

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, BIOQUÍMICA E ENERGÉTICA DA ÁGUA RESIDUÁRIA DO CAFÉ PROCESSADO POR VIA ÚMIDA

PHYSICAL-CHEMICAL, BIOCHEMICAL AND ENERGETIC CHARACTERIZATION OF WASTEWATER ORIGINATED FROM WET COFFEE PROCESSING

Cláudio Milton Montenegro CAMPOS¹; Marco Antônio Calil PRADO²;
Erlon Lopes PEREIRA³

1. Engenheiro Civil, PhD., Professor, Departamento de Engenharia, Setor de Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, Brasil. cmcampos@ufla.deg.br; 2. Engenheiro Químico, Mestre, UFLA, Lavras, MG, Brasil; 3. Graduando em Engenharia Agrícola, Iniciação científica PIBIC/CNPq, UFLA, Lavras, MG, Brasil.

RESUMO: O café processado por via úmida, além de consumir grandes volumes de água, gera águas residuárias ricas em compostos orgânicos e inorgânicos. Desta forma, nesta pesquisa estudou-se as características e o potencial poluidor das águas residuárias do processamento por via úmida do café coco. Os valores médios encontrados foram de 16.452 mg L⁻¹; 9.011 mg L⁻¹; 4,54; 4,9 dS m⁻¹; 2,56 %; 99,9 mg L⁻¹; 954,2 mg L⁻¹ e 194 mg L⁻¹, em termos de DQO, DBO₅, pH, condutividade, salinidade, nitrogênio total, compostos fenólicos e óleos e graxas, respectivamente. Os resultados das análises bromatológicas realizadas, foram respectivamente: 44.667 mg L⁻¹; 1.067 mg L⁻¹; 0,44 %; 1.315 mg L⁻¹; 1.189 mg L⁻¹ e 97,32 %, em termos de açúcares totais, amido, proteína, pectina total, pectina solúvel e umidade, demonstrando o seu elevado potencial poluidor. Caso não sejam tratadas adequadamente, essas águas podem poluir severamente o meio ambiente, especialmente os recursos naturais água e solo e, conseqüentemente, a atmosfera. Os altos valores encontrados para a DBO₅ estão acima dos valores dos efluentes domésticos, curtumes, laticínios, bebidas e fábricas de conservas. Os altos valores de salinidade e condutividade elétrica demonstraram grau de restrição severo quanto ao uso destas ARC na fertirrigação. Os elevados valores de compostos orgânicos nestes mesmos efluentes demonstram a viabilidade do tratamento anaeróbico com geração de biogás como insumo energético.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes Líquidos. *Coffea arabica* L. Poluição. Contaminação.

INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos mais importantes para o Brasil, e é sem dúvida, de notória importância e expressividade para a economia do país (BRUNO; OLIVEIRA, 2008). É a qualidade do grão de café que o torna valioso e determina seu preço de mercado e a aceitação do produto no comércio internacional. Por sua vez, esta qualidade é determinada por características inerentes ao fruto tais como: cor, aspecto, número de defeitos, aroma e gosto da bebida.

O café é processado de duas formas: processamento por via seca e por via úmida. O processamento por via seca dá origem ao café natural (também chamado de café coco ou de terreiro). Após o recebimento do café colhido, este passa por um processo de limpeza, separando impurezas, como folhas, paus, pedras, terra e selecionado nos seus diversos estágios de maturação (verde, cereja, coco e passa). Esta limpeza, geralmente, é feita com a realização da lavagem do café, utilizando-se lavadores de alvenaria ou metálicos pré fabricados. Posteriormente, o café passa pela etapa de secagem em terreiros ou secadores. Mas devido a heterogeneidade da secagem e conseqüentemente presença de umidade,

pode o produto final apresentar variação da qualidade devido a presença de toxinas de fungos, como por exemplo, o *Aspergillus flavius*, Borém (2008).

O processamento por via úmida, utilizando café cereja, consiste na utilização de água no processo de lavagem, separação e retirada da casca (exocarpo) e da mucilagem (mesocarpo), dando origem aos cafés descascados, despulpados e desmucilados. O processamento pós-colheita do café, por via úmida e por via seca, gera resíduos sólidos e líquidos, em quantidade significativa, em termos de carga orgânica e com valor energético considerável (PRADO; CAMPOS, 2008).

Os resíduos da agroindústria do café tornaram-se assunto de grande interesse, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. No processamento por via úmida os resíduos líquidos, são conhecidos como águas residuárias (ARC). Os resíduos sólidos, conhecidos como polpa do café, são compostos pela casca e por parte da mucilagem retirada do grão que está aderida à casca, e também os resíduos sólidos originados na secagem e no beneficiamento, como o pergaminho e a película prateada (BRUNO; OLIVEIRA, 2008).

