

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JAINA CARLA DE SOUZA MACHADO

**APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO
CAFEIRO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM COLUNAS DE
PERCOLAÇÃO**

Ibatiba - ES

2022

JAINA CARLA DE SOUZA MACHADO

**APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO
CAFEIRO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO AMARELO EM COLUNAS DE
PERCOLAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Ibatiba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Wallisson da Silva Freitas

Ibatiba - ES

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Ifes - Campus Ibatiba)

M149a Machado, Jaína Carla de Souza, 1988-
Aplicação de água residuária do processamento dos frutos do
cafeeiro sobre latossolo vermelho amarelo em colunas de
percolação / Jaína Carla de Souza Machado. – 2022.
47 f. : il.

Orientador: Wallisson da Silva Freitas.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto
Federal do Espírito Santo, 2022.

1. Engenharia ambiental - Monografias. 2. Café - Água
residuária. 3. Água - Poluição. 4. Solo - Poluição. 5. Lixiviação. I.
Freitas, Wallisson da Silva. II. Instituto Federal do Espírito Santo.
Campus Ibatiba. III. Título.

CDD 628


JAÍNA CARLA DE SOUZA MACHADO

**APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO
CAFEIRO SOBRE LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO EM COLUNAS DE
PERCOLAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do
Instituto Federal do Espírito Santo - Campus
Ibatiba, como requisito parcial para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em: 28 de novembro de 2022


COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 WALLISSON DA SILVA FREITAS
Data: 07/12/2022 16:20:27-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Wallisson da Silva Freitas

Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba


Orientador

Documento assinado digitalmente
 BENVINDO SIRTOLI GARDIMAN JUNIOR
Data: 07/12/2022 16:53:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Benvindo Sirtoli Gardiman Júnior

Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba

Membro Interno

Documento assinado digitalmente
 ALISSON CARRARO BORGES
Data: 08/12/2022 08:39:02-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Alisson Carraro Borges

Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa

Membro Externo

A Deus, que me ampara e me concede forças pra não desistir.

Aos meus filhos e sobrinhos, principal razão da minha alegria.

Ao meu marido, pelo amor, carinho e paciência.

Aos meus irmãos, exemplos de força e dedicação.

Aos meus pais, que são meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus Senhor de todas as coisas, por nunca me desamparar e me permitir sempre uma nova oportunidade de alcançar os meus sonhos.

Ao meu marido, por cuidar de mim e dos nossos filhos com tanto amor e responsabilidade. Pela paciência e compreensão em todos os anos de graduação.

Aos meus filhos, por tornarem meus dias mais felizes e cheios de amor. Vocês são a parte mais importante da minha vida e a razão de tudo.

Aos meus pais, meus irmãos e minha vó Maria, pelo apoio e amor incondicional, por sempre acreditarem e incentivarem meus projetos.

Em especial minha mãe, que cuidou tão bem dos meus filhos enquanto eu me dedicava aos meus estudos. Sem você eu não teria conseguido, mãe.

Aos meus familiares e amigos, pelo carinho e incentivo. Não poderia deixar de citar minha panelinha da graduação, que tornou a caminhada mais leve e divertida, estarão pra sempre em meu coração.

Aos docentes do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Ibatiba, por tamanha dedicação e compromisso com a formação acadêmica dos discentes. Em especial aos professores: Dr. Benvindo S. Gardman Junior, Dr. William Macedo Delarmelina e Me. Fernando Alves Mazzini pelas contribuições.

A equipe do laboratório de pesquisa e da terceirizada do Ifes, que deram uma enorme contribuição para que a parte experimental dessa pesquisa fosse realizada, por toda boa vontade e alegria.

Ao examinador externo, Dr. Alisson Carraro Borges, pelas contribuições.

Ao meu orientador, Wallison da Silva Freitas, pela paciência e disponibilidade, por compreender minhas limitações, me ajudar a superar e não me deixar desistir.

“Amei a sabedoria mais do que a saúde e a beleza, e resolvi tê-la como luz, porque o brilho dela nunca se apaga.”

A Bíblia (Sabedoria 7:10)

RESUMO

A água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC) é rica em materiais orgânicos e inorgânicos e sua aplicação no solo é uma prática comum de disposição final. Porém, existem riscos de contaminação dos solos, das águas subterrâneas e superficiais. Desse modo, objetivou avaliar as alterações nas propriedades físico-químicas de latossolo vermelho-amarelo tratado com ARC bem como analisar as características do efluente percolado. Foram confeccionadas 12 colunas de percolação em tubos de policloroeteno (PVC), diâmetro 100 mm, 80 cm de altura útil e 60 cm de solo. Nestas colunas, em 2 períodos diferentes (diferença de 15 dias), foram aplicados 4 tratamentos baseados na recomendação de potássio (K) para o cafeeiro. Os tratamentos consistem em: ARC1 (1 vez dose recomendada de K), ARC2 (2 vezes dose recomendada de K), ARC3 (3 vezes dose recomendada de K) e TEST (água destilada). Foram feitas análises físico-químicas das águas aplicadas e percoladas, bem como do solo antes e após as aplicações, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Com relação ao percolado, o tratamento TEST diferiu dos demais por apresentar maiores concentrações de Ca, K e de P. O percolado com maior dose de potássio (ARC3) apresentou as maiores concentrações do parâmetro DQO. Observou-se que os tratamentos elevaram a concentração de K no solo para valores superiores à 120 mg dm^{-3} , nas profundidades 0-20 e 20-40 cm enquadrando-os como de muito boa fertilidade. ARC3 promoveu, maior acréscimo de K (em todas as profundidades analisadas), de M.O. e P e maior redução de Al em 0-20 cm de profundidade.

Palavras-chave: Efluente da despolpa. Poluição do solo. Contaminação. Lixiviado.

ABSTRACT

Wastewater from coffee fruit processing (ARC) is rich in organic and inorganic materials and its application to the soil is a common final disposal practice. However, there are risks of contamination of soil, groundwater and surface water. Thus, it aimed to evaluate the changes in the physicochemical properties of a red-yellow latosol treated with ARC, as well as to analyze the characteristics of the percolated effluent. Twelve percolation columns were made in polychloroethene tubes, 100 mm in diameter, 80 cm in useful height and 60 cm of soil. In these columns, in 2 different periods (difference of 15 days), 4 treatments were applied based on the recommendation of potassium (K) for the coffee tree. Treatments consist of: ARC1 (1 time recommended dose of K), ARC2 (2 times recommended dose of K), ARC3 (3 times recommended dose of K) and TEST (distilled water). Physical-chemical analyzes were carried out on the applied and percolated waters, as well as on the soil before and after the applications, in the layers of 0-20, 20-40 and 40-60 cm. Regarding the percolate, the TEST treatment differed from the others by presenting higher concentrations of Ca, K and P. The percolate with the highest potassium dose (ARC3) presented the highest concentrations of the COD parameter. It was observed that the treatments raised the K concentration in the soil to values above 120 mg dm⁻³, at depths 0-20 and 20-40 cm, framing them as having very good fertility. ARC3 promoted greater increase of K (at all analyzed depths), of M.O. and P and greater Al reduction at 0-20 cm depth.

Keywords: Effluent from despolpa. Ground pollution. Contamination. leached.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes estágios de maturação do café.....	15
Figura 2 – Formato da coluna de percolação.....	23
Figura 3 – Aparador de madeira com as colunas de percolação.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas do Solo antes das aplicações dos tratamentos.....	24
Tabela 2 – Características físicas do solo antes das aplicações dos tratamentos.....	25
Tabela 3 – Descrição das aplicações e tratamentos	26
Tabela 4 – Características físicas e químicas da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro.....	26
Tabela 5 – Médias e desvio padrão dos parâmetros químicos e físicos do percolado das duas aplicações dos tratamentos em cada tratamento.....	31
Tabela 6 – Matriz de peso fatorial com os parâmetros dos lixiviados das duas aplicações de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro.....	33
Tabela 7 – Características físico-químicas do solo antes e após a aplicação de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro.....	36
Tabela 8 – Matriz de peso fatorial com os parâmetros dos solos 30 dias após as aplicações dos tratamentos.....	39

LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise das Componentes Principais
Al	Alumínio
B	Boro
C.T.C	Capacidade de troca catiônica.
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
Cu	Cobre
D.P.	Desvio Padrão
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DQO	demanda química de oxigênio
ES	Espírito Santo
Ifes	Instituto Federal do Espírito Santo
M.O	Matéria Orgânica
N-total	Nitrogênio Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
S.B	Soma de bases
SFT	Sólidos Totais Fixos
V%	Saturação de bases

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	GERAL.....	13
2.2	ESPECIFICOS.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	CAFEICULTURA: PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA	14
3.2	O PROCESSAMENTO DO CAFÉ E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS	15
3.3	ÁGUA RESUDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEEIRO (ARC).....	16
3.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	17
3.5	APLICAÇÃO DA ARC NO SOLO.....	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1	ÁREADO EXPERIMENTO.....	21
4.2	COLONAS DE PERCOLAÇÃO.....	21
4.3	SOLO USADO NO EXPERIMENTO.....	24
4.4	COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DA ARC.....	25
4.5	DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS E APLICAÇÕES.....	25
4.6	COLETAS DO PERCOLADO E DO SOLO PARA ANÁLISES.....	26
4.7	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1	AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO PERCOLADO DO SOLO TRATADO COM ARC.....	28
5.1.1	Caracterização da arc e do percolado.....	28
5.1.2	Caracterização dos lixiviados.....	30
5.1.3	Análise dos componentes principais do lixiviado.....	32
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E EFEITO DA APLICAÇÃO DE ARC.	34
5.2.1	Análise das características físico-químicas do solo	34
5.2.2	Análise dos componentes principais para as condições do solo após tratamento.....	37
6	CONCLUSÕES.....	42
	REFERENCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O café é uma commodity mundialmente consumida e sendo o Brasil um dos maiores produtores e exportadores, esse tem grande relevância socioeconômica na agricultura nacional contribuindo diretamente na geração de renda no setor rural e indiretamente em outros setores. Na área ambiental, quando plantado adequadamente, o cafeeiro contribui para o sequestro de carbono e na estabilização de solos. Contudo, seu processamento pós-colheita, via úmida, ocasiona a da poluição de água (PREZOTTI *et al.*, 2012).

