



46^a Assembleia
Nacional da
Assemæe

Saneamento Básico:
um direito de todos

16 a 19 de maio de 2016

Jaraguá do Sul - Santa Catarina

ANAIS

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul – SC

ISBN

978-85-99947-16-6

Brasília/2016



Associação Nacional dos Serviços
Municipais de Saneamento



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

Sobre a ASSEMAE

A Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (Assemae) é uma organização não governamental sem fins lucrativos, criada em 1984, que busca o fortalecimento e desenvolvimento da capacidade administrativa, técnica e financeira dos serviços municipais de saneamento básico, responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos e drenagem urbana.

A entidade desenvolve uma agenda de lutas em prol do saneamento básico, interagindo com as diversas esferas do governo federal, além de participar do Conselho Nacional das Cidades, Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conselhos estaduais de saneamento e comitês de bacias hidrográficas. A Assemae conta com reconhecimento e credibilidade nacional e internacional, reunindo quase dois mil associados no Brasil.

A associação considera o saneamento básico como um direito fundamental para o resgate da dignidade humana, afinal, o setor está diretamente relacionado ao desenvolvimento urbano e sustentável de um país. Por isso, defende há 31 anos a gestão pública dos serviços municipais de saneamento básico, lutando pela qualidade, controle social e sustentabilidade econômico-financeira dos associados.

A sede da Assemae está localizada em Brasília, estrategicamente nas proximidades de vários órgãos do governo federal, como a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) e o Ministério das Cidades. Além disso, a entidade possui 13 Regionais distribuídas pelo Brasil, o que reforça sua capilaridade em todas as regiões do país.

Saiba mais: www.assemae.org.br



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

Apresentação da 20^a EEMS

Para incentivar a produção técnica-científica destinada ao saneamento básico, a Assemae realizou em 2016 a 20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento (EEMS), uma oportunidade para a troca de experiências e de informação entre os serviços municipais de saneamento básico e os pesquisadores do setor. O evento aconteceu de 16 a 19 de maio, em Jaraguá do Sul (SC), como parte da 46^a Assembleia Nacional da Assemae.

A Exposição foi caracterizada pela apresentação de trabalhos técnicos em formato oral e pôster, incluindo temas como abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos, drenagem urbana, eficiência energética, educação ambiental, redução de perdas de água, gestão integrada de resíduos sólidos, entre outros.

Com conteúdo inédito, os trabalhos visam apresentar experiências que fortaleçam a ação dos municípios no âmbito dos serviços de saneamento básico. Durante o evento, os autores foram avaliados e concorrem a premiações oferecidas pela Assemae. Em Jaraguá do Sul, o primeiro autor do melhor trabalho recebeu como premiação o pagamento de todos os custos relativos à passagem, hotel, alimentação e isenção de inscrição para participar da 21^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, durante a 47^a Assembleia Nacional da Assemae. Por sua vez, o autor e coautor do melhor trabalho na forma de pôster foram presenteados com a inscrição gratuita na próxima Assembleia Nacional da Assemae.

Aparecido Hojaij
Presidente da Assemae

Paulo Sérgio Scalize
Coordenador da 20^a EEMS



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

Comissão Científica

Avaliador

Adilson Ben da Costa
Alexandre Kepler Soares
Aloysio Gomes de Souza Filho
Angela Di Bernardo Dantas
Arnaldo Sarti
Carlos Henrique de Melo
Cícero Onofre Andrade Neto
Cláudio Antônio Andrade Lima
Dieter Wartchow
Eduardo Queija de Siqueira
Elaine Franciely Dos Santos Barros
Francisco Javier Cuba Teran
Germán Sanz Lobón
Glenda Barbosa de Melo
Hermelinda Maria Rocha Ferreira
Humberto Carlos Ruggeri Junior
José Luís Bizelli
Júlio César Teixeira
Karla Alcione Cruvinel
karla Emmanuela Ribeiro Hora
Katia Sakihama Ventura
Lafayette Dantas da Luz
Luiz Roberto Santos Moraes
Marcus André Siqueira Campos
Marcus Cesar Avezum Alves de Castro
Maria Teresa Chenaud Sá de Oliveira
Nilson Clementino Ferreira
Nora Katia Saavedra
Osvaldo Luiz Valinote
Oyana Rodrigues Santos
Patrícia Campos Borja
Paulo Vaz Filho
Paulo Sérgio Scalize
Poliana Nascimento Arruda
Renavan Andrade Sobrinho
Roberta Vieira Nunes Pinheiro
Rodrigo Moruzzi
Rosana Gonçalves Barros
Saulo Bruno Silveira e Souza
Silvio Roberto Orrico
Simone Costa Pfeiffer
Tsunao Matsumoto
Welligton Cyro de Almeida Leite Leite

Instituição

UNISC
UFG
UTFPR
UNAERP
IQ UNESP Araraquara
FUNASA
UFRN
UNIFAL MG Poços de Caldas
UFRGS
UFG
Prefeitura Itumbiara
UFG
UFG
ASSEMAE
APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima)
UFG
UNESP Araraquara
UFJF
UFG
UFG
UFSCar
UFBA
UFBA
UFG
UNESP Rio Claro
UFBA
UFG
UFG
UFG
IFG Goiânia
UFBA
Faculdades Integradas de Araraquara (Logatti)
UFG
UFG
UFBA
UFG
UNESP Rio Claro
IFG Goiânia
UFG
UEFS
UFG
UNESP Ilha Solteira
UNESP Guaratinguetá



46ª Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20ª Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

Comissão Organizadora 46 Assembleia Nacional da ASSEMAE

Aparecido Hojajj: Presidente Nacional da Assemae

Rodopiano Marques Evangelista: Coordenador-Geral da 46ª Assembleia Nacional da Assemae e Vice-Presidente da Assemae

