

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

***AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS ELETROQUÍMICOS PARA
DOIS SISTEMAS DE ESCOAMENTO, TORTUOSO E LINEAR,
EM UM REATOR ELETRODIALÍTICO.***

ITAMAR SOUZA REGES

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

OUTUBRO 1995

***AValiação de PARâMETROS ELETRoQUÍMICOS PARA
DOIS SISTEMAS DE ESCOAMENTO, TORTUOSO E LINEAR,
EM UM REATOR ELETRODIALÍTICO***

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : OPERAÇÕES E PROCESSOS

ORIENTADOR: Prof. KEPLER B. FRANÇA (Ph.D.)

CAMPINA GRANDE

1995



R333a

Reges, Itamar Souza.

Avaliação de parâmetros eletroquímicos para dois sistemas de escoamento, tortuoso e linear, em um reator eletrodialítico / Itamar Souza Reges. - Campina Grande, 1995.

163 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1995.

Referências.

"Orientação : Prof. Dr. Kepler Borges França".

1. Processos Eletroquímicos. 2. Reator Eletrodialítico. 3. Eletrodialise. 4. Dessalinização e Escoamento. 5. Dissertação - Engenharia Química. I. França, Kepler Borges. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 66.087.97(043)

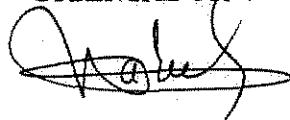
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06 / 10 / 95

BANCA EXAMINADORA:



KEPLER BORGES FRANÇA (Ph.D.)
ORIENTADOR



ALBERTO CLÁUDIO HABERT (Ph.D.)
COMPONENTE DA BANCA



MICHEL FRANÇOIS FOSSY (Ph.D.)
COMPONENTE DA BANCA



SANDRA MARIA SARMENTO (Ph.D.)
COMPONENTE DA BANCA

DEDICATÓRIA

Ao Grande Deus, meus pais, irmãos e
minha família pelo apoio
necessário para o término
deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado disposição, vida e muita força de vontade na elaboração deste trabalho que é de grande importância para a minha vida acadêmica.

A minha esposa Cilene e ao meu filho Jônatas pela paciência e compreensão pelos muitos momentos de ausência de seu esposo e pai.

Ao meu querido pai (in memoriam), mãe e irmãos pelo auxílio recebido durante tantos anos desde o início do curso até este momento.

Ao meu amigo e orientador Kepler B. França pela sua grande amizade e por muitas horas que passamos juntos, onde pude compartilhar de sua tão vasta experiência como amigo e profissional competente.

A Maria José e Maricé pela colaboração e paciência durante o curso de Mestrado.

A CAPES pelo auxílio financeiro a mim dispensado.

A Marcia Izabel e Marcia Liane pela contribuição que nos prestaram durante o período de levantamento dos dados experimentais.

A todos os professores do Mestrado em Engenharia Química.

Que Deus, que é grande em Poder, possa abençoá-los ricamente.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo estudar a performance de um protótipo de um reator eletrodialítico, para fins de dessalinização de soluções de cloreto de sódio via eletrodialise. O reator foi estudado para dois tipos de sistemas de escoamento: tortuoso e linear. Os principais parâmetros investigados para os dois sistemas foram os seguintes: efeito do potencial elétrico em função do fluxo de alimentação, densidade de corrente, resistência ôhmica, eficiência de corrente, tempo de potabilidade e o consumo de energia. Foi observado que o consumo de energia diminui à medida que a vazão de alimentação aumenta. Enquanto que o tempo em que a solução salina permanece sob circulação contínua durante o processo até atingir uma concentração na faixa de potabilidade, variou de forma decrescente para o sistema de escoamento tortuoso e crescente para o sistema de escoamento linear em função da vazão de alimentação.

SIMBOLOGIA

- A_e - Área efetiva (cm^2)
- C - Concentração da solução (ppm)
- C_a - Concentração de entrada do reator (ppm)
- C_i - Concentração da espécie i (mol/cm^3)
- C_o - Concentração inicial do reator (ppm)
- C_p - Concentração de potabilidade (450 ppm)
- C_s - Concentração do efluente do reator (ppm)
- D - Coeficiente de difusão do eletrólito (cm^2/s)
- D_i - Coeficiente de difusão da espécie i (cm^2/s)
- E - Consumo de energia (Kwh/m^3)
- f - Fração desmineralizada
- F - Constante de Faraday (Coulomb/eq-g)
- i - Corrente total do sistema (A)
- I_L - Corrente lida (A)
- J - Densidade de corrente (mA/cm^2)
- K - Condutividade lida a temperatura ambiente (mS/cm)
- κ - Condutividade elétrica (mho/cm)
- n - Número de pares de célula
- N_i - Fluxo iônico da espécie i ($\text{mol}/\text{cm}^2.\text{s}$)
- Q - Vazão de alimentação (l/h)
- R - Constante dos gases ideais ($8,314 \text{ J}/\text{mol.K}$)
- R_c - Resistência ohmica da célula concentrada (Ω)
- R_D - Resistência ohmica da célula diluída (Ω)
- R_{MA} - Resistência ohmica da membrana aniônica (Ω)
- R_{MC} - Resistência ohmica da membrana catiônica (Ω)
- R_p - Resistência ohmica no par de célula (Ω)

R_s - Resistência ôhmica oferecida pela camada limite na superfície da membrana (Ω)

t_p - Tempo de potabilidade (min.)

T - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

T_a - Temperatura absoluta (K)

u_i - Mobilidade iônica ($\text{mol}\cdot\text{cm}^2/\text{J}\cdot\text{s}$)

v - Velocidade de escoamento (cm/s)

V - Tensão aplicada ao reator (V)

z_i - Valência da espécie i

Letras gregas

α - Coeficiente angular (Equação 3.1)

β - Coeficiente linear (Equação 3.1)

ΔC_x - Diferença entre C_a e C_s (ppm)

ε - Eficiência de corrente

λ_i - Condutância iônica da espécie i ($\text{cm}^2/\text{ohm}\cdot\text{eq}\cdot\text{g}$)

INDICE

Resumo

Abstract

Simbologia

Capítulo I	- Introdução	1
Capítulo II	- Fundamento Teórico	3
2.1	- Sistema Eletrodialítico	5
2.2	- Membranas Eletrodialíticas	6
2.3	- Eficiência de Corrente	8
2.4	- Eletrodos	9
2.5	- Resistência Ohmica	11
2.6	- Consumo de Energia	12
2.7	- Concentração de Polarização	14
2.8	- Espaçadores	17
2.9	- Fração de Desmineralização	19
2.10	- Densidade de Corrente	19
Capítulo III	- Material e Método	21
3.1	- Materiais Utilizados	21
3.1.1	- Produtos químicos	21
3.1.2	- Solução para estudo	21
3.2	- Sistema Eletrodialítico	21
3.2.1	- Fonte de Alimentação	21
3.2.2	- Reator de Degaseificação	21
3.2.3	- Sistema Hidráulico	22
3.2.4	- Equipamento para Registro de Dados	22
3.2.5	- Reator Eletrodialítico	22
3.3	- Metodologia	24
3.3.1	- Fluxo de Alimentação	24

3.3.2 - Fluxo de Lavagem dos Eletrodos	24
3.3.3 - Processo de Dessalinização.....	25
3.3.4 - Levantamento dos Dados Experimentais	26
3.3.5 - Conversão de Condutividade para Concentração	27
3.3.6 - Curva de Calibração dos Rotômetros	27
3.3.7 - Resistência Ohmica	28
3.3.8 - Densidade de Corrente	28
3.3.9 - Fração de Desmineralização	29
3.3.10- Consumo de Energia	29
Capítulo IV - Resultados e Discussões.....	30
4.1 - Sistema de Fluxo Tortuoso com 20 pares de membranas	30
4.2 - Sistema de Fluxo Tortuoso com 10 pares de membranas	35
4.3 - Sistema de Fluxo Linear com 10 pares de membranas	40
4.4 - Estudo Comparativo dos Sistemas através do tempo de potabilidade	40
4.5 - Resistência Ohmica e Densidade de Corrente	48
4.5.1 - Resistência Ohmica versus o inverso da Corrente	50
4.6 - Eficiência de Corrente e a Diferença de Concentração de entrada e saída do reator.....	64
4.7 - Variação do pH	74
4.8 - Consumo de Energia	77
Capítulo V - Conclusões	87
Capítulo VI - Perspectivas.....	89

Capítulo VII	- Referências bibliográficas.....	90
Apêndice 1	- Lista de figuras.....	94
Apêndice 2	- Lista de tabelas.....	104
Apêndice 3	- Tabelas	113

CAPÍTULO I

1.0 - Introdução

A água além de apresentar-se como um dos produtos de maior quantidade, é considerada um dos produtos mais nobres do nosso planeta. Cerca de três quartos da superfície do globo terrestre são cobertos pelos oceanos. Vista de longe, a terra é pura água. Mas não é água totalmente pura. Tem-se uma estimativa de cerca de 1400 milhões de Km^3 de água existentes no planeta. Mais de 97% das águas do planeta é de mares com um volume estimado em 1370 milhões de Km^3 que não serve para o consumo humano nem para o uso industrial. A água potável mais pura da natureza se encontra nas calotas polares e nas geleiras, que armazenam cerca de 2% da água existente no planeta, as quais são de difíceis acessos por se encontrarem a longa distância e numa região bastante fria. Lençóis subterrâneos guardam o 1% restante, sendo este, a água que está a disposição para ser utilizada. Naturalmente estas águas com o decorrer do tempo, dissolvem quantidades pequenas de sais minerais que oferecem características definidas tais como a dureza. Estas águas por estarem muito tempo no subsolo raramente precisam de tratamento biológico, tendo em vista que as bactérias nocivas não conseguem sobreviver. No entanto, uma grande parcela dessas águas possuem características bastantes salinas, tornando-se impróprias para o consumo humano[Price,1991] e [Arnt,1995].

Tendo em vista a grande carência de água potável na região do Nordeste, o laboratório de dessalinização da Universidade Federal da Paraíba, vem desenvolvendo alguns protótipos para a dessalinização de águas salobras, cujas concentrações são impróprias

para o consumo humano, animal e para a irrigação. O primeiro protótipo desenvolvido[Vilar,1989], pelo processo de eletrodialise, apresentou um escoamento linear no interior do reator. O segundo protótipo [Farias Neto,1992] apresentou modificações nos compartimentos de lavagem dos eletrodos, no tipo de espaçador e no percurso de escoamento de água no interior do reator, apresentando um caminho de escoamento do tipo serpentina ao longo do reator.

Na presente pesquisa desenvolveu-se um terceiro protótipo no qual utilizou-se de dois tipos de escoamento no interior do reator: o primeiro tortuoso e o segundo um escoamento do tipo linear. Os espaçadores ficam adjacentes a superfície das membranas, com objetivo de separar as membranas e direcionar as linhas de escoamento no interior do reator e conseqüentemente promover um regime turbulento. O sistema de escoamento tortuoso foi estudado com o auxílio de espaçadores provenientes da IONICS INCORPORATED U.S.A. e os espaçadores do tipo linear foram construídos no âmbito do laboratório de dessalinização do Departamento de Engenharia Química da UFPB. Estes sistemas foram avaliados comparando os seguintes parâmetros eletroquímicos: potencial elétrico, densidade de corrente, resistência ôhmica, consumo de energia e o tempo em que a solução salina permanece sob circulação contínua para atingir uma concentração na faixa de potabilidade, o qual denomina-se de tempo de potabilidade.

CAPÍTULO II

2.0 - Fundamento Teórico

A eletrodialise é um processo de separação de massa em que íons são removidos de uma solução salina através de membranas semipermeáveis, quando se aplica um determinado campo elétrico por intermédio de uma fonte geradora de tensão [Applegate, 1984].

A eletrodialise tem sido usada amplamente nos dias na dessalinização de águas salobras, na remoção de constituintes minerais, na lavagem de emulsões fotográficas, na desmineralização do soro do leite, bem como na produção de água potável [Bauer, 1990], no tratamento de águas residuais contendo 1000 a 5000 ppm (partes por milhão) de sais inorgânicos [Birkett, 1977]. Com o estímulo no desenvolvimento de novas membranas com melhor seletividade, baixa resistência elétrica, melhores propriedades químicas e mecânicas, a eletrodialise teve um grande desenvolvimento, sendo usada nas indústrias de alimentos e de medicamentos [Strathmann, 1992], bem como na separação do ácido nítrico do ácido sulfúrico [Andrés, et alii, 1994].

Através da eletrodialise pode-se realizar separações úteis em virtude das diferenças de mobilidade dos íons, moléculas ou partículas quando submetidos a um campo elétrico. Segundo [Perry & Green, 1984], nas soluções eletrolíticas, a migração de espécies carregadas em um campo elétrico, constitui um mecanismo adicional ao transporte de massa. O fluxo de uma espécie iônica N_i em $\text{mol/cm}^2\text{s}$ é dado por:

$$N_i = -z_i u_i F c_i \nabla E - D_i \nabla c_i + c_i v \quad (2.1)$$

Onde:

u_i - é a mobilidade iônica, ou seja, é a velocidade média das partículas sob a ação de um campo elétrico unitário.

F - é a Constante de Faraday em Coulomb/equiv-grama.

v - é a velocidade do escoamento em cm/s.

∇E - é o gradiente do campo elétrico de E em Volt/cm.

c_i - é a concentração em mol/cm³.

z_i - é a valência da espécie iônica.

$z_i u_i F c_i \nabla E$ - é o termo que representa o fluxo sob a ação do campo elétrico.

$D_i \nabla c_i$ - corresponde ao fluxo difusivo.

$c_i v$ - corresponde ao fluxo convectivo.

D_i - é o coeficiente de difusão do íon i em cm²/s

Os termos da difusão e da convecção na Equação (2.1) são os mesmos para a transferência de massa para os não-eletrólitos. A mobilidade iônica u_i (mol cm² / J s) pode ser relacionada com o coeficiente de difusão do íon D_i (cm²/s) e com a condutância iônica da espécie i , λ_i (cm²/ohm equiv-grama) pela seguinte equação:

$$u_i = \frac{D_i}{R T} = \frac{\lambda_i}{|z_i| F^2} \quad (2.2)$$

Onde:

T - representa a temperatura absoluta (K).

R - é a constante dos gases ideais (8,314 J/mol K).

Quando na solução existe apenas uma espécie aniônica e outra catiônica, o campo elétrico é eliminado mediante a eletroneutralidade e o coeficiente de difusão D do eletrólito é dado por:

$$D = \frac{z_+ u_+ D_- - z_- u_- D_+}{z_+ u_+ - z_- u_-} \quad (2.3)$$

que representa a relação entre os coeficientes de difusão entre os dois íons.

2.1 - Sistema Eletrodialítico

O reator eletrodialítico é constituído por um conjunto de membranas aniônicas e catiônicas dispostas de forma alternada, sendo então separadas umas das outras por espaçadores. Nas extremidades direita e esquerda do reator são colocados eletrodos de titânio platinizado.

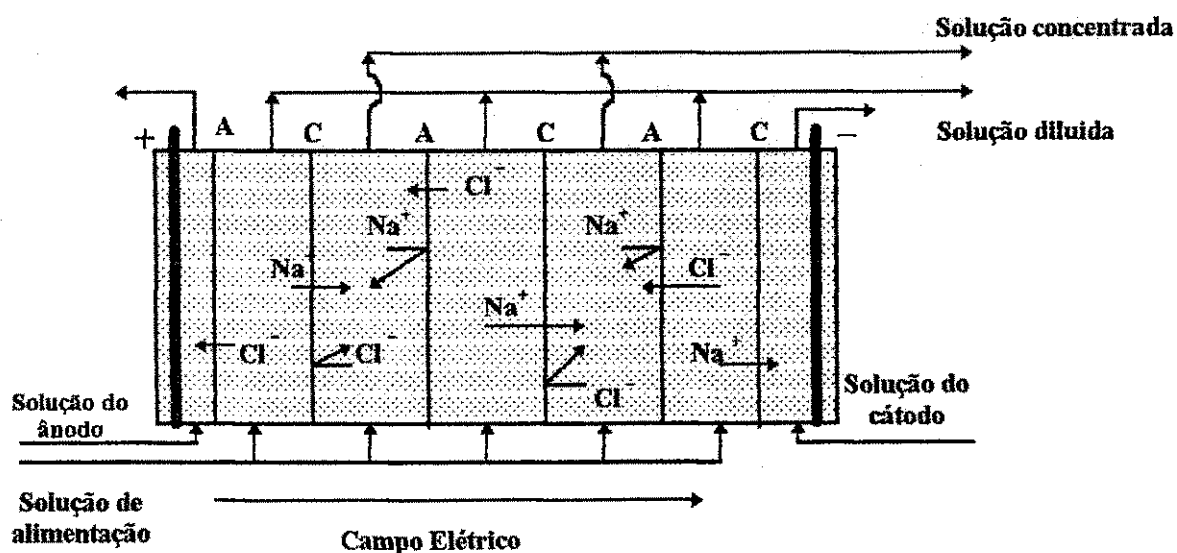


Figura 2.1 - Sistema eletrodialítico convencional

Quando a solução salina é bombeada para o reator com um potencial elétrico já estabelecido entre o anodo e o catodo,

os íons carregados positivamente (cátions) migram em direção ao Catodo, passando apenas por membranas seletivas aos cátions. Da mesma forma os íons carregados negativamente (ânions), passam através das membranas aniônicas, ou seja, seletivas aos ânions. O resultado global é um aumento na concentração dos íons em compartimentos alternados, enquanto outros compartimentos tornam-se pobres em íons, resultando na formação de duas correntes: uma diluída e outra concentrada [Strathmann, 1992].

O sistema eletrodialítico é constituído também por dois tanques onde a água é armazenada durante a dessalinização [Farias Neto, 1992].

2.2 - Membranas Eletrodialíticas

As membranas seletivas são a parte mais sensíveis do sistema eletrodialítico e que requerem cuidados especiais. Durante a segunda guerra mundial, trabalhos sobre a tecnologia de troca iônica conduziram ao desenvolvimento de membranas mais duráveis e de alta capacidade sintética de troca iônica, o qual permitiu um grande avanço nos processos eletrodialíticos [Applegate, 1984].

Segundo [Strathmann, 1992] as membranas de troca iônica são resinas de troca iônica na forma de filme. Existem dois diferentes tipos de membranas de troca iônica:

(1) Membrana de troca catiônica que contém grupos de cargas negativas fixadas à matriz polimérica.

(2) Membranas de troca aniônica que contém grupos de cargas positivas fixadas à matriz polimérica.

As membranas seletivas aos cátions tem a sua matriz geralmente feita de poliestireno de cadeia cruzada que é sulfonada

com grupos sulfônicos ($-\text{SO}^-...$) presos ao polímero. As membranas aniônicas são de poliestireno de cadeia cruzada contendo grupos de amônia quaternária ($-\text{NR}^+...$) presos ao polímero [Bauer, 1990].

As membranas são semelhantes a folhas planas contendo cerca de 30 a 50% de água, com poros tão pequenos que não permitem significativas passagens da água, mas apenas permitem a passagem dos íons.

Para que a neutralidade elétrica seja mantida, cada um dos grupos fixados nas membranas deve ser associado com um íon de carga oposta, ou seja, o contra-íon. Isto permite que o contra-íon possa mover-se livremente passando de um lado para outro através da membrana, enquanto que íons de mesma carga que os grupos fixados nas membranas, ou seja, os co-íons, sejam impedidos de passarem pela membrana [Applegate, 1984].

Para satisfazer as condições de operação na eletrodialise as membranas seletivas aos íons devem satisfazer a determinadas propriedades, tais como:

(1) Alta permeseletividade: A membrana deve ser altamente permeável para o contra-íon, mas ser impermeável ao co-íon.

(2) Baixa resistência elétrica: A passagem do contra-íon sob as condições do gradiente do potencial elétrico é tão alto quanto possível.

(3) Alta estabilidade química: Deve ser estável na faixa de pH de 0 a 14, bem como na presença de agentes oxidantes [Strathmann, 1992].

(4) Resistência à oxidação: Deve ser bastante resistente, principalmente para as membranas próximas ao eletrodo [Shaffer & Mintz, 1966].

2.3. Eficiência de Corrente

A eficiência de corrente (ε) é definida como sendo a fração de corrente que passa através de um par de célula proveniente da transferência de íons do compartimento diluído para o concentrado.

A expressão que define a eficiência de corrente é dada como sendo [Shah & Scamehorn, 1987]:

$$\varepsilon = \frac{F Q \Delta c_x}{I_L n} \quad (2.4)$$

Onde:

ε - é a eficiência de corrente.

F - a constante de Faraday.

Q - a vazão do diluído em l/h.

Δc_x - a variação da concentração da alimentação e da saída do reator em ppm.

I_L - a corrente lida em Ampere.

n - o número de pares de célula.

O par de célula é uma unidade básica do sistema que consiste de uma membrana catiônica e outra aniônica e dois compartimentos em que a solução torna-se mais concentrada e mais diluída, respectivamente.

Conforme [Applegate, 1984], a eficiência de corrente é sempre menor do que 100% devido aos seguintes fatores:

(1) As membranas não são perfeitamente semipermeáveis, uma vez que os co-íons, que possuem a mesma carga dos grupos fixados na membrana, não são rejeitados completamente,

principalmente quando a alimentação do sistema possui altas taxas de concentração.

(2) Parte da água é transferida através da membrana por fluxo osmótico.

(3) Parte da corrente elétrica flui através do reator ocasionando perdas.

O trabalho realizado por [Shah & Scamehorn, 1987] mostrou que a eficiência de corrente, na remoção do cloreto de sódio, quando a concentração da alimentação é muito diluída, apresentou valores um pouco maiores do que 100%. Isto ocorreu devido ao fato de que os íons transportados através da membrana não ocorreu apenas devido às forças elétricas ou por difusão, mas também devido ao transporte convectivo proveniente do fluxo convectivo da solução fluindo através dos poros das membranas. Uma vez que tanto o contra-íon quanto o co-íon são transportados por este mecanismo, o eletrólito é transferido do compartimento diluído para o concentrado sem a contribuição da corrente.

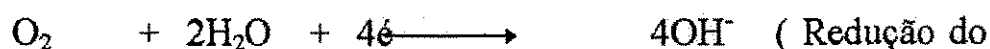
2.4 - Eletrodos

A distribuição da corrente elétrica sobre a área ativa das células eletrodialíticas é realizada pelos eletrodos colocados nas extremidades do reator. A área efetiva da membrana está relacionada com a área disponível do eletrodo, ou seja ambas devem possuir a mesma área. Normalmente os eletrodos são de metal liso ou flocos de carbono. Entre cada eletrodo e a primeira membrana há a formação de um compartimento, que denomina-se como compartimento eletródico ou de lavagem. Onde durante o processo da eletrodialise uma solução de ácido sulfúrico passa através de um processo contínuo, com o

objetivo de carrear os íons que possam atravessar as membranas e os gases formados [Howe, 1974]. A referida solução de lavagem com pH acidificado 1,5 a 2,0 [Shah & Scamehorn, 1987] é também usada para evitar a formação de bases como o $Mg(OH)_2$ no compartimento catódico, bem como a precipitação de carbonatos insolúveis como $CaCO_3$ [Applegate, 1984].

A força eletromotriz para a eletrodialise é um gradiente de potencial elétrico. O uso de determinados materiais para o eletrodo é importante pois estes são expostos à condições corrosivas.

No catodo, os elétrons são transferidos do circuito externo de íons na solução por uma ou mais das seguintes reações:

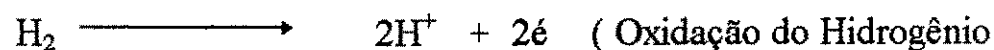
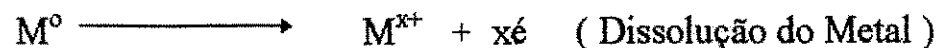


Oxigênio gasoso)

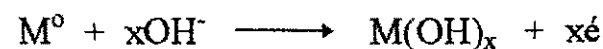
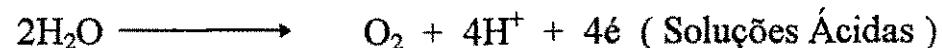


Básicas)

A última reação é a mais comum na eletrodialise, portanto os eletrodos devem ser estáveis na presença de base e de hidrogênio. No anodo, os elétrons são também transferidos do circuito externo pelas seguintes reações:



gasoso)



A oxidação ou a dissolução do eletrodo destrói o mesmo rapidamente ou reduz a sua eficiência. A platina é muito boa para ser usada como anodo. Outros tipos de materiais que podem ser usados são o titânio ou tântalo com uma película de platina sobre a superfície do metal [LACEY,1979].

2.5 - Resistência Ohmica

A resistência de um par de célula é devida basicamente à resistência da solução salina e à resistência das membranas. A resistência da membrana é uma função da natureza dos íons envolvidos, da concentração média desses íons na solução próximos da membrana, bem como da temperatura do sistema [Winger, et alii, 1955].

A resistência ohmica do reator eletrodialítico é mostrada como sendo:

$$R_p = R_{MC} + R_{MA} + R_C + R_D + R_s \quad (2.5)$$

Onde:

R_{MC} - é a resistência da membrana catiônica.

R_{MA} - é a resistência da membrana aniônica.

R_D - é a resistência da célula diluída.

R_C - é a resistência da célula concentrada.

R_s - é a resistência oferecida pela camada limite na superfície da membrana [Shaffer & Mintz, 1966].