O processo pós-colheita visa o aumento da qualidade final dos grãos de café, pois a colheita é feita de forma total na maioria das propriedades rurais, colhendo de uma só vez frutos maduros, verdes, passa e seco. Nesse caso, a separação desses grãos é feita via úmida com o uso de equipamentos (lavador, descascador ou despulpador) e só após esses processos é feita a secagem do café (ALMEIDA, 2006).

Nas etapas via úmida o lavador tem a função de separar os grãos boias dos verdes e cerejas; no descascador, os grãos cerejas são descascados (saem cascas e parte da polpa) e separados dos verdes. No despulpador ocorre a remoção da mucilagem, ainda condescendida ao grão que é degomado através da imersão em tanques contendo água (processo de fermentação natural), ou desmucilado, através de processos mecânicos (desmucilador) (MORELI, 2013). Esses métodos agregam valor ao produto em função da qualidade obtida na bebida e por isso são amplamente difundidos no setor cafeeiro.

Os processos via úmida geram efluentes altamente poluentes, ricos em materiais orgânicos e inorgânicos. A água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC) possui consideráveis valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO 5, 20 °C) e demanda química de oxigênio (DQO), além de possuir açúcares, proteínas, amido, pectina, compostos fenólicos, potássio, nitrogênio total, fósforo total e sódio (CAMPOS *et al.*, 2010).

Portanto, um descarte inadequado de ARC traz impactos ambientais negativos. Por isso, há Leis, Resoluções e Instruções Normativas estabelecendo a destinação deste efluente, objetivando a legitimação do processamento do café via úmida em seus aspectos ambientais e vetando o descarte direto em corpos receptores, antes de passar por tratamento apropriado.

O descarte ou disposição desse efluente é um dos principais problemas do setor cafeeiro e requer adoção de práticas que atendam a legislação a um custo acessível ao produtor. A ARC gerada nos processos via úmida é colocada em um tanque de sedimentação (3 a 6 dias), para que os sólidos em suspensão de maior massa específica sedimentem (ALMEIDA *et al.*, 2006) e depois passa por tratamentos que visam a melhoria da qualidade do efluente gerado para que possa ser despejado em corpos hídricos ou, como é comum na região de montanhas do Espírito Santo, é disposto no solo por fertirrigação.

Alguns estudos consideram a disposição da ARC no solo (preferencialmente de baixa permeabilidade) uma alternativa viável de tratamento, destacando o benefício agrícola, o baixo investimento, pequeno custo de operação e baixo consumo de energia (ALMEIDA *et al.*, 2006). Porém, muitos problemas ambientais vêm sendo observados no meio rural quanto à contaminação do solo, mesmo após a água residuária passar por tratamento (CAMPOS *et al.*, 2010).

Há uma crescente preocupação com as alterações nas propriedades dos solos, causadas por essa prática. No entanto, até onde pesquisado, há poucas pesquisas que relatem a qualidade do lixiviado de solo tratados com água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro. As colunas de percolação possibilitam amostrar o solo antes e após a aplicação do efluente e coletar a ARC percolada para análise e comparação com os parâmetros analisados antes da aplicação (SOUZA, 2020).

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os impactos da aplicação de água residuária do processamento do fruto do cafeeiro nas propriedades física e químicas de um latossolo vermelho-amarelo em colunas de percolação e dos respectivos lixiviados.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar as características da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro;
- analisar as características físicas e químicas do efluente lixiviado;
- comparar as características físicas e químicas do solo antes e após as aplicações.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CAFEICULTURA: PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

A cafeicultura é representativa para o saldo positivo da balança comercial brasileira e também para a geração de empregos, os quais contribuem expressivamente para a retenção do trabalhador no meio rural (CECAFÉ, 2019). Reforçando a importância socioeconômica dessa atividade, cada hectare de café, no sistema de manejo tradicional, abrangendo os tratos culturais e a colheita, são empregados, por ano, 100 a 120 homens/dia (MATIELLO et al., 2005).

No Espírito Santo, estima-se uma produção situada em 16.575 mil sacas de café beneficiado para o ano de 2022, em uma área de 400,4 mil hectares, o Estado é responsável por 22% da produção brasileira, sendo a segunda maior produção do grão no país com expressiva produção de arábica e conilon (CONAB, 2021). Atualmente, existem 150 mil hectares de café arábica em produção no Espírito Santo, em 48 municípios, com 53 mil famílias na atividade, gerando em torno de 150 mil empregos diretos e indiretos (INCAPER, 2021).

Dentre os maiores produtores capixabas de café arábica estão os municípios da região do Caparaó Capixaba: Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Iúna, Mimoso do Sul e Muniz Freire, onde a produção de café arábica é a principal fonte de renda e tende ao aumento da produtividade e qualidade do produto (SEAG, 2019). Segundo o Incaper (2021) os produtores que utilizam recomendações técnicas têm alcançado produtividade de 40 a 80 sacas beneficiadas de café por hectare e um produto final de extrema qualidade, com mais de 20% do arábica produzido no Espírito Santo considerado de bebida superior, notando-se um acentuado aumento da qualidade final do produto.

3.2 O PROCESSAMENTO DO CAFÉ E OS PROBLEMAS AMBIENTAIS

Os cafés de qualidade superior geram melhores bebidas e são os grãos maduros conferem as melhores melhor sabor, motivo pelo qual o café proveniente desses frutos obtém maior valor de mercado. Para colher os grãos maduros, pode-se selecionar o fruto no pé, à medida que eles vão amadurecendo, o que demanda várias colheitas, ou fazer uma colheita total, com os grãos em diferentes estágios de maturação e separá-los em unidade de processamento via úmida, com o uso de equipamentos, mediante limpeza, lavagem e descascamento (SOARES, 2012).

Uma vez que a maturação dos grãos é desuniforme, a colheita a seletiva do grão de café requer muita mão de obra, que está cada vez mais escassa, encarecendo a produção. Por isso, a maioria dos cafeicultores faz a colheita total, derruçando todos os frutos, em diferentes estágios de maturação (Figura 1) de uma só vez e encaminhando-os para a estrutura de pós-colheita (SENAR, 2017).

Figura 1. Diferentes estágios de maturação do café



Fonte: SENAR (2017)

Na etapa via úmida o lavador tem a função de separar os grãos boias dos verdes e cerejas. As impurezas do café passam por um cilindro perfurado com mamilos de borracha, que através do movimento giratório e pela pressão, esmaga os frutos maduros retirando sua casca, já os verdes passam inteiros pelos furos (SILVA, 2011). No descascador, os grãos cerejas são descascados (sai cascas e parte da

polpa) e separados dos verdes. No despulpador ocorre a remoção da mucilagem, ainda do grão que é degomado através da imersão em tanques contendo água (processo de fermentação natural), ou desmucilado, por meio de processos mecânicos (desmucilador) (MORELI, 2013).

Esse método agrega valor ao produto em função da qualidade obtida na bebida e por isso é amplamente difundido no setor cafeeiro (PREZOTTI *et al.*, 2012). Por outro lado, o processo via úmida gera grandes volumes de águas residuárias, que devem ser tratadas antes do descarte, evitando a contaminação dos cursos d'água e prejuízos ambientais (SENAR, 2017).

3.3 ÁGUA RESUDUÁRIA DO PROCESSAMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO (ARC)

O consumo de água para lavagem e separação, nos equipamentos mecânicos, varia de 0,1 a 0,3 L de água por litro de frutos. Já no descascamento o consumo é de 3 a 5 L de água por litro de frutos (MATOS *et al.*, 2008). As águas usadas nesses processos possuem elevada concentração de sólidos totais, dos quais a maior parte é composta por sólidos voláteis.

A ARC contém consideráveis valores de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), além de possuir elevados teores de açúcares, proteínas, amido, pectina, compostos fenólicos, sódio, potássio, nitrogênio total, fósforo total e potássio (CAMPOS *et al.*, 2010).

Os valores das concentrações das características da ARC variam muito em razão das diferentes etapas do processamento, do volume e do número de recirculações da água na unidade de processo e das características dos frutos processados (PREZOTTI *et al.*, 2012)

A diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no corpo receptor é a principal preocupação da disposição de ARC sem tratamento, uma vez que bactérias aeróbias consomem o oxigênio dissolvido no meio para efetuar seus processos metabólicos,

tornando possível a degradação do material orgânico lançado no meio (EMERICK, 2018).

Além disso, os diversos nutrientes solúveis presentes na ARC estimulariam o crescimento exagerado da vegetação aquática, composta principalmente por algas e macrófitas (MATOS, 2006). Portanto, o aporte da ARC em corpos d'água causaria eutrofização dos mananciais, ocasionando desequilíbrio do balanço de oxigênio na massa líquida, colocando em risco a qualidade das águas (CAMPOS, 1993).

