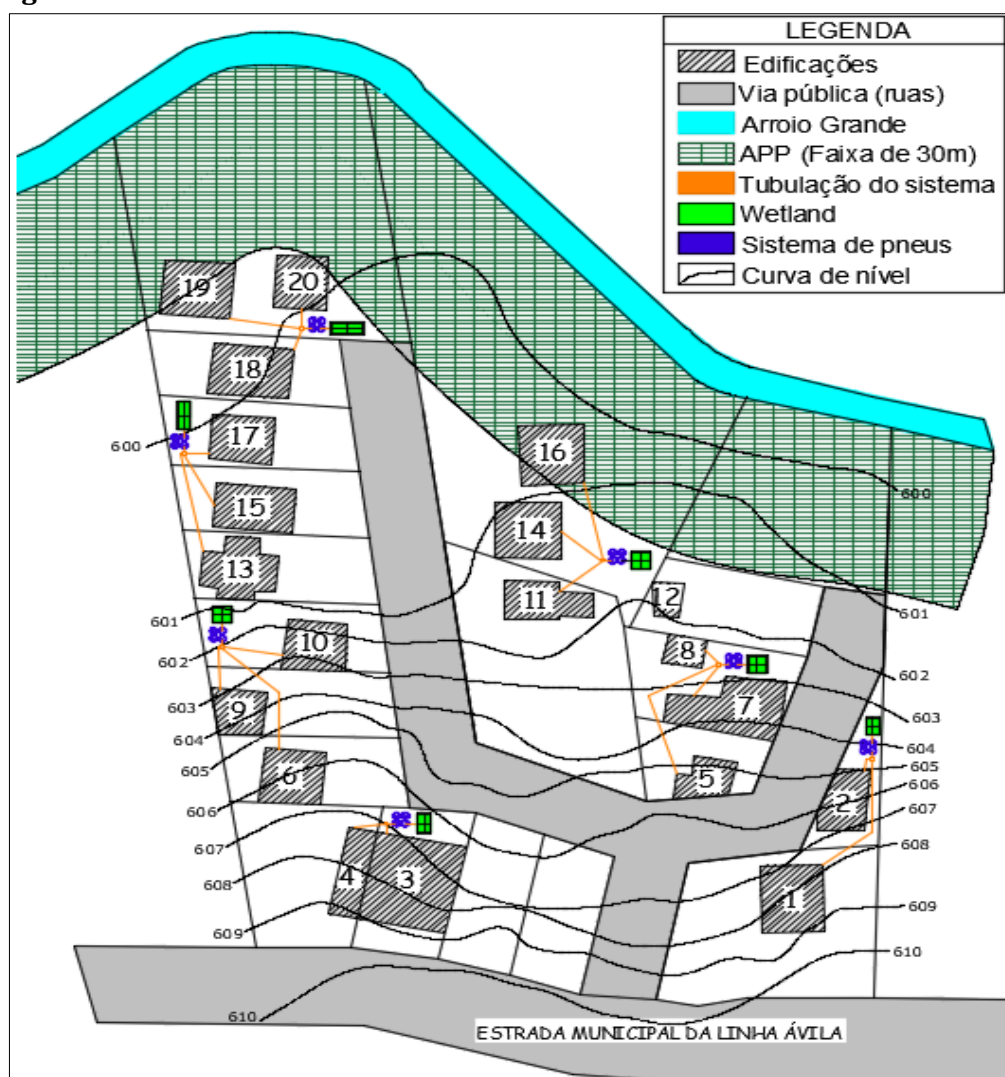
Tabela 1. Agrupamento de edificações e a quantidade de pessoas por célula

Agrupamento	A	B	C	D	E	F	G
Residências	1,2	3,4	5,7,8	6,9,10	11,14,16	13,15,17	18,19,20
Nº de Pessoas	5	6	8	8	8	9	9

Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

A Figura 4 ilustra a localização e os agrupamentos das residências, as áreas das vias públicas, o Arroio Grande, os equipamentos do sistema hidrossanitário proposto e as curvas de nível da localidade. Importante ressaltar a faixa de 30 metros de Área de Preservação Permanente (APP) nas margens do Arroio Grande localizada no fundo do terreno. Conforme decisão judicial para a regularização fundiária das residências existentes, as edificações 16, 19 e 20, o qual estão dentro dessa área de APP, poderão permanecer no local.