A resistência das membranas varia com a concentração das soluções com as quais estão em contato [Howe, 1974]. A resistência total do sistema, entretanto, de forma simplificada, é dada pela seguinte expressão:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.6)$$

Onde:

V - é a tensão aplicada aos eletrodos.

I - a corrente total do sistema dada por $I = I_L \cdot n$

I_L - a corrente lida.

n - o número de pares de células.

Tendo em vista que o compartimento diluído é um grande contribuidor para a resistência total do sistema, a resistência diminui com o aumento da concentração do eletrólito no compartimento diluído [Shah & Scamehorn, 1987].

2.6 - Consumo de Energia

A energia requerida em um processo eletrodialítico é o resultado basicamente da adição de dois termos principais:

(1) Energia elétrica necessária para transferir os componentes iônicos de uma solução, através da membrana, para outra solução no lado oposto ao do primeiro.

(2) Energia necessária para bombear as soluções através da unidade eletrodialítica.

No entanto a energia requerida também depende de outros parâmetros, e em particular, da concentração da solução de alimentação e a tensão aplicada em função do número de pares de membranas. Segundo [Strathmann, 1992] os itens (1) e (2) mencionados acima são tomados como os pontos mais relevantes para estimar os custos de energia global.

O consumo de energia prático médio referente ao processo de remoção de sais pela eletrodialise em KWh/m³ e é obtido através da seguinte equação [Perry & Green,1984].

$$E = \frac{I_L^2 R}{Q} \quad (2.7)$$

Onde:

E - é o consumo de energia prático médio(KWh/m³)

R - a resistência total do sistema (Ohm)

Q - a vazão do diluído (l/h)

I_L - a corrente lida (Amp.)

O consumo de energia está diretamente relacionado com a corrente elétrica total que flui através do sistema e com o potencial elétrico o qual está relacionado com a quantidade de ions removidos a partir de um certo volume de alimentação até atingir a concentração desejada. O cálculo da energia pode ser avaliado durante o processo através da Equação(2.8) [Strathmann 1981].

$$E = \frac{I_L n R t z F Q \Delta c_x}{\epsilon} \quad (2.8)$$

Onde:

E - é o consumo de energia na eletrodialise (Wh)

I_L - corrente lida em ampere.

t - tempo (min.).

Q - vazão de alimentação (l/h).

Δc_x - variação da concentração da alimentação e da saída do reator em mol/l.

F - Constante de Faraday (Amp.seg / mol).

R - resistência total do sistema (Ω).

ε - eficiência de corrente .

2.7 - Concentração de Polarização

A Figura 2.3 ilustra como o fenômeno da concentração de polarização pode ocorrer. O transporte de espécies carregadas para o anodo ou catodo através de um grupo de membranas trocadoras de íon gera um decréscimo na concentração do contra-íon na camada limite laminar na superfície da membrana na célula diluída e um aumento na superfície da membrana na célula concentrada. Esta tendência para concentração e decréscimo é referenciada como sendo a concentração de polarização [Strathmann, 1992].

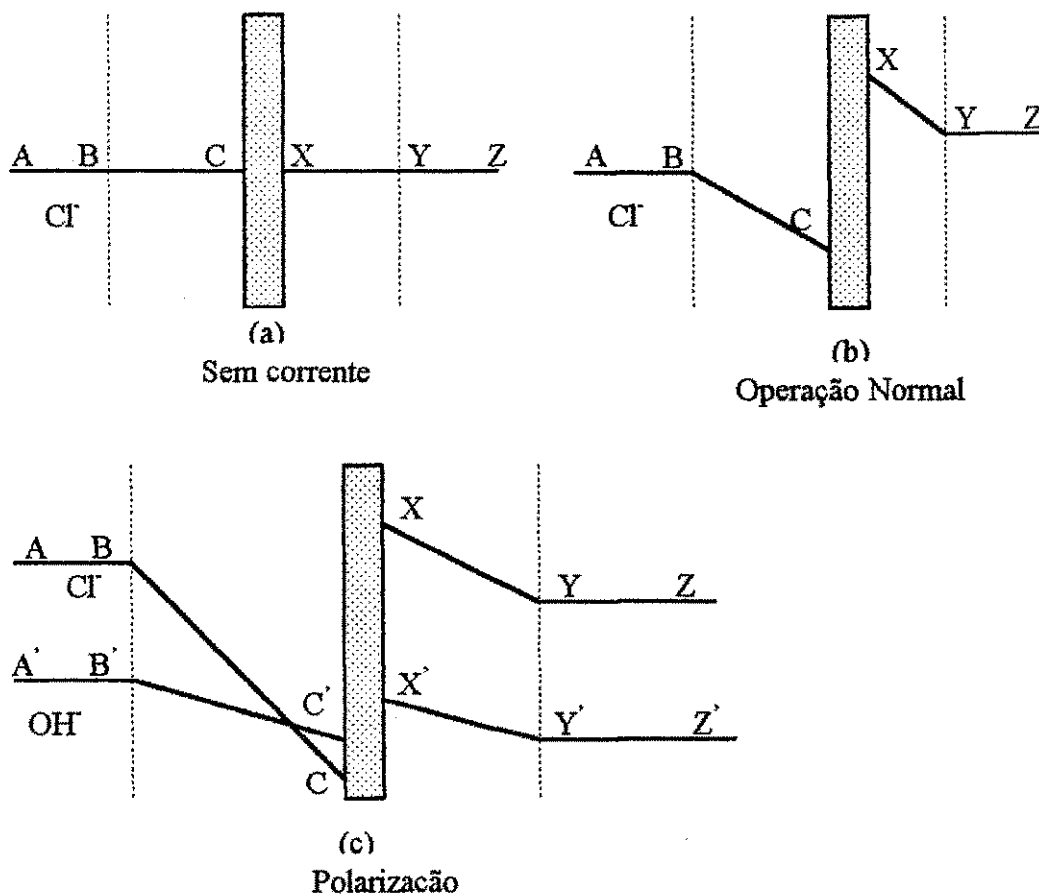


Figura 2.3- Representação do efeito da concentração de polarização

A Figura 2.3(a) representa um corte transversal em uma membrana seletiva aos ânions, onde a solução de cloreto de sódio flui através das células mas sem a presença da corrente elétrica. As linhas ABC e XYZ representam a concentração de cloro nas duas células.

Quando uma diferença de potencial é aplicada, os íons cloro iniciam o movimento da esquerda para a direita, através da solução e da membrana. Devido à seletividade da membrana, o escoamento de íons de cloro na membrana é momentaneamente maior do que na solução. Como resultado a solução na face da membrana (C) diminui a concentração dos íons de cloro. Um gradiente de concentração é então gerado entre os pontos (B) e (C), enquanto que do lado esquerdo do ponto B, existe uma tendência de formar um gradiente de concentração na região de turbulência que é formada entre o espessador e a membrana. A região XY torna-se enriquecida em íons Cl^- , enquanto que no seio da solução na região Y a Z não apresenta variações. As regiões BC e XY representam o filme de Nernst sobre a superfície da membrana.

Neste sistema há três métodos de transporte envolvidos. Na região turbulenta AB e YZ, os íons são transportados para o filme de Nernst e a partir do mesmo por convecção para as membranas, os íons migram unicamente sob a influência da diferença de potencial aplicada; enquanto nos filmes BC e XY o transporte dos íons ocorre pela ação combinada da difusão e da migração.

A inclinação do gráfico de concentração através de BC, entretanto, caracteriza a taxa com que os íons cloro atravessam o filme estagnado. Se a diferença de potencial aplicada aumentar, o transporte de íons também aumentará e a concentração no ponto C pode fracassar no fornecimento da força motora, como pode ser observado

A condição limite é encontrada quando o potencial aplicado é aumentado para um valor tal que a concentração do íon cloro na água no ponto C cai a zero. Claro que isto é uma condição máxima além do que outros fenômenos passam a existir.

Quando estes pontos limites são encontrados um grupo novo de reações são observados, os quais são mostradas na Figura 2.3 (c).

No início ignora-se a presença de OH^- cuja concentração era tão baixa que não contribuía significativamente com o número total de íons transportados. Entretanto, como a concentração do íon Cl^- no ponto C aproxima-se de concentrações muito baixas, a presença de OH^- torna-se significativa. Diferente do íon cloro, a concentração da hidroxila no ponto C depende da dissociação da água e não de algum fenômeno de transporte, uma vez que esta concentração não chega a zero, mesmo com o aumento do potencial aplicado.

Ao chegar no potencial limite, há um aumento significativo de íons OH^- passando através da membrana aniônica que pode ser observado pela mudança de alguns parâmetros tais como:

- (1) A resistência da célula aumenta.
- (2) O pH do diluído cai e o pH do concentrado aumenta.
- (3) A eficiência de corrente também diminui [Solt, 1971].

Se aumentarmos o potencial aplicado haverá também o crescimento da densidade de corrente para um valor limite. Com este aumento na densidade de corrente os íons H^+ e OH^- , fornecidos pela dissociação da molécula da água, são também responsáveis pela condução elétrica que é ineficiente para o processo de dessalinização. Baixas concentrações no filme representam altas resistências elétricas e variações de pH na interface são bastante elevadas, permitindo que

Componentes presentes na solução sensíveis ao pH possam precipitar, ocasionando incrustações nas membranas [Rosemberg & Tirrell, 1957].

A densidade de corrente em cujos efeitos de polarização tornam-se significativos na eletrodialise é referenciado como sendo a densidade de corrente limite [Manson & Kirkham, 1959].

Conforme os experimentos realizados por [Cowan & Brown, 1959] a densidade de corrente limite gerada pelos efeitos de polarização foi determinada experimentalmente através da curva obtida quando se plota V_p/I contra $1/I$, onde V_p é a tensão em um par de célula, conforme a Figura 2.4.

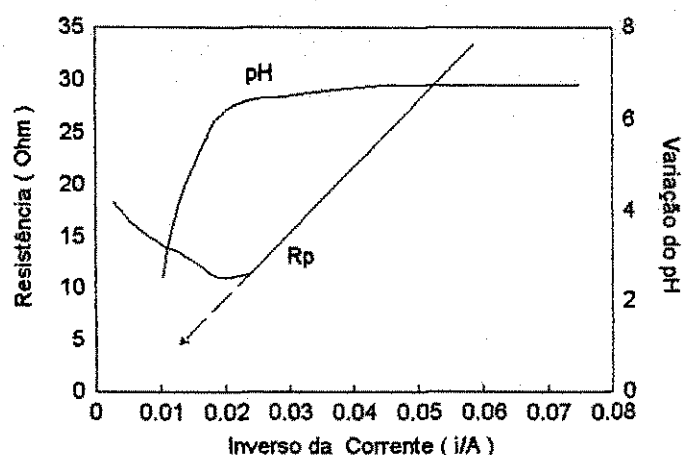


Figura 2.4 - Diagrama esquemático da determinação da corrente limite

O ponto no qual a inclinação negativa da Figura 2.2 corta a inclinação positiva quando continua a decrescer é chamado de densidade de corrente limite.

2.8 - Espaçadores

Os filmes das membranas são separadas umas das outras por espaçadores. A distância entre as membranas e a espessura da

célula precisam ser tão pequenas quanto possível, para minimizar os efeitos da resistência elétrica. Os espaçadores mantêm a forma da membrana, controlam a distribuição do escoamento da solução no reator e minimizam a espessura da camada limite (o qual, por sua vez, limita o efeito da concentração de polarização), conforme a figura abaixo.

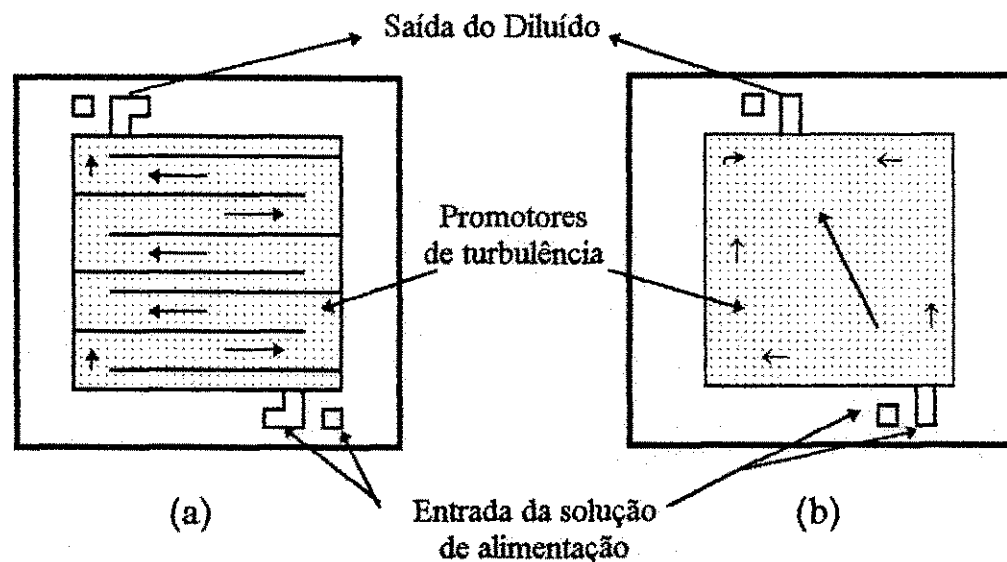


Figura 2.2 - Diagrama esquemático dos espaçadores: (a) Sistema de escoamento tortuoso e (b) Sistema de escoamento linear.

Canais internos distribuem a alimentação para os próprios compartimentos e removem o fluxo do produto e do concentrado [Applegate, 1984].

Segundo [Howe, 1974] há dois modelos de espaçadores por onde a solução pode fluir pela superfície da membrana:

- (1) O de escoamento linear ou "flow sheet".
- (2) O de escoamento tortuoso.

Nos espaçadores de escoamento tortuoso a solução percola pela membrana na forma de labirinto. A solução toma várias curvas de 180° entre a entrada e a saída localizadas em pontos

opostos ou no centro. Estes espaçadores possuem tiras cruzadas nos canais de escoamento que promovem a turbulência.

Nos espaçadores de escoamento linear ou "flow sheet", uma rede plástica ou tela promove a turbulência. A solução escoar em uma linha reta relativa a partir da entrada até a saída, que estão localizadas em lados opostos [Applegate, 1984].

Os espaçadores que favorecem ao escoamento tortuoso operam na faixa de velocidade entre 0,1 a 0,5 m/s, enquanto que os espaçadores onde o escoamento é linear operam com velocidade entre 0,05 a 0,1 m/s [Leitz & Eisenman, 1981].

2.9 - Fração de Desmineralização

Segundo [Manson & Kirkham, 1959] a fração de desmineralização (f) quantifica a fração do eletrólito que é transferido dos compartimentos diluídos para os compartimentos concentrados, definido pela Equação 2.9.

$$f = 1 - \frac{C_s}{C_o} \quad (2.9)$$

Onde:

C_o - é a concentração inicial do reator em ppm.

C_s - é a concentração do efluente do reator medido na célula em ppm.

2.10 - Densidade de Corrente

A densidade de corrente J (A/cm^2) provocada pelo movimento das espécies carregadas no decorrer da dessalinização é igual à soma das parcelas, dadas pela Equação 2.10, para todas as espécies iônicas:

$$J = F \sum_i z_i N_i = -k \nabla E - F \sum_i z_i D_i \nabla c_i + F v \sum_i z_i c_i \quad (2.10)$$

Onde a condutividade elétrica k é dada em mho/cm como sendo:

$$k = F^2 \sum_i z_i^2 u_i c_i \quad (2.11)$$

Nas soluções de composição homogênea, os dois últimos termos que representam as contribuições pelo efeito da difusão e da convecção desaparecem, reduzindo a Equação (2.10) à Lei de Ohm [Perry & Green, 1984].

Os dados sobre a densidade de corrente J (mA/cm²) são fornecidos através da Equação 2.12:

$$J = \frac{I_L}{A_e} \quad (2.12)$$

Onde I_L é a corrente lida durante a dessalinização e A_e é a área efetiva da membrana.

CAPÍTULO III

3.0 - Material e Método

3.1 - Materiais Utilizados

3.1.1 - Produtos Químicos

* Cloreto de Sódio (NaCl) P.A. da MERCK

* Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) P.A. da REAGEN

3.1.2 - Água Para Estudo

* Solução salina preparada com cloreto de sódio e água destilada nas concentrações 1000 e 2000 ppm.

3.2 - Sistema Eletrodialítico

O sistema é constituído pelas seguintes unidades: fonte de alimentação, reator de degaseificação, sistema hidráulico, equipamentos para registro de dados e o reator eletrodialítico.

3.2.1 - Fonte de Alimentação

É uma fonte retificadora chaveada modelo FA-5000 da ITAVOLT, com ajuste de tensão de 0 a 110 volts, juntamente com um amperímetro com faixa de leitura de 0 a 10 amperes.

3.2.2 - Reator de Degaseificação

Este reator é construído de PVC na forma cilíndrica com 32,5 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro, possuindo no seu interior um recheio tipo sela, com o propósito de eliminar os gases de cloro e hidrogênio que são formados nos compartimentos anódico e catódico.

3.2.3 - Sistema Hidráulico

No sistema hidráulico apresenta duas bombas centrífugas de 1/20 Hp modelo 1.5 (SULPLASTIC) conectadas a dois tanques reservatórios, cada um deles com capacidade volumétrica de 10 litros. Uma bomba centrífuga de 1/200 Hp modelo 1A-Md (NEWPUMPS) conectada ao tanque de lavagem dos eletrodos com capacidade para 5 litros.

O sistema ainda é constituído por válvulas de passagem DECA 1/2" (1/2 polegada), tubos e conexões em PVC de 1/2" (1/2 polegada), tubos plásticos e tubos em látex.

3.2.4 - Equipamentos para Registro de Dados

Através de uma célula de leitura localizada na saída do reator a variação de concentração da solução foi observada em função do tempo com o auxílio de um condutivímetro modelo CD-21 da DIGIMED, como também a concentração da solução no tanque de alimentação (diluído) por um outro condutivímetro do tipo OK-102/1 da MIT-EXACTA S/A. Para medir a variação do pH do produto foi utilizado um medidor de pH modelo DPMH-2 da DIGIMED.

Para o registro da tensão aplicada ao sistema eletrodialítico, bem como da leitura da corrente, foram utilizados dois multitestes: o primeiro de modelo 320-XB da SANWA e o segundo digital modelo DM-9090 da HOMIS.

3.2.5 - Reator Eletrodialítico

O reator eletrodialítico foi construído inicialmente com 20 pares de membranas (aniônica e catiônica) e em seguida com 10 pares de membranas.

Tabela 3.1 - Características das membranas utilizadas (ASAHI CHEMICAL CO.)

Características	Membranas	
	Catiônica	Aniônica
Grupo Iônico	Ácido Sulfônico Quaternário	Amônio
Capacidade de transferência Iônica (meq-g de memb. seca)	1.8 - 2.0	1.4 - 1.6
Resistência Elétrica(ohm.cm ²)	1.8 - 2.3	3.6 - 4.2
Número de Transporte	> 0.99	> 0.99
Tensão de Ruptura(Kgf/mm ²)	2.5 - 3.4	2.6 - 3.8
Espessura (mm)	0.21 - 0.23	0.22 - 0.24

As membranas eletrodialíticas são dispostas de forma alternada, separadas umas das outras por espaçadores. O espaçador utilizado nas duas primeiras séries de levantamento de dados, com 20 e 10 pares de membranas foi proveniente da IONICS INCORPORATED U.S.A., apresentando um caminho de escoamento tortuoso adjacente à superfície da membrana, com área efetiva de 200 cm². Na terceira etapa, usando um reator com 10 pares de membranas, foi utilizado um espaçador onde o escoamento se processa de forma não tortuosa (flow sheet), ou linear, apresentando uma área efetiva de 330 cm², na forma de uma malha de polietileno, cujos orifícios, que promovem o percurso do escoamento, são na forma de elipses. Este último espaçador foi concebido no laboratório de dessalinização da UFPB (Universidade Federal da Paraíba).

Nas extremidades do conjunto de membranas e espaçadores há os compartimentos de lavagem dos eletrodos. Os eletrodos utilizados foram de titânio platinizado com espessura de 1mm, tanto para o catodo quanto para o anodo, cujas as dimensões

são as seguintes: (19x17.5 cm). Os eletrodos são colados a uma placa de PVC e todo o conjunto é preso por parafusos de bronze rosqueados, assemelhando-se a um filtro prensa.

3.3 - Metodologia

3.3.1 - Fluxo de Alimentação

Na alimentação do reator eletrodialítico o modelo de fluxo utilizado foi o M1 [Farias Neto, 1992]. Este sistema apresenta uma recirculação contínua a partir dos tanque diluídos e concentrados, através de escoamentos independentes. A recirculação durante o processo de dessalinização é muito importante pois mantém a homogenização do sistema. Para realizar esta recirculação utilizou-se de "By pass" em cada tanque, como mostra a Figura 3.1.

Cada tanque têm a capacidade de armazenar 7 litros de solução a ser dessalinizada.

3.3.2 - Fluxo de Lavagem dos Eletrodos

Ao iniciarmos cada experimento, uma solução de Ácido Sulfúrico (10^{-3} M), era recirculada pelo compartimento de lavagem dos eletrodos com o propósito de manter o pH na faixa de 1.5 a 2.0 [Shah & Scamehorn, 1987], evitando assim, a precipitação de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Hidróxido de Magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) no catodo [Applegate, 1984], além de suprir íons de hidrogênio para a redução com o gás hidrogênio evitando a decomposição eletrolítica da água [Howe, 1974]. A vazão utilizada na recirculação da solução de lavagem dos eletrodos foi de 1.2 l/min.

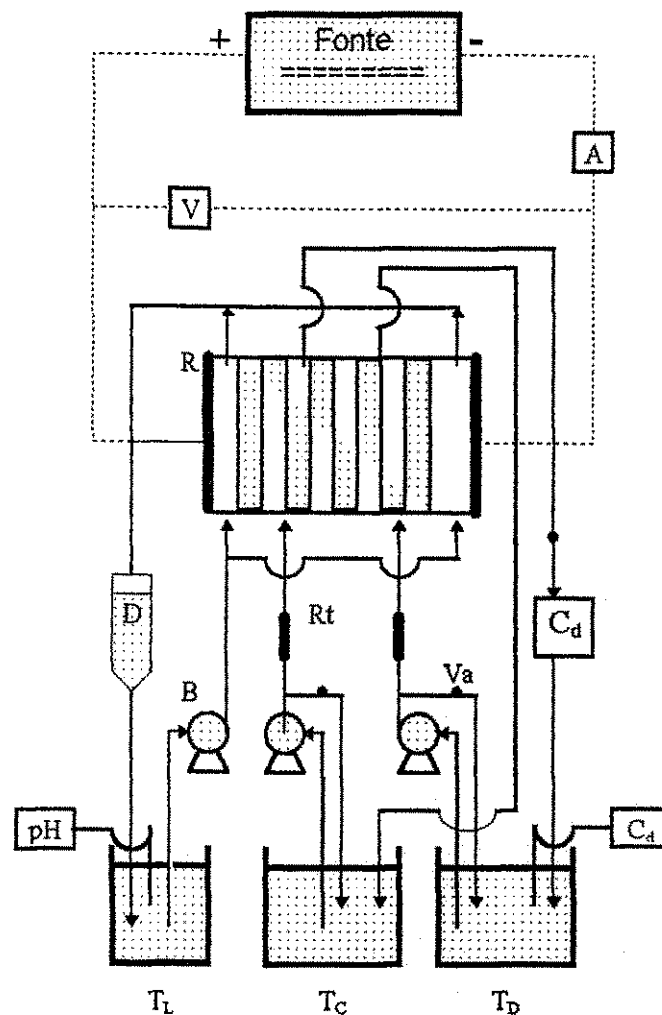


Figura 3.1 - Sistema eletrodialítico utilizado com as seguintes unidades: Fonte elétrica, R - reator eletrodialítico, T_C - tanque concentrado, T_D - tanque diluído, T_L - tanque de lavagem, D - degaseificador, Rt - rotâmetros, A - amperímetro, V - voltímetro, C_d - condutímetro, pH - pHmetro, B - bombas centrífugas, Va - válvula de esfera.

3.3.3 - Processo de Dessalinização

Antes de iniciar o processo de dessalinização da solução de cloreto de sódio no sistema eletrodialítico, esta solução foi posta em recirculação contínua sem a presença do potencial elétrico durante o período de 15 minutos, com o objetivo de manter a homogeneização da solução em termos de condutividade e de vazão de alimentação. Após

observado o equilíbrio de concentração o potencial elétrico é adicionado ao reator. Com o auxílio das membranas eletrodialíticas seletivas a cátions (catiônica) e a ânions (aniônica), haverá no interior do reator eletrodialítico a formação de escoamentos de concentração diferentes que, ao saírem do reator, geram duas correntes: uma corrente denominada de diluída e outra corrente denominada de concentrada, que são armazenadas respectivamente no tanque diluído e no tanque concentrado. Com o auxílio de um cronômetro para a verificação do tempo, a concentração iônica das correntes (diluída e concentrada) é registrada periodicamente. Nos primeiros 2 minutos a cada 15 segundos. A partir dos 2 minutos até os 10 minutos a cada 30 segundos e após os 10 minutos a cada 1 minuto.

3.3.4 - Levantamento dos Dados Experimentais

Durante a dessalinização foram feitas várias leituras de condutividade, de corrente aplicada ao reator eletrodialítico e do pH do diluído.

As leituras de condutividade foram feitas por um condutivímetro digital, cujo eletrodo foi imerso em uma célula posta imediatamente na saída do reator eletrodialítico, por onde a corrente de escoamento diluído passa antes de fluir para o tanque diluído.