Paulo Sérgio Scalize: Coordenador da 20ª EEMS

Ademir Izidoro: Presidente da Assemae Regional de Santa Catarina e Diretor-Presidente do Samae de Jaraguá do Sul (SC)

Aluir Flemming: 1º Diretor de Capacitação de Recursos Humanos da Assemae e 1º Vice-Presidente da Assemae Regional de Santa Catarina

Darci Ervino Schitz: 1º Diretor Financeiro da Assemae e Presidente da Assemae Regional do Paraná

Cléber Frederico Ribeiro: 1º Secretário da Assemae

Francisco dos Santos Lopes: Secretário Executivo da Assemae

Francisco Gabriel Alves da Silva: Gerente de Comunicação da Assemae

Ana Carolina B. Silveira Figur: Assessora de Comunicação do Samae de Jaraguá do Sul (SC)

Taline Luise Behling: Assessora de Gestão no Samae de Jaraguá do Sul (SC)

Comissão Relatora da 20ª EEMS

Paulo Sérgio Scalize

Dirceu Scaratti

Laudicéia Giacometti Lopes

Luiz Roberto Santos Moraes

Patrícia Campos Borja

Deverson Simioni

Germán Sanz Lobón

Coordenação Geral da 20ª EEMS

Paulo Sérgio Scalize



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

Temário

Tema

Abastecimento de Água

Descrição

Captação, tratamento, abastecimento e distribuição de água; resíduo de ETA.

Esgotamento Sanitário

Caracterização, coleta, tratamento, disposição, reuso, lodos e biossólidos.

Limpeza Pública e Manejo dos Resíduos Sólidos

Reciclagem, coleta, tratamento, disposição final e aterros.

Drenagem Urbana e Manejo das Águas Pluviais

Manejo e drenagem de águas pluviais, hidrologia urbana, tratamento e gestão.

Recursos Hídricos

Mananciais superficiais e subterrâneos; planejamento, gestão e aproveitamento das águas; controle da poluição; políticas e estudos avaliativos.

Saúde Pública e Controle de Vetores

Doenças, controle de vetores, epidemiologia, vigilância sanitária e salubridade ambiental.

Política e Gestão dos Serviços de Saneamento Básico

Política, planejamento e gestão ambiental; política, planejamento e gestão de serviços públicos de saneamento básico, regulação, regulamentação, eficiência empresarial, organização e qualidade.

Educação Ambiental e Comunicação Social

Participação e controle social; educação ambiental, formação gestão e capacitação de pessoas em saneamento e meio ambiente.

Gestão e Redução de Perdas de Água; energia e eficiência energética

Gestão e perdas nos sistemas de abastecimento de água; energia e meio ambiente; conexão entre água e energia; eficiência energética em saneamento; gestão, controle e redução de consumo.

Planos Municipais, Regionais e Estaduais de Saneamento Básico e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Elaboração, implementação e manutenção de planos municipais, regionais e estaduais de saneamento básico; gestão dos resíduos sólidos, consórcios.



SUMÁRIO

Apresentação Oral

Tema 1 - Abastecimento de Água: Captação, tratamento, abastecimento e distribuição de água; resíduo de ETA.

ABASTECIMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZADA PARA CONSUMO HUMANO NO DISTRITO PRATA, GOIÁS	1
CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA A PARTIR DA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA NAS CISTERNAS DO P1MC: UM ESTUDO NO MUNICÍPIO DE MACURURÉ-BA	11
DESFLUORETAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR ADSORÇÃO E PRECIPITAÇÃO POR CONTATO EM CARVÃO ATIVADO DE OSSO.....	19
IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GEOPROCESSAMENTO NO DMAE DE POÇOS DE CALDAS	30
MANANCIAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DOS MUNICÍPIOS DA CALHA DO RIO SOLIMÕES-AMAZONAS: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	35
PROBLEMAS NA CAPTAÇÃO DE RECURSOS PARA PROJETOS DE SANEAMENTO EM SC	45
PROPOSIÇÃO DE MODELO PARA CÁLCULO DO ÍNDICE DE CARÊNCIA EM SANEAMENTO BÁSICO – ICSB DE UMA REGIÃO.....	58
ULTRAFILTRAÇÃO: EXPERIÊNCIA PILOTO NO SAMAE DE BLUMENAU/SC.....	71

Tema 2 - Esgotamento Sanitário: Caracterização, coleta, tratamento, disposição, reuso, lodos e biossólidos.

AVALIAÇÃO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM REATORES UASB EM ETE	86
AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES POR SORÇÃO EM SOLOS RESIDUAIS	99
ESCUMAS EM REATORES UASB, PRÁTICAS OPERACIONAIS E MELHORIAS INDICADAS PARA SUA REMOÇÃO, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL.....	111
METODOLOGIA DE DEFINIÇÃO DOS CONSUMIDORES ATENDIDOS COM O SERVIÇO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CAMPINAS, PARA RESPECTIVA COBRANÇA DO SERVIÇO	126
PROGRAMA “FLORIPA SE LIGA NA REDE”ANÁLISE DA PRIMEIRA ETAPA.....	140
USO DO TANINO PARA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DO ESGOTO SANITÁRIO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NEREU RAMOS EM JARAGUÁ DO SUL - SC	155
WETLAND CONSTRUÍDO VERTICAL COMO ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTO EM LOTEAMENTOS E CONDOMÍNIOS	170

Tema 3 - Limpeza Pública e Manejo dos Resíduos Sólidos: Reciclagem, coleta, tratamento, disposição final e aterros.

