

II-499 – APLICAÇÃO DE PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS SELETIVAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIO E INDUSTRIAL DE UMA FÁBRICA DE COMPONENTES ELETRÔNICOS

Ana Paula Gomes Mendonça⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Rafhaelle Claudine Paixão Vilhena⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Kleber Bittencourt Oliveira⁽³⁾

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pela Universidade Federal do Pará.

Clara Cardoso Ferreira⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará.

Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Rua São Domingos, 626 – Terra Firme - Belém - PA - CEP: 66077-650 - Brasil - Tel: (91) 980503443 - e-mail: anapaulagomesmendonca03@gmail.com

RESUMO

A água é o recurso natural de extrema importância para garantia de vida no planeta. Uma das formas de poluição mais frequente e que causa a degradação desse recurso é o mau tratamento, condicionamento e lançamento de efluentes. As fábricas de componentes eletrônicos produzem efluentes oleosos em significativas quantidades, devido à queima de diesel. A alternativa para substituição dos processos convencionais de tratamento de efluentes oleosos é o processo de filtração de membranas seletivas, sem a utilização de aditivos. Tendo em vista esse processo, o presente trabalho busca estudar a aplicação do processo de separação por membranas de microfiltração no tratamento de efluentes oleosos provenientes de uma fábrica de componentes eletrônicos, a fim de qualificar sua eficiência. Para isso serão feitas análises em escala de bancada para compreensão dos fenômenos da filtração e sua eficiência com a variação do tempo. De acordo com os resultados das análises de efluentes é possível destacar que a membrana de microfiltração consegue filtrar uma quantidade de diesel relevante aos processos realizados pela ETEI. Ou seja, é recomendada a substituição dos processos tradicionais da fábrica em questão pelas membranas seletivas.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes Industriais, Membranas Seletivas, Fábrica de Componentes Eletrônicos.

INTRODUÇÃO

O mau tratamento, condicionamento e lançamento de efluentes, sejam eles domiciliares ou industriais, tem causado poluição da água, podendo esta ser pontual (em um ponto isolado) ou global (em mais de um ponto).

A água é o recurso natural essencial à vida, e de acordo com Tsutiya (2006) um dos principais objetivos das populações é o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas. Por isso, a crise de água no mundo não é apenas um problema ambiental, mas também social e econômico, sendo o maior desafio das nações o seu tratamento, visando baixo custo e qualidade, resultando em uma água potável, sem causar riscos à saúde humana.

Como um gerador substancial de poluidores, a fábrica de componentes eletrônicos produz efluentes oleosos em significativas quantidades, devido à queima de diesel. Esses efluentes, contendo óleos e graxas provocam obstrução em redes coletoras de esgotos, inibição em processos biológicos de tratamento e acumulam-se nas superfícies; podendo trazer sérios problemas ecológicos por dificultar as trocas gasosas que ocorrem entre a massa líquida e a atmosfera (especialmente, o oxigênio). Nas indústrias, o efluente contendo óleo diesel recebe um tratamento antes de ser lançado ao corpo hídrico, que deve estar de acordo com os parâmetros das resoluções CONAMA 357/05 e 430/11 (a concentração de óleo nos efluentes não deve exceder 20 mg/L).

Como um grande desafio, o tratamento de efluente industrial impulsionou pesquisas de técnicas e desenvolvimentos de formas de tratamento, que visassem eficiência e baixo custo. O processo de filtração por membranas seletivas ainda tem pouca abrangência comercial no Brasil, podendo, através das análises que serão feitas nessa pesquisa, substituir com excelência um sistema de tratamento de efluente oleoso, sem a utilização de aditivos e com maior economia que os processos convencionais de tratamento, como a combinação de flotação por ar dissolvido (FAD), decantação, carvão ativado, tanques de areia, que apresentam alto custo de implantação e manutenção.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar a aplicação do processo de separação por membranas de microfiltração no tratamento de efluentes oleosos provenientes de uma fábrica de componentes eletrônicos como alternativa a processos clássicos e qualificar sua eficiência. Serão feitas análises em escala de bancada, para compreensão dos fenômenos da filtração e sua eficiência com a variação o tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o experimento de bancada fosse realizado, utilizou-se dos materiais seguintes:

- Equipamento de microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração: Equipamento de bancada para testes de diferentes processos de separação por membrana, fabricado pela empresa PAM – Membranas Seletivas Ltda. (Rio de Janeiro/RJ) (Figura 1);
- Módulo de microfiltração de PVC, comprimento útil de 270 mm, com 20 mm de diâmetro externo, composto por membranas de poli (imida) com diâmetro médio de poros de 0,5 μ m, área de 0,05 m², suporta até 3 bar de pressão e temperatura de 50 °C, permeabilidade hidráulica de 130 L/h m².bar e densidade de empacotamento de 1000 m²/m³ (Figura 2);
- Bureta de 250 mL;
- Balança de precisão eletrônica, Modelo Bel -320 Ab-BI (IonLab);
- Hipoclorito 2% (v/v)



Figura 1: Equipamento de Microfiltração, Ultrafiltração e Nanofiltração em escala bancada.



Figura 2: Módulo de microfiltração utilizado nos testes.

Usa-se o cálculo de permeabilidade hidráulica (P), como parâmetro de análise de degradação da membrana. Este parâmetro depende das propriedades do fluido permeante (viscosidade e densidade) e também das características físicas do meio poroso (porosidade, tortuosidade, diâmetro dos poros etc.). Esta pode ser definida como a proporção entre fluxo e pressão, calculada através das equações (1) e (2).

$$P = \frac{J}{\Delta P} ; (\text{L/h.m}^2. \text{ bar}) \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$$J = \frac{Q}{A} ; (\text{L/h.m}^2.) \quad \text{equação (2)}$$

Sendo:

J = Fluxo volumétrico

Q = Vazão

A = Área transmembrana

P = Permeabilidade hidráulica

A Tabela 1 expõe os dados de variação pressão média entre as correntes de alimentação, concentrado e permeado, vazão e fluxo de permeado em função da área de membrana, possibilitando dessa forma, o cálculo da permeabilidade, a partir do gráfico do fluxo de permeado em função da pressão transmembrana, conforme descrito no Gráfico 1. A Análise executada em laboratório foi realizada utilizando 3L de água, variando sua pressão em 1,50; 1,0 e 0,50 bar, para que sejam obtidas as variações de vazão de acordo com a pressão e, posteriormente comparados com os dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 1: Valores de variação de pressão, temperatura e vazão de alimentação, que foram obtidas nos testes em bancada.

MÓDULO	ÁREA DE MEMBRANA (m ²)	VAR. PRESSÃO MÉDIA (bar)	TEMPERATURA (°C)	VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO (L/min)
ML MF 90	0,0555	1,50	24	2,3
ML MF 90	0,0555	1,00	24	2,3
ML MF 90	0,0555	0,50	24	2,3

Foram coletadas amostras de efluentes da uma fábrica de componentes eletrônicos localizada no município de Manaus. Sendo assim, foram realizadas análises de teor de óleo diesel presentes na água, para identificar se a

membrana de microfiltração consegue filtrar uma quantidade de diesel relevante aos processos realizados pela ETEI.

A ETEI desta fábrica, distribui seu tratamento de efluente em 3 etapas, sendo elas; saída do tanque após FAD, que vem a ser a coleta de efluente efetuada na saída do tanque que recebe a água separada do resíduo oleoso, após processo de flotação por ar dissolvido (FAD); ressaca, -Amostragem realizada no recurso hídrico, denominado ressaca.

Desta forma, fez-se o processo de filtração também por etapas, respeitando as etapas da ETEI, e assim foram divididas, com suas respectivas tabelas e gráficos. A Figura 3 apresenta o fluxograma referente aos processos de tratamento do efluente industrial e seus pontos de coleta.