Os dados sobre a corrente foram lidos através de um amperímetro digital colocado em série com a fonte geradora de tensão.

Para realizar o levantamento dos dados de pH no tanque diluído foram tomadas amostras da solução do referido tanque em tempos diferenciados, medindo-se o pH com o auxílio de um medidor de pH digital da DIGIMED.

O levantamento dos dados de condutividade e corrente foi feito em períodos diferentes durante a dessalinização, da seguinte

maneira: nos primeiros 3 minutos iniciais foram feitos a cada 15 segundos, entre os 3 e 10 minutos foram feitos a cada 30 segundos e finalmente a partir dos 10 minutos a cada 1 minuto.

3.3.5 - Conversão de Condutividade para Concentração

Para se obter a concentração da solução de cloreto de sódio na entrada e na saída do reator, tendo apenas o valor de sua condutividade em mS/cm, foi usada uma equação fornecida por [Faria Neto, 1992], a qual foi obtida pelas curvas de calibração dos condutivímetros utilizados, gerando a seguinte equação:

$$C = \alpha K^\beta \quad (3.1)$$

Onde os parâmetros α e β são características para cada condutivímetro utilizado, cujos valores são dados pela Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros da Equação 3.1

Condutivímetro	α	β
Digimed	484	1.066
Radelkis	467	1.081

3.3.6 - Curva de Calibração dos Rotômetros

Com o objetivo de se obter valores de vazão mais precisos foram feitas várias medidas de vazão. Os dois rotômetros eram zerados na mesma numeração enquanto que a solução fluindo pelo reator era recolhida em uma proveta graduada de 1000 mililitros, onde o tempo foi medido com o auxílio de um cronômetro. Para cada

numeração o procedimento foi realizado por 3 vezes, sendo então calculada uma média destas medidas, representando a vazão fornecida para uma dada numeração.

Este mesmo procedimento foi realizado tanto para o reator eletrodialítico com 20 pares de membranas, bem como para o reator com 10 pares de membranas, onde os resultados estão apresentados na Tabela 3.3, indicando uma semelhança de escoamento no interior do reator.

Tabela 3.3 - Parâmetros de Calibração dos Rotômetros

Reator com 10 e 20 pares de Membranas	
Numeração	Vazão (l/h)
3.0	14
6.0	27
9.0	38
12.0	54

3.3.7 - Resistência Ohmica

A resistência ohmica do reator foi determinada com o auxílio da Equação 2.6, conforme mencionado no item 2.5 do Capítulo 2 e cujos resultados encontram-se nas Tabelas 4.12 a 4.31.

3.3.8 - Densidade de Corrente

A densidade de corrente durante os experimentos foi determinada com o auxílio da Equação 2.12 descrita no item 2.10 do Capítulo 2. No entanto, para o cálculo da densidade de corrente, a área efetiva utilizada varia de acordo com os espaçadores utilizados.

Para o sistema com o conjunto de espaçadores tortuosos a área efetiva foi de 200 cm² enquanto para o sistema com espaçadores lineares a área efetiva foi de 330 cm².

3.3.9 - Fração de Desmineralização

A fração de desmineralização do efluente diluído na saída do reator eletrodialítico foi obtida com o uso da Equação 2.8 mencionada no item 2.9 do Capítulo 2 e cujos resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.12 a 4.31.

3.3.10 - Consumo de Energia

O consumo de energia prática médio(E) do reator eletrodialítico foi obtido através da Equação 2.7 no item 2.6 do Capítulo 2. Este consumo de energia foi calculado utilizando a média logarítmica da corrente até atingir a concentração de 500 ppm. Os dados referentes ao consumo de energia estão na Tabela 4.11.

O consumo de energia também foi calculado utilizando a Equação 2.8 com o propósito de mostrar a relação existente entre o consumo de energia, eficiência de corrente e a concentração de entrada no reator eletrodialítico, cujos resultados obtidos são encontrados na Tabela 4.50 a 4.62.

CAPÍTULO IV

4.0 - Resultados e Discussões:

Neste capítulo serão discutidos os resultados de dois sistemas assim como segue:

a - Sistema de escoamento tortuoso com 20 e 10 pares de membranas

b - Sistema de escoamento linear com 10 pares de membranas

4.1 - Sistema de escoamento tortuoso com 20 pares de membranas

O sistema foi estudado inicialmente com 20 pares de membranas sob as seguintes condições: concentração da solução de cloreto de sódio, $890\text{ppm} \leq C \leq 961\text{ppm}$, vazão de alimentação constante em 54 l/h para diferentes potenciais elétricos. Através da Tabela 4.1 e as Figuras de 4.1 a 4.5 pode-se verificar o comportamento da variação da concentração da solução em função do tempo, sob a mesma vazão e temperatura. Os valores das concentrações são graficados em função do tempo, na forma adimensional conforme a seguinte expressão: $(C - C_p) / (C_o - C_p)$, onde C é a concentração que varia no tempo, C_o é a concentração inicial e C_p é a concentração em que a solução se encontra potável em 450 ppm. Cada figura apresenta duas curvas, uma representa a variação da concentração na célula ($C_{cél}$) e outra a variação da concentração no tanque concentrado (C_{conc}). Verifica-se que a concentração da solução que sai do reator ($C_{cél}$) nos primeiros

minutos de dessalinização apresenta um comportamento exponencial acentuado, decorrente das altas taxas de transferência iônica dos compartimentos diluídos para os concentrados. Após esta fase, a curva continua a decrescer, porém, de forma menos acentuada, isso deve-se ao fato que a taxa de transferência iônica neste estágio diminui à medida que a concentração da solução nos compartimentos concentrados vai ficando mais concentrada. Já a concentração do tanque concentrado (C_{conc}) aumenta em função do tempo. A Tabela 4.1 ou as Figuras 4.1 a 4.2 pode-se perceber que as curvas de dessalinização interceptam o nível zero do gráfico que representa quando a concentração da solução se encontra em 450 ppm, neste instante determina-se o tempo de potabilidade da solução. As curvas de dessalinização das Figuras 4.3 a 4.5 não apresentam esta intercessão com o nível zero. No entanto o tempo de potabilidade foi encontrado mediante a uma regressão linear na região da curva que apresenta um perfil linear. Esses dados serão apresentados posteriormente. A título de observar o efeito do potencial elétrico foi estudado o perfil da variação da concentração da solução para todas as concentrações mencionadas acima em função do tempo, conforme mostra a Figura 4.6. Observou-se que os potenciais elétricos de 92 e 80 volts foram os que apresentaram a maior taxa de dessalinização, mas os perfis de concentrações foram semelhantes. Segundo [Shaffer & Mintz, 1966] são tomados 2 volts por par de células, portanto achou-se de reduzir o número de pares de células para a metade com o objetivo de investigar o comportamento da dessalinização.

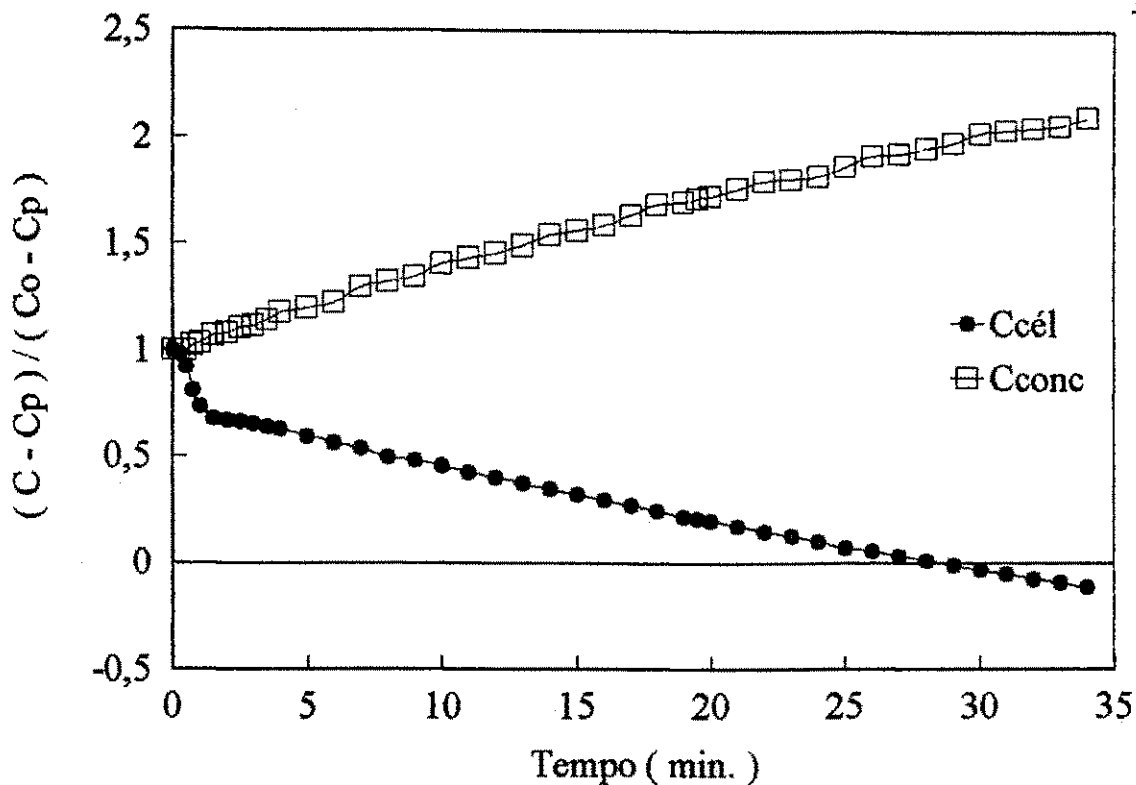


Figura 4.1 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 928,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 92$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

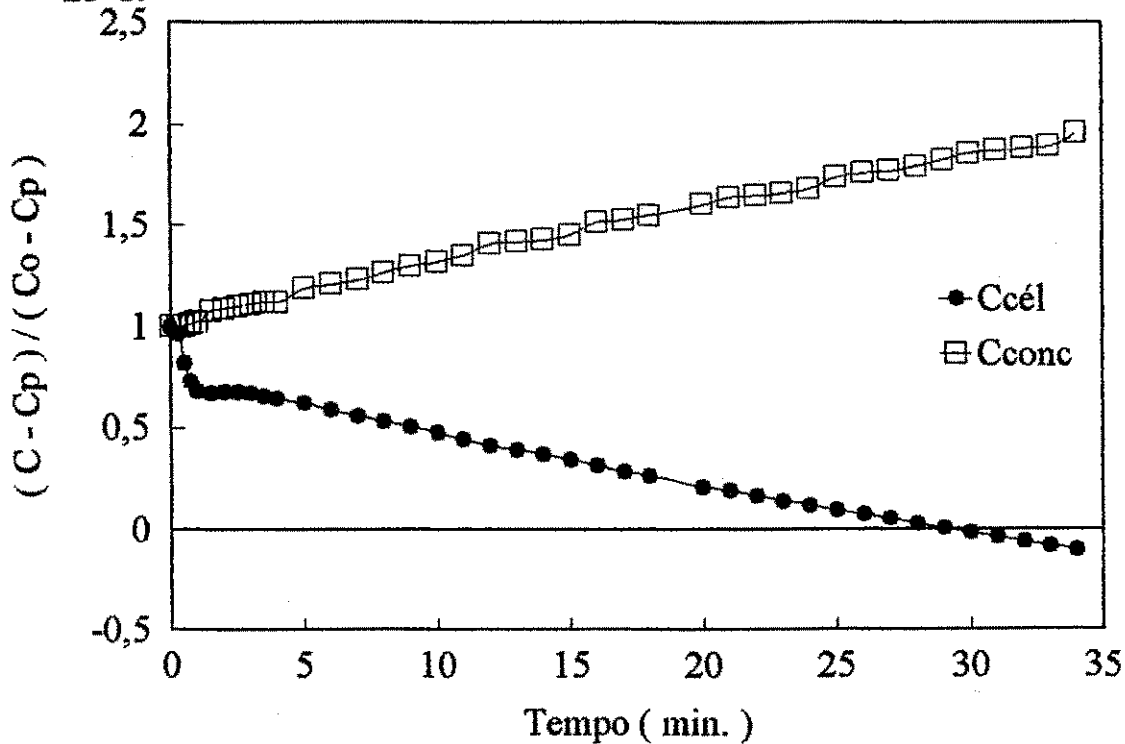


Figura 4.2 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 890,1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

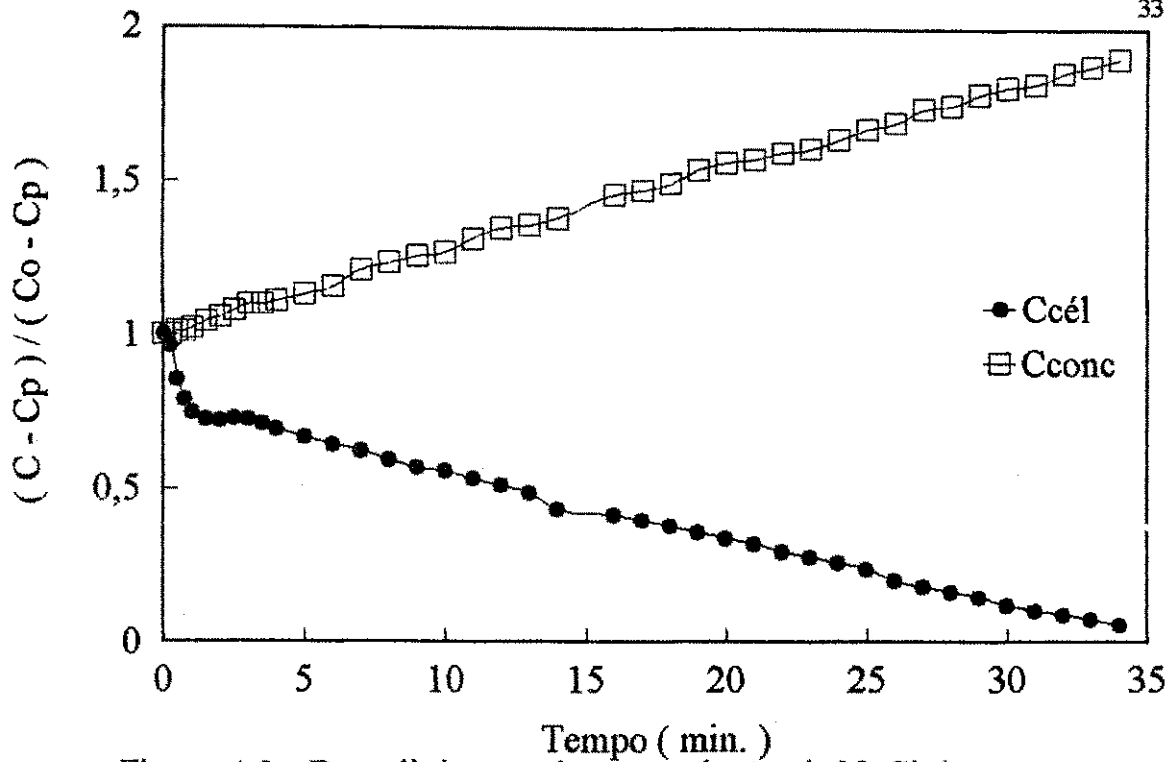


Figura 4.3 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 938,4 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: V = 68 volts, Q = 54 l/h e T = 25 C.

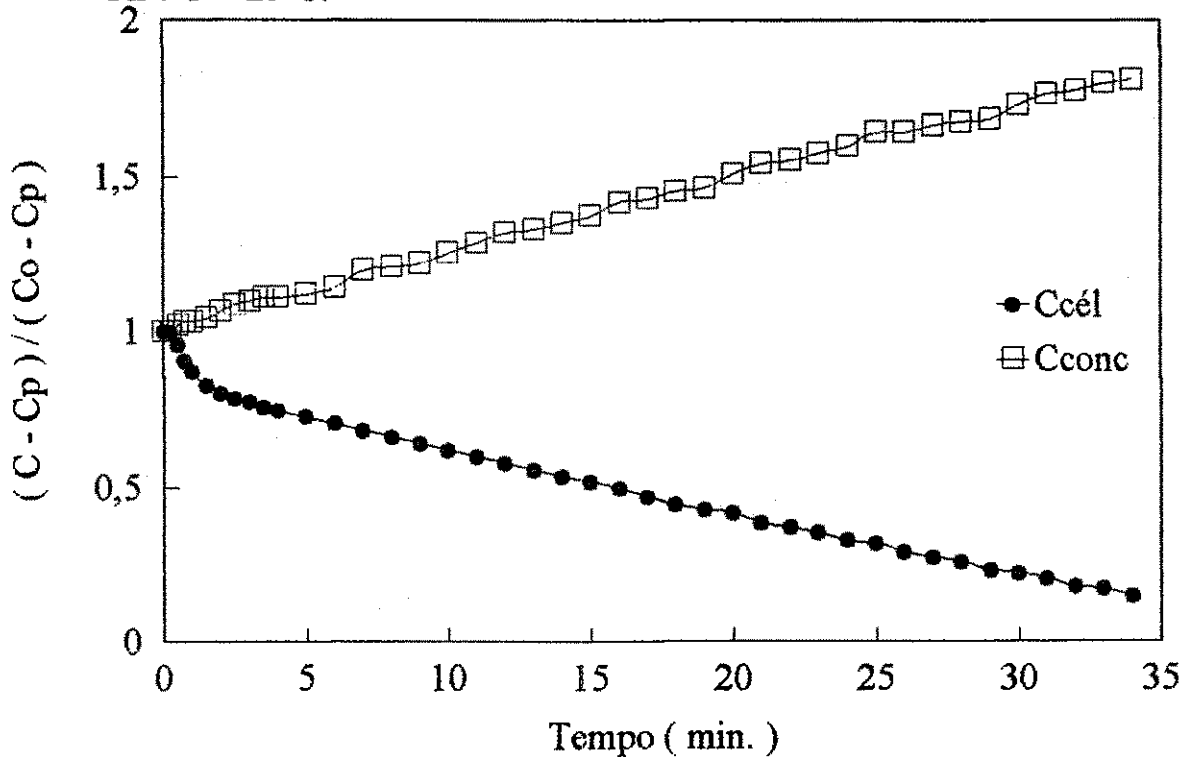


Figura 4.4 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 942,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: V = 56 volts, Q = 54 l/h e T = 25 C.

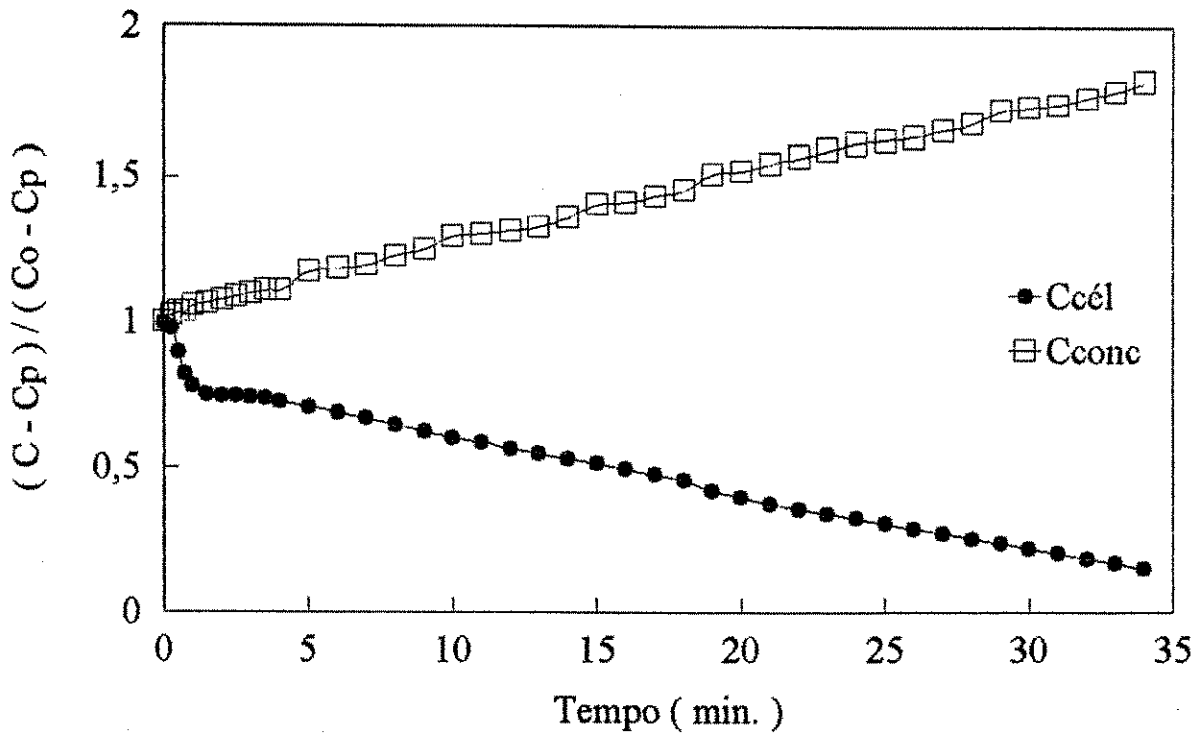


Figura 4.5 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 961,0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

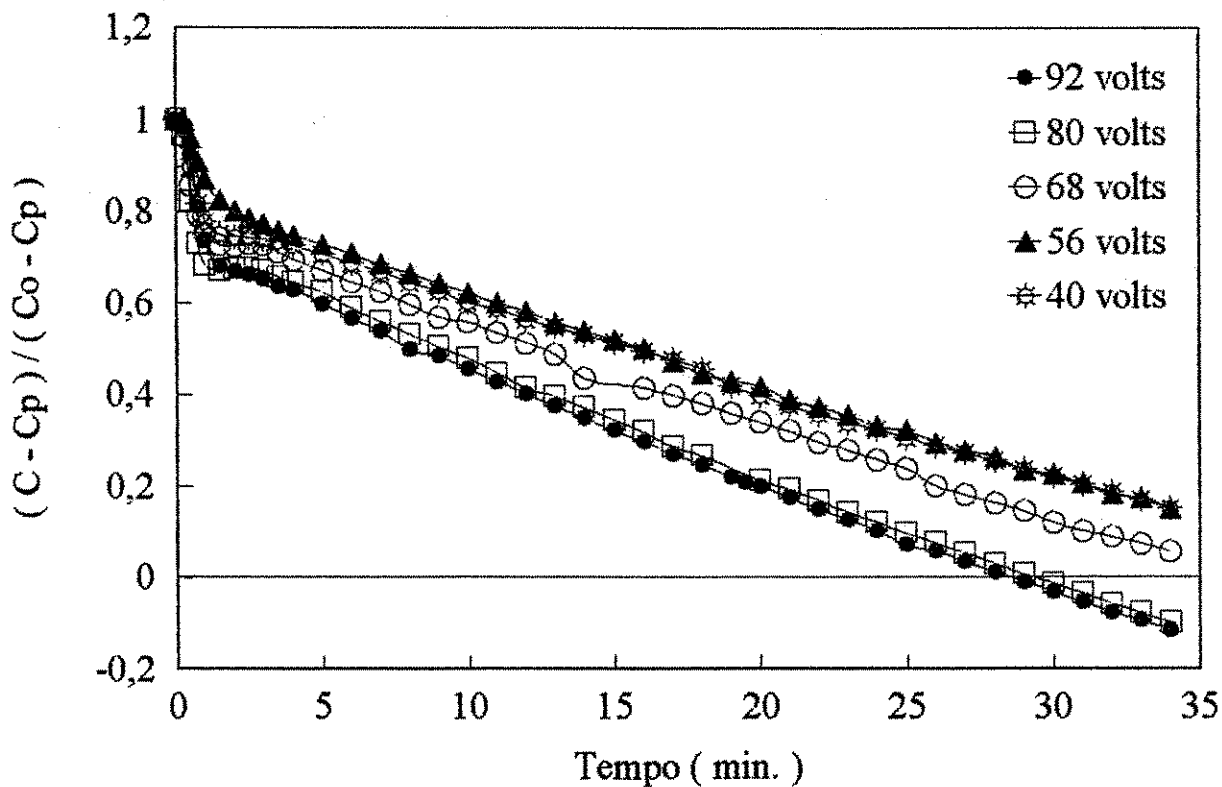


Figura 4.6 - Dessalinização de soluções de NaCl em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas com concentrações próximas a 1000 ppm sob as seguintes condições: $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

4.2 - Sistema de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas

Em função do que foi mencionado no item 4.1, tomou-se como base a tensão de 80 volts a mais adequada para o reator de 20 pares de membranas, logo para 10 pares de membranas, utilizou-se 40 volts como potencial elétrico constante.

As Figuras 4.7 a 4.10 (Tabela 4.2) apresentam como a concentração da célula ($C_{cél}$) e do tanque diluído (C_{dil}) variam em função do tempo para diferentes vazões de alimentação para uma solução de cloreto de sódio, $993,9\text{ppm} \leq C \leq 1045,7\text{ppm}$ e as Figuras 4.11 a 4.13 e a Tabela 4.3 mostram os resultados para uma faixa de concentração de, $2065\text{ppm} \leq C \leq 2138,5\text{ppm}$. As curvas apresentaram o mesmo comportamento observado anteriormente, a concentração da célula diminui em função do tempo. Esse estudo foi realizado com o intuito de detectar a melhor performance do reator em função da vazão de alimentação. Analizando as figuras, observa-se que a concentração da célula decresce mais rápido à medida que a vazão de alimentação aumenta. A intercessão com a função constante que representa a concentração da solução a 450 ppm (nível zero) ocorre para os demais gráficos exceto para a Figura 4.10. Obviamente se a batelada fosse mais longa esse fato teria sido observado.