As ARC são ricas em compostos orgânicos e inorgânicos e poluentes que causam a degradação

dos solos, dos cursos de água e a contaminação do ar atmosférico, pela emissão de gases como o metano, dióxido de carbono, gás sulfídrico e amônia, entre outros, como resultado das atividades bacterianas (CAMPOS et al., 2002; MATOS; LO MÔNACO, 2003).

Conforme Prado e Campos (2008), o processo de digestão anaeróbia apresenta-se como uma das melhores alternativas para o tratamento de produtos altamente poluidores como resíduos industriais, esgoto sanitário, lixo urbano, vinhoto e resíduos animais, convertendo-os em produtos úteis como o metano e biofertilizantes.

Há muito conhecido, o processo de digestão anaeróbia beneficiou-se nas últimas décadas de importantes avanços no conhecimento de seus fundamentos, particularmente no que tange à microbiologia e à concepção dos reatores (CAMPOS et al, 2002). Tradicionalmente, o tratamento de efluentes industriais com alto teor de matéria orgânica é feito em reatores biológicos anaeróbios, devido às significativas vantagens técnicas e econômicas que podem ser alcançadas. Com isso foi demonstrado que o tratamento anaeróbio têm uma elevada eficiência para a remoção de material orgânico solúvel, porém, não é adequado para remoção de nutrientes (PRADO; CAMPOS, 2008).

Entretanto para definir as unidades de tratamento que serão usadas na estação para tratamento de ARC e projetar os reatores biológicos de forma otimizada é necessário caracterizar o efluente que será tratado, para que se conheçam as variáveis máximas e mínimas que serão submetidas ao sistema sem que haja problemas de subcarga ou sobrecarga.

Além de parâmetros de projeto, a caracterização da ARC deve ser utilizada como fator

imprescindível quanto à utilização da mesma em fertirrigação. Muitos problemas ambientais vêm sendo observados no meio rural quanto à contaminação do solo mesmo após o tratamento desta.

Portanto, neste trabalho objetivou-se caracterizar as ARC apresentando suas características físico-químicas e bioquímicas, relacionando-as com os impactos ambientais causados pelas mesmas. Além de propor soluções viáveis que atendam tanto o saneamento ambiental quanto a produção energética, utilizando processos biológicos de tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A preparação das ARC concentradas

Durante a pesquisa, foram realizadas cinco preparações de ARC concentradas, as quais foram utilizadas em seis períodos. Cada período foi caracterizado e diferenciado pelos parâmetros operacionais aplicados ao sistema e pelas concentrações da ARC. Assim, a ARC1 foi utilizada durante a partida do sistema (start-up), ou seja, período I. Já as ARC 2, 3, 4 e 5 foram utilizadas durante o período estacionário (steady state), ou seja, nos períodos II, III, IV, V e VI.

As variações nas concentrações das ARC foram obtidas por meio de diluições feitas a partir das ARC concentradas. A Tabela 1 apresenta a quantidade de água utilizada, a qual foi baseada no valor médio de 4 litros por quilograma de café processado, seguindo a metodologia proposta por Matos et al. (1999). Os valores de 6 e 8 L kg⁻¹ de café apresentados na Tabela 1, foram inerentes ao equipamento utilizado.

Tabela 1. Dados das ARC concentradas

ARC	Origem do café	Consumo de água (L água kg café ⁻¹)	Data da preparação
ARC1	LPPA	4	05/12/05
ARC2	EPAMIG	4	29/12/05
ARC3	EPAMIG	6	25/01/06
ARC4	EPAMIG	8	11/04/06
ARC5	EPAMIG	4	14/06/06
ARC-B	EPAMIG	4	26/04/06

No processo de tratamento das ARC, em alguns períodos foi necessário a adição de NaOH no TAE ou no UASB (Tabela 2), somente uma vez ao dia, com o propósito de manter o pH próximo da neutralidade. A preparação da solução foi realizada

em termos de concentração em % de massa de NaOH por volume de água destilada. A adição de NaOH 10% no TAE foi realizada por batelada, e a adição de NaOH 2,5% no UASB foi realizada com bomba dosadora, no modo intermitente.