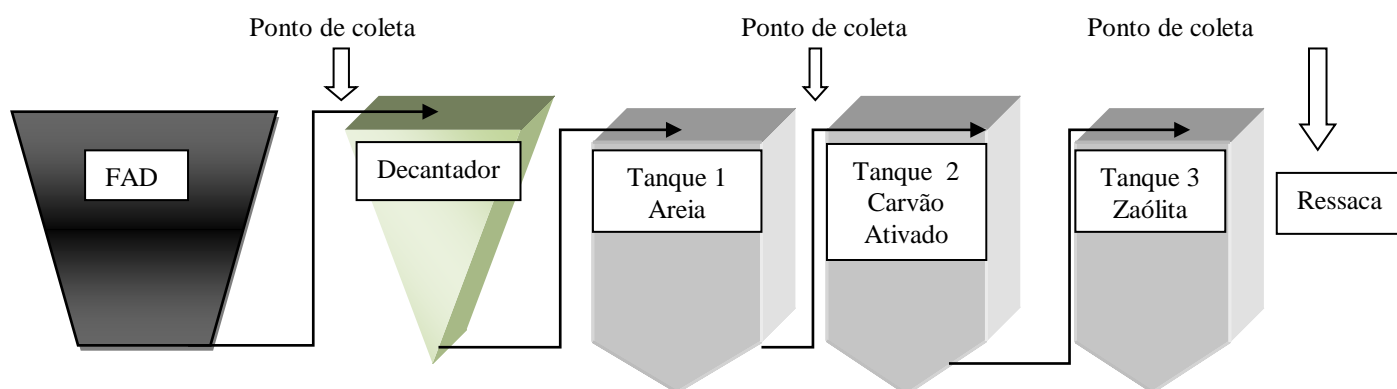


Figura 3: Fluxograma do processo de tratamento.

Cada etapa seguiu o mesmo processo de cálculo e análises, tornando-se diferentes por alguns critérios. O processo de filtração seguiu tal ordem:

- Média feita através dos 5 dias de coleta realizada na ETEI em cada etapa do processo.
- Após a média, calculou-se o teor de óleo, sendo assim pesada na balança de precisão eletrônica em g, para 3 L de água.
- Pseudo-emulsão devidamente preparada, encheu-se o tanque do equipamento de microfiltração, ultrafiltração e nanofiltração, e fora agitada com o aparelho de agitação, em velocidade fixa 5, ajustada no próprio aparelho, por 5 minutos.
- Ligou-se o equipamento de filtração, fixando sua pressão a 1 bar. Cada etapa, apresentara vazão de alimentação e permeado distinta, verificando-se a variação da vazão por 1 hora, em um intervalo de 15 minutos, cada.
- Fez no início do processo de agitação a coleta do concentrado, em garrafa pet, e ao final das medições, a coleta do permeado, também em garrafa pet.
- Com o término do processo, fez-se a limpeza, com retrolavagem, testando em 2 tempos (de 2 e 5 minutos), e limpeza química com hipoclorito 2%, com solução de 50 mL de hipoclorito e 850 de água, em 2 horas de lavagem.
- Ao final dos dois processos (filtração e limpeza) confeccionaram-se tabelas e gráficos dos dados coletados, e também imagens de suas amostras.

Tabela 2: Valores de variação de pressão, temperatura e vazão.

	MÉDIA DO EFLUENTE INDUSTRIAL
Saída da FAD	93,895 mg/L
Saída da ETEI	102,80 mg/L
Ressaca	57,56 mg/L

Para que o processo de experimentação de bancada fosse inicializado, precisou-se, primeiramente, fazer a limpeza do módulo escolhido. A escolha do módulo partiu do critério de maior área de membrana em relação aos outros módulos.

- Limpeza inicial: realizada antes de qualquer experimentação, seguida do cálculo de permeabilidade hidráulica, para analisar o desgaste da membrana, comparando a permeabilidade hidráulica na sua produção, disponibilizada pelo fabricante, e o cálculo realizado após limpeza.

- Limpeza física (Retrolavagem): com o objetivo de restauração da membrana, fazendo expulsão de sedimentos que estão encrustando a membrana. Modifica-se a configuração de filtração original das mangueiras, enche-se o tanque com água de melhor qualidade, desconecta-se a mangueira de alimentação, fechando-a então com um plug ½, e conectando sua mangueira a saída permeado.