As curvas de dessalinização com concentrações em torno de 2100 ppm interceptam a função constante no nível zero, como pode ser observado também pela Figura 4.14 ou Tabela 4.3, contudo este tempo foi bem superior em relação às concentrações na faixa de 1000 ppm. Isto mostra que à medida que a concentração da solução de cloreto de sódio aumenta, o tempo de potabilidade também irá aumentar.

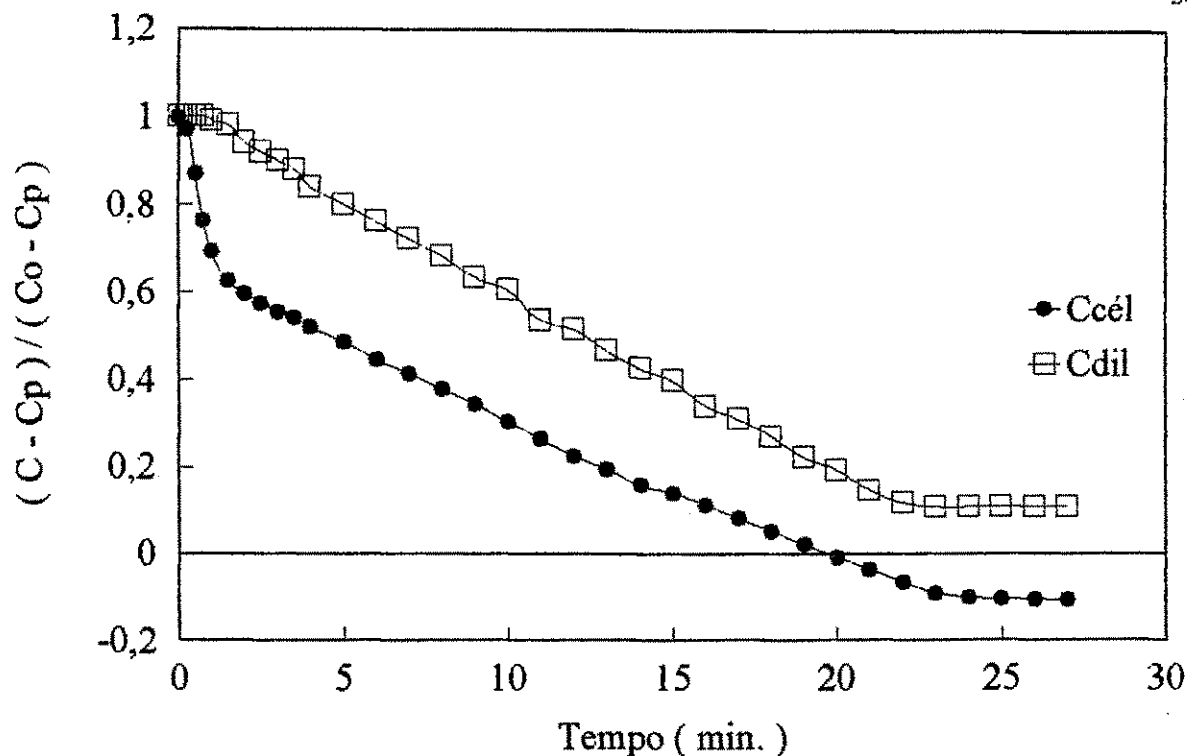


Figura 4.7 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

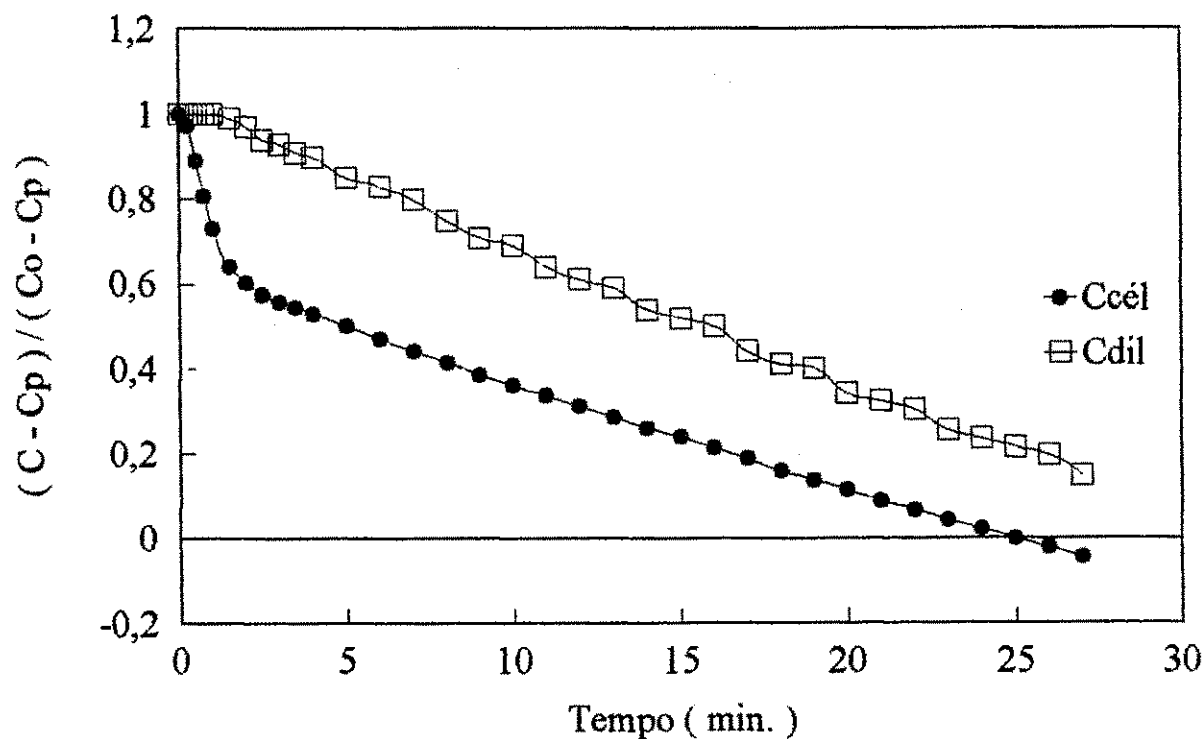


Figura 4.8 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1024,1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

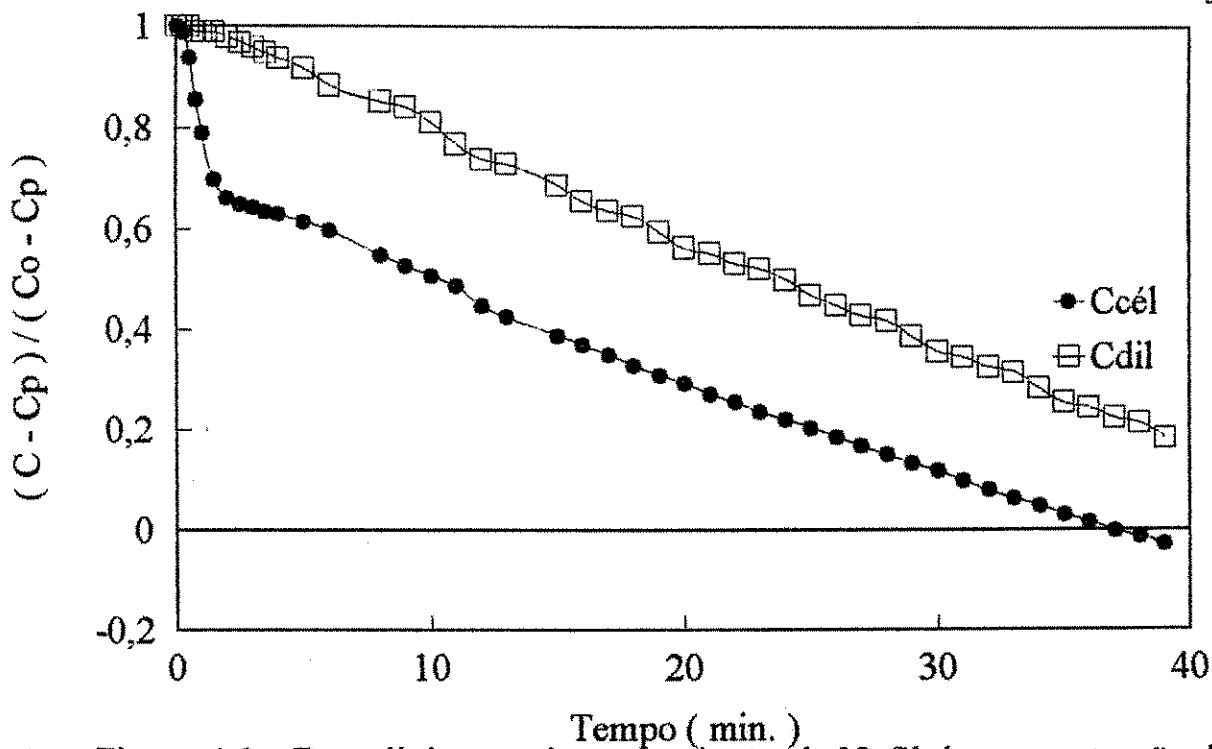


Figura 4.9 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 993,9 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

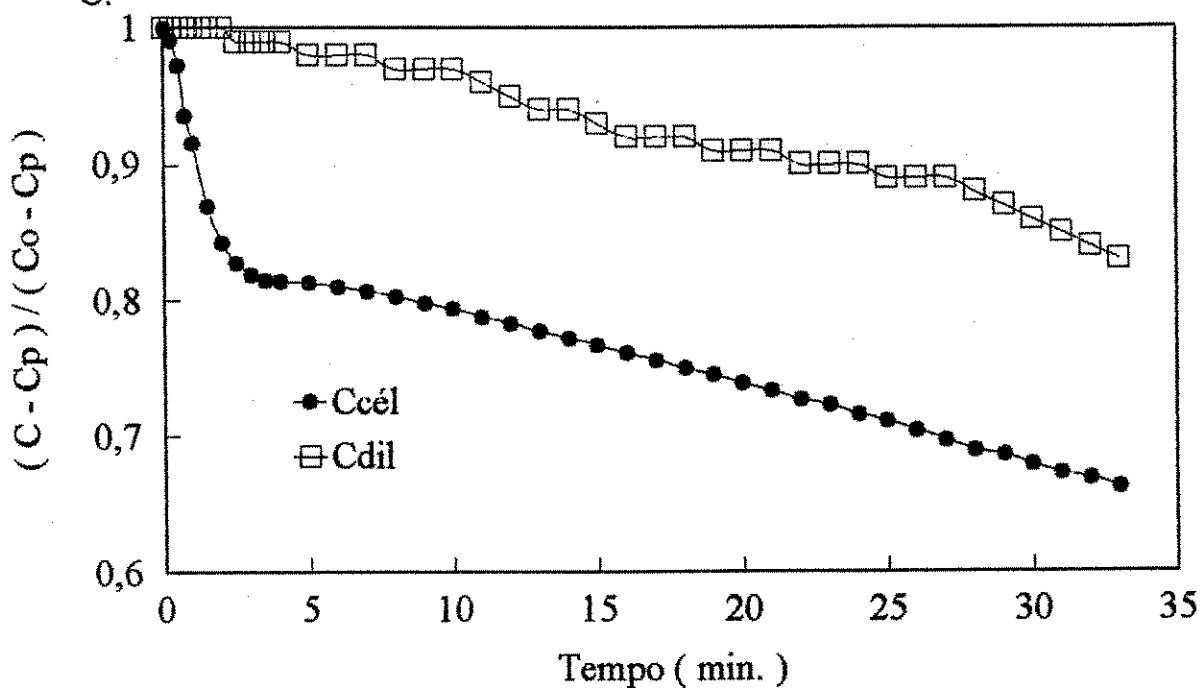


Figura 4.10 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1045,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

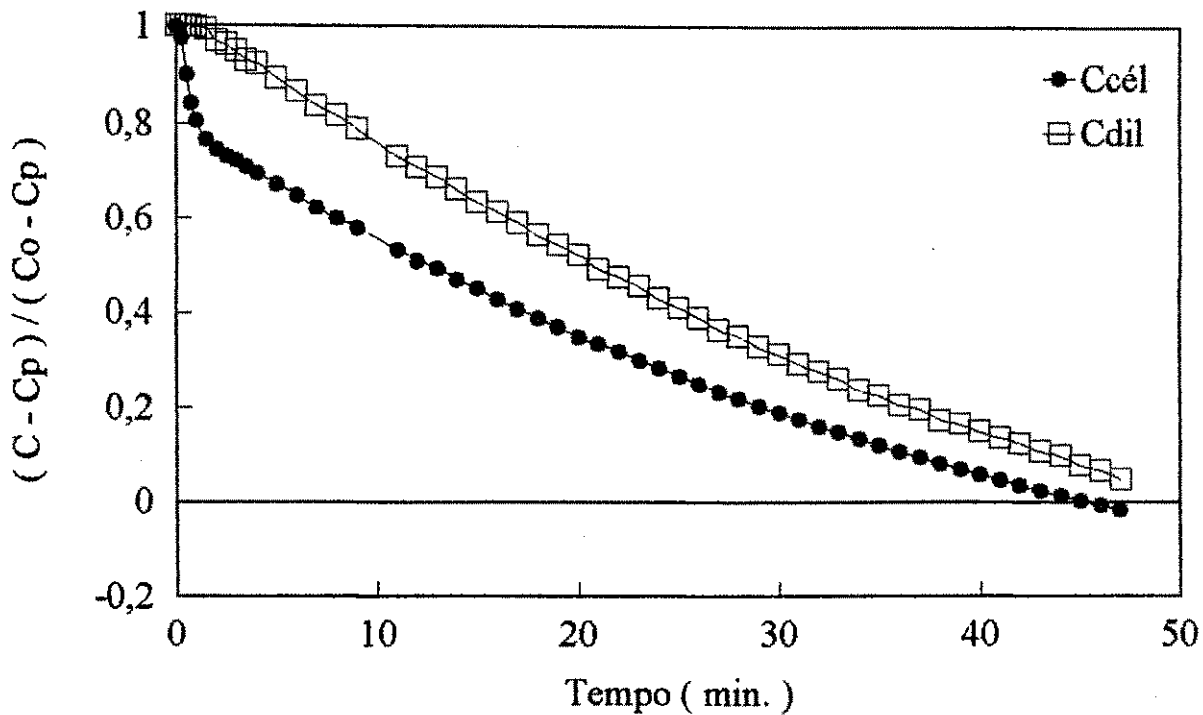


Figura 4.11 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2121,5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

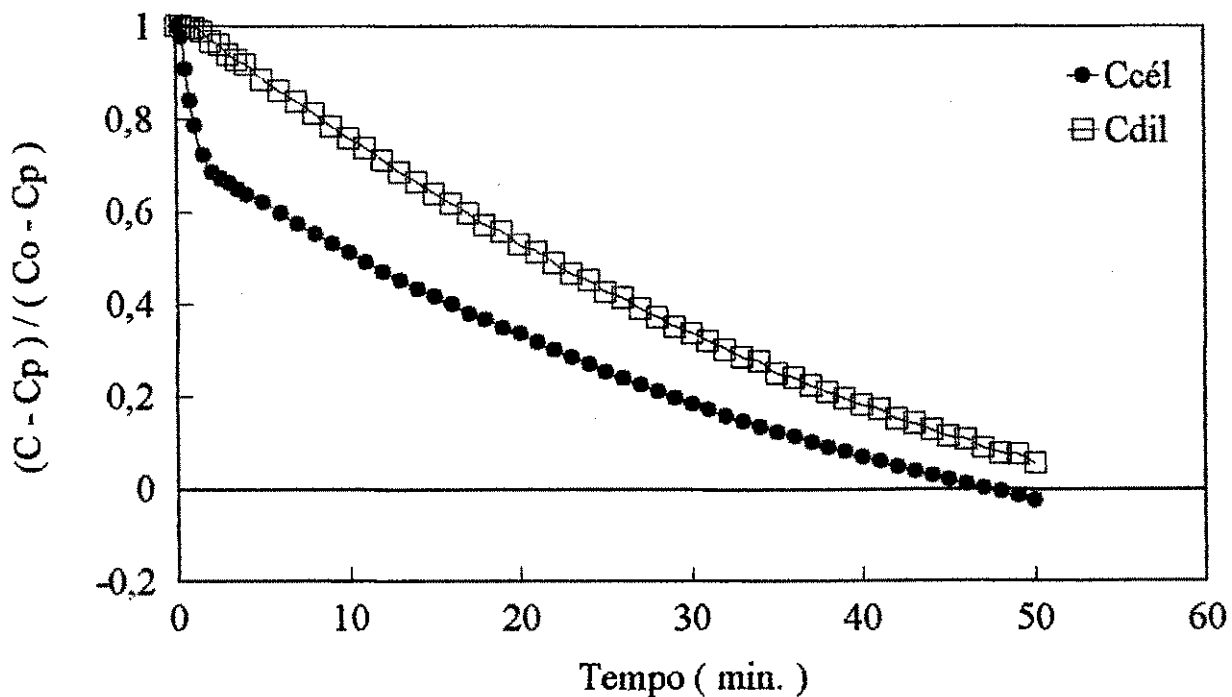


Figura 4.12 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2065,0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

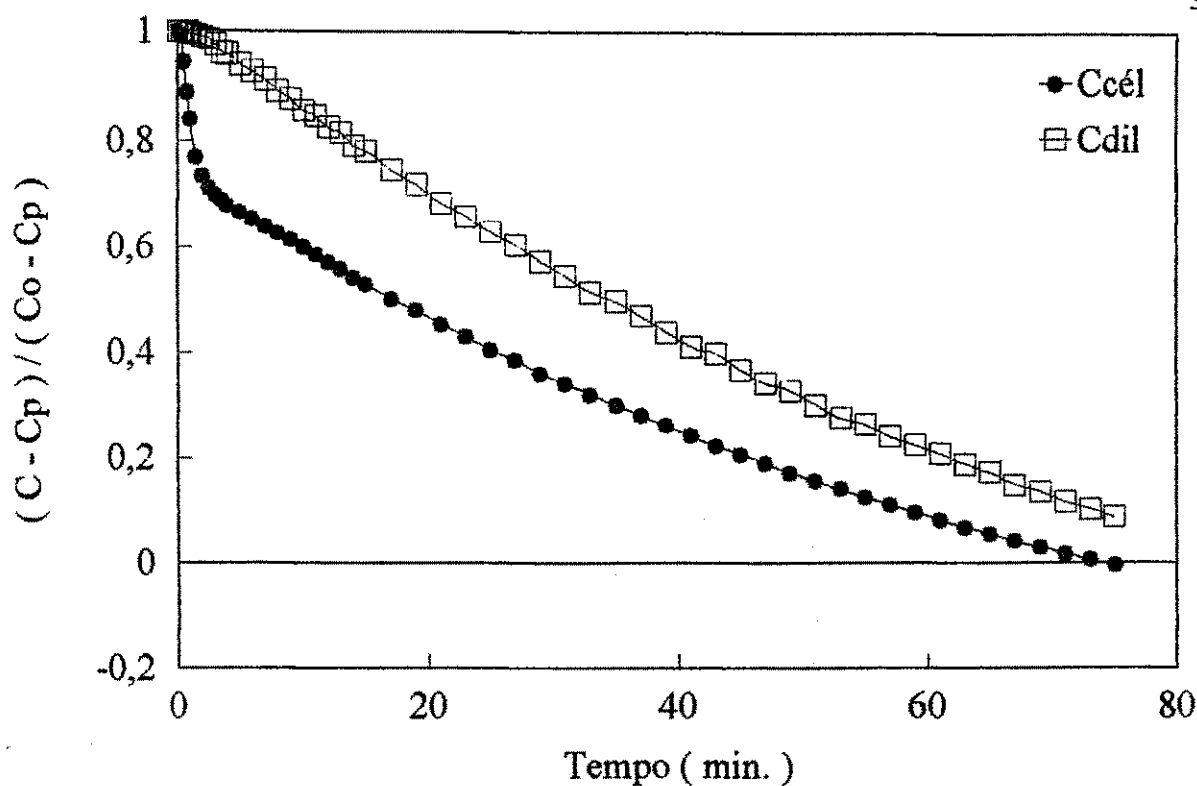


Figura 4.13 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2138,5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

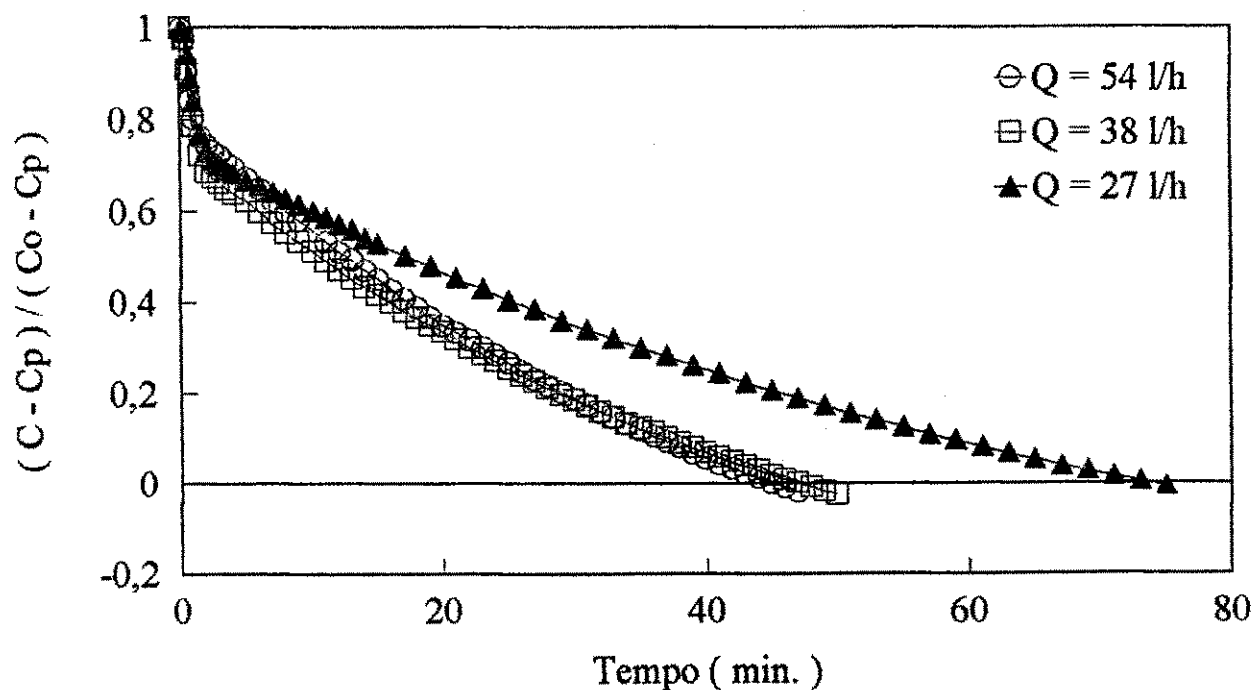


Figura 4.14 - Curvas de dessalinização de soluções de NaCl em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas com concentrações na faixa de 2065,0 a 2138,5 ppm sob as seguintes condições: $V = 40$ volts e $T = 25$ C.

4.3 - Sistema de escoamento linear com 10 pares de membranas

Com o desenvolvimento do trabalho um novo tipo de espaçador entre as membranas eletrodialíticas foi usado, o qual foi construído no laboratório de dessalinização da Universidade Federal da Paraíba. Para esta nova fase as mesmas condições em termos de potencial elétrico e as faixas de concentrações foram mantidas. A representação gráfica das Tabelas 4.4 e 4.5 encontram representadas pelas Figuras 4.15 a 4.22, apresentando o comportamento das curvas de dessalinização da concentração da célula ($C_{cél}$) e do tanque diluído (C_{dil}). Utilizando esse tipo de espaçadores, observou-se que $C_{cél}$ e C_{dil} diminuem função do tempo. Observa-se também que para cada batelada realizada a taxa de dessalinização aumenta em função da vazão de alimentação empregada.