Tabela 2. Divisão dos períodos e subperíodos no tratamento

Período	Subperíodo	Data	Total de dias	Adição de NaOH	NaOH (%)	Local de adição
I		23/12/05-	43	sim	10,0	TAE
		03/02/06-				
II		04/02/06-	16	sim	10,0	TAE
		19/02/06-				
III		20/02/06-	30	sim	10,0	TAE
		21/03/06-				
IV	A	22/03/06-	21	sim	10,0	TAE
		11/04/06-				
IV	B	12/04/06-	27	não	----	----
		08/05/06-				
V	A	09/05/06-	14	não	----	----
		22/05/06-				
V	B	23/05/06-	18	sim	10,0	TAE
		09/06/06-				
VI	A	10/06/06-	06	sim	10,0	TAE
		15/06/06-				
VI	B	16/06/06-	15	sim	2,5	UASB
		30/06/06-				

A preparação da ARC1 foi realizada como um teste para as preparações posteriores. O café utilizado foi adquirido no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (LPPA), do Departamento de Engenharia (DEG), na UFPA e tratava-se de café coco natural, proveniente da colheita seletiva de café cereja, nas lavouras da UFPA. O processo foi realizado colocando-se o café em imersão por 24 horas em água não tratada, oriunda da lagoa da Fazenda Experimental da EPAMIG e, logo em seguida, procedeu-se ao descascamento e a desmucilagem manuais, passando o efluente por uma peneira de malha fina.

O café utilizado na preparação das ARC2, ARC3, ARC4 e ARC5 foi adquirido na Fazenda Experimental da EPAMIG, no município de Lavras, MG e tratava-se do café coco natural da espécie *Coffea arabica L.*, obtido de colheita não seletiva. O descascamento e a desmucilagem foram realizados no Centro de Tecnologia e Processamento do Café (CEPECAFÉ), na UFPA. O equipamento utilizado foi um descascador/desmucilador, com capacidade para processar 450 L h⁻¹ de café, com um consumo de 1.500 L h⁻¹ de água sem recirculação e de 750 L h⁻¹ com recirculação (Figura 1). O café foi deixado em imersão em água não tratada (oriunda da lagoa da Fazenda Experimental da EPAMIG) por um período de 24 horas. Logo em seguida, procedeu-se ao descascamento e desmucilagem, com recirculação de água. As ARC assim produzidas eram denominadas de ARC concentradas (Figura 2)

e foram estocadas em recipientes de plásticos e mantidas em refrigerador.

Uma amostra denominada de ARC-B foi preparada da mesma maneira que a ARC1, porém, utilizando-se café coco da Fazenda da EPAMIG, com a finalidade da realização de análises bromatológicas.

Caracterização e localização do experimento

O experimento foi montado no Laboratório de Análise de Água (LAADeg), do Departamento de Engenharia (DEG), na Universidade Federal de Lavras (UFPA).

O sistema era composto de um tanque de acidificação e equalização (TAE), um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (RAMAL/UASB), uma lagoa aerada facultativa (LAF), um equalizador de pressão, um gasômetro, duas bombas dosadoras e um sistema de aquecimento (Figura 3).



Figura 1. Descascador/desmucilador utilizado no processamento via úmida do café.



Figura 2. ARC obtida do processamento via úmida do café.

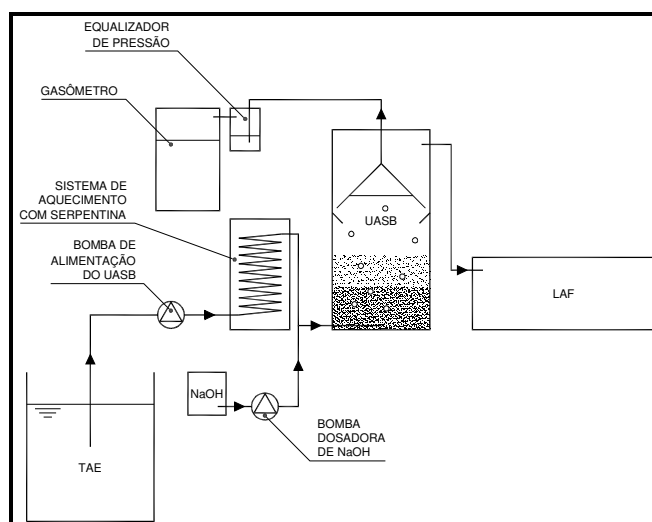


Figura 3. Esquema do sistema TAE-UASB-LAF

Caracterização físico-química, bioquímica e energética da ARC

As análises físico-químicas foram realizadas no LAADeg, da UFLA, obedecendo as

metodologias e frequências determinadas abaixo na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros analisados na ARC, frequência e metodologias utilizadas