A água residuária do café apresenta potencial impacto ambiental negativo, por possuir carga orgânica contaminante e demandar grande volume de água no processamento do grão (SOARES, 2012). Contudo a concentração de íons na ARC torna possível a utilização desse efluente como fertilizante (MATOS *et al.*, 2006).

3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA AO DESCARTE DA ARC

Existem, no Brasil, Resoluções e Instruções Normativas constituindo a destinação da ARC, objetivando a legitimação do processamento do café via úmida em seus aspectos ambientais e vetando o descarte direto em corpos receptores, antes de passar por tratamento apropriado.

As condições e parâmetros para o despejo de efluentes são descritas na Resolução nº 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), e em seu artigo 2º, determina que a disposição de efluentes no solo não poderá causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Portanto, o gerador de efluente só poderá lançar o efluente proveniente de suas atividades após o devido tratamento.

Na resolução CONAMA nº 503, a qual estabelece critérios e procedimentos para sistema de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias, é estabelecido (art. 4º) que o efluente deve atender os padrões da resolução CONAMA nº 430 de 2011, e deve ser realizada (art. 6º) a caracterização do solo antes da primeira aplicação e, após, anualmente, compreendendo: análise de

interesse agrônomo, análise física e ensaio de infiltração de água no solo (BRASIL, 2021).

O funcionamento de unidades de processamento de café depende de licenciamento e no Espírito Santo esse procedimento administrativo é de competência do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF). Esse órgão licencia a localização, a instalação, a ampliação e a operação de empreendimentos e atividades de pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado que utilizem recursos ambientais e sejam consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras, ou que possam causar degradação ambiental (IDAF, 2014).

O processo de despulpamento/descascamento dos frutos do cafeeiro está previsto na Instrução Normativa nº 15, de 23 de outubro de 2014, segundo o IDAF (2014), essas atividades devem dispor de sistema de tratamento da ARC por meio de mecanismos de disposição no solo, da disposição em lagoas de estabilização e do tratamento por meio de qualquer outro sistema físico-químico biológico, com comprovação de sua eficácia e eficiência. A disposição no solo só pode ser feita após o efluente passar por um decantador primário, devidamente dimensionado e impermeabilizado, com objetivo de reter parte do material sólido ali contido.

Os mecanismos de disposição no solo, autorizados pela Instrução Normativa do IDAF são: fertirrigação, em função do volume de ARC gerado, da caracterização físico-química da ARC e do solo a receber a aplicação, da exigência nutricional da cultura alvo da fertirrigação, do risco de escoamento da ARC e conseqüente degradação dos recursos hídricos; infiltração subsuperficial (vala de infiltração e/ou sumidouro), atentando-se para as diferentes texturas do solo e posição do lençol freático; escoamento superficial, atentando-se para a espécie vegetal a ser cultivada nas rampas de escoamento, a inclinação das rampas, o risco de escoamento e conseqüente degradação dos recursos hídricos.

3.5 APLICAÇÃO DA ARC NO SOLO

A aplicação da ARC no solo é uma prática comum em todo território Espírito Santense, sendo considerada uma forma de disposição final legal pela Instrução Normativa nº 15, de 23 de outubro de 2014 do IDAF. Porém, a aplicação dessas águas em taxas e frequências impróprias pode causar efeitos deletérios ao solo (MATOS, 2010).

A ARC é composta de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, boro, ferro, manganês e outros nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (MORELI, 2013). Segundo Emerick (2018), os sólidos orgânicos suspensos presentes no efluente de café provocam o entupimento dos macroporos das camadas superficiais do solo, causando o selamento superficial, e elevadas taxas de aplicação podem promover o entupimento dos poros em posições mais profundas do perfil do solo. A aplicação de efluente deve ser baseada na dose de nutrientes recomendada para as culturas agrícolas e não na necessidade hídrica, pois, se os teores dos nutrientes atingirem valores excedentes, podem poluir o solo e as águas superficiais e subterrâneas (MATOS *et al.*, 2009).

Alguns estudos apontam a disposição da ARC no solo uma alternativa viável de tratamento, destacando o benefício agrícola, o baixo investimento, pequeno custo de operação e baixo consumo de energia (ALMEIDA *et al.*, 2006).

Um dos empecilhos à aplicação da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro no solo, para fertirrigação de culturas, é a indefinição de critérios para o cálculo da dose a ser aplicada. Soares *et al.* (2013), avaliando os efeitos da aplicação de diferentes doses de água residuária do café, concluiu que a elevação do teor de K ao limite de 5% da CTC é um critério que pode vir a ser adotado no cálculo da dose de água residuária do café a ser aplicada na fertirrigação de culturas.

Silva *et al.* (2011), avaliando o efeito da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos de café arábica sobre as propriedades químicas de dois solos, usando colunas de PVC, observou que a dose de aplicação de 174 t ha⁻¹ de ARC

elevou a concentração de K no solo, para a faixa ideal, de acordo com as exigências nutricionais da cultura.

Os trabalhos realizados com águas residuárias dispostas no solo descrevem, principalmente, os efeitos sobre o carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (MATOS, 2016).

Em estudo sobre a aplicação da água do processamento dos frutos do cafeeiro em pastagem, Emerick (2018) concluiu que a dose 40,3 t ha⁻¹, apresentou uma reposição/incremento de potássio (K) na camada superficial do solo, sem promover aumento nas camadas mais profundas. Devido ao baixo aporte de P, Ca e Mg, via aplicação desse efluente, e à baixa extração destes nutrientes pela pastagem, não houve, em todas as doses, alteração sobre estes atributos, não causando, portanto, seu incremento e, tampouco, a lixiviação de Ca e Mg.

Lo Monaco (2005), avaliou que uma aplicação da ARC cinco vezes maiores que a recomendada, para pés de café com quatro anos de idade, e verificou que essa dose provoca a adição de quantidades de íons que podem ocasionar considerável lixiviação de K, Na, Ca e Mg no perfil do solo. O incremento de potássio no solo, ocasionado pela aplicação de ARC, causa alterações nos valores da condutividade elétrica em função da profundidade do solo e das diferentes doses aplicadas (LO MONACO, 2005).

Souza (2020), estudando colunas constituídas por Latossolos, observou que, independentemente da diluição da água residuária de laticínio aplicada, houve preferência de interação de K>Ca>Na>Mg seguindo-se a ordem de reatividade dos íons, ,essa interação entre os solutos presentes na água residuária de laticínios com o solo em caso de aplicação inadequada, pode resultar na salinização do solo e do lençol freático devido a lixiviação do sódio

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AREADO EXPERIMENTO

Conduziu-se o experimento no Laboratório de Hidráulica do IFES - *Campus* Ibatiba, localizado na rua Sete de Novembro, 40, no município de Ibatiba, no sul do estado do Espírito Santo, localizado na latitude 20°45' S e longitude 41°31' W.

4.2 COLUNAS DE PERCOLAÇÃO

Confeccionaram-se 12 colunas de percolação com tubos de PVC, com diâmetro de 100 mm (área de 78,54 cm²) e 80 cm de altura útil, com a base vedada por TNT (para evitar extravasamento de material). Na base das colunas adaptou-se o fundo de uma garrafa PET de 2,5 litros, para coletar o líquido percolado. Para evitar a formação de caminho preferencial pelo efluente, revestiu-se as paredes internas dos tubos por uma camada de cola seguida de uma porção de areia, tornando a superfície interna do tubo mais rugosa.

Preencheram-se os tubos com três camadas de solo retirado separadamente nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As camadas de solo foram dispostas de tal maneira a tentar reproduzir o perfil do solo em campo, e compactadas com o objetivo de alcançar a densidade de 1,2 g cm⁻³. Para alcançar a densidade desejada calculou-se a quantidade em gramas necessárias para ocupar o volume correspondente aos 60 cm do tubo.

Calculou-se volume de solo a ser justaposto em cada camada das colunas para alcançar a densidade desejada, partindo-se da Equação de volume do cilindro (Eq. 1):

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Eq. 1})$$

em que,

V: Volume da coluna de percolação (cm³);

r: raio da coluna de percolação (cm);

h: altura ocupada por solo (cm).

Mediu-se a massa de solo a ser justaposto nos 60 cm da coluna de percolação pela fórmula de densidade (Eq. 2):

$$d = \frac{m}{v} \rightarrow m = dv \quad (\text{Eq. 2})$$

em que,

d: densidade do solo (g/cm³);

m: massa de solo (g)

v: volume da coluna de percolação (cm³).

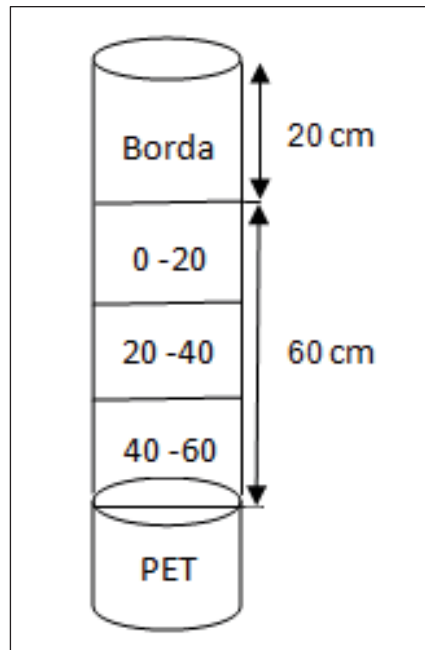
Como são três camadas, dividiu-se a massa determinada para os 60 cm de coluna (5.654,88 g) por três e depositou-se em cada camada 1.885,00 g de solo, correspondente à camada de seu perfil.