4.4 - Estudo comparativo dos sistemas através do tempo de potabilidade

O parâmetro estudado para comparar o desempenho dos reatores foi o tempo de potabilidade, conforme já definido anteriormente. A partir dos resultados obtidos com o reator de escoamento tortuoso, foi observado que o potencial elétrico apresenta ser uma variável importante para o processo de dessalinização via eletrodialise. Os valores de tempo de potabilidade para as soluções de cloreto de sódio de valores muito próximo um do outro (≈ 1000 ppm) diminuem em função do potencial elétrico aplicado, conforme mostra a Tabela 4.6

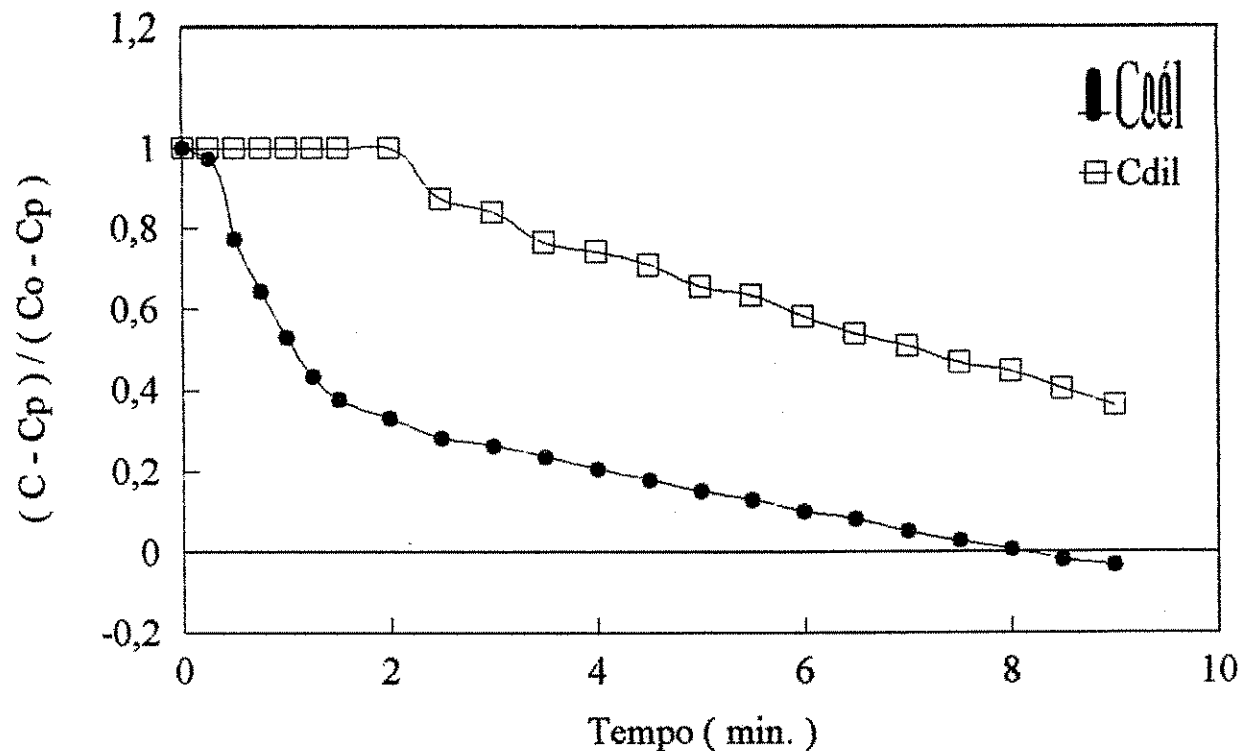


Figura 4.15 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

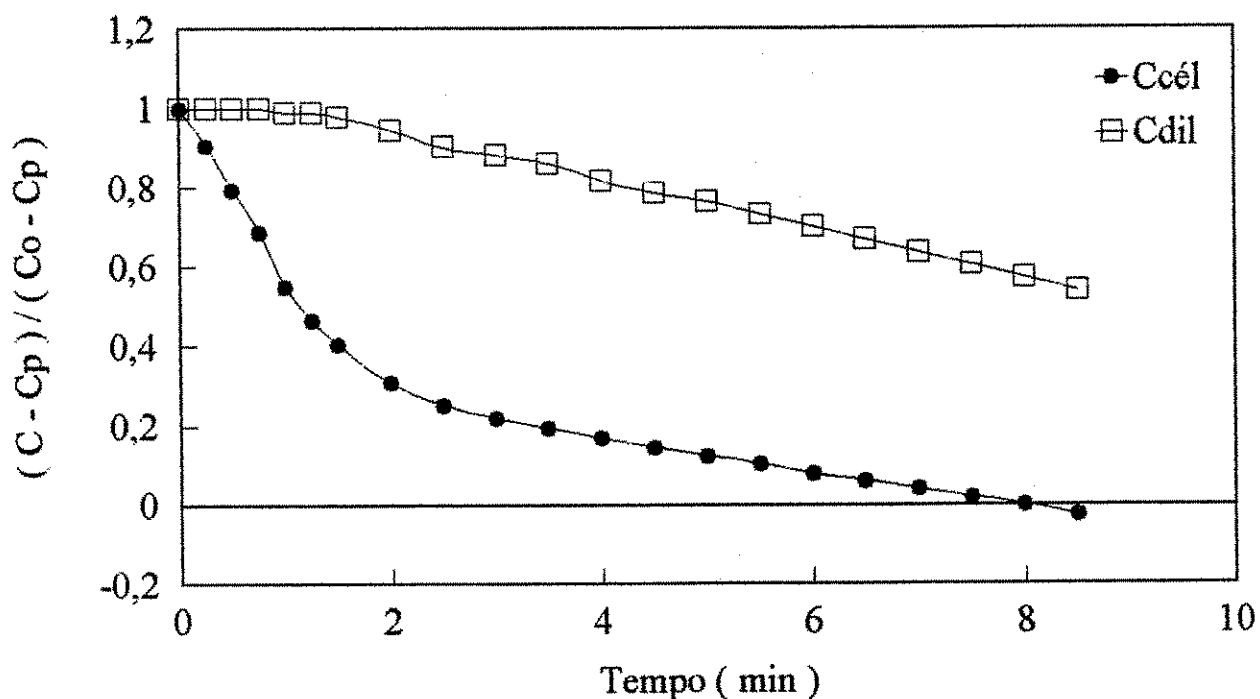


Figura 4.16 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

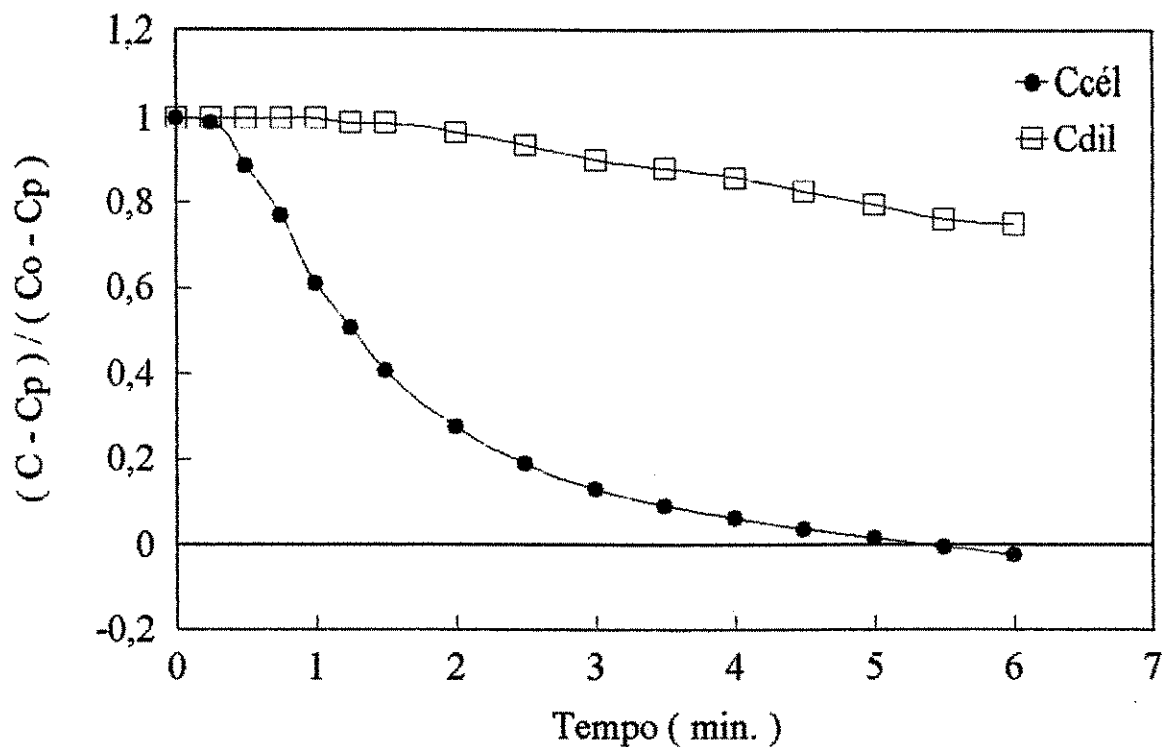


Figura 4.17 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

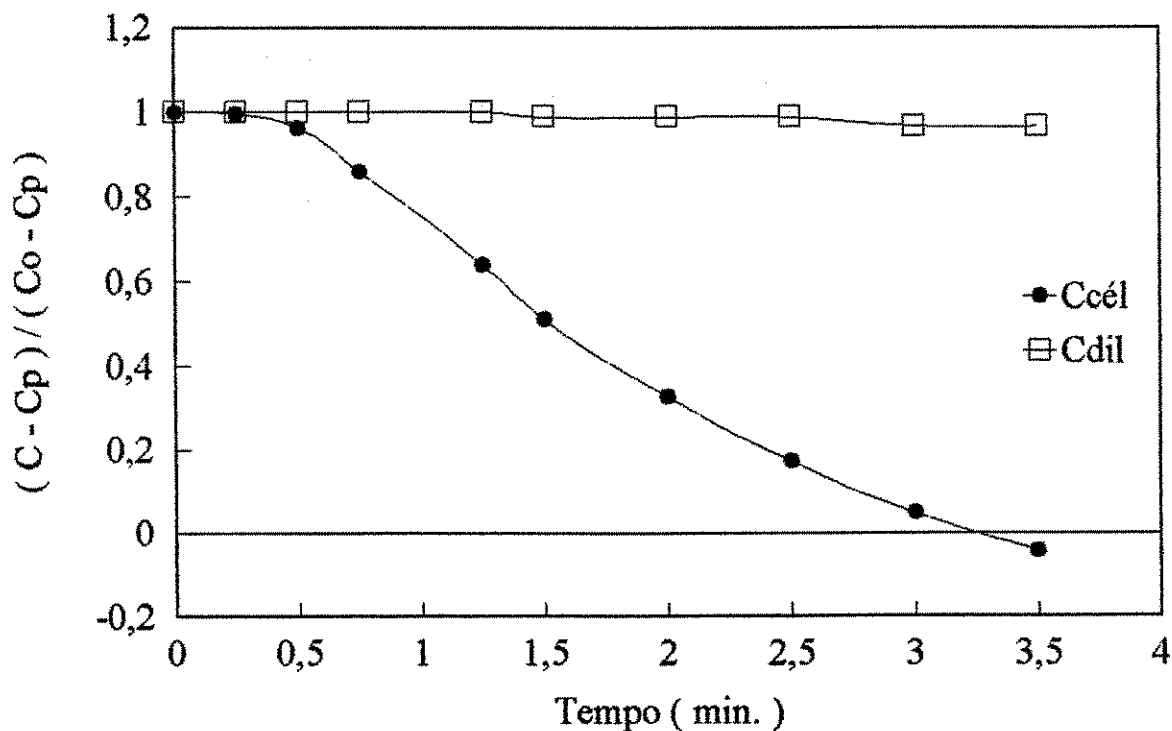


Figura 4.18 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

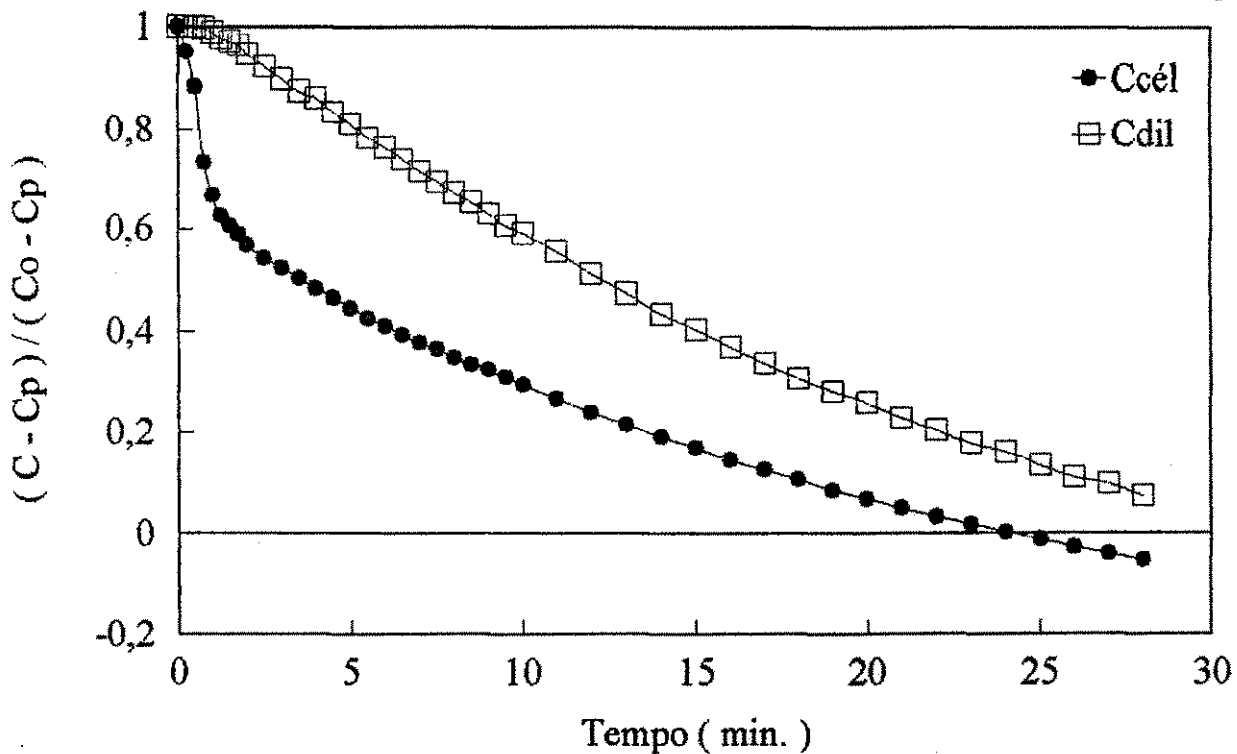


Figura 4.19 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

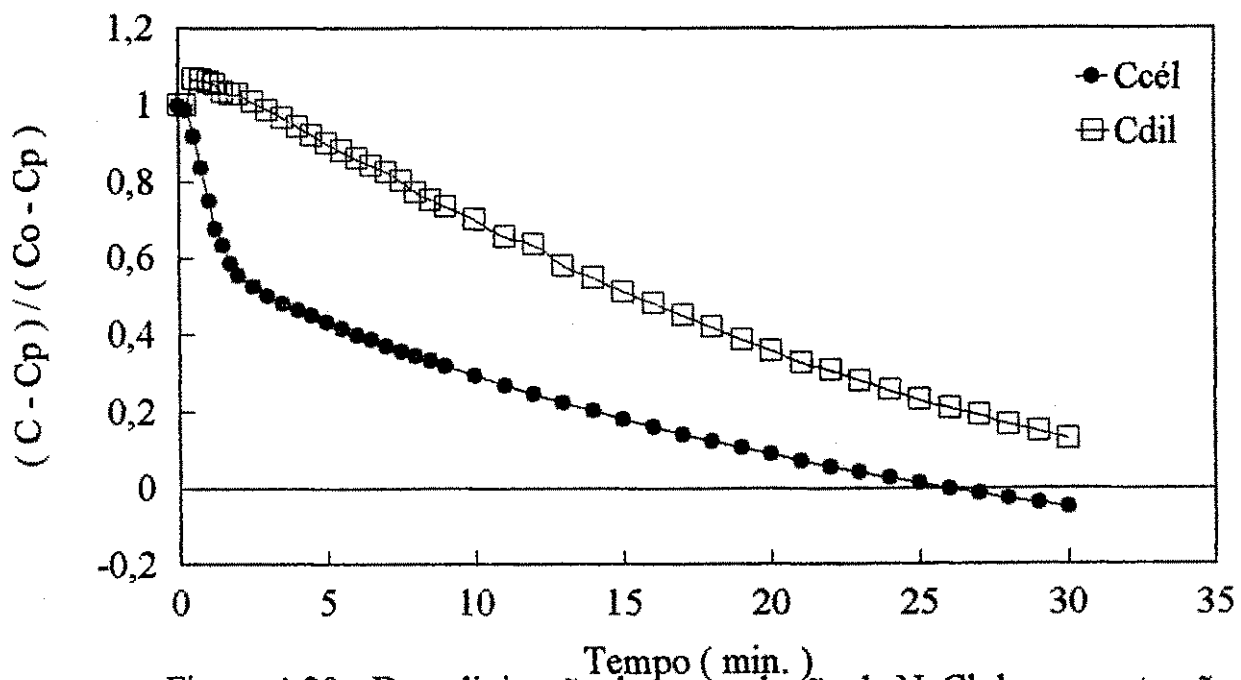


Figura 4.20 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

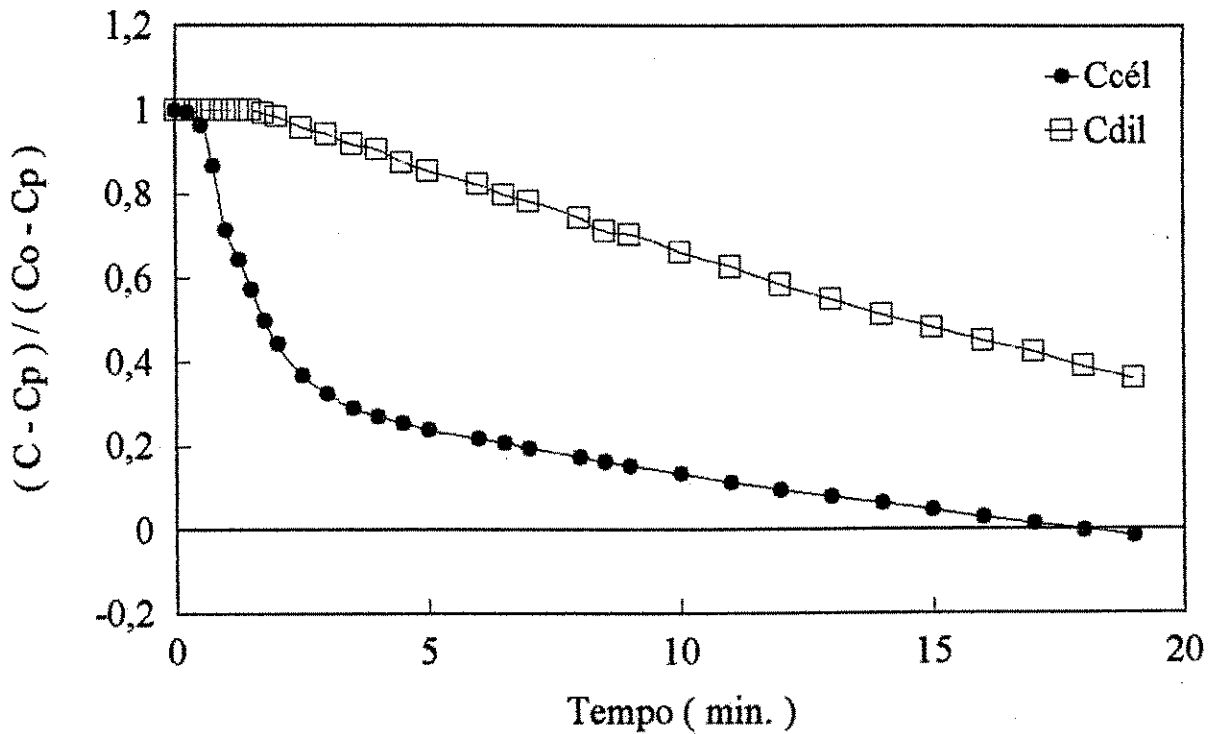


Figura 4.21 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

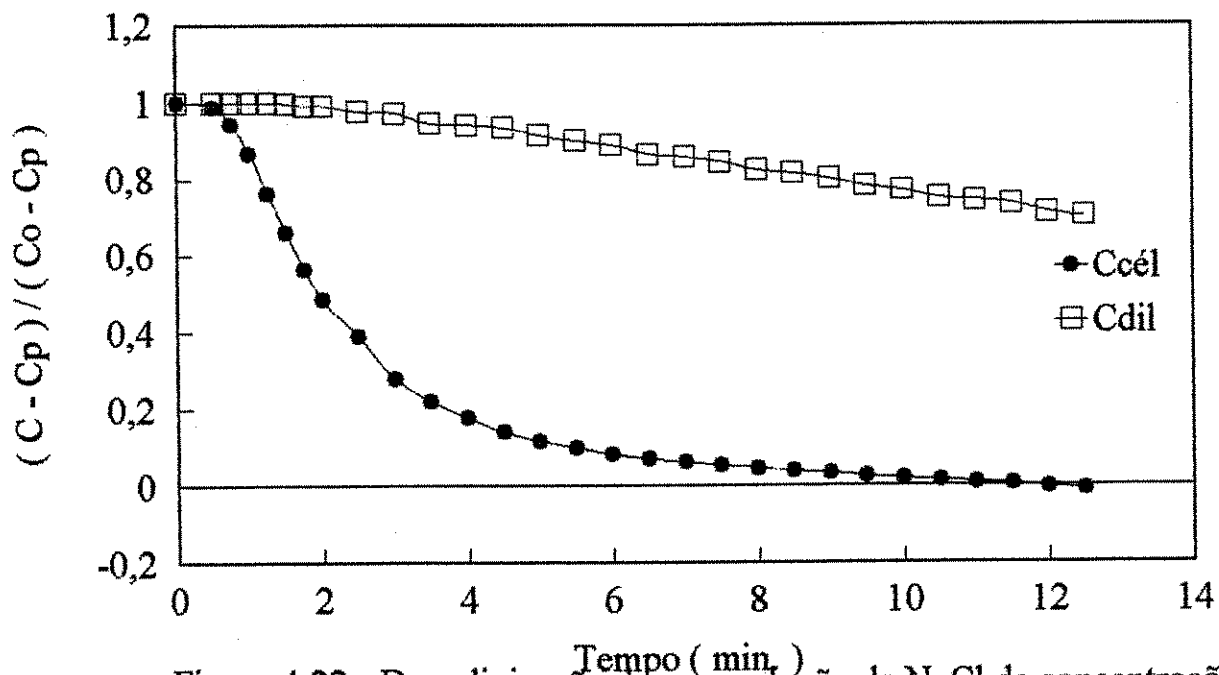


Figura 4.22 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

Tabela 4.6- Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes potenciais elétricos para um reator de escoamento tortuoso com 20 pares de membranas com uma vazão de alimentação (Q) de 54 l/h a uma temperatura de operação de 25°C.

V(P.E)volts	40	56	68	80	92
Conc.(ppm)	961,0	942,7	938,4	890,1	928,7
Tp (min.)	41*	40*	36*	29	28

*Obs.: Os tempos de potabilidade foram encontrados mediante uma regressão linear.

A partir da Tabela 4.2 e 4.3 foram obtidos os dados referentes aos tempo de potabilidade para a solução de cloreto de sódio a diversas concentrações para o reator de escoamento tortuoso, cujos resultados encontram-se registrados nas Tabelas 4.7 e 4.8.

Tabela 4.7 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes fluxo de alimentação em um reator de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.

Q (l/h)	14	27	38	54
Conc.(ppm)	1047,7	993,9	1024,1	1018,7
tp (min.)	157*	37	25	19

*Obs.: O tempo de potabilidade a 14/h foi determinado por regressão linear.

Nesse caso as concentrações das soluções de cloreto de sódio encontram-se próximo a 1000 ppm. Foi observado que o tempo de potabilidade diminui em função da vazão de alimentação.

Através das Tabelas 4.6 e 4.7 somente é permitido comparar o tempo de potabilidade para a vazão de alimentação de 54

l/h e o potencial elétrico de 40 volts, considerando que as concentrações encontram-se muito próxima uma da outra. O tempo de potabilidade para o reator com 20 pares de membranas foi 2,1 vezes superior ao de 10 pares de membranas. Isso significa que o número de membranas apresenta-se como um dos fatores que influencia no tempo de residência do reator apresentando assim uma resistência hidrodinâmica no interior do reator.

A Tabela 4.8 mostra que o tempo de potabilidade para concentrações próximo de 2000 ppm diminui em função da vazão de alimentação. Comparando os tp's das Tabelas 4.7 e 4.8 o tempo de potabilidade aumenta em função da concentração da solução de cloreto de sódio. Fazendo a razão entre os tempos de potabilidade (tp_{2000}/tp_{1000}) e determinando a média desses valores, percebe-se que o tempo de potabilidade para as concentrações próximas a 2000 ppm foi duas vezes superior a das concentrações próximas a 1000 ppm.

Tabela 4.8 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes vazões de alimentação em um reator de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.

Q (l/h)	27	38	54
Conc.(ppm)	2138,5	2065,0	2121,5
tp (min.)	73	47	45

Analisando as Tabelas 4.9 e 4.10 para o reator de escoamento linear com 10 pares de membranas, sob o potencial elétrico de 40 volts, foi estudado o comportamento do tempo de potabilidade em função da vazão de alimentação para concentrações próximas de 1000 ppm e 2000 ppm.

Tabela 4.9 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes vazões de alimentação em um reator de escoamento linear com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.