- Limpeza química: tratando-se de uma limpeza refinada, faz-se a limpeza química para que se retirem impurezas orgânicas que a retrolavagem não foi capaz de remover. Com uma solução de 1L, sendo ela composta de 850 mL de água, devidamente microfiltrada, e 50 mL de hipoclorito, faz-se a limpeza química, não ultrapassando duas horas de contato com a membrana, pois se trata de um oxidante forte, o qual pode deteriorar a membrana.

RESULTADOS

Com a comparação entre os dois gráficos de permeabilidade, o disponibilizado pelo fabricante e o produzido em laboratório, pode-se afirmar que a membrana apresentou um declínio em sua filtração, apresentada em pequena porcentagem, no entanto, levando em consideração o tempo ao qual foi fabricado, o tempo de uso até o trabalho presente, nota-se que houvera um desgaste, sendo também relevante a essas conclusões, as limpezas, tanto a retrolavagem quanto a química com hipoclorito, mostraram ser eficientes, pois a retrolavagem como limpeza física, conseguiu retirar os sedimentos que obstruíam a membrana com o passar do tempo na filtração e a limpeza com o hipoclorito fez a remoção fina, ambas, conseguiram limpar a membrana, levando-a aproximadamente a um estado de total limpeza - com relação ao fluxo de permeabilidade obtido em laboratório.

Tabela 3: Dados de fluxo de permeado em função da pressão do fabricante e obtidos neste trabalho.

MÓDULO	ÁREA DE MEMBRANA (m²)	VAR. PRESSÃO MÉDIA (bar)	TEMPERATURA (°C)	FLUXO PERMEADO (L/h.m²) (FABRICANTE)	FLUXO PERMEADO (L/h.m²) (TRABALHO)
ML MF 90	0,0555	1,50	24	223,41	213,80
ML MF 90	0,0555	1,00	24	154,26	140,37
ML MF 90	0,0555	0,50	24	67,21	64,79

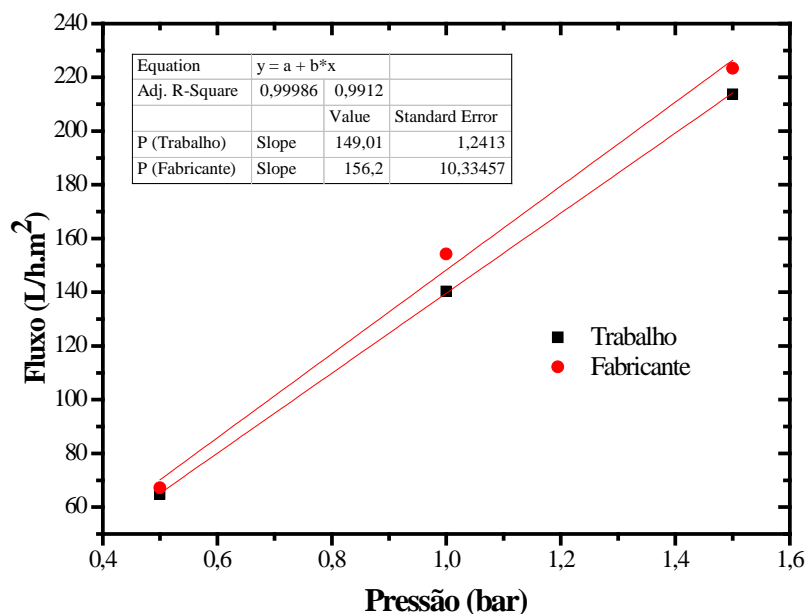


Figura 4: Fluxo de permeado em função do tempo (Vazão de alimentação= 2,3 L/min; Temperatura=23°C; Pressão= 1bar).

De acordo com os resultados expressos na figura 4 observou-se que houve uma pequena mudança na membrana com relação ao fluxo de permeabilidade, desde sua fabricação utilizando os dados fornecidos pelo fabricante, até os dados obtidos no trabalho.

A variação no fluxo de permeabilidade, analisando as duas retas, dá-se pelo fato que a membrana de microfiltração utilizada não é nova, já tendo sido utilizada em trabalhos anteriores.