Compactaram-se as camadas com um trado de caneca com a seção transversal circular vedada com várias camadas de fita adesiva, colocando-se a quantidade calculada em gramas (g) de solo e pressionando até atingir 20 cm de altura. Repetiu-se o processo para cada perfil, até atingir os 60 cm. Reservou-se, para a lâmina de efluente, 20 cm do tubo acima da camada superior servindo de bordadura. A Figura 2 ilustra o formato da coluna de percolação.

Seguindo as recomendações de Ferreira (1987), saturaram-se as colunas com água destilada, colocando-as dentro de um recipiente com água e deixando-as em repouso por 72 h, promovendo, assim, a expulsão de bolhas de ar que pudessem obstruir o escoamento da solução nos poros (Souza *et al*, 2020).

Confeccionou-se um aparador feito com tabua e cavalete de madeira para sustentar as 12 colunas de percolação, evitando tombamento durante a execução da pesquisa. Na figura 3 ilustra-se o aparador de madeira com as colunas de percolação.

Figura 2. Formato da coluna de percolação



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Figura 3. Aparador de madeira com as colunas de percolação



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

4.3 SOLO USADO NO EXPERIMENTO

Coletou-se solo utilizado no experimento em uma propriedade rural do município de Ibatiba-ES, situada na Fazenda Boa Esperança, Córrego Perdido. Classificou-se o solo como latossolo vermelho amarelo por agrônomo do Incaper, utilizando os critérios do sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018).

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos do solo retirou-se amostras, com auxílio de enxadão e pá de jardinagem, em três camadas distintas do solo, de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm (Figura 4). Enviou-se as amostras para análise no Laboratório Agrônômico Labominas. Nas Tabelas 1 e 2 descrevem-se as características química e físicas do solo antes das aplicações dos tratamentos efluente.

Tabela 1. Características químicas do Solo antes das aplicações dos tratamentos

Camadas	pH	P	K	Na	Mn	Ca	Mg	Al	H +Al
(cm)	-----mg dm ⁻³ -----					-----cmolc dm ⁻³ -----			
0 – 20	5,1	3,3	98	-	9,7	0,8	0,3	0,3	3,1
20 – 40	5	2,2	78	-	6,6	0,5	0,2	0,4	3,6
40- 60	4,9	2,3	55	-	5	0,4	0,1	0,7	4,1

Camadas	S.B	C.T.C	v	M.O	S	B	Zn	Cu	Fe
(cm)	cmolc dm ⁻³		%	dag dm ⁻³	-----mg dm ⁻³ -----				
0 – 20	1,35	4,45	30	1,4	13	0,5	2,6	1,9	78
20 – 40	0,9	4,5	20	1,2	20	0,4	1,1	1,3	61
40- 60	0,64	4,74	14	1,1	21	0,4	0,8	1,1	46

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Método: pH em água rel 1:2,5, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P – K –Na– Fe – Zn – Mn – Cu – Extrator Mehlich- 1; Ca – Mg – Al – KCl – 1 mol/L; H + Al – Acetato de Cálcio; SB = Soma de Bases Trocáveis;; CTC– Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; Mat. Org. (MO) Oxi-Red; S –Fosfato monocálcico em ácido acético; B – água quente.

Tabela 2. Características físicas do solo antes das aplicações dos tratamentos

Camadas (cm)	Areia + Silte	Argila	Tipo de solo
	-----g kg ⁻¹ -----		
0 – 20	650	350	3
20 – 40	665	335	2
40- 60	690	310	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Método: Especificação do tipo de solo para zoneamento agrícola, de acordo com o Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 2, de 09/10/2008.

4.4 COLETA, PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DA ARC

Coletou-se a água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC), usada nas colunas de percolação, em lagoa de deposição do processo via úmida de frutos produzidos em plantas do gênero *Coffea arabica*, da Fazenda Três Irmãos, situada em Ibatiba-ES.

Armazenou-se a ARC em garrafas de polietileno tereftalato (PET) de 2 L e armazenou-as a 4°C, garantindo a preservação das características (ABNT, 1987), conforme realizado por outros autores (GARDIMAN JUNIOR, 2018).

Caracterizou-se a ARC no Laboratório de Análises do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – Campus Ibatiba, para os parâmetros: DQO, fósforo (Pt), nitrogênio (Nt) e sólidos totais (ST) usou-se o estabelecido pelo Standard Methods (APHA, 2012). Mediu-se a condutividade elétrica, a cor, a turbidez e o pH por equipamentos específicos devidamente calibrados. Obtiveram-se as concentrações de fósforo, por colorimetria, e o de potássio, cálcio e sódio por fotometria de chama. Agruparam-se e trataram-se os resultados obtidos pelas análises e estes seguem na Tabela 4.

4.5 DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS E APLICAÇÕES

Os tratamentos aplicados basearam-se na recomendação de potássio para o cafeeiro e na concentração de K na ARC. O tratamento ARC3 possui 3x a dose de potássio

recomendada, o tratamento ARC2 2x a dose de potássio recomendada, o tratamento ARC1 a dose recomendada e o tratamento TEST testemunha.

Realizou-se a inserção dos tratamentos em duas aplicações com intervalo de quinze dias, respeitando-se o período de secagem e aeração do solo, para aumentar a eficiência do meio em depurar o material orgânico presente na água residuária e para minimizar os decréscimos nas velocidades de infiltração (MATOS, 2006). A descrição das aplicações e dos tratamentos estão na Tabela 3.

Tabela 3. Descrição das aplicações e tratamentos

Data das aplicações	ARC3	ARC2	ARC1	TEST
13/09/2022	547,5 ml de ARC	365 ml de ARC + 182,5 ml de água destilada	182,5 ml de ARC + 365 ml de água destilada	547,5 ml de água destilada
27/09/2022	547,5 ml de ARC	365 ml de ARC + 182,5 ml de água destilada	182,5 ml de ARC + 365 ml de água destilada	547,5 ml de água destilada
TOTAL	1095 ml de ARC	730 ml de ARC + 365 ml de água destilada	365 ml de ARC + 730 ml de água destilada	1095 ml de água destilada

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.6 COLETAS DO PERCOLADO E DO SOLO PARA ANÁLISES

Após cada aplicação, recolheram-se as amostras do percolados dos tubos e as encaminharam ao Laboratório de Análises do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes) – Campus Ibatiba, e seguiu-se com a mesma metodologia aplicada às análises da ARC.

Passados 30 dias da última aplicação dos tratamentos, coletou-se o solo de preenchimento das colunas, respeitando as profundidades, para análise individual em

laboratório. Ou seja, em cada coluna recolheu-se uma amostra nas diferentes profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) e realizaram-se, individualmente, análises físicas e químicas pelo Laboratório Agrônômico Labominas.

4.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Usou-se delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos (testemunha e as três diferentes diluições do efluente bruto) e três repetições, compondo 12 unidades experimentais de avaliação. Para análise dos lixiviados aplicou-se teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Para análise do lixiviado e também do solo, organizaram-se os dados a fim de compara-los. Em seguida, realizou-se a análise de componentes principais (ACP) para observar as interrelações entre os atributos físico-químicos do percolado e do solo, resultantes das aplicações dos tratamentos, mais significativos na variação dos dados, por meio dos componentes principais (MINGOTI, 2007). Não há necessidade da pressuposição da normalidade da distribuição dos dados para o uso dessa técnica (DELARMELINA, 2015).

Relaciona-se a cada atributo um escore para cada componente adjacente conhecidos como os escores dos componentes. Cada componente reconhece em uma variável um escore correspondente e quanto mais próximo de 1 ou -1 mais importante é a variável no componente (KENT; COKER, 1992). Para aplicar a ACP, padronizaram-se os atributos avaliados pelas suas respectivas médias e desvios padrões, gerando-se novas variáveis centradas em zero e com variâncias iguais a 1 (GOTELLI; ELLISON, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS DA ARC E DOS PERCOLADOS

5.1.1 Caracterização da ARC

Apresentam-se na Tabela 4 os valores das concentrações das características físicas e químicas da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro, usada no presente trabalho.

Tabela 4. Características físicas e químicas da água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro

Parâmetros	N total	P	K	Na	Ca	DQO	
	----- mg L ⁻¹ -----						
Média	26,78	30,90	270,00	32,50	17,50	4.478,70	
Desvio Padrão	17,22	0,90	15,00	2,50	2,50	358,35	

Parâmetros	pH	CE	cor	Turbidez	ST	SFT	SVT
		μS cm ⁻¹	UC	UNT	----- mg L ⁻¹ -----		
Média	4,27	145,50	1.404,00	1.629,50	4.183,50	1.362,50	2.656,50
Desvio Padrão	0,43	45,50	78,00	78,50	264,60	164,50	234,50

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os valores das concentrações dos nutrientes da ARC variam muito em razão das diferentes etapas do processamento, do volume e do número de recirculações da água na unidade de processo e das características dos frutos processados (PREZOTTI *et al.*, 2012).

As concentrações de N-total e K encontradas estão abaixo da faixa de variação dos parâmetros de ARC (sem recirculação) descritas por Matos (2006), que encontrou valores de N-total entre 120-250 mg L⁻¹ e K entre 315-460 mg L⁻¹. Os valores de P e Na estão acima das faixas de 4,5-10 mg L⁻¹ e 2,0-5,5 mg L⁻¹ encontradas por este

autor, enquanto que os valores de DQO e pH estão dentro da faixa de valores de 3.430-29.500 mg L⁻¹ e 3,5-5,2, respectivamente.