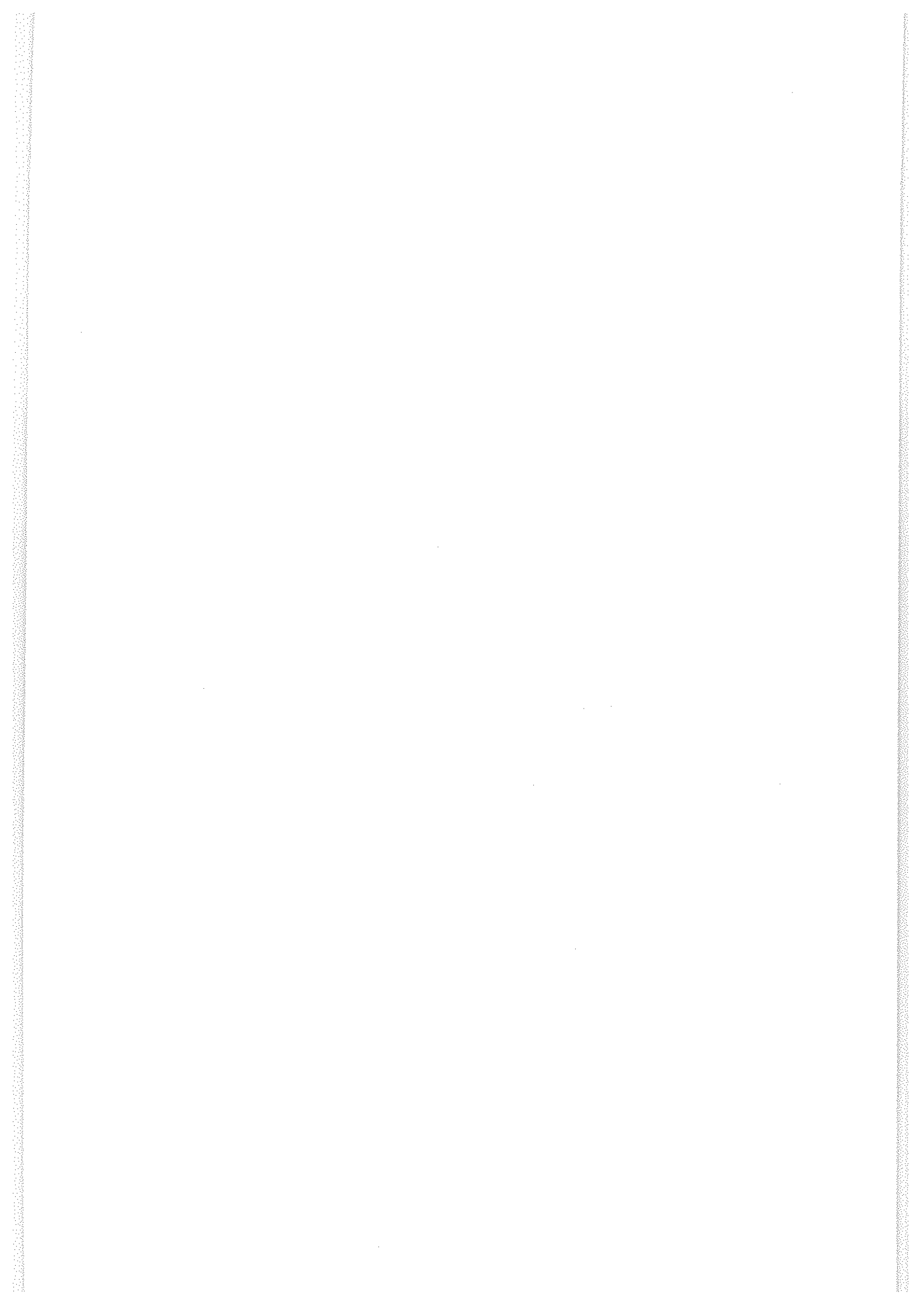
Q (l/h)	14	27	38	54
Conc.(ppm)	948,1	948,6	959,4	990,1
tp (min.)	3,3	5,5	8,0	8,0

Tabela 4.10- Dados experimentais do tempo de potabilidade T_p (min.) das soluções de cloreto de sódio em um reator de escoamento linear com 10 pares de membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ Volts e $T = 25$ °C.

Q (l/h)	14	27	38	54
Conc.(ppm)	1935,4	1884,9	2132,8	2110,2
tp (min.)	12,0	18,0	26,0	24,5

O tempo de potabilidade observado para o reator de escoamento linear apresentou um comportamento inverso ao reator de escoamento tortuoso. O mesmo aumentou em função da concentração da solução e da vazão de alimentação.

Comparando os sistemas tortuoso e linear, nota-se em função dos valores do tempo de potabilidade que o sistema linear apresentou melhores resultados para faixas de concentração e vazão de alimentação. Este fato pode ser explicado em função da característica dos espaçadores. Nos sistemas de escoamento tortuoso a trajetória do fluido oferece maior tempo de contato com a superfície



trajetória do fluido oferece maior tempo de contato com a superfície da membrana apresentando uma velocidade de escoamento na faixa de 15 a 50 cm/s, enquanto no sistema de escoamento linear a velocidade de fluxo apresenta-se entre 5 e 10 cm/s [Leitz & Eisenmann, 1981]. Um outro fator importante são as áreas efetivas dos espaçadores para ambos reatores: a área do espaçador de escoamento linear é superior a do tortuoso e de acordo com os resultados, o transporte iônico apresentou-se mais acentuado durante a eletrodialise [França et alii, 1994].

4.5 - Resistência ôhmica e Densidade de corrente

As Tabelas 4.12 a 4.31 apresentam os dados de densidade de corrente e resistência elétrica para os sistemas estudados, com 20 e 10 pares de membranas e suas representações gráficas encontram-se nas Figuras 4.23 a 4.42 mostrando como a densidade de corrente e resistência elétrica variam em função da fração desmineralizada dos dois sistemas mencionados acima. Analizando cada sistema, no caso de 20 pares de membranas, observa-se que os primeiros instantes, a densidade de corrente decresce rapidamente procurando em seguida se estabilizar em um patamar, onde a densidade de corrente se encontra na faixa de $1,0 \text{ mA/cm}^2 \leq J \leq 2,0 \text{ mA/cm}^2$. Já para sistema de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas a densidade de corrente nos primeiros instantes apresentou um comportamento diferenciado, se estabilizando próximo a 2 mA/cm^2 , exceto para o caso da Figura 4.31, onde a densidade de corrente apresentou valores inferiores a $1,0 \text{ mA/cm}^2$. O comportamento da resistência ôhmica durante a eletrodialise apresentou-se de forma inversa a densidade de corrente para todas as

figuras, ou seja à medida que a concentração iônica no interior do reator diminui, vai se tornando mais difícil o transporte iônico entre as células.

Os dados de densidade de corrente e resistência elétrica para o sistema de 10 pares de membranas para concentrações de cloreto de sódio próximas a 2100 ppm também se encontram nas Tabelas 4.21 a 4.23. As Figuras 4.32 a 4.34 mostram o comportamento das curvas da resistência ôhmica para concentrações de cloreto de sódio próximas a 2100 ppm. O comportamento da variação de resistência ôhmica e densidade de corrente para essa faixa de concentração apresentou-se um pouco diferente. Percebe-se que a densidade de corrente apresentou a mesma queda para os primeiros instantes e logo após tende a decrescer de forma mais acentuada, apresentando um comportamento em alguns casos linear. Quanto a resistência ôhmica seu comportamento também foi um pouco diferenciado quando comparado para concentrações de cloreto de sódio próximo a 1000 ppm. Esse tende a aumentar à medida que a densidade de corrente diminui.

Fazendo uma comparação observa-se que a densidade de corrente varia em função da concentração da solução e da vazão de alimentação. Por exemplo: para concentrações de 1000 ppm e uma faixa de vazão de alimentação de 14 e 27 l/h, a densidade de corrente caiu para valores abaixo de 1 mA/cm^2 . Já para concentrações de 2000 ppm, conforme mostram as Figuras 4.39 a 4.42, a densidade de corrente apresentou valores iniciais superiores e sua variação ocorreu mais lenta, mostrando no final uma densidade de corrente próxima a 2 mA/cm^2 . O fato da densidade de corrente diminuir durante o processo deve-se a somatória do gradiente de concentração nos

compartimentos diluídos de todas as células se acharem diminuindo durante a eletrodialise.

Através das Figuras 4.35 a 4.38 obtidas para o reator com sistema de escoamento linear com 10 pares de membranas com concentrações em torno de 1000 ppm, observa-se que nos 2 minutos iniciais a resistência ôhmica apresenta um rápido crescimento passando em seguida a crescer de forma menos pronunciada, enquanto que a densidade de corrente decresce de forma exponencial para o mesmo período de tempo, procurando se estabilizar em torno de 2 mA/cm^2 para todas as vazões de alimentação utilizadas.

Os resultados de densidade de corrente e resistência ôhmica apresentados, comprovam que a concentração iônica presente nos compartimentos diluídos e concentrados é um dos parâmetros responsáveis pelo aumento ou decréscimo da densidade e resistência. A resistência ôhmica pode diminuir quando ambos compartimentos apresentam altas concentrações de íons dissolvidos na solução. Por outro lado a resistência da membrana também diminui devido o aumento de íons adsorvidos na membrana durante o processo de eletrodialise [Shah & Scamehorn, 1987].

4.5.1 - Resistência ôhmica versus o inverso da corrente

Segundo [Winger et alli, 1955] e [Cowan & Brown, 1959], a resistência ôhmica total é formada pela contribuição da resistência da membrana catiônica e aniônica, dos compartimentos diluídos e concentrados e a resistência na superfície da membrana, conforme mostra a Equação 2.5. A partir dos dados experimentais de corrente e potencial elétrico usados durante o processo de dessalinização foi possível estudar o comportamento da resistência

ohmica em função da corrente produzida durante a eletrodialise. Através das Figuras 4.43 a 4.46 observa-se que os dados referentes a esta análise, geraram um comportamento linear, independentemente do sistema de escoamento utilizado no interior do reator. Isto vem comprovar que a performance do sistema durante a dessalinização apresenta um comportamento semelhante a *Lei de Ohm*. Observa-se também que a resistência ôhmica varia no sentido crescente à medida que o valor da corrente diminui o que indica que a concentração da solução no interior do reator está diminuindo em função do tempo.

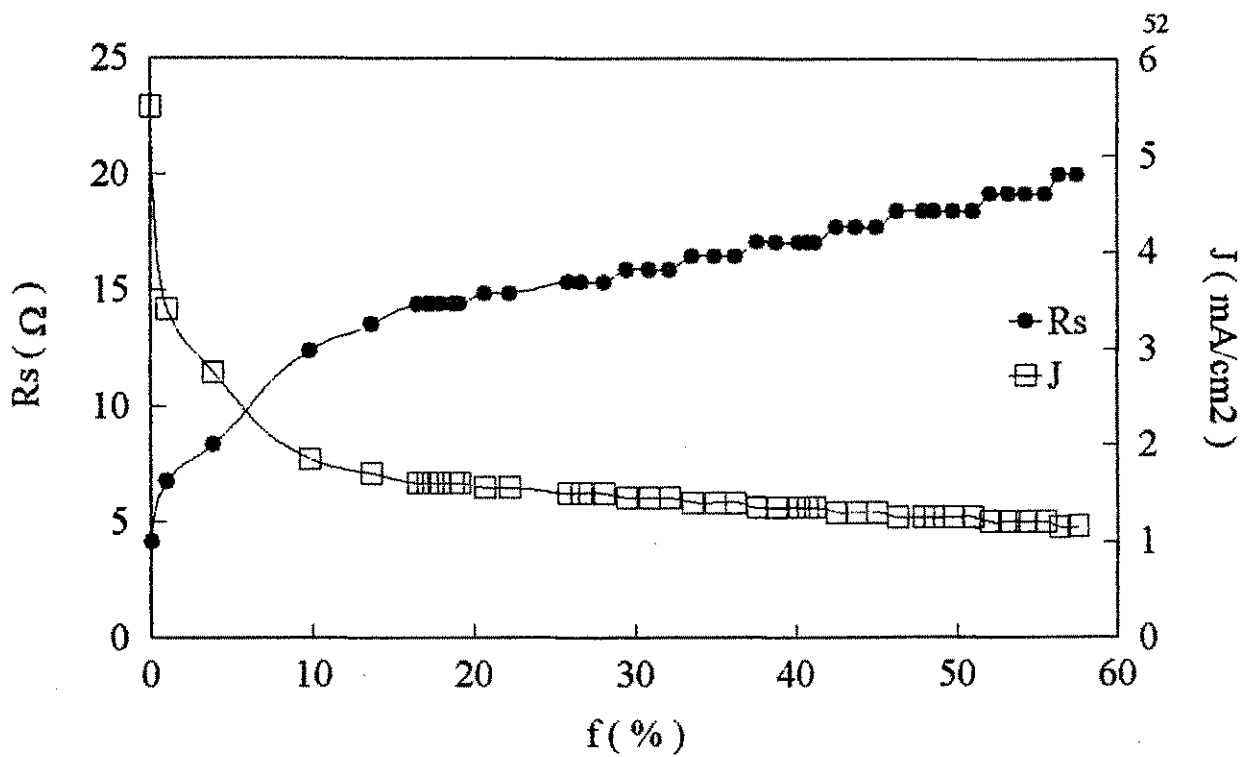


Figura 4.23 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 928,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 92$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

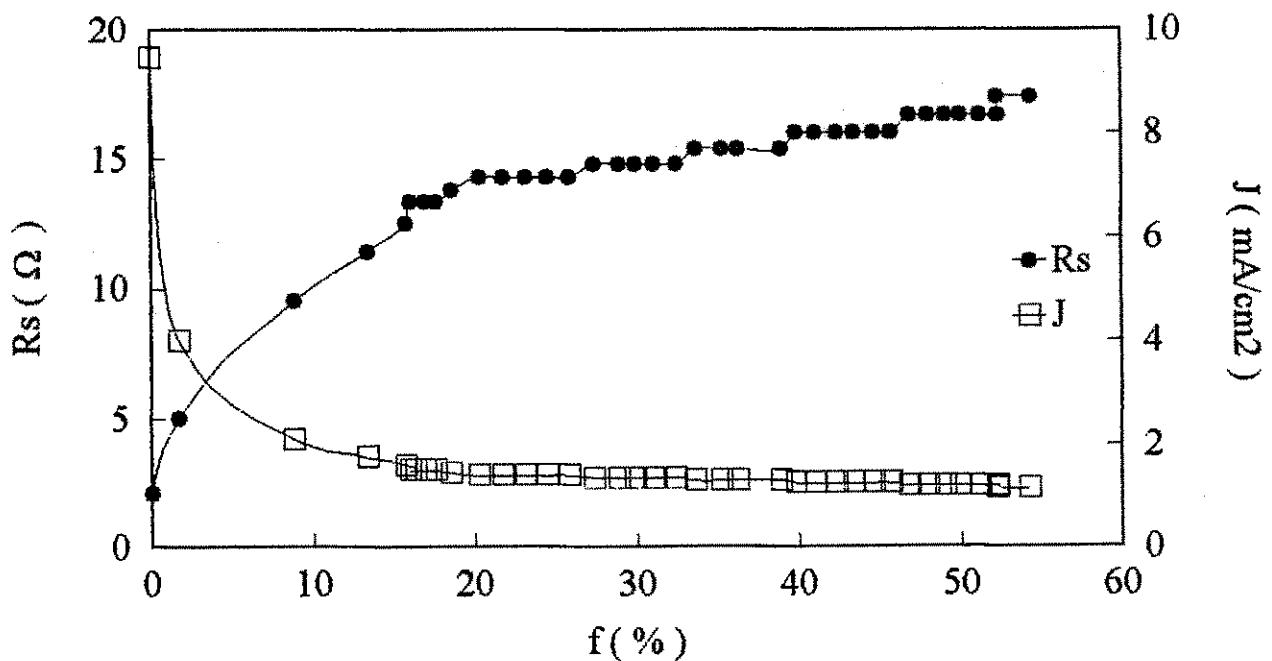


Figura 4.24 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente em função da fração desmineralizada(f) para uma solução de NaCl de concentração de 890,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

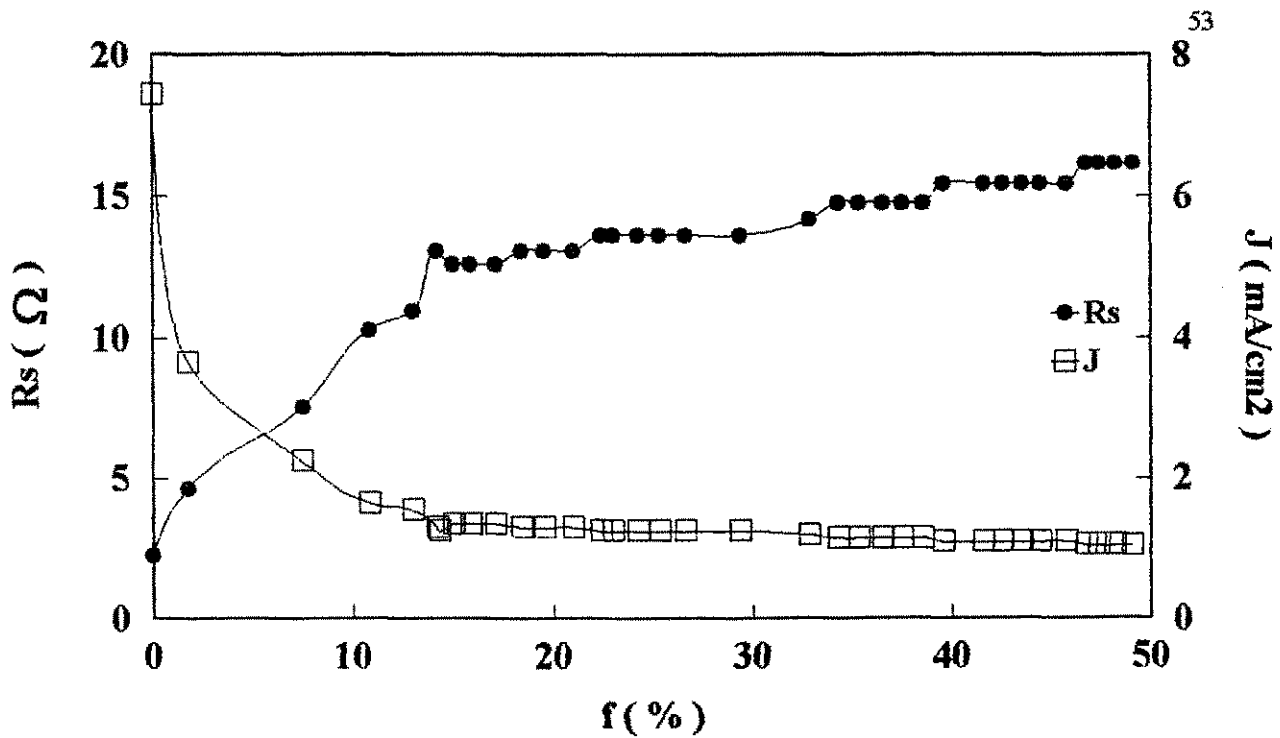


Figura 4.25 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 938,4 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 68$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

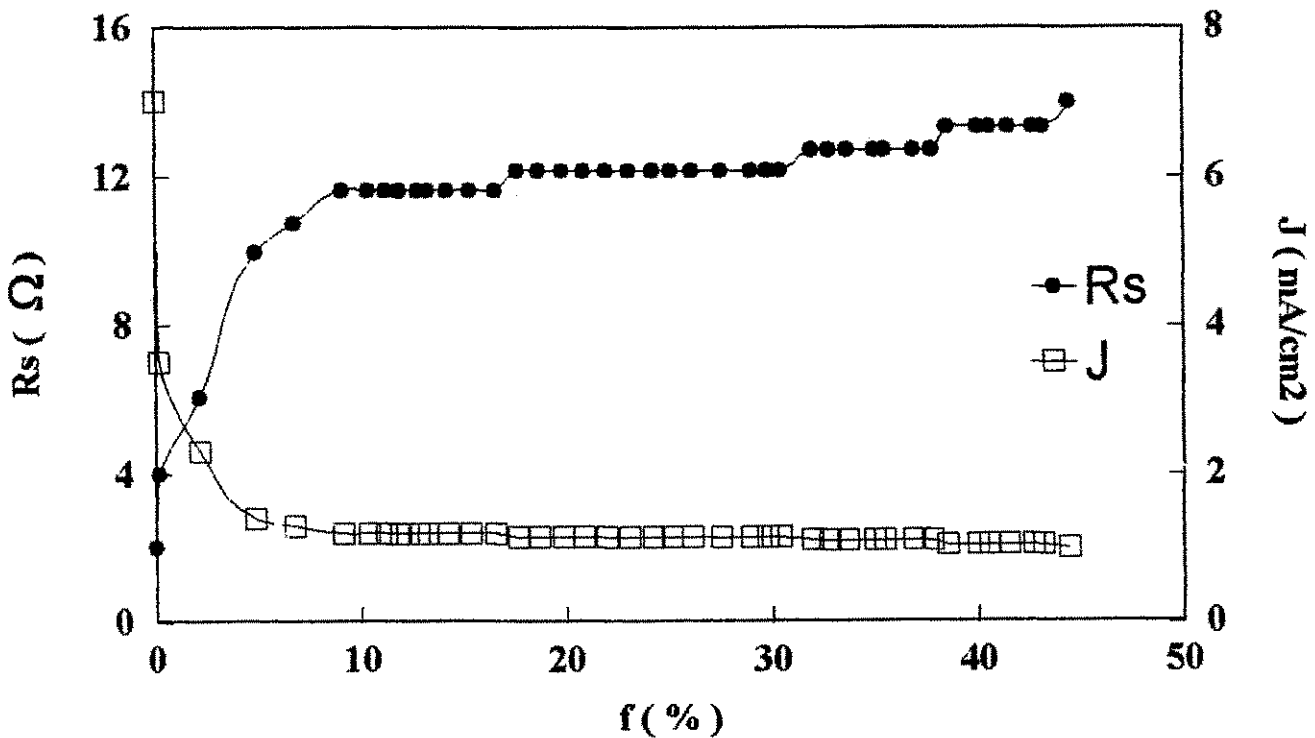


Figura 4.26 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 942,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

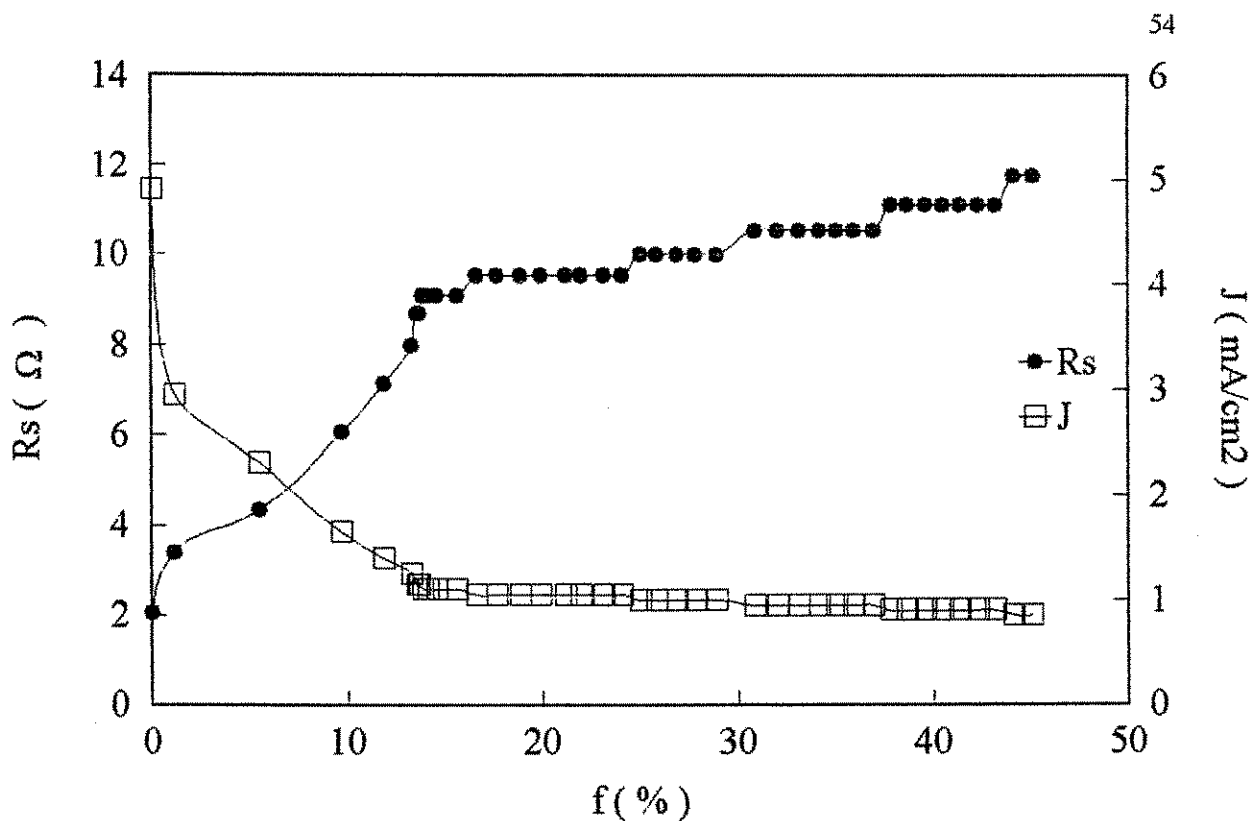


Figura 4.27 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada(f) para uma solução de NaCl de concentração de 961,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