Com pseudo-emulsões de óleo diesel e água, baseado na média de efluente oleoso de uma Estação de Tratamento de Efluente Industrial (ETEI), calculou-se o fluxo de permeabilidade e seu comportamento com a variação do tempo, seguido de limpeza, utilizando os dois processos: retrolavagem e limpeza química com hipoclorito.

Tabela 4: Tabela com variação de tempo e fluxo do permeado.

TEMPO (min)	FLUXO PERMEADO (L/h.m²)	TEMPO (min)	FLUXO PERMEADO (L/h.m²)
0,00	213,8	60,00	48,59
10,00	80,23	90,00	46,27
30,00	53,98	-	-

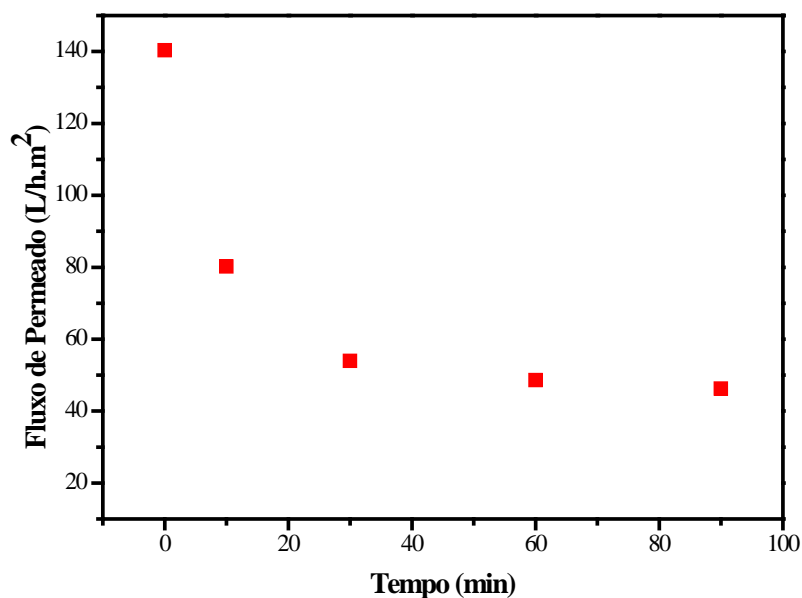


Figura 5: Fluxo de permeado em função do tempo (Vazão de alimentação= 2,3 L/min; Temperatura=23°C; Pressão= 1bar).

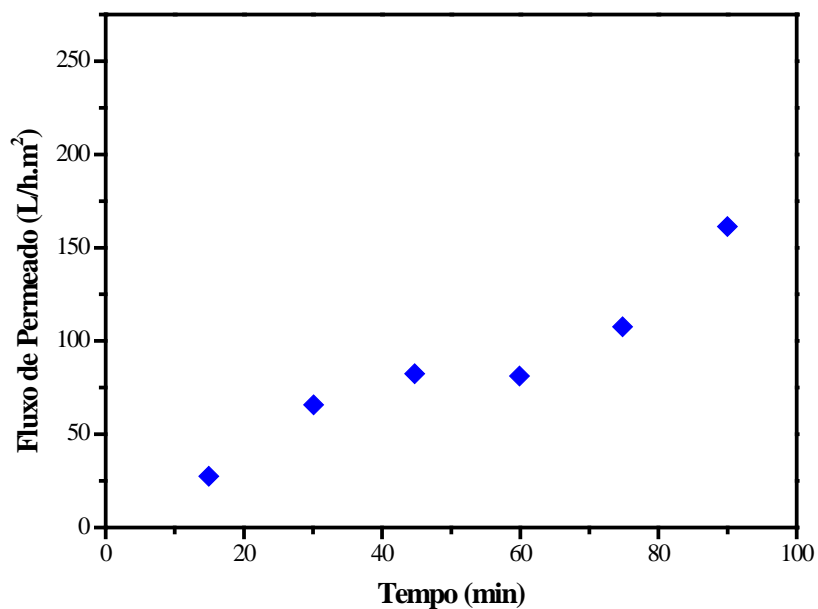


Figura 6: Fluxo de permeado em função do tempo (Vazão de alimentação=; Temperatura=; Pressão= 1bar).