A COOPERAÇÃO INTERFEDERATIVA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: IDENTIFICANDO OS CONSÓRCIOS EXISTENTES.....	182
---	-----



AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES POR SORÇÃO EM SOLOS RESIDUAIS

Flora Silva⁽¹⁾

Doutora em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior. Professora-adjunta Convidada, Departamento de Construções Cíveis e Planeamento, Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.

António Albuquerque

Doutor em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior. Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Paulo Sérgio Scalize

Doutor em Engenharia Civil. Professor-adjunto, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: ESTiG - Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 - Bragança - Portugal - Tel: +351 273 303 000 – e-mail: flora@ipb.pt

RESUMO

A recarga artificial de aquíferos (RAQ) com águas residuais tratadas (ART) é uma prática que pode contribuir para a reposição de volumes de água no solo, que pode ser muito vantajoso em áreas com déficit hídrico ou com sobre-exploração de águas subterrâneas. No entanto, as cargas residuais das ART (*p.e.* matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e microrganismos patogênicos) podem constituir uma desvantagem para a qualidade da água subterrânea, se o solo apresentar condições desfavoráveis para a sua infiltração. Realizaram-se ensaios laboratoriais em batelada para avaliar a remoção de matéria orgânica e nutrientes (formas de nitrogênio e fósforo) na componente fina de um solo residual granítico, proveniente de uma zona previamente selecionada para a infiltração de ART, localizada no nordeste da região da Beira Interior (Quinta de Gonçalo Martins, Guarda, Portugal). Os resultados dos ensaios de sorção em batelada mostram uma boa remoção de P-PO₄, por complexação e precipitação, o que indica que o solo apresenta capacidade reativa para remover a carga residual de fosfato das ART. Após realização dos ensaios em batelada, as propriedades do solo mantiveram-se praticamente inalteradas.

Palavras-chave: Matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, sorção, solos residuais.



46^a Assembleia Nacional da ASSEMAE
Saneamento Básico: um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

Os recursos hídricos subterrâneos são uma importante fonte de abastecimento de água para atividades urbanas, industriais e agrícolas. No entanto, quando são sobre-explorados, os volumes extraídos não são compensados pela recarga de aquíferos, provocando um rebaixamento acentuado do seu nível que pode levar à sua contaminação por água do mar ou fontes de poluição difusa (Righetto e Rocha, 2005). As alterações climáticas têm vindo a afetar o regime hidrológico em várias regiões do mundo, o que se tem manifestado por períodos de secas mais longos e mais frequentes, que se intercalam com períodos de cheias, e que tem levado à redução de volumes de água para recarga de massas de água superficiais e subterrâneas (IPCC, 2014). Assim, a decarga de efluentes urbanos tratados em massas de água de baixa ou nula vazão, pode produzir impactos ambientais negativos e significativos, especialmente em períodos de baixa, ou nula, pluviosidade.

A recarga artificial de aquíferos (RAQ) com águas residuais tratadas (ART) é uma prática já muito comum a nível internacional, com exemplos de sucesso em Chipre (Voudouris, 2011), Espanha (Díaz *et al.*, 2000), EUA (Lluria, 2009), Israel (Bensabat, 2006) e Finlândia (Nojd *et al.*, 2009), mas pouco considerada em Portugal e no Brasil. Contudo, esta prática tem riscos associados, como a contaminação de águas subterrâneas, que convém conhecer previamente para que a introdução de água de forma artificial no interior de um aquífero seja feita com segurança. De acordo com Marecos do Monte e Albuquerque (2010), a RAQ com ART deve ser incluída nas estratégias de reutilização da água e da gestão integrada de recursos hídricos, podendo esta prática ser feita diretamente no solo ou através de infraestruturas de infiltração, tal como apresentado em Asano *et al.* (2007). Os solos utilizados para a RAQ podem atuar como filtros reativos com capacidade para remover a carga residual das ART. Contudo, é difícil avaliar a eficiência e o modo de remoção de poluentes localmente, sendo mais prático usar colunas laboratoriais ou ensaios laboratoriais em batelada (Silva, 2015).

Os solos residuais graníticos são constituídos por argilas como a caulinite, ilite e montmorilonite, que têm propriedades reativas que lhes permitem remover cátions metálicos, bem como cátions inorgânicos, essencialmente por mecanismos de sorção (*p.e.* adsorção, troca iónica e complexação e precipitação) (Silva, 2015). As partículas de solo, como argilas, siltes e areias, podem ainda ser colonizadas com microrganismos que formam um biofilme com capacidade para remover compostos orgânicos e nutrientes (nitrogênio e fósforo), por mecanismos de biodegradação (*e.g.* respiração aeróbia, anóxica e anaeróbia, nitrificação e desnitrificação) e biosorção, tal como já foi comprovado no estudo de Silva (2015). Em simultâneo, a matéria sólida residual em suspensão e os microrganismos podem ficar retidos na matriz do solo por filtração.



Dessa forma, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar a capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes (formas de nitrogênio e fósforo), usando a componente fina de solos residuais da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal), utilizando ensaios laboratoriais em batelada.

MATERIAL E MÉTODOS

A amostra de solo residual granítico foi coletada na Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal), um dos locais selecionados num estudo anterior considerado como adequado para infiltração de ART (Silva, 2011). Após secagem do solo em laboratório, à temperatura ambiente, utilizou-se a sua componente fina (fração inferior a 0.075 mm) pelo fato de ser nesta componente que se encontram as frações mais reativas do solo, nomeadamente silte e argila.