Parâmetros físicos-químicos	Físico-	Frequência	Referência Bibliográfica
pH		diariamente	APHA, (1998)
Alcalinidade total (AT)		3 vezes por semana	APHA, (1998)
Demanda Química de Oxigênio (DQO) total	de	3 vezes por semana	APHA, (1998), (método da digestão com refluxo fechado)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅ ^{20°C}) total	de	semanal	Método de Wincley modificado com Iodeto de Azida
Sólidos Totais (ST), Fixos (SF) e voláteis (SV)			APHA, (1998)
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	de	quinzenal	APHA, (1998), (método da digestão em bloco com ácido sulfúrico e mistura digestora e posterior utilização do método fenato
Fósforo Total (P-total)		quinzenal	APHA, (1998)(obtenção do estrato utilizando digestão em bloco com ácido nítrico e sulfúrico PA e posterior utilização do método colorimétrico utilizando vanadomolibidofosfórico
Acidez total (Ac T)		3 vezes por semana	método potenciométrico com NaOH 0,02 N
condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT) e salinidade (SA)		diariamente	Eletrométrico com condutivimetro de platina. Condutivimetro Hach
Compostos fenólicos (CF)		quinzenal	método 5550 B (extração com metanol, espectrofotométrico e calibração com ácido tânico).
Temperatura (T°C)		diariamente	método 2559B, com termometro de mercúrio
Óleos e graxas (OG)		quinzenal	Extração de Soxhlet, método 5520 D.

As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Processamento de Produtos

Vegetais (LPV), do Departamento de Ciências dos Alimentos, da UFLA, sendo: açúcares totais e

amido, pelo método redutimétrico Somoghi-Nelson (Nelson, 1944); pectina total e solúvel, pelo método colorimétrico (MCREADY; MCCOMB, 1952); umidade, pelo método gravimétrico (Instituto Adolfo Lutz, 1985) e proteína, pelo método semi-micro Kjeldahl (AOAC, 1990). As análises foram realizadas com três repetições para cada amostra.

A produção teórica de biogás foi calculada de acordo com a metodologia descrita por Prado e Campos (2008). A caracterização do biogás foi realizada em cromatógrafo da marca: Varian Chrompack, modelo CP3800, coluna marca Restek, modelo RT-QPLOT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio

Os elevados valores de DQO e DBO₅ (Tabela 4), bem acima dos valores permitidos para lançamento em corpos d'água classe 2 pela legislação CONAMA 357/2005, que é de 180 mg L⁻¹

¹ e 60 mg L⁻¹, demonstraram altos teores de matéria orgânica nas ARC. Isso significa que se fossem despejadas em um curso hídrico, causariam grandes problemas de poluição, pois retirariam o oxigênio dissolvido da água, provocando mortandade de peixes, desequilíbrio da vida aquática e eutrofização.

Além disso, a ARC demonstrou possuir elevada fração biodegradável cujo índice médio da relação DQO/DBO₅ foi de 1,85, indicando tratamento biológico, devido a relação DQO/DBO₅ < 2 (ZAMBRANO; HINESTROZA, 1998). Entretanto, os mesmos autores afirmam que caso a relação DQO/DBO₅ > 2, e a parte não biodegradável não seja importante do ponto de vista da poluição, o tratamento biológico também é recomendado. Pode-se observar isso nas ARC 4 e ARC-B que se diferenciaram das outras ARC, pelo fato da ARC 4 ter sido feita com outra diluição (Tabela 1). Enquanto, a ARC-B diferenciou-se um pouco devido a alguns resíduos inorgânicos dissolvidos da casca de café coco.

Tabela 4. Análises de DQO, DBO₅ e a relação DQO/DBO₅

ARC	DQO (mg L ⁻¹)	DBO ₅ (mg L ⁻¹)	Relação DQO/DBO ₅
ARC1	15.867	9.800	1,62
ARC2	14.667	9.200	1,59
ARC3	11.767	8.489	1,39
ARC4	19.594	7.616	2,58
ARC-B	20.367	9.950	2,05

pH, Alcalinidade e Acidez

Como pode ser observado na Tabela 6, os valores de pH foram baixos em todas as preparações provavelmente devido aos sólidos dissolvidos e pela própria oxidação da matéria orgânica, atribuindo a ARC um caráter corrosivo. Os valores encontrados estão próximos daqueles obtidos do processamento do café cereja e coco, citados por Matos et al. (1999) demonstrando ser uma característica própria da ARC, independente do processamento do grão. Entretanto, esses valores fogem do padrão de lançamento exigido pela Resolução CONAMA 357/2005 a qual estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados em cursos de água se o pH estiver entre 5 e 9. Observou-se valores de acidez variando entre 29 e 493 mg L⁻¹, justificando os baixos valores de pH observados. A grande variação destes valores de acidez pode ser explicada ao comparar as Tabelas 1 e 6.

Observou-se diferenças devido o café cereja não possuir altas concentração de compostos ácidos,

adstringentes e taninos no epicarpo produzindo acidez menores. Ao contrário da ARC feita com os grãos não selecionados incluindo verdes, bóias e cereja. Os grãos verdes têm muito tanino e ligninas que liberados na ARC aumentam a acidez drasticamente.