Gardiman Junior (2018), na caracterização físico-química da água residuária do café sem recirculação encontrou para nitrogênio e potássio as concentrações 12,2±0,8 mg L⁻¹ e 471,44 ± 55 mg L⁻¹, respectivamente. Nota-se que esse autor também encontrou valores diferentes dos observados na Tabela 4, como: Fósforo total 16 ± 1,2 mg L⁻¹, cor 3.610 ± 193 UC, Turbidez 1.008±141 UNT, sólidos totais 15.818±7.184 mg L⁻¹, CE 1,43 ± 0,45 ds m⁻¹, DQO 26.800±8.725 mg L⁻¹ e pH 4,7±0,4.

Observando-se a tabela 4 aos valores determinados, nota-se que cor; sólidos totais; condutividade elétrica e, sobretudo, a demanda química de oxigênio estão com parâmetros menores que os observados por Gardiman Junior (2018). Enquanto as concentrações de turbidez e fósforo são maiores e potencial hidrogeniônico é semelhante.

Prezotti et al. (2012), na determinação das concentrações de nutrientes da ARC de 40 propriedades no Estado do Espírito Santo encontrou para o fósforo amplitudes de 1 a 23 mg L⁻¹ e de 1 a 94 mg L⁻¹ para o cálcio. Moreli (2013) encontrou concentração de cálcio variando muito, 94±73 mg L⁻¹. Assim, o Ca do efluente desta pesquisa está dentro da faixa de variação encontrada por estes autores, e o fósforo com valores acima.

Observando-se a média de pH (4,27±0,43) que essa ARC possui, pode-se afirmar que ela não pode ser descartada, sem tratamento, em corpo hídrico. Pois, a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece o pH entre 5 e 9 para descarte de efluentes de fonte poluidora em cursos d'água (BRASIL, 2011). Os demais parâmetros analisados não estão incluídos nas delimitações desta lei. A Resolução CONAMA 357/2005 no capítulo IV, em seu Art. 28º determina que "os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento" (BRASIL, 2005).

5.1.2 Caracterização dos lixiviados

Na Tabela 5 encontram-se as concentrações dos parâmetros lixiviados dos tratamentos percolados pelos tubos contendo o latossolo vermelho amarelo, nas duas aplicações.

No geral, comparando-se a tabela 4 com a tabela 5, pode-se notar a capacidade de remoção pelo latossolo vermelho-amarelo. Porém, os lixiviados apresentaram maior concentração de cálcio (tratamentos ARC1, ARC3 e TEST) do que a ARC afluenta (Tabela 4). Tal comportamento pode ser atribuído ao maior raio hidratado do Ca, que se encontra fracamente adsorvido aos colóides do solo, contribuindo para maior lixiviação (Souza, 2008). Na literatura os valores médios de Ca no lixiviado variam de 12,38 a 30,50 mg/L (SILVA, 2008; FERREIRA et al., 2006).

A C.E dos lixiviados de todos os tratamentos, na primeira aplicação, foram maiores que o observado na ARC afluenta (Tabelas 4 e 5), o que pode estar relacionado ao aporte de íons pelo contato do solo-percolado (GONÇALVES et al., 2020).

Na primeira aplicação não foi observada diferença estatística entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros analisados (Tabela 5). Na segunda aplicação, o tratamento TEST diferiu dos demais por apresentar maiores concentrações de Ca, K e de P. Observou-se que nas duas aplicações o tratamento testemunha percolou mais íons e sólidos do que os tratamentos contendo ARC, situação acentuada na segunda aplicação. Mesmo o K, íon em maior quantidade na ARC, apresentou maiores concentrações no percolado do tratamento testemunha, principalmente na segunda aplicação.

A menor percolação, de sólidos e íons, com a aplicação dos tratamentos com ARC deve-se, provavelmente, ao entupimento dos macroporos das camadas superficiais, causado pela ação física das partículas sólidas, provocando o selamento superficial do solo (EMERICH, 2018).

Tabela 5. Médias e desvio padrão dos parâmetros químicos e físicos do percolado das duas aplicações dos tratamentos em cada tratamento

		Primeira aplicação										
Tratamento		STF	N	P	K	Ca	Na	DQO	TURB.	COR	pH	C.E.
		----- mg L ⁻¹ -----							NTU	UC		μS cm ⁻¹
ARC3	Média	514,33 a	15,92 a	6,77 a	35,00 a	31,50 a	8,33 a	1405,37 a	395,33 a	396,74 a	4,85 a	385,00 a
	¹ D.P	162,44	1,86	1,11	14,00	13,00	1,11	865,38	305,11	299,51	0,35	153,33
ARC2	Média	428,30 a	17,34 a	5,23 a	30,00 a	13,33 a	9,33 a	334,82 a	253,00 a	276,00 a	4,87 a	231,00 a
	¹ D.P	102,40	4,02	1,91	7,33	4,22	2,44	173,78	128,67	127,33	0,26	43,33
ARC1	Média	602,33 a	20,57 a	6,77 a	29,50 a	21,00 a	8,00 a	3309,88 a	308,67 a	353,33 a	4,84 a	291,00 a
	¹ D.P	363,11	3,31	1,18	8,33	3,33	0,00	1986,21	300,89	284,44	0,09	55,33
TEST	Média	453,33 a	27,45 a	9,23 a	36,00 a	32,33 a	11,00 a	85,00 a	201,67 a	267,00 a	4,78 a	400,33 a
	¹ D.P	50,89	8,43	0,76	10,67	3,56	1,33	12,93	48,44	46,67	0,22	72,89
		Segunda aplicação										
Tratamento		STF	N	P	K	Ca	Na	DQO	TURB.	COR	pH	C.E.
		----- mg L ⁻¹ -----							NTU	UC		μS cm ⁻¹
ARC3	Média	208,33 a	3,63 a	0,17 a	13,33 a	5,00 a	9,00 a	169,13 b	247,53 a	229,33 a	5,80 a	70,00 a
	¹ D.P	213,78	1,71	0,16	4,44	2,00	2,00	20,44	244,98	235,11	0,67	22,00
ARC2	Média	116,67 a	3,10 a	1,10 ab	14,67 a	3,33 a	7,33 a	148,03 ab	103,60 a	75,67 a	5,03 a	85,00 a
	¹ D.P	64,89	0,40	0,13	3,56	1,78	0,89	20,31	48,53	37,78	0,49	21,33
ARC1	Média	186,33 a	3,67 a	1,30 ab	16,67 a	8,67 a	8,00 a	103,30 a	106,43 a	78,67 a	4,53 a	122,00 a
	¹ D.P	39,11	0,69	0,53	8,89	3,78	0,67	12,53	91,71	78,22	0,38	48,00
TEST	Média	322,33 a	4,47 a	2,77 b	35,00 b	27,33 b	7,00 a	97,23 a	125,50 a	68,67 a	4,10 a	243,00 a
	¹ D.P	24,2	2,2	1,0	14,0	8,9	1,3	1,9	49,0	52,9	0,4	101,3

Legenda: havendo letras diferentes há diferença entre as médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). ¹Desvio Padrão. Notas: Sólidos Totais Fixos (SFT), Nitrogênio Total (N-total), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Demanda Química de Oxigênio, (DQO).. Condutividade elétrica (CE) a 25 °C, em μS. Potencial Hidrogeniônico (pH).

Corroborando com esses resultados, no estudo do impacto da aplicação de resíduos orgânicos de indústria farmoquímica, Luchese, Costa, Souza Júnior (2008), perceberam que o lixiviado do tratamento testemunha (água natural) continha mais concentração de K⁺ que nos demais tratamentos, indicando que os resíduos, mesmo se adicionando K⁺ aos solos, aumentaram a retenção deste cátion no solo.

O percolado com maior dose de potássio (ARC3) proporcionou diferença estatística dos demais tratamentos, apresentando as maiores concentrações do parâmetro DQO ($169,13 \pm 20,44 \text{ mg L}^{-1}$). Observa-se que as concentrações de DQO diminuem proporcionalmente com as doses com menor concentração de potássio, em consequência da capacidade de adsorção do solo pela matéria orgânica e sólidos, presentes na ARC, resultando em lixiviado de baixa DQO, com valores bastante inferiores (Tabela 5) ao da ARC aplicada ($4.478,70 \text{ mg L}^{-1}$) (SILVA, 2008).

5.1.3 Análise dos componentes principais do lixiviado

Na tabela 6 apresenta-se a matriz de peso fatorial com os parâmetros dos lixiviados das duas aplicações de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro nas componentes principais selecionadas. Os componentes mais representativos, com correlação em valores absolutos em módulo superiores a 0,7, estão destacados em negrito.

acumulada 69% em seus dados e, ainda assim, considerou a utilização de análise estatística multivariada eficaz e ideal para análises de grandes conjuntos de dados e apresentação dos resultados.

Das variáveis analisadas que apresentaram forte correlação (valores $\geq 0,7$), a maioria está correlacionada com a CP1. Para a primeira aplicação a componente principal 1 (CP1_{ap1}) explica 49,27% da variância, estando os parâmetros N, P, K, Na, Ca e CE negativamente correlacionados e o pH positivamente correlacionado a CP1_{ap1} (Tabela 6).