Figura 4. Planta baixa do NU-04 com o sistema hidrossanitário com uso de TS



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

Os itens a seguir apresentam o conceito e as explicações dos cálculos usados para o dimensionamento dos equipamentos de tratamento de esgoto propostos para a área de estudo.

a. Fossa Séptica

A NBR 7229 (ABNT, 1993) cita que os sistemas de tanques sépticos são o conjunto de unidades destinadas ao tratamento e à disposição de esgotos, mediante utilização de tanque séptico e unidades complementares de tratamento e/ou disposição final de efluentes e lodo. A norma descreve ainda os tanques sépticos como sendo estruturas de forma prismática retangular ou cilíndrica para tratamentos de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão.

O projeto e dimensionamento do sistema de tanque séptico, enquanto unidade de tratamento primário do esgoto foi baseada nos critérios estabelecidos pela NBR 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. É importante que não exista o encaminhamento da água da chuva para esses sistemas, de modo a evitar a elevação excessiva da vazão de esgoto afluente. O dimensionamento do tanque séptico é realizado por uma equação normatizada pela NBR7229 que relaciona o volume útil (em litros) necessário do tanque séptico com o número de contribuintes, a contribuição de despejos em litros/dia, o período de detenção em dias, a taxa de acumulação de lodo digerido e a contribuição de lodo fresco.

No cálculo do volume necessário pela fossa séptica para os sete sistemas do presente estudo, a única variável que alterou de acordo com os agrupamentos de residências foi o número de contribuintes para cada sistema.

b. Filtro Anaeróbio

A NBR 13969 (ABNT, 1997) define filtros anaeróbios como um reator biológico com entrada de efluente em sentido ascendente, constituído por uma câmara vazia na parte inferior e outra câmara preenchida com material filtrante logo acima desta câmara vazia, onde atuam microrganismos facultativos e anaeróbios, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. A norma completa ainda que o material filtrante é mais utilizado como retenção de sólidos. Conforme Ávila (2005) algumas das vantagens da utilização de filtros anaeróbios são a dispensabilidade de fonte de energia externa e recirculação de lodo, baixa produção de lodo e a relevante remoção de material orgânico dissolvido. O autor afirma que as desvantagens desse sistema são poucas, como por exemplo, a possibilidade dos efluentes ficarem com alta concentração de sais minerais, excesso de microrganismos patogênicos, ocorrência de entupimentos, entre outros.

O dimensionamento do filtro anaeróbio é feito também de acordo com a NBR 7229/93 e considera variáveis parecidas com o cálculo da fossa séptica indicado no item acima. As variáveis para o dimensionamento do volume do filtro anaeróbio são o número de contribuintes, a concentração de despejos e o tempo de detenção hidráulica.

c. Wetland: sistema de zona de raízes

Conforme Monteiro (2009) *wetland* é um termo genérico para denominar qualquer ecossistema alagado. O autor afirma que os sistemas de leitos alagados construídos são baseados nos sistemas naturais, sendo que eles utilizam as suas características despoluidoras para proporcionarem a melhoria da qualidade das águas.

Mitsch (1993) define *wetlands* como áreas alagadas que compõem um ecossistema, sendo cobertas por água a pouca profundidade integral ou sazonalmente, oferecendo boas condições para o crescimento de macrófitas. O autor ressalta ainda que as *wetlands* construídas podem ser encontradas na literatura como sistemas alagados construídos, zonas de raízes, ou leitos cultivados.

Para o dimensionamento do sistema de zona de raízes, usualmente são utilizados parâmetros estruturais e de cálculo de área baseados em van Kaick (2002), Sezerino (2004) e Andrade (2012), devido ao fato de não existir nenhuma norma brasileira para esta tecnologia. O dimensionamento do sistema por zona de raízes utilizada na pesquisa foi apresentado por Andrade (2012) e considera que a área necessária do sistema de *wetland* é resultado da multiplicação do número de contribuintes, a vazão do dia e o tempo de detenção hidráulica dividido por 0,46. De acordo com o referido autor, o valor de 0,46 foi obtido em função do cálculo do índice de vazios do leito filtrante dos materiais areia grossa e brita nº2.

d. Cálculo e Projeto do Sistema Hidrossanitário dos Agrupamentos

Os pneus de caminhão adotados no cálculo dessa pesquisa são de aro 22,5, circulares, com diâmetro de 1056mm e largura de 300mm. O volume de um pneu pode ser calculado como um cilindro, sendo a área de um círculo multiplicado pela altura. Assim, o volume de um pneu aro 22,5 é de 262,61 litros.