Entretanto, ao se comparar os períodos que se utilizou a mesma ARC com aplicação de NaOH, observou-se o aumento da acidez em função do tempo de utilização da ARC. Comparando novamente as Tabelas 1 e 6, pode-se afirmar que quanto mais dias a ARC foi utilizada maior é a concentração de ácidos, isso devido ao maior tempo de degradação dentro do recipiente de armazenamento e consequentemente maior liberação de ácidos voláteis.

Nos períodos de não utilização NaOH, observaram grandes valores de acidez total devido a não neutralização dos ácidos.

Tabela 5. Acidez média nos períodos e subperíodos

Períodos e subperíodos	A-TAE (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	A-UASB (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	E-UASB (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	E-LAF (mg L ⁻¹ CaCO ₃)
I	48,31	40,86	46,31	27,10
II	61,43	40,61	34,66	24,25
III	105,95	102,97	74,71	59,09
IV-A	155,69	118,01	76,36	30,74
IV-B	262,69	209,14	92,13	28,66
V-A	238,79	248,71	113,84	32,53
V-B	137,45	101,75	50,18	44,23
VI-A	192,19	168,39	49,39	34,51
VI-B	373,71	154,55	100,01	99,02

A-TAE: afluente do TAE, A-UASB: afluente do UASB, E-UASB: efluente do UASB, E-LAF: efluente da LAF.

Para valores de alcalinidade total obtive-se variações entre 122 a 1306 mg L⁻¹ de CaCO₃, acompanhando sempre as variações da acidez total. Contudo, como o efluente é rico naturalmente em compostos ácidos e pobre em metais que formam bases em meio aquoso, pode-se concluir que as concentrações de alcalinidade apresentadas são insuficientes para neutralização dos ácidos presentes na ARC, necessitando sempre do uso de um composto alcalino para neutralização, para que a mesma possa ser submetida a um tratamento biológico.

Nitrogênio e Fósforo

Os valores de proteína encontrados na Tabela 7 correspondem aos elevados valores de nitrogênio. Os valores de nitrogênio estão acima de 20 mg L⁻¹ permitido pela legislação federal CONAMA 357/2005. Caso a ARC fosse vertida em qualquer recurso hídrico, estimularia o crescimento de algas causando eutrofização. Esta concentração de nitrogênio apresentou-se na sua maioria em forma amoniacal, normalmente tóxica aos peixes, além disso, no processo bioquímico de conversão do amônio a nitrito, e deste em nitrato, implicaria no consumo de oxigênio dissolvido.

As concentrações de fósforo ficaram entre 66,3 e 789,5 mg L⁻¹, esta variação foi devido a solubilização deste elemento na ARC devido aos baixos valores de pH, assim quanto maior a acidez, menor o pH, maior a concentração de fósforo.

Considerando que lagos com concentração de fósforo acima de 0,05 mg L⁻¹ são considerados em estado de eutrofização, a ARC apresenta-se inadequada para despejo para lançamento em ambientes lênticos e classe 3, conforme Resolução CONAMA 357/2005.

Compostos fenólicos

De acordo com Lincoln e Zeiger (2004), os compostos fenólicos são produtos secundários do metabolismo vegetal e compreendem um grupo quimicamente heterogêneo. Os principais subgrupos são os fenilpropanóis simples (como os ácidos caféico e ferúlico), as cumarinas (como a umbeliferona e o psoraleno), os derivados do ácido benzóico (como a vanilina e o ácido salicílico), os flavonóides (antocianinas, flavonas, flavonóis e isoflavonas), a lignina e os taninos (condensados e hidrolisáveis). Verificou-se a presença considerável de compostos fenólicos (Tabela 3), nas ARC os quais ultrapassam a resolução CONAMA 357/2005, cuja concentração máxima é de 0,5 mg L⁻¹ para lançamento. Esses compostos são considerados compostos tóxicos, atuando como inibidores das atividades biológicas de microrganismos e de organismos vegetais e animais (plantas, peixes, crustáceos, etc.). Em excesso, podem ainda interferir no tratamento biológico das ARC, tanto aeróbio como anaeróbio, inibindo as bactérias e outros microrganismos presentes.