Para perceber a importância de algumas propriedades do solo na alteração de poluentes, determinaram-se os volumes diferencial e cumulativo da componente fina do solo (designada neste estudo como “fino do solo”) em função do tamanho das partículas, bem como a superfície específica, por difração laser, recorrendo ao equipamento *Coulter LS200*. A densidade das partículas sólidas, foi determinada pelo método do picnómetro (NP 83:1965) e a porosidade usando os procedimentos descritos em Silva (2015). A composição mineralógica qualitativa do solo, foi determinada através de Difração de Raios-X (DRX), com um equipamento Rigaku, modelo DMAXIII (EUA). Para a análise morfológica e microestrutural, foi utilizado o Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM) (Hitachi, modelo S-2700; RONTEC, EUA). A composição química (análise em óxidos e elementar), foi determinada com o Espectrómetro de Energia Dispersiva (EDS) que se encontra acoplado ao SEM. A capacidade de troca catiônica foi determinada, pelo método do acetato de amônio tamponizado a pH de 7, descrito em Houba *et al.* (1995). A matéria orgânica pelo método de Walkley-Black, descrito por Nelson e Sommers (1996) e o pH do solo, determinado em H₂O e KCl pelo método potenciométrico, em suspensão (solo: água, 1:2,5), descrito por Van Reeuwijk (2002).

Nos ensaios de sorção em batelada, foram utilizadas soluções de acetato de sódio (CH₃COONa*3H₂O), cloreto de amônio (NH₄Cl), nitrato de potássio (KNO₃) hidrogeno fosfato dipotássico (K₂HPO₄*3H₂O), para estudar a remoção dos íons acetato (CH₃COO⁻), amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e fosfato (PO₄³⁻), respectivamente. A remoção destes íons foi quantificada através da variação da concentração no tempo de DQO (demanda química de oxigênio), N-NH₄ (nitrogênio amoniacal), N-NO₃ (nitrogênio nítrico) e P-PO₄ (fosfato).

Para o estudo da cinética de reação foram utilizadas soluções aquosas de CH₃COONa*3H₂O, NH₄Cl, KNO₃ e K₂HPO₄*3H₂O com as concentrações teóricas (C) dos solutos DQO = 0, 75, 100, 150, 200 e 300 mg/L; N-NH₄ = 0, 5, 10, 20, 30 e 50 mg/L e (N-NO₃ e P-PO₄) = 0, 2, 5, 10, 15 e 20



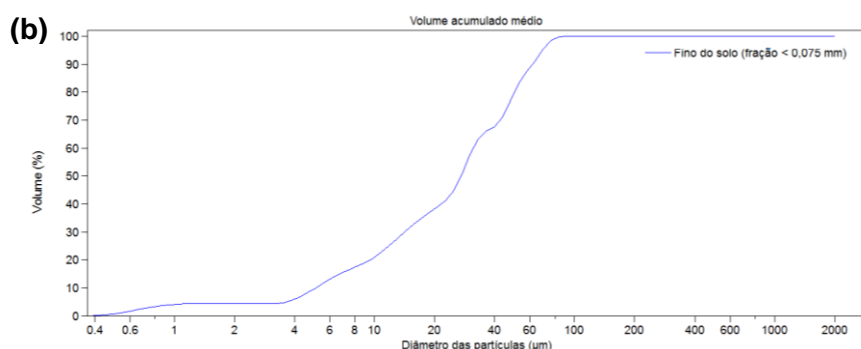
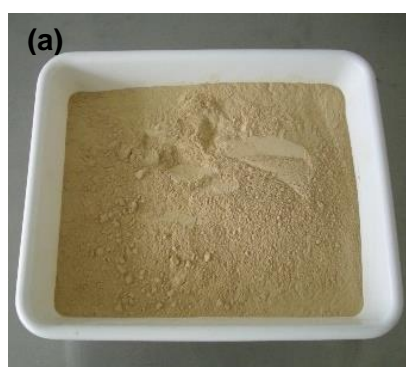
mg/L. Em 6 recipientes de vidro de 500 mL colocaram-se 0,5 g de fino do solo e 200 mL de solução aquosa com as referidas concentrações teóricas (C) dos solutos. O conteúdo dos recipientes foi agitado durante 24 horas, tendo sido retirados 5 mL de amostra líquida para análise aos tempos 0, 0.25, 0.75, 2, 5, 11 e 24 horas e registados os valores de pH e temperatura.

O equipamento experimental utilizado consistiu num agitador mecânico Flask Shaker SF1 da Stuart Scientific (Inglaterra), o qual foi calibrado de modo a promover uma rotação constante e igual a 120 oscilações por minuto, tal como utilizado por Ruan e Gilkes (1996). Para medição do pH e temperatura foi utilizada uma sonda Sem Tix 41 ligada a um medidor multiparamétrico Multi 340i, ambos da marca WTW (Alemanha). A determinação de DQO, N-NH₄, N-NO₃ e P-PO₄ seguiu métodos de análise padrão do *Standard Methods* (APHA-AWWA-WEF, 1999).

RESULTADOS/DISCUSSÃO

O solo utilizado na pesquisa (Figura 1a) tem uma fração baixa de argila (dimensão de partícula inferior a 2 µm) (aproximadamente 5%) (Figura 1b), o que significa que a maior parte dos finos são essencialmente siltosos. De acordo com Kallali *et al.* (2007), para evitar a colmatção dos solos e assegurar o tratamento da água residual, o solo não deve ter mais de 10% de argila.