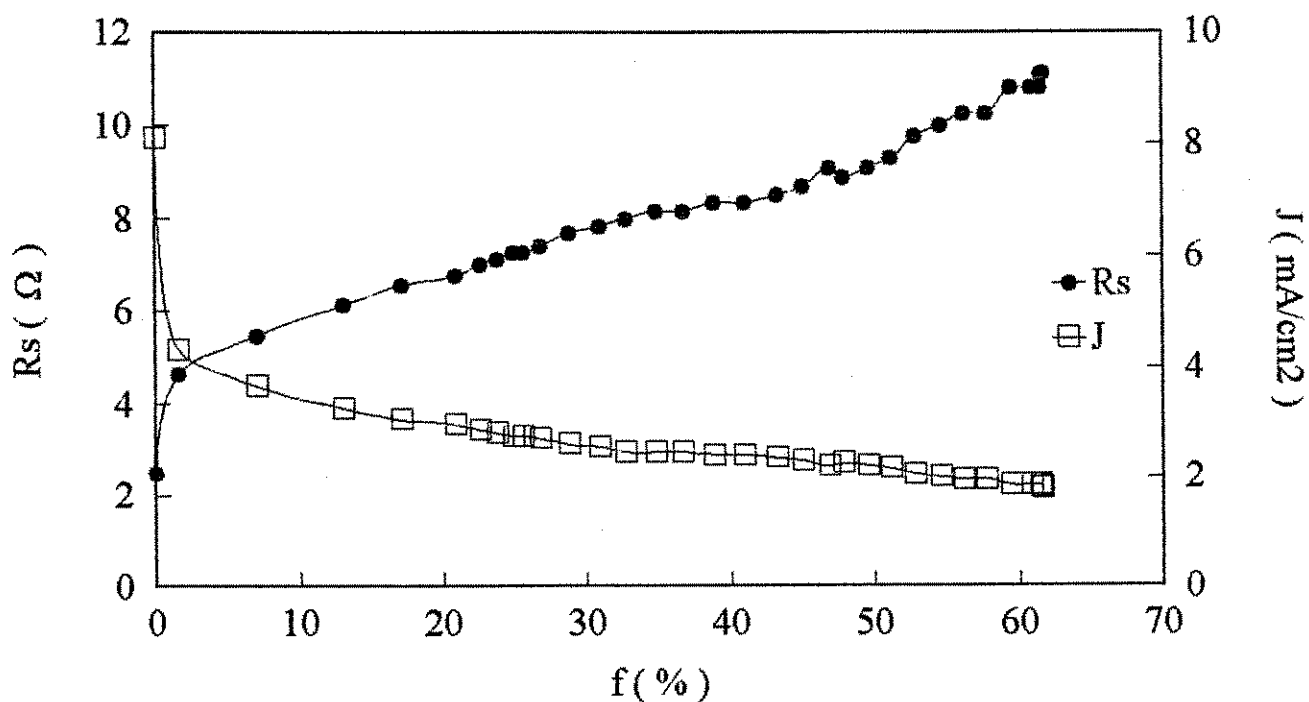


Figura 4.28 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada(f) para uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

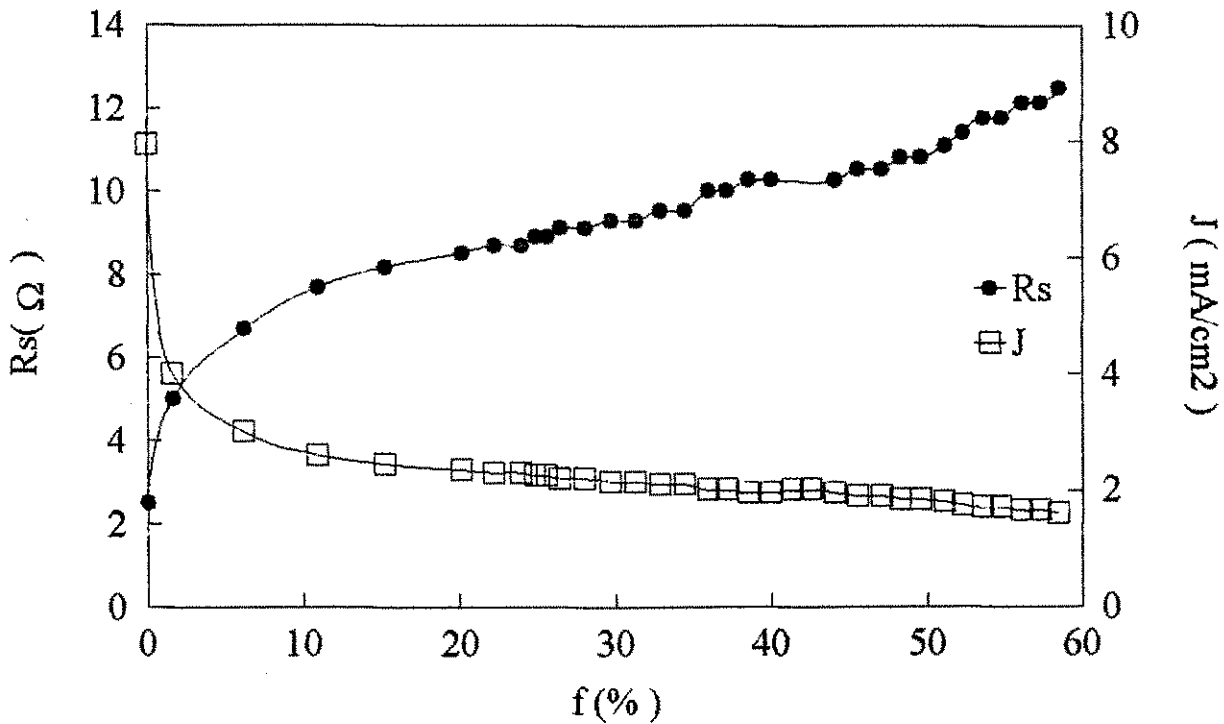


Figura 4.29 - Resistência ôhmica e densidade de Corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 1024.1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

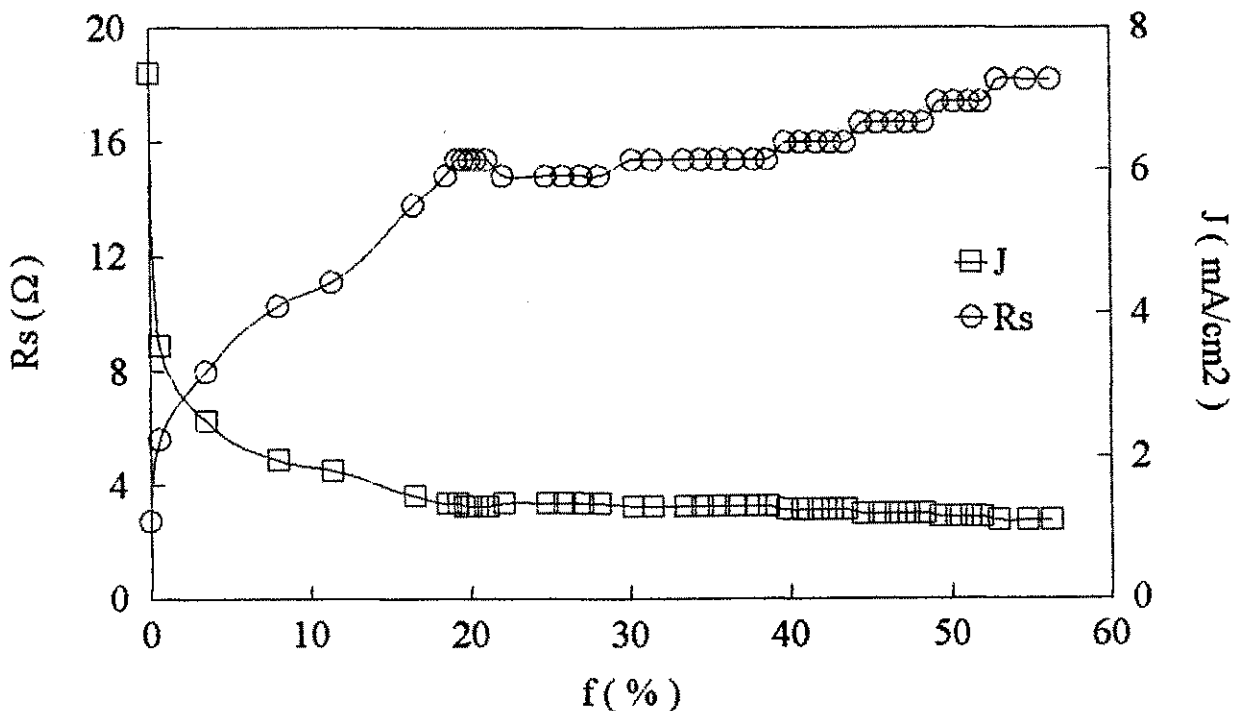


Figura 4.30 - Resistência ôhmica e densidade de Corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 993.9 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

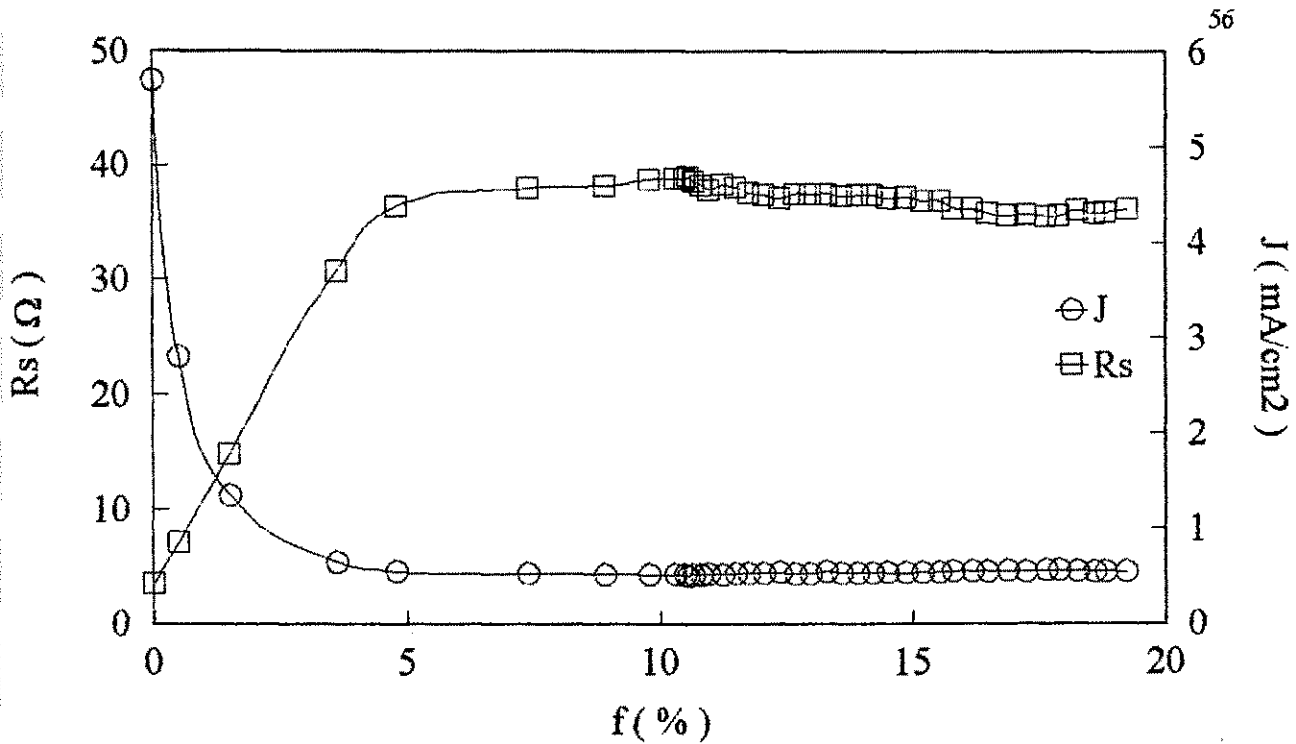


Figura 4.31 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 1045.7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

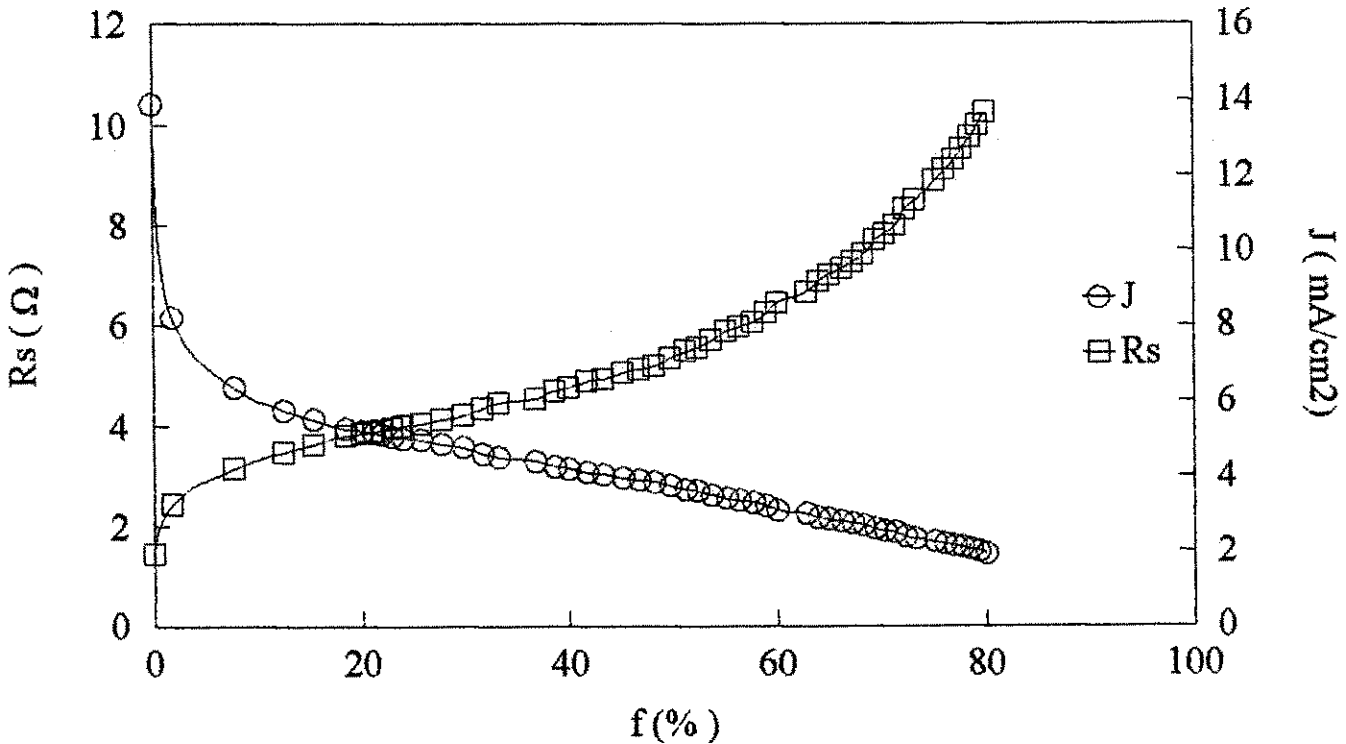


Figura 4.32 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2121.5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

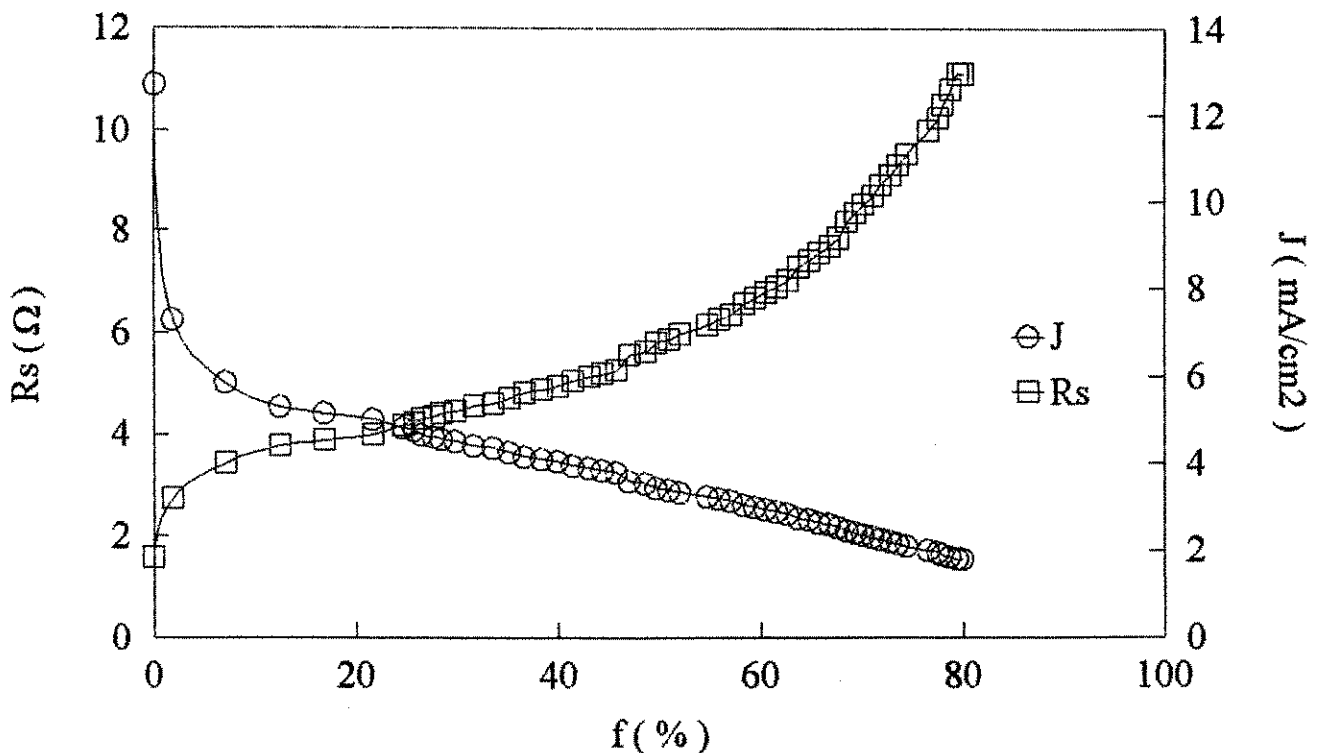


Figura 4.33- Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2065.0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 38 l/h e T = 25 C.

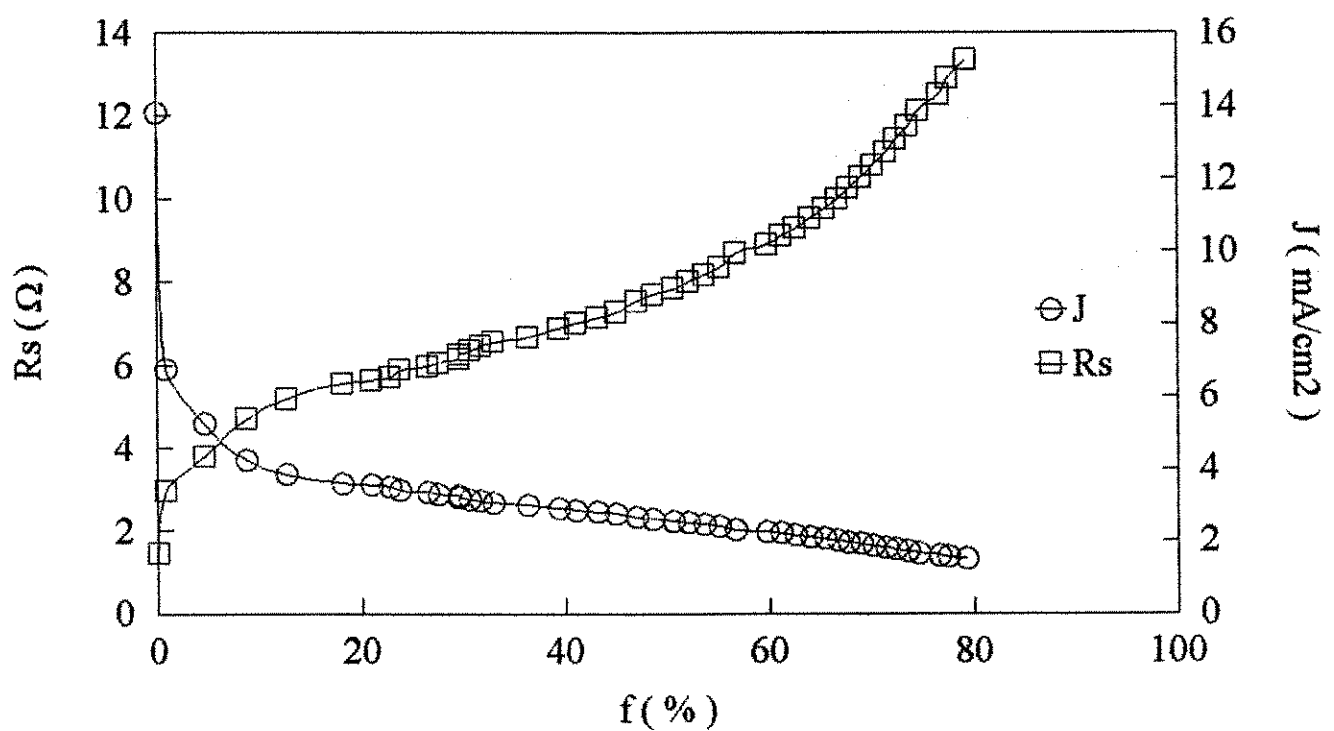


Figura 4.34 - Resistência ohmica e da densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2138.5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h e T = 25 C.