Tabela 6. Análises das ARC concentradas

ARC	pH	CE (dS m ⁻¹)	Sal (%)	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	t (°C)	Compostos fenólicos (mg L ⁻¹)
ARC1	4,70	5,7	3,1	64.467	37.600	25,2	-----
ARC2	4,08	6,2	3,3	15.867	9.800	27,5	1.284
ARC3	4,36	3,9	2,0	14.667	9.200	30,7	693
ARC4	4,43	3,6	1,8	11.767	8.489	28,4	519
ARC5	5,17	5,5	2,9	19.594	7.616	20,1	1.063
ARC-B	4,67	5,3	2,8	20.367	9.950	24,8	1.212

*Análise não realizadas para esta amostra

As análises de condutividade elétrica, salinidade e sólidos totais dissolvidos demonstram altos teores de matéria inorgânica presente. Os valores elevados de condutividade elétrica (CE) estão relacionados com teores elevados de salinidade e sólidos totais dissolvidos. De acordo com Campos (2000) e Botelho (1999), dentre os parâmetros da qualidade da água para a utilização em irrigação, têm-se três graus de restrição para o uso da água, em função da condutividade, dos STD e da salinidade:

- classe de salinidade C1, com nenhum grau de restrição ao uso, com $CE < 0,7 \text{ dS.m}^{-1}$ e $STD < 450 \text{ mg.L}^{-1}$;
- classe de salinidade C2: grau de restrição de leve a moderado, com CE de 0,7 a $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ e STD de 450 a 2.000 mg.L^{-1} ;
- classe de salinidade C3: de grau de restrição severo, com $CE > 3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ e $STD > 2.000 \text{ mg.L}^{-1}$.

Pelos resultados apresentados na Tabela 6 para a classificação de salinidade as ARC concentradas variaram de C1 a C3, quanto à restrição ao seu uso em irrigação. Valores elevados de salinidade nas ARC podem causar danos aos solos e às plantas. Os problemas com o solo estão relacionados com o aumento de salinidade no mesmo, causando a dispersão das suas partículas, em decorrência da presença de quantidades elevadas de potássio, alterando as suas características naturais. De acordo com Silva (2007), as ARC apresentam concentrações de potássio em torno de 1000 mg L^{-1} .

A temperatura do efluente se manteve alta devido ao processo exodérmico da degradação.

Durante esse processo as ARC apresentaram temperaturas altas. Assim, seria adequado evitar seu despejo pois poderia aumentar a temperatura do corpo receptor ocasionando problemas de desequilíbrio aquático. Portanto, necessita-se tratar este efluente para estabilizar a matéria orgânica diminuindo o potencial poluidor e também diminuir a temperatura do despejo.

Sólidos totais e dissolvidos

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Concentrações para sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos dissolvidos totais (SDT), foram entre: 1090 a 6720 mg L^{-1} ; 300 a 2174 mg L^{-1} ; 665 a 4873 mg L^{-1} ; 469 a 2311 mg L^{-1} , respectivamente.

Composição Bioquímica

Através das análises bromatológicas (Tabela 7), foi possível estimar que o efluente não terá grande produção de alcalinidade, pois, de acordo com Chernicharo (2007), a degradação de carboidratos e alcoóis não geram alcalinidade por não produzirem cátions como produto final, assim, provavelmente não haveria tamponamento durante o processo de biodegradação. Entretanto, os valores consideráveis de carboidratos e de lipídios viabilizariam totalmente o tratamento biológico anaeróbio das ARC em função da produção de biogás. Verificou-se que os valores para óleos e graxas estão acima do permitido pela legislação para óleos vegetais e gorduras animais, cujo limite máximo é de 50 mg L^{-1} (CONAMA, 2005).

Tabela 7. Análises bromatológicas e físico-químicas das ARC-B

Análises	Valores
Açúcares totais (mg.L^{-1})	44.667
Amido (mg.L^{-1})	1.067
Proteína (%)	0,44
Pectina total (mg.L^{-1})	1.315
Pectina solúvel (mg.L^{-1})	1.189
Óleos e graxas (mg.L^{-1})	194
Umidade (%)	97,32

Reutilização da ARC sem tratamento

De acordo com a legislação ambiental vigente, tanto estadual quanto federal, não é possível o lançamento das ARC em recursos hídricos, pois estas não atendem a nenhum parâmetro lançamento em corpos hídricos de classe 2 e 3. Deste modo, uma das formas mais difundidas é a fertirrigação. Entretanto, no meio rural vem se observando alguns problemas ambientais advindos do emprego das ARC em fertirrigação sem

tratamento apropriado. Quanto a disposição no solo os parâmetros mais importantes são a condutividade e salinidade.

As análises de CE e salinidade (Tabela 6) demonstram altos teores de matéria inorgânica presente, podendo-se classificar as ARC na Classe C3 de salinidade, apresentando grau de restrição severo quanto ao seu uso em fertirrigação (BOTELHO, 1999).