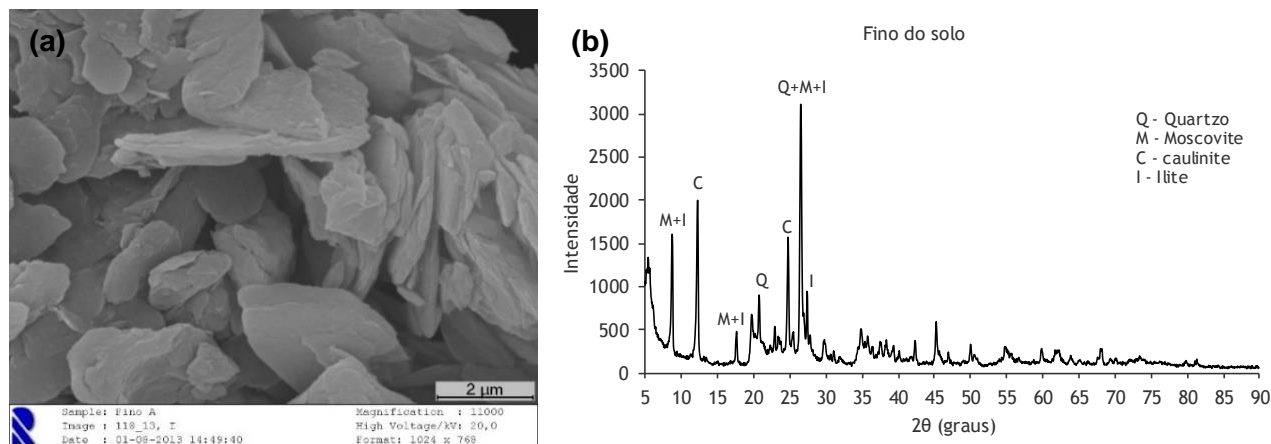
Figura 1 – Solo utilizado na pesquisa (a) com o diagrama cumulativo da fração volumétrica correspondente ao fino do solo (b).



A amostra apresenta uma densidade de 2.65, porosidade de 48% e superfície específica de 0.29 m²/g. Contém essencialmente sílica (60.44%) e alumina (31.76%), com teores menos elevados de ferro (4%) e potássio (3.81%). O difractograma da Figura 2b mostra que, a composição mineralógica consiste essencialmente em quartzo, moscovite, ilite, caulinite e também esmectite, constituindo a caulinite cerca de 60% do mineral argiloso presente no solo. A Figura 2a mostra a morfologia das partículas de fino do solo.



Figura 2 – a) Imagem SEM do fino do solo, ampliação de 11000x; b) Difractograma de raios-X do fino do solo.



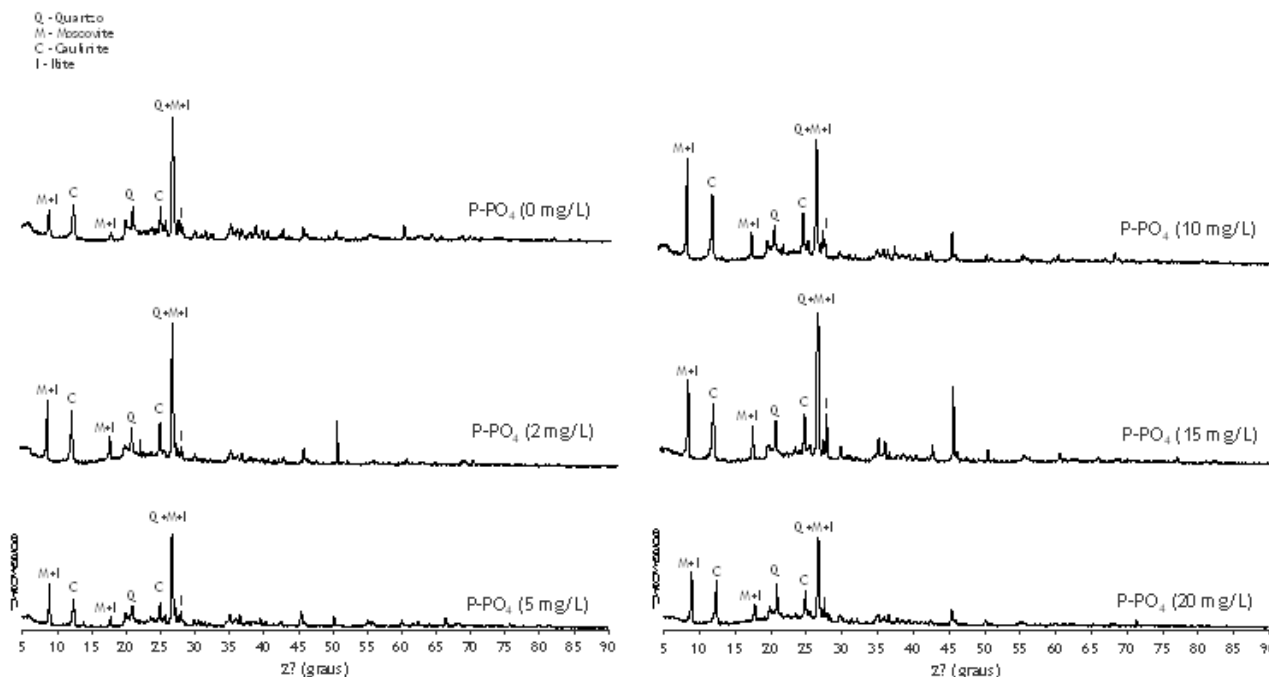
O complexo argilo-coloidal deste solo apresenta propriedades reativas que lhe permitem remover poluentes por mecanismos de sorção, bem como uma superfície específica adequada para o desenvolvimento do biofilme com capacidade para remover poluentes e patogênicos através de mecanismos de biodegradação (Silva, 2015).

A capacidade de troca catiônica (a pH = 7) é média (11.68 cmol_c/kg) (LQARS, 2006), favorecendo mais a permuta do cátion Ca²⁺, em relação ao Mg²⁺, K⁺ e Na⁺. O teor em matéria orgânica é muito baixo (0.45%), sendo o solo muito ácido (pH = 4.44).