Os volumes mínimos da Fossa Séptica e Filtro Anaeróbio foram calculados conforme ABNT NBR7229/93 e a área mínima do sistema *wetland* foi calculada conforme metodologia proposta por Andrade e cols. (2012). Os valores dos volumes e áreas adotados no projeto para as células foram sempre superiores aos mínimos exigidos por norma técnica, concluindo-se que o sistema atende aos requisitos técnicos existentes para implantação de um sistema de tratamento de esgoto eficiente. A Tabela 2 indica os cálculos do sistema hidrossanitário para os sete grupos da área de estudo.

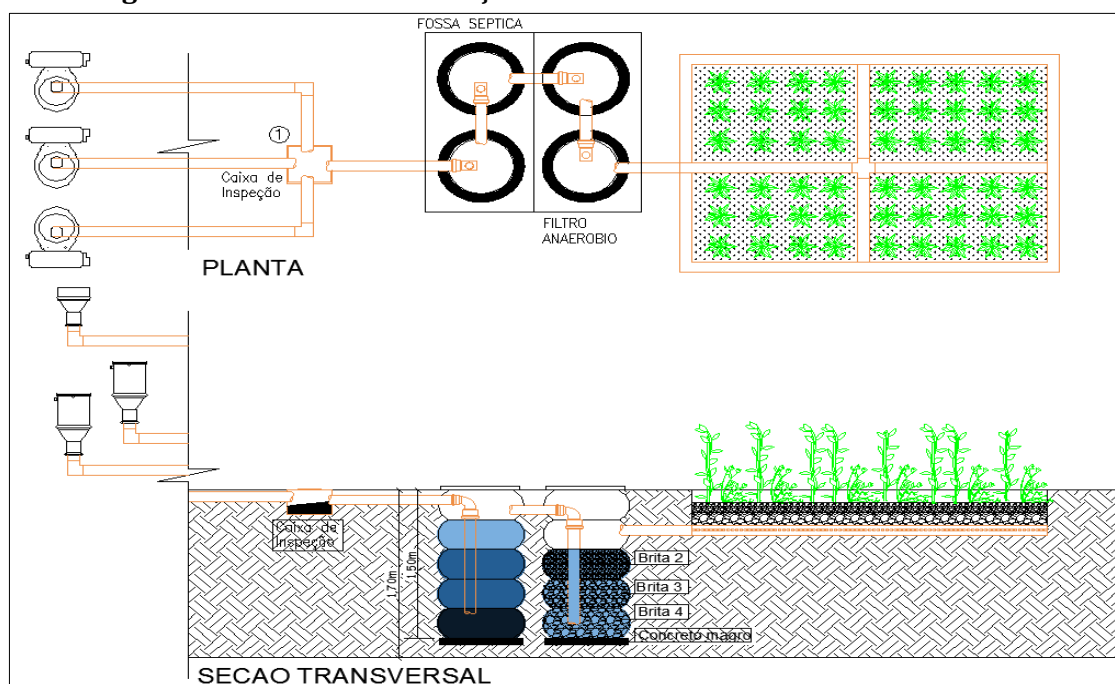
Tabela 2. Cálculo do sistema hidrossanitário dos agrupamentos

Grupo	Edificações	Total de Pessoas (N)	Fossa Séptica - Cálculo conforme NBR7229/93		Filtro Anaeróbio - Cálculo conforme NBR7229/93		Wetland - Cálculo conforme Andrade (2012)	
			Volume mínimo conforme NBR7229 (litros)	Volume projetado (litros)	Volume mínimo conforme NBR7229	Volume projetado (litros)	Área mínima conforme Andrade (2012)	Área projetada (m ²)
A	1,2	5	V= 1825 litros	7 pneus V=1838 litros	V= 800 litros	4 pneus V=1050 litros	A= 5,43m ²	2,00m x 3,00m A=6,00m ²
B	3,4	6	V= 1990 litros	8 pneus V=2101 litros	V= 960 litros	4 pneus V=1050 litros	A= 6,52m ²	2,00m x 3,50m A=7,00m ²
C	5,7,8	8	V= 2320 litros	9 pneus V=2363 litros	V= 1280 litros	5 pneus V=1313 litros	A= 8,69m ²	3,00m x 3,00m A=9,00m ²
D	6,9,10	8	V= 2320 litros	9 pneus V=2363 litros	V= 1280 litros	5 pneus V=1313 litros	A= 8,69m ²	3,00m x 3,00m A=9,00m ²
E	11,14,16	8	V= 2320 litros	9 pneus V=2363 litros	V= 1280 litros	5 pneus V=1313 litros	A= 8,69m ²	3,00m x 3,00m A=9,00m ²
F	13,15,17	9	V= 2485 litros	10 pneus V=2626 litros	V= 1440 litros	6 pneus V=1575 litros	A= 9,78m ²	2,00m x 5,00m A=10,00m ²
G	18,19,20	9	V= 2485 litros	10 pneus V=2626 litros	V= 1440 litros	6 pneus V=1575 litros	A= 9,78m ²	2,00m x 5,00m A=10,00m ²

Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

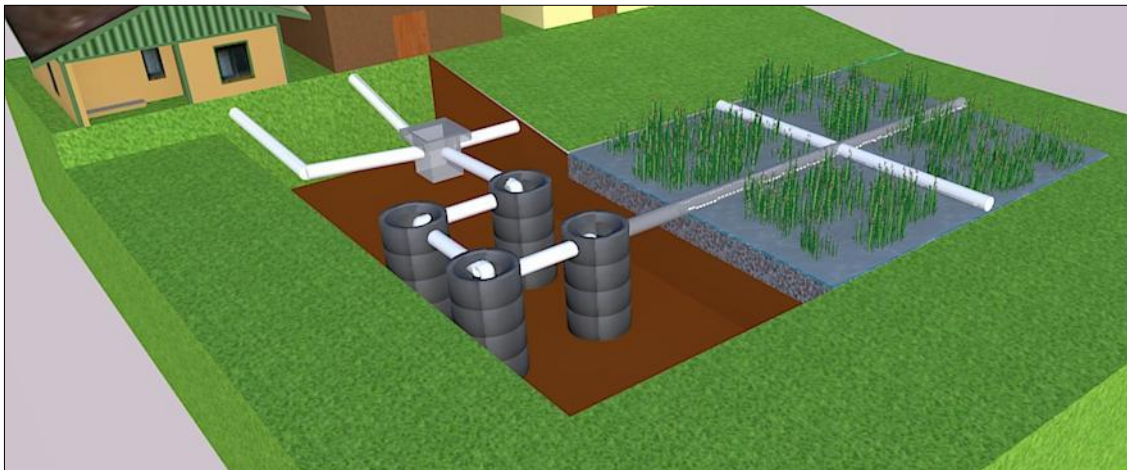
A partir da realização dos agrupamentos e dos cálculos feitos acima, procedeu-se com o Projeto Gráfico do Sistema Hidrossanitário com o uso da Tecnologia Social. As Figuras 5 e 6 demonstram o detalhamento do sistema.

Figura 5. Detalhe Planta e Seção Transversal do sistema com uso de TS



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

Figura 6. Detalhe Modelagem 3D do Sistema Hidrossanitário com uso de TS



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

Importante ressaltar que, para fins didáticos, a Figura 6 ilustra o sistema de tratamento de esgoto com as suas extremidades abertas, facilitando a visualização das linhas verticais de pneus aro 22,5 e a tubulação hidrossanitária do sistema. Na execução, os pneus ficarão abaixo do solo e uma tampa de concreto será executada para o fechamento do topo das linhas verticais de pneus.

4. Análise de Custos de Implantação: sistema convencional vs. Sistema proposto

O projeto desta pesquisa apresenta sete unidades de tratamento de esgoto para 19 residências unifamiliares. Caso fosse utilizado o sistema convencional haveria 19 unidades de tratamento de esgoto do tipo fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro, ou seja, uma unidade para cada residência.

Importante ressaltar que, para a quantificação dos sistemas, adotou-se a base de dados da Caixa Econômica Federal denominada Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), aplicados para o Rio Grande do Sul em novembro 2018. A referida base de dados foi utilizada por se tratar de uma fonte oficial gratuita indicada pelo Governo Federal para orçamentação de obras da construção civil.