Tabela 6. Matriz de peso fatorial com os parâmetros dos lixiviados das duas aplicações de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro

Componentes	CP1 _{ap1}	CP2 _{ap1}	CP1 _{ap2}	CP2 _{ap2}
Autovalores	6,41	4,71	9,38	3,12
Var1 (%)	49,27	36,20	72,12	23,99
Var. Acum.2 (%)	49,27	85,47	72,12	96,11
SFT	0,40	0,57	0,81	0,58
N	-0,86	-0,21	0,86	0,47
P	-0,92	0,27	0,98	-0,19
K	-0,79	0,47	0,98	0,17
Ca	-0,69	0,72	0,97	0,24
Na	-0,88	-0,45	-0,74	0,55
DQO	0,56	0,43	-0,84	0,33
Turbidez	0,59	0,78	-0,46	0,89
Cor	0,49	0,87	-0,62	0,78
pH	0,93	-0,18	-0,90	0,41
CE	-0,72	0,68	0,99	0,09

Notas: Valores dos Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (SFT), Sólidos Totais Voláteis (SVT), Nitrogênio Total (N-total), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Sódio (Na), Demanda Química de Oxigênio, (DQO) e Oxigênio Dissolvido (OD), todos em mg L⁻¹. Turbidez, em UNT (unidades nefelométricas de turbidez). Cor em UC. Condutividade elétrica (CE) a 25 °C, em µS. Potencial Hidrogeniônico (pH). 1 Variância explicada; 2 Variância acumulada. Componente principal 1 primeira aplicação (CP1_{ap1}); Componente principal 2 primeira aplicação (CP2_{ap1}); Componente principal 1 segunda aplicação (CP1_{ap2}); Componente principal 2 segunda aplicação (CP2_{ap2}).

Os componentes principais CP1 e CP2 apresentam variância acumulada de 85,47% para a primeira aplicação e 96,11% para a segunda aplicação (Tabela 6), sendo as mais importantes para explicar a variabilidade dos dados.

Bittar et al. (2017), ao avaliar os parâmetros físico-químicos do efluente final de sistema de tratamento de efluentes em aterro sanitário, encontrou uma variância

Silva (2008), avaliando o lixiviado da aplicação de ARC em argissolo amarelo distrófico umbrico, também verificou um decréscimo no pH e aumento da CE em proporção direta às doses de ARC, relacionando ao aumento da CE ao aporte dos nutrientes Ca, Mg e principalmente K e Na presentes na ARC. Fato que corrobora com a correlação positiva de CP1_{ap1}.

Os parâmetros cor e turbidez se correlacionam com a componente principal CP2_{ap1}, que explica 36,20% da variação (Tabela 6). Observa-se na Tabela 5 que os parâmetros, cor e turbidez estão correlacionados e mais relacionados ao tratamento ARC1. Como na primeira aplicação, as maiores concentrações destes dois parâmetros estão presentes no percolado deste tratamento (cor 229,33 UC, turbidez 247,53 UNT).

Para a segunda aplicação a componente principal 1 (CP1_{ap2}) explica 72,12% da variância, sendo a maioria dos parâmetros correlacionados a ele, com exceção da cor e turbidez, que se correlacionam com a CP2_{ap2}, que explica 23,99% da variação. Nota-se que se mantiveram as correlações, da primeira aplicação no eixo das CP1 (Tabela 6), com o incremento da correlação positiva dos sólidos. Aos sólidos pode-se associar o aumento do grau de colmatação que pode ter ocorrido, ocorrido após a primeira aplicação (MATOS, 2006).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E EFEITO DA APLICAÇÃO DE ARC

5.2.1 Análise das características físico-químicas do solo

Na tabela 7 observa-se as características físicas e químicas do solo antes e após a aplicação de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro.

De acordo com a classificação de Prezotti; Guarçoni (2013), antes da aplicação, o solo (Tabela 7) possuía baixo teor de matéria orgânica, P, Ca, V% e Mg e CTC (camadas de 0-60); média concentração de K, B, Al, h + Al, S.B., Zn, Mn e Cu (camada de 0-60) e acidez média nas profundidades 0-40 e acidez elevada em 40-60, e alto teor de S nas profundidades estudadas, e alta de Fe (camadas 0-60).

Pode-se observar na tabela 7 que, após as aplicações, os tratamentos promoveram acréscimo nas concentrações dos macro e micronutrientes analisados, exceto o boro, em todas as profundidades e independente do tratamento. Os valores obtidos estão dentro do que preconiza a Resolução CONAMA N°503 de 2021.

A matéria orgânica do solo diminuiu com a maioria dos tratamentos (Tabela 7). Observando-se um aumento com a aplicação de água destilada (TEST), que teve um aumento nas camadas de 0-40 cm, e na profundidade 0-20 cm do tratamento ARC3.

O pH do solo também sofreu um decréscimo com quase todos os tratamentos, a exceção do ARC3. Essa pequena variação do pH após as aplicações das ARC, pode estar associado às próprias propriedades do solo, que continha pH médio de 5 (Tabela 7). Esses resultados dão indicativos de que as colunas de solo continham material orgânico suficiente para proporcionar tamponamento de pH, uma vez que, segundo KIEHL (1985), esse material possui reconhecida capacidade de tamponamento de pH.

Em comparação com o solo antes dos tratamentos, houve acréscimos nos valores da acidez potencial ($H + Al$), soma de bases (S.B.), capacidade de troca catiônica (C.T.C.) e saturação por bases (V%) em todas as camadas independente do tratamento enquanto o Al teve um comportamento irregular. O teor de alumínio aumentou no solo tratado com ARC2 nas profundidades 0-40 cm; ARC1 nas três profundidades e TEST. 0-40 cm; diminuiu nas amostras tratadas com ARC3 nas profundidades 0-20 cm e 40-60 cm; se manteve nas análises de solos com aplicação de ARC2 e TEST em 40-60 cm e ARC1 20-40 cm.

A lixiviação de K é inversamente proporcional à CTC do solo, ou seja, quanto maior a CTC menor será a lixiviação de K, uma vez que este cátion fica adsorvido às cargas negativas do solo. A CTC continuou média em todas as profundidades analisadas, assim como a $H + Al$, enquanto V% e S.B. mantiveram-se baixas (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Tabela 7. Características físico-químicas do solo antes e após a aplicação de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro

Parâmetros	Solo antes dos tratamentos			Solo depois dos tratamentos											
	0-20	20-40	40-60	ARC3			ARC2			ARC1			TEST.		
				0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
M.O.	1,4	1,2	1,1	1,6	1,2	1,0	1,2	0,9	0,8	1,0	0,9	0,9	1,5	1,4	1,1
pH	5,1	5,0	4,9	5,5	5,0	5,0	5,0	4,9	4,8	4,8	4,7	4,8	4,8	4,9	4,7
P	3,3	2,2	2,3	10,4	5,0	3,3	7,6	5,0	3,1	6,4	3,7	2,5	7,0	5,5	5,4
K	98,0	78,0	55,0	360,0	193,0	158,0	192,0	155,0	115,0	132,0	123,0	89,0	121,0	131,0	99,0
Ca	0,8	0,5	0,4	1,0	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,9	0,9	0,8
Mg	0,3	0,2	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
Al	0,3	0,4	0,7	0,2	0,4	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7
H + Al	3,1	3,6	4,1	3,8	4,3	4,3	4,7	3,8	4,5	3,7	4,4	4,0	4,5	4,5	4,8
S.B.	1,4	0,9	0,6	2,2	1,5	1,4	1,6	1,4	1,2	1,4	1,2	1,0	1,5	1,5	1,4
C.T.C.	4,5	4,5	4,7	6,0	5,8	5,7	6,3	5,2	5,7	5,1	5,6	5,0	6,0	6,0	6,2
V%	30,0	20,0	14,0	37,0	26,0	25,0	25,0	27,0	21,0	28,0	22,0	20,0	25,0	26,0	22,0
S	13,0	20,0	21,0	28,0	30,0	30,0	33,0	32,0	31,0	30,0	34,0	35,0	27,0	31,0	31,0
B	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Zn	2,6	1,1	0,8	5,3	3,2	2,2	5,5	3,5	2,1	5,5	3,5	4,9	4,7	4,2	5,5
Mn	9,7	6,6	5,0	22,1	16,2	14,3	21,4	20,4	12,5	22,2	15,6	11,6	17,1	15,4	17,5
Cu	1,9	1,3	1,1	2,5	1,7	1,2	2,4	1,9	1,3	2,4	1,7	1,3	1,8	1,8	1,8
Fe	78,0	61,0	46,0	96,0	102,0	93,0	111,0	124,0	88,0	105,0	109,0	84,0	87,0	84,0	99,0
Areia + silte	650,0	665,0	690,0	550,0	557,0	492,0	552,0	550,0	485,0	558,0	525,0	470,0	550,0	552,0	522,0
Argila	350,0	335,0	310,0	450,0	442,0	508,0	448,0	450,0	515,0	442,0	475,0	530,0	450,0	448,0	478,0

Notas: Valores de Matéria Orgânica (M.O.) em dag.dm⁻³, Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Boro (B), zinco (Z), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Ferro (Fe), em mg.dm⁻³, Cálcio (Ca) Alumínio (Al) (H + Al) Soma de bases (S.B), Capacidade de troca cationica. (C.T.C.) Saturação de bases (V%) em cmolc/dm³. Potencial Hidroeniônico (pH)

Soares *et al.* (2013), avaliando os efeitos da aplicação de diferentes doses de água residuária do café, observou que o teor de K no solo aumentou com o aumento da dose de ARC (0, 25, 50, 75, e 100% da dose de 200 m³. ha⁻¹ de ARC), contudo, não atingiu o limite de 5% da CTC.