Após os ensaios de sorção em batelada com P-PO₄, verificou-se uma ligeira diminuição de Al₂O₃ e um aumento de SiO₂, K₂O e Fe₂O₃, tendo ainda sido detectada a presença de Na₂O. As fases cristalinas detectadas inicialmente permaneceram aparentemente inalteradas, apenas se verificando pequenas variações na intensidade (Figura 3).



Figura 3 – Difractogramas de raios-X da amostra inicial de fino do solo e após os ensaios em batelada com diferentes concentrações de P-PO₄.



Nas Tabelas 1 a 4 apresentam-se os resultados dos ensaios realizados para o estudo da cinética de reação com matéria orgânica (determinada como DQO), amônio ou nitrogênio amoniacal (N-NH₄), nitrato ou nitrogênio nítrico (N-NO₃) e fosfato (P-PO₄).

Os resultados presentes nas Tabelas 1 a 3, permitem verificar que as concentrações de equilíbrio (C_e) foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contato, e as eficiências de remoção (ER) e taxas de sorção (q_s) para DQO, N-NH₄ e N-NO₃ não foram muito elevadas. O estudo de Silva (2015) mostra que a maior ER para DQO foi de 12.8% para a C_e de 66.5 mg/L, apresentando um valor de q_s de 6.04 mg/g para a C_e de 286.3 mg/L. Relativamente ao N-NH₄, a maior ER foi de 19.9%, e com um valor de q_s de 3.99 mg/g para a C_e de 40.23 mg/L. No que refere ao N-NO₃, a maior ER foi de 5.9% para a C_e de 2.71 mg/L, apresentando um valor de q_s de 1,81 mg/g para a C_e de 14.62 mg/L.

Os resultados da cinética de reação para DQO, N-NH₄ e N-NO₃ mostram que as eficiências de remoção para os referidos parâmetros não foram muito elevadas, tendo ocorrido por mecanismos de remoção biológica no fino do solo, tal como observado por Silva (2015) em ensaios em coluna laboratorial, nos quais a remoção dos referidos parâmetros foi elevada.



Tabela 1 – Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação com DQO.

Concentração Teórica (C) (mg/L)	Concentração após contato com o fino do solo (mg/L)						
	0 h	0.25 h	0.75 h	2 h	5 h	11 h	24 h
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75	76.30	71.70	68.70	72.40	66.50 ¹⁾	70.20	68.30
100	101.20	98.20	97.10	94.20	91.70 ¹⁾	95.20	96.30
150	152.30	150.40	148.20	145.20	147.30	146.20 ¹⁾	144.20
200	198.40	191.30	188.90	193.20	190.10 ¹⁾	191.20	190.50
300	301.40	298.60	294.30	291.20	288.50	286.30 ¹⁾	288.40

¹⁾ Em negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação com N-NH₄.

Concentração Teórica (C) (mg/L)	Concentração após contato com o fino do solo (mg/L)						
	0 h	0.25 h	0.75 h	2 h	5 h	11 h	24 h
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.0	5.16	4.78	4.71	4.75	4.67	4.61 ¹⁾	4.68
10.0	10.08	9.51	9.23	9.33	9.12 ¹⁾	9.23	9.06
20.0	20.13	19.25	18.78	18.54	18.13 ¹⁾	18.17	17.12
30.0	29.88	28.24	27.10	26.17	26.23	25.15 ¹⁾	24.24
50.0	50.21	47.97	45.26	44.23	41.20	40.23 ¹⁾	39.12

¹⁾ Em negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio



Tabela 3 – Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação com N-NO₃.

Concentração Teórica (C) (mg/L)	Concentração após contato com o fino do solo (mg/L)						
	0 h	0.25 h	0.75 h	2 h	5 h	11 h	24 h
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	2.88	2.12	3.11	2.92	2.71 ¹⁾	2.75	2.68
5.0	5.12	5.02	4.96	4.91	4.96	4.87 ¹⁾	4.98
10.0	10.11	10.18	9.86	9.94	10.16	9.87 ¹⁾	9.81
15.0	14.89	14.67	14.61	14.78	14.70	14.62 ¹⁾	14.68
20.0	19.94	20.06	20.12	19.91	19.81 ¹⁾	19.85	19.78

¹⁾ Em negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio

Os resultados presentes na Tabela 4 permitem observar que as C_e foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contato, tendo sido observadas ER de P-PO₄ de 83%, 90.1%, 74%, 60.1% e 55.8% para as C_e de 0.53 mg/L, 0.56 mg/L, 2.77 mg/L, 6.16 mg/L e 8.87 mg/L, respectivamente.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação com P-PO₄.

Concentração Teórica (C) (mg/L)	Concentração após contato com o fino do solo (mg/L)						
	0 h	0.25 h	0.75 h	2 h	5 h	11 h	24 h
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.0	3.12	1.36	0.87	0.66	0.53 ¹⁾	0.58	0.52
5.0	5.66	2.12	1.09	0.87	0.56 ¹⁾	0.49	0.52
10.0	10.67	7.12	4.16	3.09	2.86	2.77 ¹⁾	2.71
15.0	15.43	11.13	9.32	7.22	6.36	6.16 ¹⁾	5.88
20.0	20.07	15.12	12.34	10.21	9.31	8.87 ¹⁾	7.61

¹⁾ Em negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio

Nas Figuras 4a a 4d, apresentam-se, para as diferentes concentrações teóricas (C), a variação do pH e da temperatura ao longo das 24 horas dos ensaios com DQO, N-NH₄, N-NO₃ e P-PO₄.