Nos cálculos do sistema com o uso de TS, o custo dos pneus de caminhão aro 22,5 foi adotado como 0,0 (zero), pois se considerou o fornecimento do material pelo poder público. Dessa forma, haverá benefícios para ambas as partes, pois as comunidades rurais poderão executar o sistema proposto a um custo mais baixo e o poder público, além de participar indiretamente da regularização do tratamento sanitário das áreas rurais, dará uma destinação correta para reaproveitamento dos pneus inservíveis. Nesse item, ressalta-se ainda a

importância de o poder público saber onde os sistemas estão sendo implantados para que ocorra o monitoramento da eficiência do sistema de tratamento, e recomendações aos integrantes das comunidades, caso necessário. A mão de obra para execução da solução com o uso de TS não foi considerada no custo por conta da recomendação de que o sistema de tratamento seja executado por meio de mutirões. Essa forma de execução é recomendada no uso de Tecnologias Sociais, pois inserem, efetivamente, os integrantes da comunidade na resolução dos seus problemas.

O custo total para implantação de um sistema de tratamento de esgoto da forma convencional para as 19 residências foi de R\$141.391,09. Já para o sistema de tratamento proposto neste artigo, o custo total para a execução dos sete agrupamentos que abrangerão as mesmas 19 residências foi de R\$18.233,14.

Considerações Finais

A área rural de Gramado apresenta grande *déficit* de saneamento básico, sendo uma região historicamente invisível aos olhos de gestores públicos para elaboração de políticas públicas. Atualmente, a área rural do município de Gramado passa por constantes fracionamentos irregulares de solo originando a instalação de loteamentos clandestinos e, conseqüentemente, a ausência de tratamento de esgoto. Muito disso ocorre por conta de a cidade apresentar-se com alta especulação imobiliária, resultando em altos valores de aluguéis, os quais se apresentam incompatíveis com a remuneração recebida pela maioria dos trabalhadores do setor de serviços.

O sistema de tratamento de esgoto proposto nesse estudo representa uma Tecnologia Social baseada no saneamento rural e ecológico, valorizando o reaproveitamento dos materiais já existentes (pneus de borracha), e os recursos naturais (zona de raízes *wetland*). Atualmente, os pneus de borracha inservíveis ficam armazenados na usina de resíduos municipal e apresentam-se como um problema ambiental quanto à sua correta destinação. Para a área de estudo, os sete agrupamentos das 19 residências unifamiliares possibilitaram o tratamento de esgoto com um custo 87% mais baixo que o uso do sistema convencional. Importante ressaltar que o cálculo do sistema levou em consideração as normas técnicas de engenharia e literatura científica, portanto mostram-se eficientes no tratamento dos efluentes domésticos (águas negras e cinza), os quais hoje são lançados no Arroio Grande.

A Tecnologia Social deve ter o apoio da comunidade local e contar com a participação da mesma na sua implantação, a fim de que elas possam se sentir incluídas na inovação. O presente artigo serve também como uma proposta de política pública para os gestores municipais, os quais poderiam propagar essa técnica às comunidades rurais e, posteriormente, fornecer os pneus de borracha inservíveis para que esses materiais possam ser utilizados na construção do sistema de tratamento.

Além disso, as prefeituras municipais poderiam adotar uma estratégia de fomento fornecendo apoio técnico para projetar o sistema, liberação de máquinas para escavação das valas, licenciamento diferenciado, monitoramento da eficiência do tratamento do esgoto e

oferecimento de cursos de formação e educação ambiental para as comunidades rurais aplicar essa tecnologia social. Ainda, o poder público poderia servir de exemplo à população ao utilizar este sistema em órgãos públicos, tais como banheiros de parques, escolas, praças, etc., além de firmar parcerias com universidades e centros de pesquisa para implantação e monitoramento da sua eficiência.

Ressalta-se também a necessidade de haver maior investimento público de tratamento de esgoto na área rural, intensificando a adoção de soluções adequadas de saneamento para atendimento a essas comunidades. O panorama de as áreas rurais de Gramado serem locais com pouca atenção do poder público deve ser urgentemente alterado mediante à constatação do crescimento exponencial de loteamentos clandestinos na área rural do município com o consequente aumento da sua poluição hídrica e do solo.

Ainda, Gramado apresenta-se como um município turístico que, muitas vezes, é tido como referência a ser seguida por outras cidades quanto à sua organização, limpeza e “educação da população”. Sendo assim, indica-se que a proteção hídrica também deveria fazer parte dos atrativos turísticos do município, ficando claro aos seus visitantes que, apesar da grande flutuação populacional ocorrida por conta do turismo, não há interferência no saneamento básico do município e que, principalmente, Gramado e seus governantes prezam pela preservação dos seus recursos naturais.