Solos com concentração de potássio superior a 120 mg dm⁻³ são considerados solos de alta fertilidade, principalmente em referência à disponibilidade deste nutriente (PREZZOTI, 2013). Os tratamentos elevaram a concentração de K no solo para valores superiores à 120 mg dm⁻³, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Lo Monaco (2005) observou, nos tratamentos variando a concentração do potássio no perfil do solo em função da profundidade, que após a aplicação de diferentes doses de ARC, os solos enquadraram-se como de muito boa fertilidade.

Antes da aplicação o solo era classificado como solos de textura média tipo 2 (com teor mínimo de 15% de argila e menor do que 35%, nos quais a diferença entre o percentual de areia e o percentual de argila seja menor do que 50) nas camadas mais profundas e de textura argilosa solo tipo 3, (com teor de argila maior ou igual a 35%) na primeira camada (BRASIL, 2005). Com a aplicação dos tratamentos, o solo adquiriu característica de solo tipo 3 em todas as camadas de todas as amostras de solo analisadas para o presente estudo.

5.2.2 Análise dos componentes principais para as condições do solo após tratamento

Na Tabela 8 estão apresentados os autovalores, as porcentagens das variâncias associadas e acumuladas, e a correlação entre os Componentes Principais, gerados pela ACP com os dados resultantes das análises de solo, na Matriz de peso fatorial com os parâmetros dos solos 30 dias após as aplicações dos tratamentos.

Os componentes mais representativos, com correlação em valores absolutos em módulo superiores a 0,7, estão destacados em negrito.

As correlações entre os atributos de solo com as componentes principais mais representativas foram analisadas usando-se dois componentes por profundidades de solo analisadas, com variância acumulada de 85,19; 84,66; 92,32%; para as profundidades 0-20, 20-40 e 40-60cm, respectivamente.

Gomes (2016), ao avaliar as alterações nas características químicas de Planossolo Nátrico submetido à irrigação com águas residuárias, observou que as componentes principais mais importantes, eram resumidas em dois componentes por correlação das características químicas e de fertilidade, com representação de 79,26 % da variância total das variáveis analisadas.

Na profundidade de 0-20cm, CP1₀₋₂₀ elucidam 51,78% da variação explicada, notando-se elevada correlação positiva (>0,70) para os atributos M.O., pH, P, K, Ca, B, S.B., V % e Argila e elevada negativa (<-0,70) para Al e areia + silte. Nota-se que os parâmetros correlacionados à CP1₀₋₂₀ estão em maiores proporções nos solos que receberam o tratamento com a maior dose de ARC (Tabela 7) e que a elevada correlação negativa de Al e areia + silte em CP1₀₋₂₀ também está mais relacionado ao ARC1 que teve as menores concentrações desses parâmetros.

O aumento da matéria orgânica pode estar associado ao de pH, pois, de acordo com YAN et al. (1996), a suplementação do solo com resíduos orgânicos pode proporcionar aumento do pH do solo, devido aos processos de descarboxilação de ânions orgânicos, consumindo H⁺ e liberando CO₂ ($R-CO-COO^- + H^+ \rightarrow R-CHO + CO_2$) e desaminação de aminoácidos citado por (LO MONACO, 2005). Além disso, a correlação do pH pode estar associada ao Al, pois, a redução do pH do solo aumenta a solubilidade de Al³⁺, forma tóxica do alumínio (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Tabela 8. Matriz de peso fatorial com os parâmetros dos solos 30 dias após as aplicações dos tratamentos

Componentes	CP1 ₀₋₂₀	CP2 ₀₋₂₀	CP1 ₂₀₋₄₀	CP2 ₂₀₋₄₀	CP1 ₄₀₋₆₀	CP2 ₄₀₋₆₀
Autovalores						
Var1 (%)	51,78	33,81	52,18	32,48	64,27	28,05
Var. Acum.2 (%)	51,78	85,19	52,18	84,66	64,27	92,32
M.O.	0,87	-0,49	0,64	-0,77	0,78	-0,14
pH	0,92	0,38	0,98	0,11	-0,17	0,95
P	0,97	0,24	0,93	-0,17	0,93	-0,36
K	0,91	0,41	0,68	0,40	0,25	0,97
Ca	0,94	-0,18	0,32	-0,80	0,97	-0,11
Mg	0,11	0,25	0,98	0,10	0,86	0,28
Al	-0,83	-0,55	-0,79	-0,10	-0,59	-0,80
H + Al	-0,18	-0,60	-0,17	-0,94	0,88	-0,22
S.B.	0,96	0,28	0,95	-0,30	0,87	0,48
C.T.C.	0,51	-0,40	0,24	-0,95	0,96	0,01
V%	0,82	0,47	0,91	0,28	0,54	0,80
S	-0,44	0,52	-0,96	0,13	-0,74	-0,57
B	0,96	-0,12	0,76	0,63	0,97	-0,11
Zn	-0,17	0,95	0,09	-0,68	0,16	-0,86
Mn	0,09	0,99	0,20	0,89	0,97	-0,18
Cu	0,21	0,96	0,32	0,45	0,71	-0,71
Fe	-0,40	0,75	-0,28	0,96	1,00	-0,02
Areia + silte	-0,74	0,58	1,00	0,05	0,98	-0,21
Argila	0,74	-0,58	-1,00	-0,05	-0,98	0,21

Notas: Valores de Matéria Orgânica (M.O.) em dag.dm⁻³, Fósforo (P), Potássio (K), Enxofre (S), Boro (B), zinco (Z), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Ferro (Fe), em mg.dm⁻³, Cálcio (Ca) Alumínio (Al) (H + Al) Soma de bases (S.B.) () Capacidade de troca cationica. (C.T.C.) Saturação de bases (V%) em cmolc/dm³. Potencial Hidrogeniônico (pH). 1 Variância explicada; 2 Variância acumulada. Componente principal 1 primeira aplicação (CP1_{ap1}); Componente principal 2 primeira aplicação (CP2_{ap1}); Componente principal 1 segunda aplicação (CP1_{ap2}); Componente principal 2 segunda aplicação (CP2_{ap2}).

Ao aplicar ARC em covas de café arábica, Lo Monaco (2005) também observou que a maior dose de ARC proporcionou as maiores elevações no valor de pH e M.O. do solo nas camadas mais superficiais, sendo que aplicação da ARC nas maiores doses proporcionou, por exemplo, o aporte de cerca de 1,0 a 1,2 kg de matéria orgânica por cova.

Porém, é notória a influência da ARC3 no aumento da concentração de cátions (Tabela 7), que são capazes de complexar o H⁺ da solução do solo, provocando o aumento do pH (PREZOTTI *et al.*, 2012).

O segundo componente principal da camada superficial de 0-20cm (CP2₀₋₂₀) explica 33,81% da variação explicada, estando positivamente correlacionadas Zn, Mn, Cu, Fe (Tabela 8). Dos micronutrientes positivamente correlacionadas a CP2₀₋₂₀, Zn teve os melhores resultados com as aplicações de ARC2 e ARC 1 (5,5 mg/dm³ nos dois tratamentos), Mn com ARC1 (22,2 mg/dm³), Cu com ARC3 2,5 (mg/dm³), Fe com ARC 2 (111,0 mg/dm³).

Prezotti *et al.* (2012), notou que dentre os micronutrientes, o Zn foi o que apresentou aumento mais significativo do seu teor com a aplicação de ARC e que houve aumento da concentração de Cu, principalmente nos primeiros 20 cm, sendo esse aumento menor com o aumento da profundidade do solo.

Lo Monaco (2005) associa ao aumento na concentração de cobre à mineralização da matéria orgânica do solo, disponibilizando o cobre que nela estava quelado/complexado ou advindo da própria água residuária.

Na profundidade de 20-40 cm os parâmetros pH, fósforo, magnésio, S.B, V%, B e areia + silte correlacionaram positivamente com a CP1₂₀₋₄₀ e S e argila de forma negativa, com variância explicada de 52,18%. Dos parâmetros com correlação positiva em CP1₂₀₋₄₀, pH e areia + silte (5 e 557 mg/L) apresentaram os maiores resultados com a aplicação da maior dose de água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro (ARC3), os maiores valores de fósforo, magnésio e B (5,0, 0,3 e 0,25 mg/L) foram obtidos com ARC3 e ARC2 (mesmas concentrações desses parâmetros para os dois tratamentos – vide Tabela 7), enquanto V% (27%) e S.B. (1,54 mg/L) apresentam os maiores valores com ARC2 e TEST, respectivamente. Nesse mesmo eixo há correlação negativa de S e argila com CP1₂₀₋₄₀, estes tiveram os menores valores obtidos pela aplicação de ARC 3.

Para o CP2₂₀₋₄₀ (segundo componente principal), com variância explicada de 32,48%, a M.O. Ca, H + Al, C.T.C se correlacionam negativamente e Mn e Fe positivamente (Tabela 8). Os parâmetros Mn e Fe tiveram a maior concentração (20,4 e 84,0 mg L⁻¹, respectivamente) com ARC2.