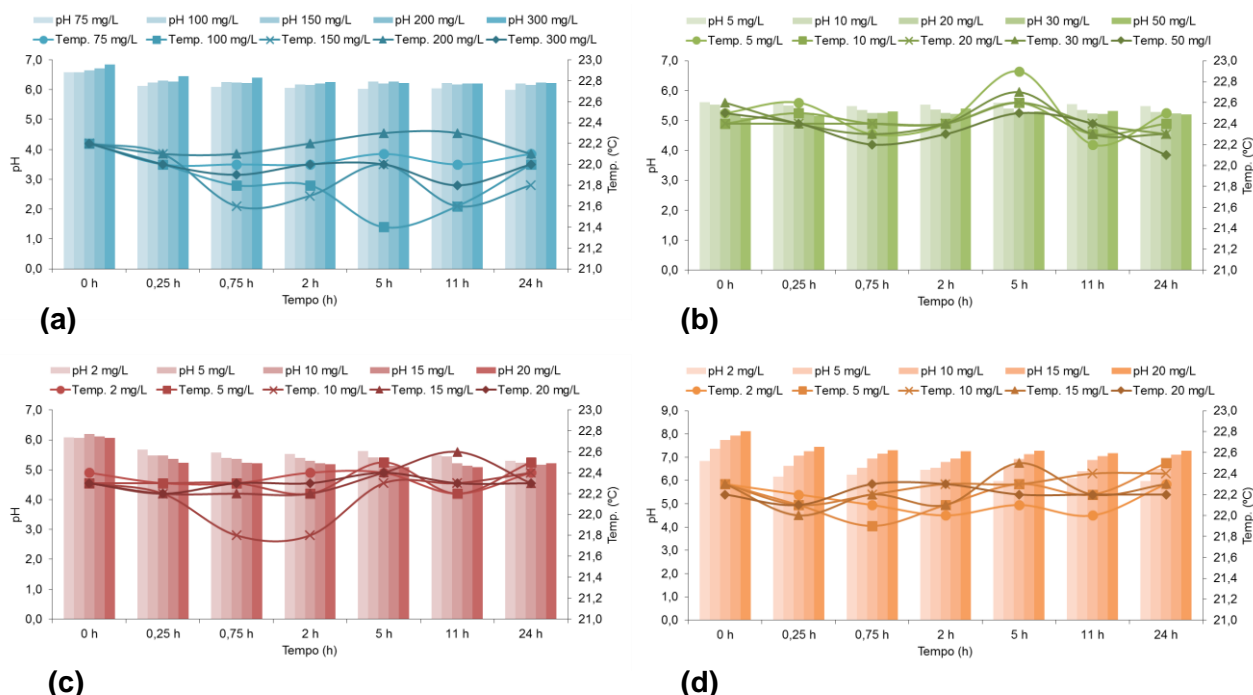
As taxas de sorção foram calculadas pela expressão (1):

$$q_s = (C_i - C_f) \times V/m_s \quad (1)$$

onde, q_s é taxa de sorção (mg/g), C_i é a concentração inicial de soluto em solução (mg/L), C_f é a concentração de equilíbrio de soluto em solução (mg/L), V é o volume da solução (L) e m_s é a massa de sorvente (g).

Da análise da Figura 4d, verifica-se a diminuição de pH ao longo do tempo de contato nos ensaios com P-PO₄, de aproximadamente 8.13 (início) para 5.97 (final). A temperatura variou de 22.3° C (início) para 22.2 °C (final).

Figura 4 – Variação do pH e temperatura em função do tempo no ensaio da cinética de reação para DQO (a), N-NH₄ (b), N-NO₃ (c) e P-PO₄ (d).



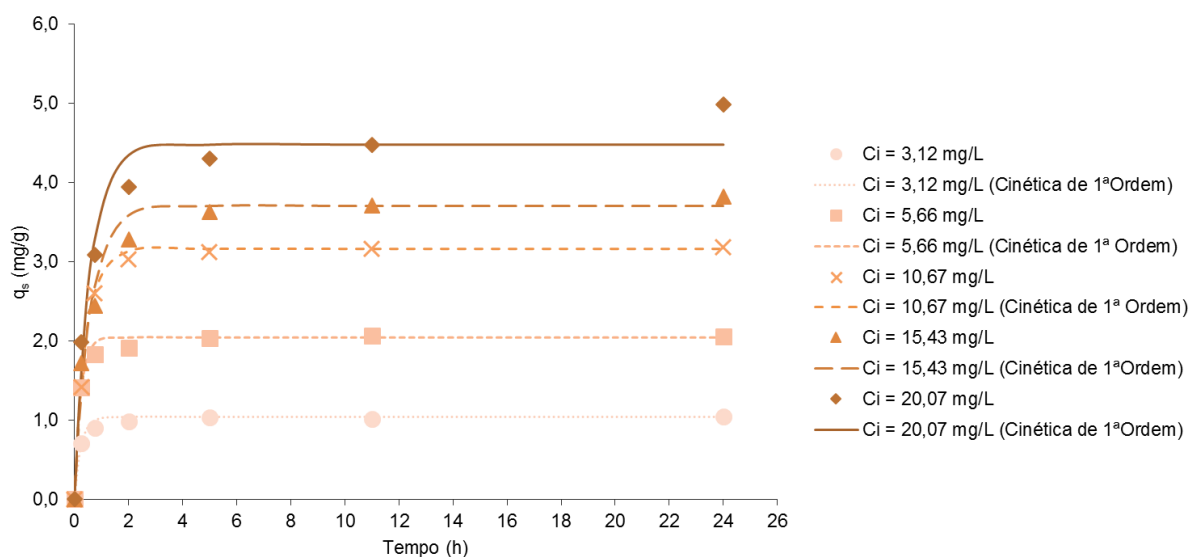
A Figura 5 apresenta a variação, em função do tempo, da quantidade de P-PO₄ sorvido por unidade de massa de sorvente (q_s), que traduz, para cada instante, a massa de P-PO₄ retida em 0.5 g de solo.