Processo de Saneamento Ambiental

Para propor soluções aos problemas apresentados pela ARC, construiu-se um sistema de tratamento de efluentes em escala laboratorial, o qual foi descrito detalhadamente por Prado e Campos (2008). Como a ARC apresentava pH sempre baixo, aproveitou-se seu potencial ácido iniciando assim, o processo com um tanque de acidificação e equalização (TAE), a fim de otimizar a fase acidogênica. Logo após, o efluente era aquecido e, por fluxo constante, direcionado ao reator UASB cuja temperatura era na faixa mesofílica. O tempo de detenção hidráulica ficou entre 8,0 a 69,7 horas. A carga hidráulica (CH) entre 0,014 a 0,124 m³ m⁻³ d⁻¹ e a carga orgânica volumétrica (COV) entre 0,14 a 20,29 kgDQO m⁻³ d⁻¹. A carga orgânica biológica (COB) entre 0,025 a 1,485 kgDQO kg⁻¹SSV d⁻¹ e a velocidade ascensional entre 0,008 a 0,07 m h⁻¹. A eficiência média de remoção de DQO foi de 82%. Entretanto, vale lembrar, que devido a alta atividade acidogênica no TAE e a baixa capacidade de tamponamento no reator UASB, foi necessário acrescentar ao TAE NaOH a 10%. Após o reator UASB foi instalada uma lagoa aerada facultativa (LAF) para polimento do efluente, observando um aumento na eficiência de remoção de DBO₅ e, demonstrando que após a ARC ter passado pelo tratamento no UASB, a relação DQO/DBO₅ tornava-se maior, significando menor biodegradabilidade do efluente.

Após os estudos realizados em escala laboratorial, através da caracterização da ARC e dos parâmetros de operacionalização do sistema encontrados nesta pesquisa, determinação dos parâmetros cinéticos estudados e descritos por Saleh (2004) construiu-se um sistema em escala piloto para tratamento da ARC, proveniente do café plantado, colhido e processado na universidade. Tal sistema foi descrito e estudado detalhadamente por Silva (2007).

Como já mencionado, necessitou-se acrescentar NaOH nas ARC para adequar o pH da ARC e auxiliar o sistema biológico no tamponamento ao longo do processo. Entretanto, caso o efluente seja destinado a fertirrigação após o tratamento é importante evitar a utilização de substâncias alcalinas compostas por sódio. Como o sódio é um agente dispersante, reage com as partículas presentes no solo transformando a argila floculada em argila dispersa, assim, na primeira chuva ocorrerão lixiviações e varreduras das partículas do solo podendo causar danos irreversíveis quanto a estrutura física e química do mesmo tornando-o improdutivo. Com relação às

plantas, podem ocorrer problemas de toxicidade causados pelos cloretos de sódio e boro em excesso, ocasionando necroses e queimaduras nos tecidos vegetais, além de diminuição da absorção e do transporte de água na planta, devido ao aumento de salinidade na zona osmótica radicular das mesmas, provocando, muitas vezes, a diminuição do rendimento das culturas.

Produção de energia alternativa

Durante a pesquisa foi observado que as ARC possuem concentração orgânica para elevadas produções de biogás. Foram observadas produções de biogás variando entre 42,8 e 46,2 m³ kg⁻¹ DQO_{removida}, com produções de metano variando entre 29,9 e 32,4 m³ kg⁻¹ DQO_{removida}. A porcentagem de metano no biogás foi em média de 68,14%. O poder calorífico médio do biogás adquirido foi de 25654, 23 kJ m⁻³, classificando-o como um combustível de alto poder energético (PRADO e CAMPOS, 2008). Depois de purificado e desumidificado é possível armazená-lo em reservatórios de borracha, vinil, PEAD e sob baixas pressões, e em reservatórios de aço sob médias pressões. No entanto, devido a sua compressibilidade, a estocagem sob baixas pressões seria ainda mais econômica. Constatamos que o biogás, devido sua composição pode ser utilizado como complemento ao gás GLP e ao gás natural e como substituto ao gás canalizado.

CONCLUSÕES

A caracterização físico-química, bioquímica e energética da ARC foi de extrema importância para se determinar os parâmetros básicos capazes de subsidiarem projetos de estações de tratamento em escala piloto e plena.

As ARC sem tratamento não podem ser lançadas em cursos hídricos, pois são causadoras de poluição e contaminação hídrica. Quanto sua utilização na fertirrigação sem o devido tratamento deve ser estudada. Neste caso a lâmina de irrigação deve ser calculada tomando como base a concentração limite do elemento prejudicial ao solo. Além disso, neste procedimento o técnico deverá ter controle absoluto das características do solo, e avaliar constantemente a razão de adsorção de sódio no efluente. Caso o controle não for feito poderá prejudicar drasticamente o solo.

Devido às características químicas da ARC, foi necessária a complementação da alcalinidade para que se atingisse a estabilidade no processo biológico. Portanto, na construção de uma estrutura em escala plena o técnico responsável deverá

estudar a dosagem correta de compostos alcalinos, viáveis economicamente e se possível que não sejam compostos por sódio para o tamponamento do meio.