Referências Bibliográficas

- Andrade, Helisson H. B. (2012). *Avaliação do Desempenho de Sistemas de Zona de Raízes (Wetlands Construídas) em Escala Piloto Aplicados ao Tratamento de Efluente Sintético*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1993). *NBR 7229: construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais*. Rio de Janeiro: ABNT. 18p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1997). *NBR 13969: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação*. São Paulo: ABNT. 60p.
- Ávila, Renata O. (2005). *Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Bava, Silvio C. (2004). Tecnologia social e desenvolvimento local. Em Fundação Banco do Brasil (org.). *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. (pp.103-16). Rio de Janeiro: FBB.
- Brasil. (1979). *Lei Federal n.º 6.766, de 19 de dezembro de 1979*. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 20 dez. 1979.
- Brasil. (2010). *Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010*. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Acessado em 23 de agosto de 2017, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm
- Brasil. (2013). *Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB*. Acessado em 20 de dezembro de 2018 de <http://www.cidades.gov.br/>
- Bovaird, Tony. (2007). Beyond engagement and participation: user and community coproduction of public services. *Public Administration Review*, 67(5), 846-860.
- Dagnino, Renato, Brandão, Flávio C., & Novaes, Henrique T. (2004). Sobre o marco analítico conceitual da tecnologia social. Em Fundação Banco do Brasil (org.). *Tecnologia Social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: FBB.
- Dagnino, Renato. (2012). *Tecnologia social e economia solidária: construindo pontes*. Campinas: Gapi/Unicamp.
- Dupoldt, Carl. (2000). *A Handbook of Constructed Wetlands*. A guide to creating wetlands for: Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater. vol. 1. USA.
- Eigenheer, Emílio M. (2009). *A limpeza urbana através dos tempos*. Porto Alegre: Gráfica Pallotti.
- Esrey, Steven A. (1996). Water, waste, and well-being: a multicountry study. *American journal of Epidemiology*, 143(6), 608-623.
- Fraga, Lais. (2011). Autogestão e tecnologia social: utopia e engajamento. Em Benini, Édi A., et al. (orgs.) *Gestão pública e sociedade: fundamentos e políticas públicas de economia solidária*. 2v. (pp.101-24). São Paulo: Outras Expressões.
- Fundação Nacional da Saúde - FUNASA. (2016). Panorama do saneamento rural no Brasil. Acessado em 04 de novembro de 2017, de http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/blt_san_rural.pdf

- Fundação Banco do Brasil. (2010). Tecnologia social, Fossa séptica biodigestora: Saúde e renda no campo. Brasília: FBB.
- Gramado. (2014). *Plano Municipal de Saneamento Básico de Gramado*. Prefeitura Municipal de Gramado, Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Acessado em 04 de novembro de 2017, de http://www.prosinos.rs.gov.br/downloads/GRAMADO_PMSB_rev_0_pdf.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2010). *Sinopse dos resultados do censo 2010. População: urbana x rural*. Acessado em 20 de agosto de 2017, de <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2015). *Pesquisa Nacional de Atendimento a Domicílio 2013-2014*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto de Tecnologia Social - ITS. (2004). Reflexões sobre a construção do conceito de tecnologia social. Em Fundação Banco do Brasil (org.) *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. (pp.117-34). Rio de Janeiro: FBB.
- Massoud, May A., Tarhin, Akram., & Nasr, Joumana A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90.
- Mitsch, William J. (1993). *Wetlands*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Monteiro, Rodrigo C. M. (2009). *Viabilidade técnica do emprego de wetlands para o tratamento de água cinza para o reuso não potável*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo.
- Ostrom, Elinor. (1996). Crossing the great divide: coproduction, synergy, and development. *World Development*, 24(6), 1073-1087.
- Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS. (2015). *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto*. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Ambiental. Acessado em 03 de novembro de 2017, de <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>
- Silva, Gustavo H. R., & Nour, Edson A. A. (2005). Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(2), 268-275.
- Teixeira, José. B. (2010). *Saneamento rural no Brasil: perspectivas*. Panorama do saneamento básico no Brasil. Brasília: Ministério das Cidades.
- World Health Organization – WHO. (2010). *Progress on sanitation and drinkingwater: 2010 update*. WHO Press. Geneva, Switzerland.

Recebido em 11/09/2018.
Revisado em 27/10/2018.
Aceito em 21/12/2018.