As taxas de sorção (q_s) de P-PO₄ (Figura 5) foram de 1.04 mg/g, 2.04 mg/g, 3.16 mg/g, 3.71 mg/g e 4.48 mg/g para as concentrações de equilíbrio de 0.53 mg/L, 0.56 mg/L, 2.77 mg/L, 6.16 mg/L e 8.87 mg/L, respectivamente.

A remoção de P-PO₄ no solo ocorre normalmente por biosorção (*i.e.* fica adsorvido nos polímeros que constituem o biofilme) e por complexação e precipitação a pH baixo (normalmente complexa com o alumínio e o ferro, precipitando na forma de fosfatos), tal como referido por Costa (2011) e Ruan e Gilkes (1996). Neste estudo, o pH variou entre 8.13 (início) e 5.97 (final), com valores mais baixos para a C_i de 3.12 mg/L e subindo para as concentrações mais elevadas.

Figura 5 – Variação de q_s em função do tempo e curvas simuladas com o modelo cinético de pseudo-primeira ordem para P-PO₄.



CONCLUSÃO

O solo residual granítico da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal) tem propriedades reativas que lhe confere uma boa capacidade de remoção de matéria orgânica, amônio e nitrato por mecanismos de biodegradação associados ao biofilme que se desenvolve nos grãos e colóides do solo, enquanto o fosfato é removido por mecanismos de sorção, apresentando uma taxa de sorção (q_s) de 4.48 mg P-PO₄/g, para a concentração inicial (C_i) mais elevada (20.07 mg/L), permitindo-lhe atuar como uma barreira à contaminação de águas subterrâneas durante a recarga artificial de aquíferos com águas residuais tratadas.



REFERÊNCIAS

- APHA-AWWA-WEF (1999). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20^a Edição, American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, Washington DC, EUA.
- ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H.; TSUCHIHASHI, R.E.; TCHOBANOGLOUS, G. (2007). Water Reuse: Issues, Technologies and Applications. McGraw-Hill, Nova York, EUA.
- BENSABAT, J. (2006). Artificial recharge in Israel. AQUA2006, Water Science and Technology Integrated Management of Water Resources, 23 a 26 de Novembro, Athens, Grécia.
- COSTA, J. (2011). Caracterização e Constituição do Solo. 8^a Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 527 p.
- DÍAZ, J.; GOMEZ, J.; ARMAYOR, J.; CASTANO, S. (2000). Recarga artificial de aquíferos. Síntesis metodológica. Estudio de actuaciones realizadas en la Provincia de Alicante. J.A. Hernández (Edt). Edições López Geta, Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Madrid, Espanha, 157 p.
- HOUBA, V.; VAN DER LEE, J.; NOVOZAMSKY, I. (1995). Soil Analysis Procedures. Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda.
- IPCC (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1132 p.
- KALLALI, H.; ANANE, M.; JELLALI, S.; TARHOUNI, J. (2007). GIS-Based multi-criteria analysis for potencial wastewater aquifer recharge sites. Desalination, v.215, p. 111-119.
- LLURIA, M. (2009). Successful application of managed aquifer recharge in the improvement of the water resources management of semi-arid regions: Examples from Arizona and the Southwestern U.S.A. Boletín Geológico y Minero, v.120, n. 2, p. 111-120.
- LQARS (2006). Manual de fertilização das culturas: INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, Portugal, 282 p.
- MARECOS DO MONTE, H.; ALBUQUERQUE, A. (2010). Reutilização de águas residuais: Guia Técnico N^o 14, ERSAR, Lisboa, Portugal, 339 p.
- NELSON, D.; SOMMERS, L. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter : In Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods – SSSA, Book series 5, p.961-1010.
- NOJD, P.; LINDROOS, A.; SMOLANDER, A.; DEROME, J.; LUMME, I.; HELMISAARI, H. (2009). Artificial recharge of groundwater through sprinkling infiltration: Impacts on forest soil and the nutrient status and growth of Scots pine. The Science of the Total Environment, v. 407, n. 10, p. 3365-3371. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.062



46^a Assembleia
Nacional da
Assemae
Saneamento Básico:
um direito de todos
16 a 19 de maio de 2016
Jaraguá do Sul - Santa Catarina

20^a Exposição de Experiências Municipais em Saneamento

De 16 a 19 de maio de 2016 – Jaraguá do Sul - SC

- NORMA PORTUGUESA DEFINITIVA NP 83. (1965). Solos. Determinação da densidade das partículas, IGPAI, Lisboa, Portugal.
- RIGHETTO, A. M.; ROCHA, M. (2005). Exploração sustentada do aquífero Dunas/Barreiras na Cidade de Natal. RN. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 2, p. 27-38.
- RUAN, H.; GILKES R. (1996). Kinetics of phosphate sorption and desorption by synthetic aluminous goethite before and after thermal transformation to hematite. Clay Minerals, v. 31, n. 1, p. 63-74. Doi: 10.1180/claymin.1996.031.1.06
- SILVA, F. (2011). Estudo do potencial de recarga de aquíferos com águas residuais tratadas utilizando Sistemas de Informação Geográfica. Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 87 p.
- SILVA, F. (2015). Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas. Tese de Doutorado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 490 p.
- VAN REEUWIJK (2002). Procedures for soil analysis : 6^a Edição, ISRIC, FAO.
- VOUDOURIS, K. (2011). Artificial recharge via boreholes using treated wastewater: Possibilities and prospects. Water, v. 3, n. 4, p. 964-975. Doi:10.3390/w3040964

Realização



Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento

Patrocínio Ouro



Fundação Nacional de Saúde



Ministério da Saúde



Patrocínio Prata



Ministério do Meio Ambiente



Patrocínio Bronze



Apoio



Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

Ministério das Cidades