O tratamento das ARC por mecanismos anaeróbios é totalmente viável e indicado, em decorrência da presença considerável de compostos orgânicos (carboidratos e lipídios, principalmente) e pela possibilidade de produção e aproveitamento do biogás com insumo energético.

O tratamento anaeróbio da ARC possui como um dos seus subprodutos o biogás, podendo

deixar o produtor auto suficiente em termos energéticos.

A conjugação dos tratamentos anaeróbio/aeróbio utilizados para as ARC demonstrou grande eficiência na remoção de compostos orgânicos poluentes e tóxicos colaborando com o desenvolvimento sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro nas pesquisas realizadas e pela concessão de bolsa de estudo.

ABSTRACT: The wet processing coffee besides consuming huge volumes of water, also generates wastewater rich in organic and inorganic compounds. In this research it was studied the characteristics and pollutant potential of the wastewaters originated from the wet processing coffee, which the average values found were: 16,452 mg L⁻¹; 9,011 mg L⁻¹; 4.5; 4.9 dS m⁻¹; 2.56%; 99.9 mg L⁻¹; 954.2 mg L⁻¹ e 194 mg L⁻¹, in terms of COD, BOD₅, pH, conductivity, salinity, total nitrogen, phenolic compounds and oil and grease, respectively. Also the results of bromatological analysis were as follow: 44,667 mg L⁻¹; 1,067 mg L⁻¹; 0.44 %; 1,315 mg L⁻¹; 1,189 mg L⁻¹ and 97.32 %, concerning total sugar, amid, protein, total pectin, soluble pectin and humidity, respectively, showing a great pollutant potential, and if they are not treated satisfactorily, before disposal, this wastewater can severely pollute the environment, specially the natural resources water and soil, and consequently the atmosphere. The high values of BOD₅ are far above tannery factories, dairy industries, softdrink and brewery industries and also cannery food industries. The great values concerning salinity and electrical conductivity, showed a high restriction degree in using of the ARC in cultivars fertirrigation. The high values of organic compounds in the ARC are an indication for treating this type of wastewater through anaerobic process obtaining the biogas as an energetic income.

KEYWORDS: Wastewaters. *Coffea arabica* L. Pollution.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis.** Arlington, 1990. p. 1230.

BORÉM, F. M. Pós colheita do café. In: Borém, F. M. *Processamento do café.* Lavras: Editora: UFLA, 2008. p 127-158.

BOTELHO, C. G. **Qualidade da água para irrigação.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. p 96.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. de. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p 364-377, 2008.

CAMPOS, C. M. M. **Qualidade da água para irrigação.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. p 113.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, A.C do; LUIZ, F. A. R. de. Impacto ambiental causado pela poluição hídrica proveniente do processamento úmido do café. **Revista Cafeicultura**, Patrocínio, v. 1, n. 4, 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Politécnica, 2007. p 379.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. Resolução n. 357, de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, 3. ed. São Paulo: IAL, 1985. v. 1.

LINCOLN, T. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 720.

METCALF AND EDDY. **Waste water engineering: treatment, disposal and reuse**. 2.ed.rev. New Delhi: Tata McGraw – Hill, 2003. 1334p.

MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A. **Caracterização dos resíduos sólidos e líquidos no Processamento dos Frutos do Cafeeiro**. Viçosa: UFV, 2003. 68p. (Boletim Técnico, 7).

MATOS, A. T.; PINTO A. B.; BORGES, J. D. Caracterização de águas residuárias da lavagem e despolpa de frutos de cafeeiro e possibilidades de seu uso na fertirrigação. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON BIOTECHNOLOGY IN THE COFFEE AGROINDUSTRY, 3, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: UFPR, 1999.

McCREADY, P. M.; McCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectic material. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, n. 12, p. 1.586-1.588, 1952.

NELSON, N. A. A photometric adaptation of somogy method for determination of glicose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-380, 1944.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M. Biogas production in the treatment of Coffea arabica L. processing wastewaters in UASB anaerobic reactor for the potential use in the coffee drying. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 32, n. 3, p. 938-947, 2008.

SALEH, B. B. Parâmetros cinéticos de reatores anaeróbio de manta de lodo (UASB) operando com efluentes líquidos agroindustriais. 2004. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SILVA, J. F. Monitoramento de um sistema piloto no tratamento de água residuária do café produzido por via úmida. 2007. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ZAMBRANO-FRANCO, D. A.; HINESTROZA, J. D. I. Demanda química de oxígeno y nitrógeno total, de los subproductos del proceso tradicional de beneficio húmedo del café. **Revista Cenicafé**, v. 49, n. 4, p. 279-289, 1998.