A determinação do H+Al tem por objetivo principal o cálculo da CTC, sendo os valores de H+Al maiores em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem baixos valores de pH (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

A CP1₄₀₋₆₀ (profundidade 40-60) apresenta variância de 64,27% e correlaciona positivamente M.O., P, Ca, Mg, H + Al, S.B., C.T.C, B, Mn, Fe e areia + silte e negativamente S e Argila. A segunda componente principal, (CP2₄₀₋₆₀) apresenta a correlação positiva de pH, K, V% e negativa Al, Zn e Cu com variância explicada de 28,05% (Tabela 8). Quase todos os parâmetros correlacionados positivamente a componente principal CP1₄₀₋₆₀ possuem as maiores medições relacionadas a aplicação de água destilada (TES). A única exceção é S.B. que apresentou maior valor (1,4 mg) associado a ARC 3.

Também associado à CP1₄₀₋₆₀ e ao tratamento TEST, porém negativamente, está a Argila. A textura do solo é um fator que exerce grande influência na disponibilidade dos micronutrientes no solo, alguns elementos reagem com os minerais de argila, diminuindo sua disponibilidade e sua mobilidade no perfil do solo (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Na segunda componente principal (CP2₄₀₋₆₀) a correlação positiva de pH, K, V% são relativas à aplicação da maior dose de água residuária do café (ARC3), como mostra a figura 8, que obteve os maiores valores para esses parâmetros (Tabela 7). As correlações negativas também estão relacionadas ao tratamento ARC3, que apresentou os menores valores para o Al (0,6 mg/l) e Cu (1,2 mg/l). Já Zn (2,1mg/l) teve a menor média associada à ARC2. Prezotti *et al.* (2012), observou que a aplicação de ARC no solo elevou o pH e os teores de K, Na, Ca, Al, Zn e matéria orgânica, elevando também a saturação em bases.

6 CONCLUSÕES

O solo mostrou ser um bom filtro para reter os componentes físicos e químicos contidos na ARC, visto que houve uma remoção expressiva para todos os parâmetros analisados (exceto o Ca) na água residuária do processamento dos frutos do cafeeiro ao passar pela coluna de percolação.

O teste Tukey revelou não haver diferença estatística entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros analisados na primeira aplicação. Na segunda aplicação, o tratamento TEST diferiu dos demais por apresentar maiores concentrações de Ca, K e de P. O percolado com maior dose de potássio (ARC3) mostrou diferença estatística dos demais tratamentos, apresentando as maiores concentrações do parâmetro DQO.

Por meio da ACP, pode-se observar a variação dos dados através de dois componentes principais. Quanto aos lixiviados, pode-se notar a forte correlação entre os fatores nutricionais, o pH e a CE na componente principal 1 e entre cor e turbidez na componente principal 2. Já em relação aos solos, a correlação entre os parâmetros químicos e físicos e as profundidades, por ACP, contribuiu na comparação entre os tratamentos, mostrando nas três profundidades a correlação inversa entre areia + silte e argila. Com a aplicação dos tratamentos, o solo adquiriu característica de solo tipo 3 em todas as camadas de todas as amostras de solo analisadas para o presente estudo.

Os tratamentos elevaram a concentração de K no solo para valores superiores à 120 mg dm^{-3} , nas profundidades 0-20 e 20-40 cm enquadrando-os como de muito boa fertilidade. ARC3 promoveu, maior acréscimo de K (em todas as profundidades analisadas), de M.O. e P e maior redução de Al em 0-20 cm de profundidade.

Observou-se um aumento das concentrações dos nutrientes do solo após as aplicações, com valores dentro do que preconiza a Resolução CONAMA N°503 de 2021. Recomenda-se outros estudos de avaliação de possíveis riscos com aplicação contínua de ARC em solo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. D. GUEDES, C.; DA SILVA, I. J. O. Uso de águas residuárias do beneficiamento do café. **Thesis**, São Paulo, ano III, v. 6, p. 30 -43, 2º Semestre. 2006.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: 9898. Rio de Janeiro, 1987. 22p.

BÍBLIA, A. T. Sabedoria. *In*: BÍBLIA. **Sagrada Bíblia Católica**: Antigo e Novo Testamentos. Tradução: Euclides Martins Balancin. São Paulo: Paulus, 1990. p. 843.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2005. Adota, no Zoneamento Agrícola de Risco Climático do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, as especificações para solos que menciona, e dá outras providências. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=77786> [Online]. Instrução normativa nº 12.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do conselho nacional do meio ambiente-conama. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 20 fev. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 503, de 16 de dezembro de 2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Brasília, Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=813. Acesso em: 04 dez. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n. 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, p. 39, 12 dez. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2008) Resolução nº 396, de 3 abril de 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CECAFÉ - Conselho dos Exportadores de Café do Brasil . **Relatório mensal, dezembro** 2019. Disponível em: <https://www.cecafe.com.br/publicacoes/relatorio-de-exportacoes/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem**. Apêndice A, Série de relatórios. Secretaria de Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021, n. 3, terceiro levantamento, set. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 set. 2022.

DELARMELINA, W. M. **Fertilidade, estoque de carbono orgânico do solo e serapilheira em uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2015.

EMERICK, M. B. D. **Utilização da água do processamento dos grãos de café: potássio no solo, na planta e produção de capim Angola /** Michell Bahia Dutra Emerick. - 2018. 62 p. Orientador(a): Douglas Ramos Guelfi Silva.. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

FERREIRA, P.A.; GARCIA, G.P.; MATOS, A.T.; RUIZ, H.A.; BORGES JUNIOR, J.C.F. Transporte de solutos presentes na água de café conilon. *Acta Scientiarum Agronomic*, Maringá, v.28, n.1, p. 29-35, 2006.

GARDIMAN JUNIOR, Benvindo Sirtoli. **Tratamento eletrolítico da água residuária do café: otimização e modelagem**. 2018. 113 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2018.

GONÇALVES, Flávia et al. Determinação de parâmetros para indicar a atenuação natural de lixiviado de resíduos sólidos por diferentes solos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23380-23390, 2020.

GOTELLI, N. J.; ELISSON, A. M. Princípios de estatística em ecologia [Statistical principles in ecology]. **São Paulo (Brazil): Editora Artmed. Portuguese**, 2011.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Cafeicultura**. [20--]. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>. Acesso em: 25 fev. 2021.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Cafeicultura**. (2021). Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura>. Acesso em: 25 fev. 2021.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA E FLORESTAL DO ESPÍRITO SANTO – IDAF. **Instrução Normativa nº 015, de 23 de outubro de 2014**, Diretrizes para o processo de licenciamento ambiental das atividades de descascamento/despulpamento de café. Diário Oficial dos Poderes do Estado, Vitória, 24 out. 2014.

KENT, M.; COKER, P. Vegetation description and analysis. London: Behaven Press, 363p., 1992.

LO MONACO, P. A. **Fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos**. / Paola Alfonsa Lo Mônaco. - Viçosa: UFV, 2005. Orientador: Antonio Teixeira de Matos. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

LUCHESE, A. V., COSTA, A., & SOUZA JÚNIOR, I. G. (2008). Lixiviação de íons após a aplicação de resíduos orgânicos de uma indústria farmoquímica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 189-199.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/ PROCAFÉ, 2005. 438 p.

MATOS, A. T. de. **Poluição ambiental: impactos no meio físico**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 260 p.

MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, MG: AEAGRI, 2006. 142 p. (Caderno didático n. 38).

MATOS, A. T. *et al.* Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despulpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 610-616, 2006.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos na pós-colheita do café. In: **BOREM, F. M. (Ed.)**. Pós-colheita do café. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 159-201.

MATOS, A. T.; MARTINEZ, H. E. P.; FERREIRA, P. A.; RAMOS, M. M. Características químicas do solo após a fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v.14, p.348-364, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Café no Brasil**. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em: 07 mar. 2021.

PREZOTTI, L. C. GUARÇONI, M. A. Guia de interpretação de análise de solo e foliar / Luiz Carlos Prezotti; André Guarçoni M. – Vitória, ES: Incaper, 2013. 104 p. ISBN 978-85-89274-21-0.

PREZOTTI, L. C; MORELI, A. P.; SOARES, S. F; ROCHA, A. C. Teores de nutrientes nas águas residuárias do café e características químicas do solo após sua aplicação. Vitória, ES: Incaper, 2012. 24p. (Incaper documentos 208).

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. **Café: colheita e pós-colheita/ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR)**. — 1. ed. Brasília: SENAR, 2017. 104 p. il. ISBN 978-85-7664-158-2. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/191-CAF%C3%89.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2021.

SILVA, G. B. Efeito da aplicação de água residuária de café sobre as propriedades químicas do solo e do efluente. 2008.

SILVA, G. B. *et al.* Efeito da aplicação de água residuária da lavagem dos frutos de café sobre as propriedades químicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 158- 166, 2011.

SOARES, S. F. et al. Reúso da água na produção de café cereja descascado. 2012. **Embrapa Café. Circular técnica**, 1, 8 p. Brasília, DF: Embrapa Café, 2012 Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/963032/reuso-da-agua-na-producao-de-cafe-cereja-descascado>. Acesso em: 23 fev. 2021.

SOARES, Sammy Fernandes et al. Estimativa dose de água residuária do café para fertirrigação com base na saturação de K na CTC do solo. 2013. SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Sustentabilidade e inclusão Social**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2013. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/405/1/Estimativa-dose-de-agua.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

SOUZA, E D. V. de. Avaliação ecotoxicológica da água residuária do café por meio de bioensaios com *Danio rerio*. 2018.

SOUZA, J. A. R., MOREIRA, D. A., SILVA, É. L., OLIVEIRA, W. M., RIBEIRO, W. A. S., MENDES, M. R., RESENDE TEIXEIRA, P. T. Riscos de contaminação e os impactos pela disposição de efluente de laticínios em latossolo vermelho amarelo. **Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 54- 62, 2020.