As análises de teor de óleo diesel presentes na água da fábrica de componentes eletrônicos estão expostas na Tabela 5, onde há uma comparação entre o processo primitivo da ETEI e a microfiltração na entrada e na saída da ETEI.

Tabela 5: Análises de água da fábrica de componentes eletrônicos.

Análise	Entrada ETE	Entrada ETE (MF)	Saída da ETE	Saída da ETE (MF)
Cor Verdadeira (uH)	22870	1.389	299	87,00
Temperatura (C)	26	25	23,2	25,4
DBO (mg/L)	791	92	110	82,2
DQO (mg/L)	2252	382	443	187
Nitrato (mg/L)	14	8,2	5,5	3,6
Nitrito (mg/L)	0,09	0,01	0,05	< 0,002
Nitrogênio Total (mg/L)	137	60,01	52,4	31,5
Fosfato (mg/L)	2,26	2,35	0,04	0,048
Óleos/Gorduras Vegetal e Animal (mg/L)	236,4	0,8	44,7	0,7
pH	5,64	7,18	7,35	6,98
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	40	0,7	0,8	0,5
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	1453	533	610	336
Sulfeto (mg/L)	4,52	0,089	0,96	0,08
Turbidez (uT)	730	85,8	60,8	50,1

De acordo com a tabela foi possível concluir que a membrana de microfiltração consegue filtrar uma quantidade de diesel relevante aos processos realizados pela ETEI. Em todos os parâmetros na saída da ETEI o processo de separação por membranas se mostrou mais eficiente que os processos de tratamento convencionais. Em destaque para os parâmetros de Cor Verdadeira, DBO, DQO, Óleos/Gorduras Vegetal e Animal e Sólidos Totais Dissolvidos, Sulfeto nos quais a membrana conseguiu um bom desempenho na entrada e na saída da ETEI. Ou seja, é recomendada a substituição dos processos tradicionais da fábrica em questão citados anteriormente pelas membranas seletivas.

CONCLUSÕES

Com os estudos realizados nas literaturas, conclui-se que o processo de separação por membranas é de simples manuseio, podendo ser operado por sistemas automatizados; limpeza simples, realizada por limpeza química, detergentes e hipoclorito, e limpeza física, realizada pela retrolavagem.

A eficiência do processo foi estabelecida através das análises dos resultados obtidos em bancada, com a utilização de efluente real. Não utilizando reagentes químicos que acaba por gerar novos resíduos, porém os estudos sobre membranas no país ainda está em andamento, por falta de investimento e pesquisa na área, com isso elas acabam tendo um valor elevado, pois poucas empresas a fabricam, formando um pequeno monopólio da tecnologia.

Com as análises realizadas no laboratório, conclui-se que as membranas sofrem poucos desgastes com relação ao tempo de uso, e podem ser limpas com eficiência, utilizando os processos de limpeza física, retrolavagem e limpeza química com hipoclorito.

Na análise do perfil do efluente da ETEI deveria apresentar apenas óleo/graxa, mas encontraram-se efluentes sanitários, por isso a ocorrência de seus componentes nas análises, tornando assim o sistema primitivo empregado pela fábrica menos eficiente e oneroso. Mesmo com a presença de efluente sanitário a membrana apresentou um bom desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. (2005) CONAMA. Resolução nº 357.
- HALBERT, C. A. (2006) Processo de separação por membrana. Rio de Janeiro/RJ. E-papers.
- PEREIRA, R. S. (2004) Identificação e caracterização das fontes de poluição dos sistemas hídricos. Revista eletrônica de recursos hídricos. IPH-UFRGS, v. 1, n.1. p 20-36. [HTTP://www.abrh.org.br/informacoes/erh.pdf](http://www.abrh.org.br/informacoes/erh.pdf)
- SOUSA, M. S. Comparação de tecnologias de tratamento de água para pequenas comunidades sob as óticas e técnicas econômicas financeiras. Ceará.