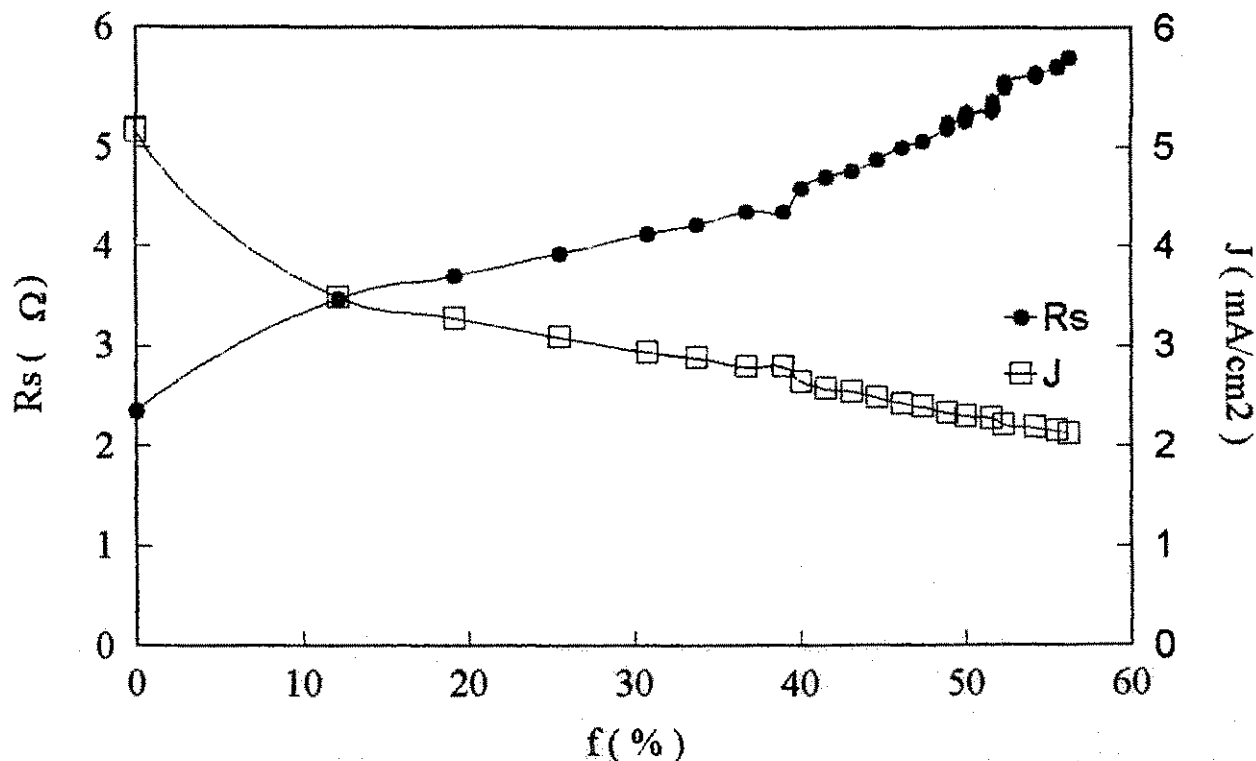


Figura 4.35 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

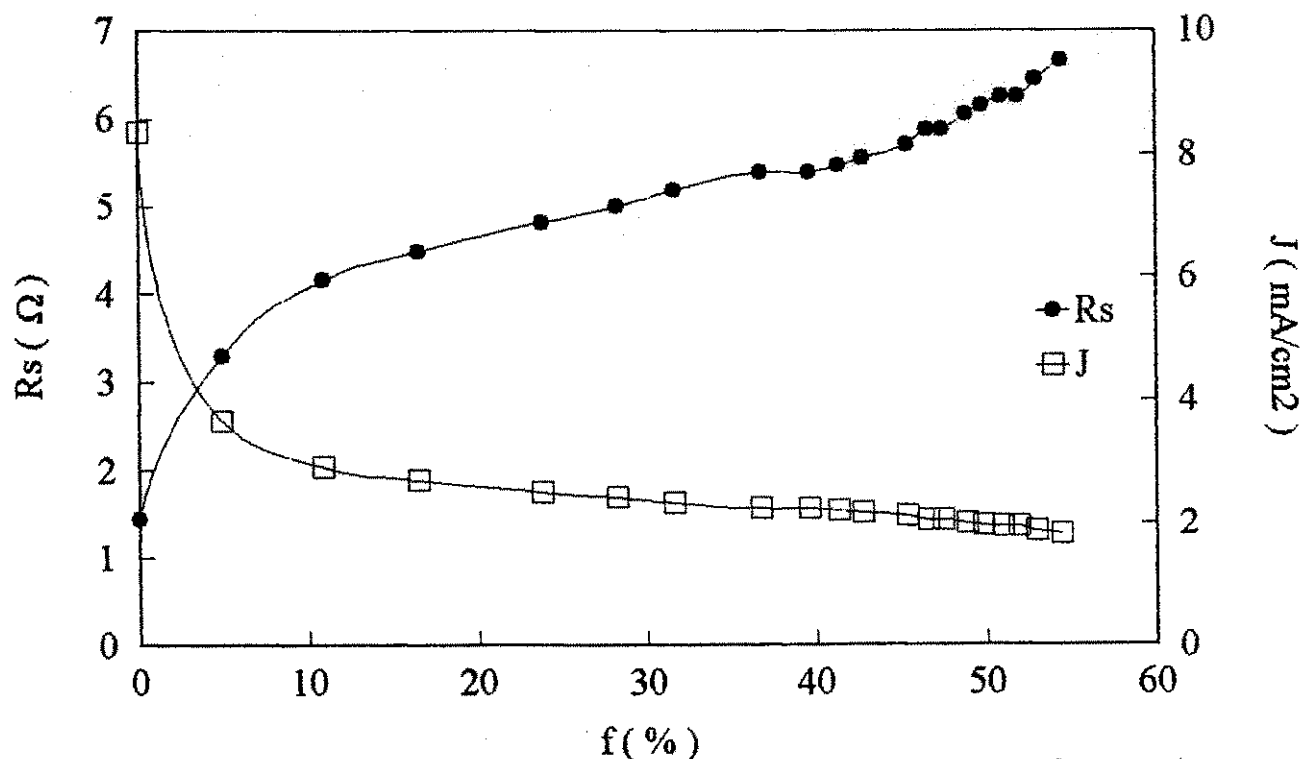


Figura 4.36 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

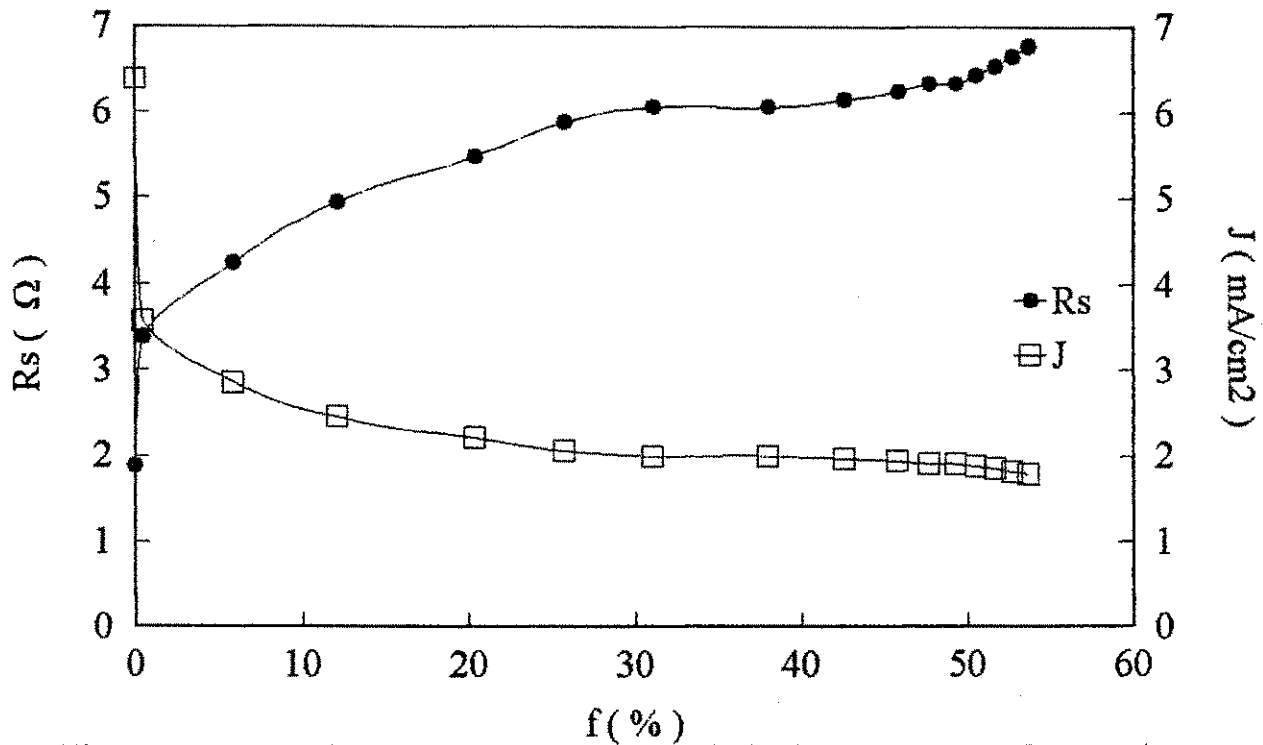


Figura 4.37 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

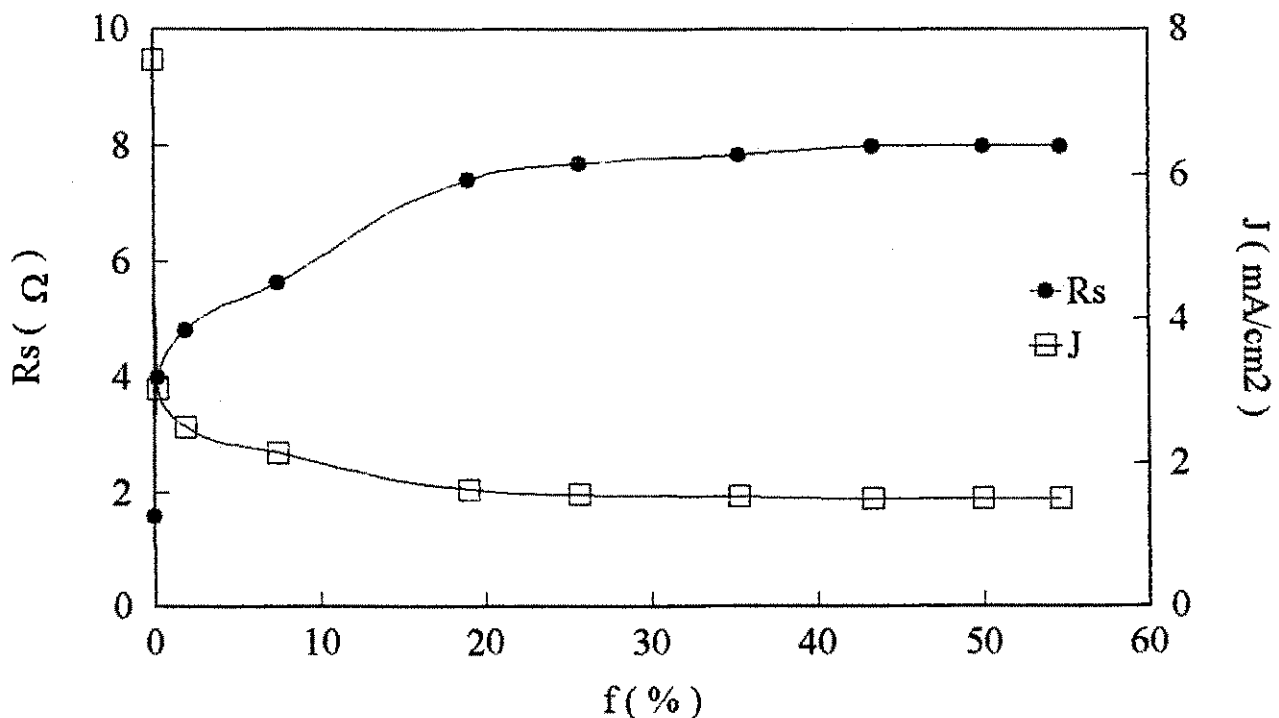


Figura 4.38 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

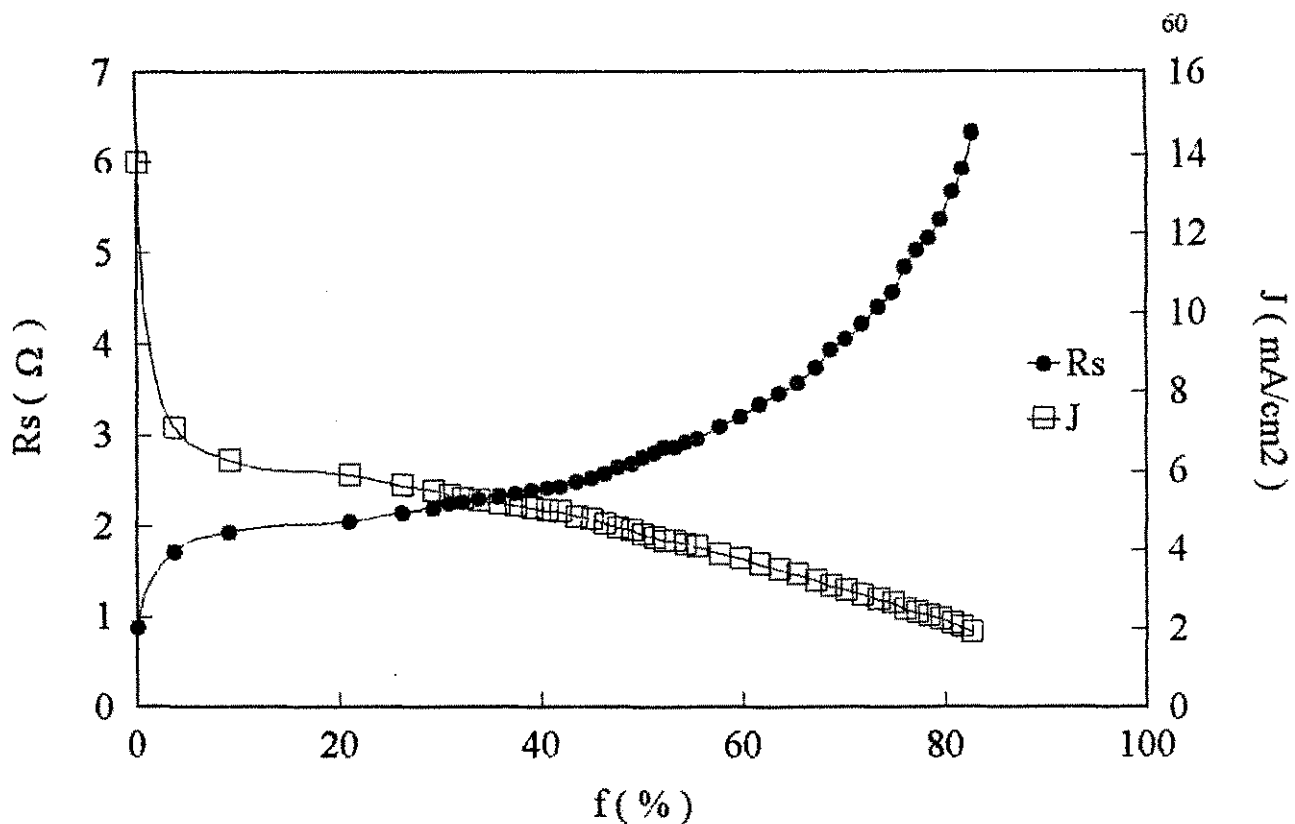


Figura 4.39 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

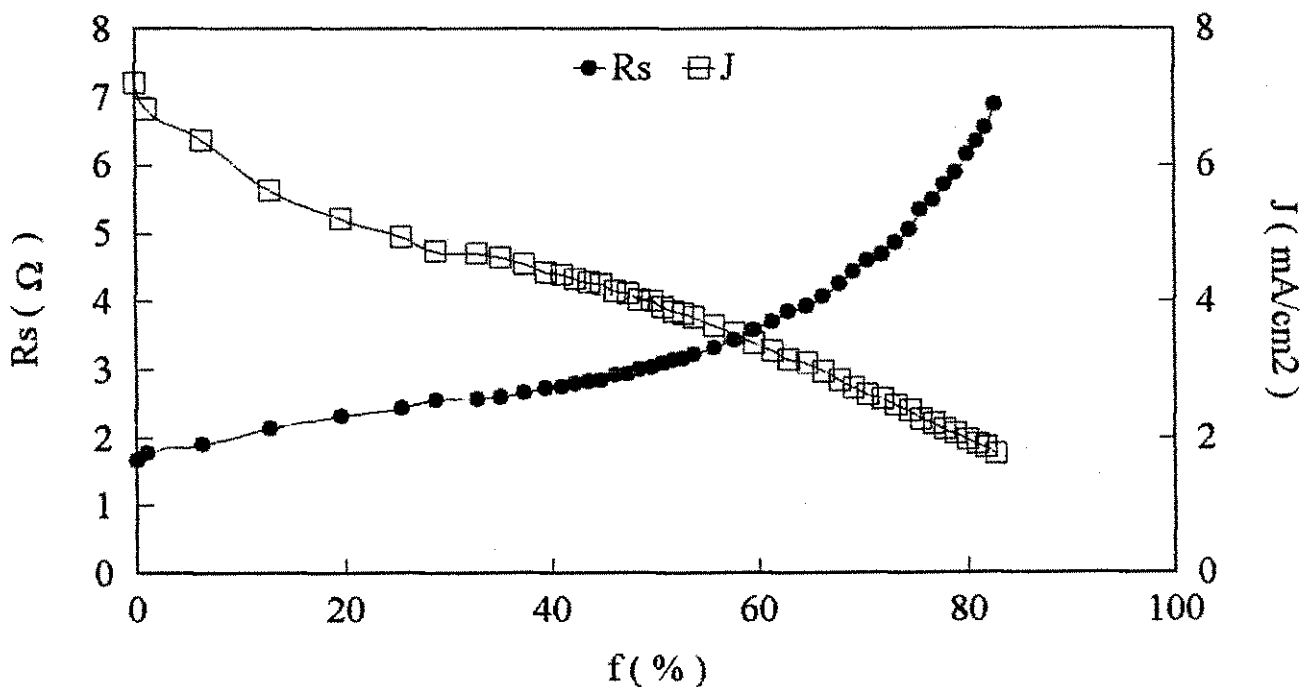


Figura 4.40 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

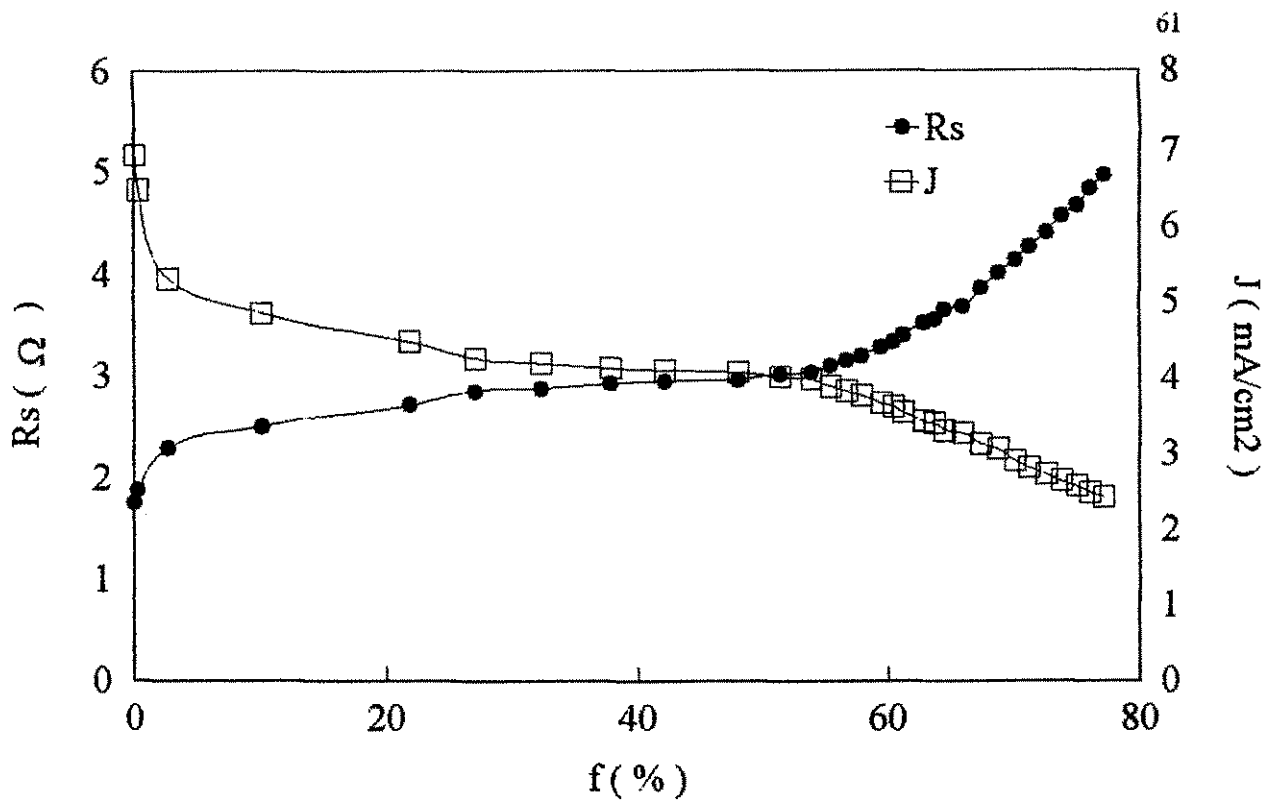


Figura 4.41 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

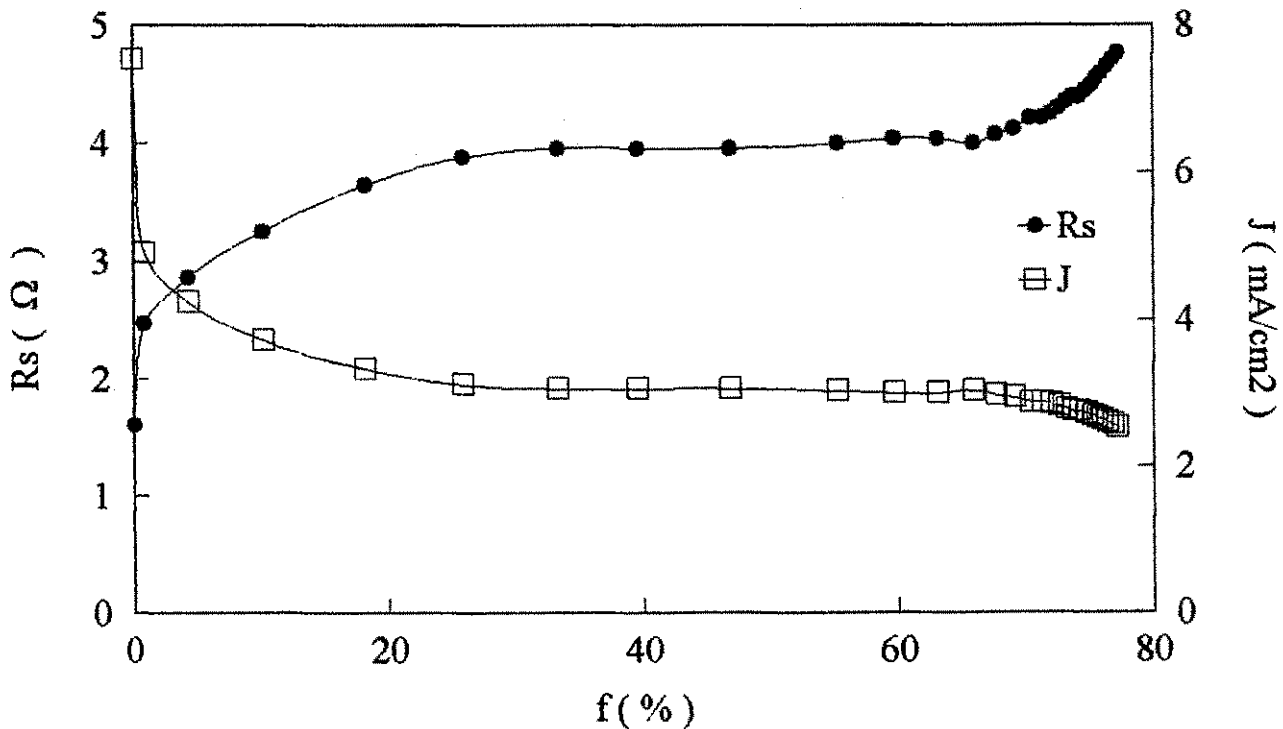


Figura 4.42 - Resistência ohmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

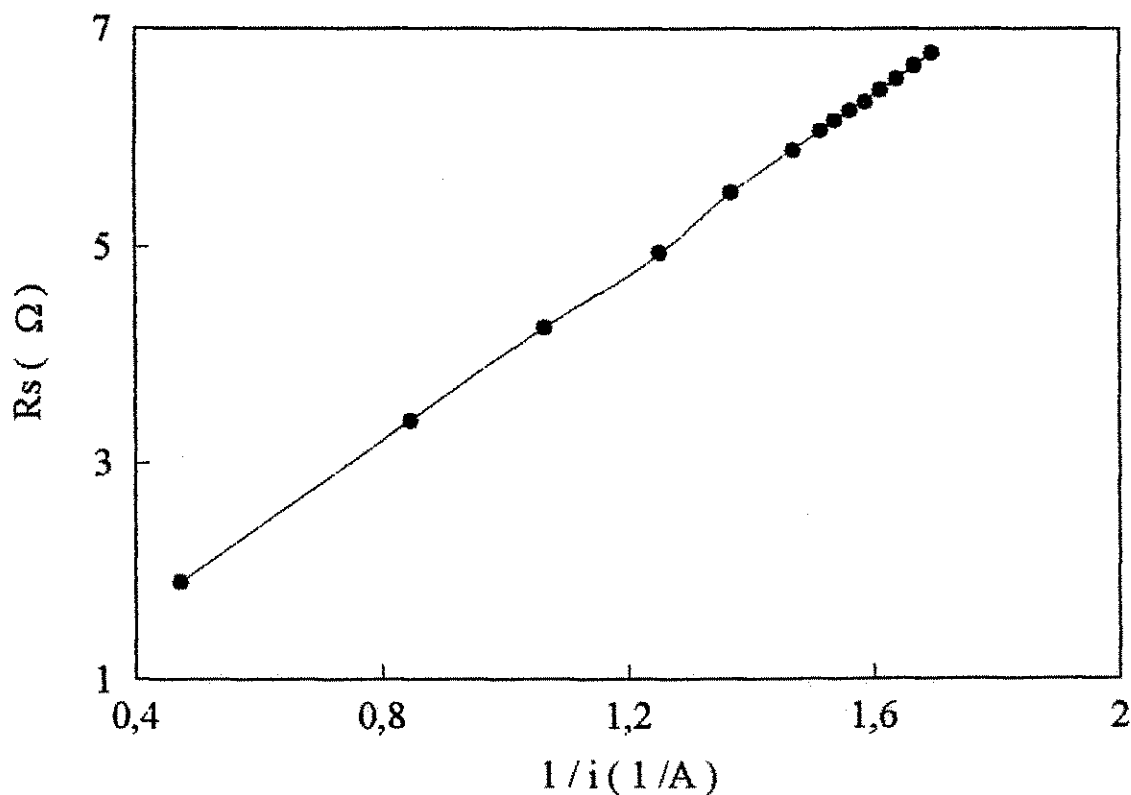


Figura 4.43 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948.6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 27$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.

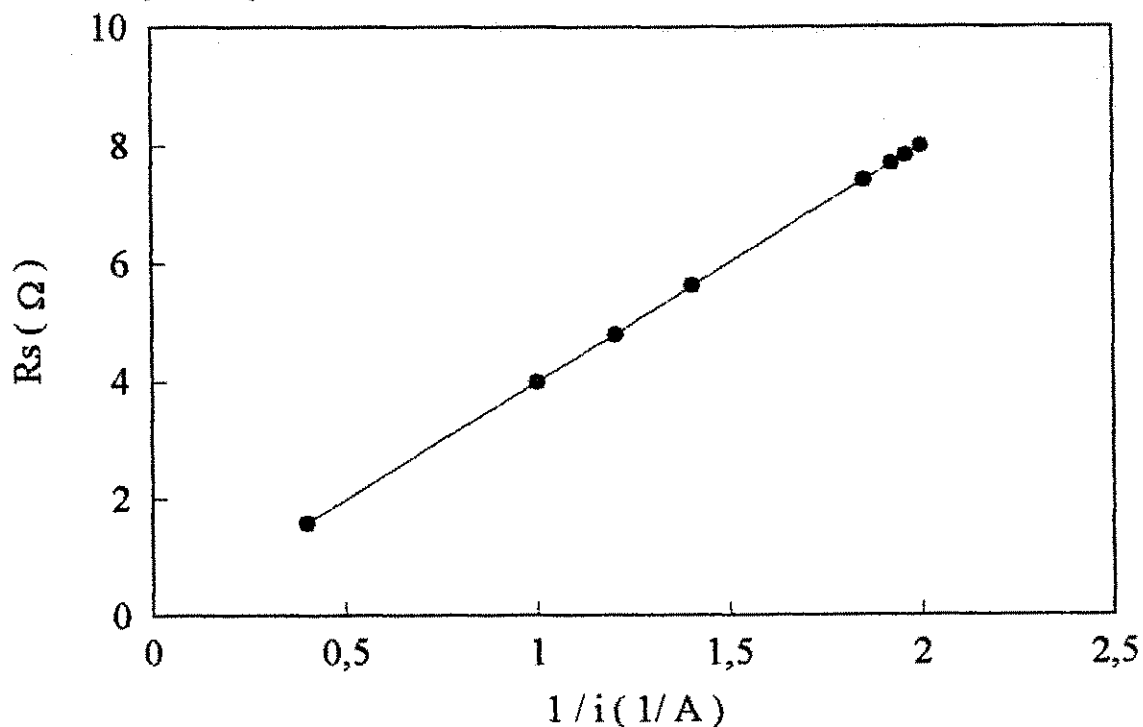


Figura 4.44 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948.1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 14$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.

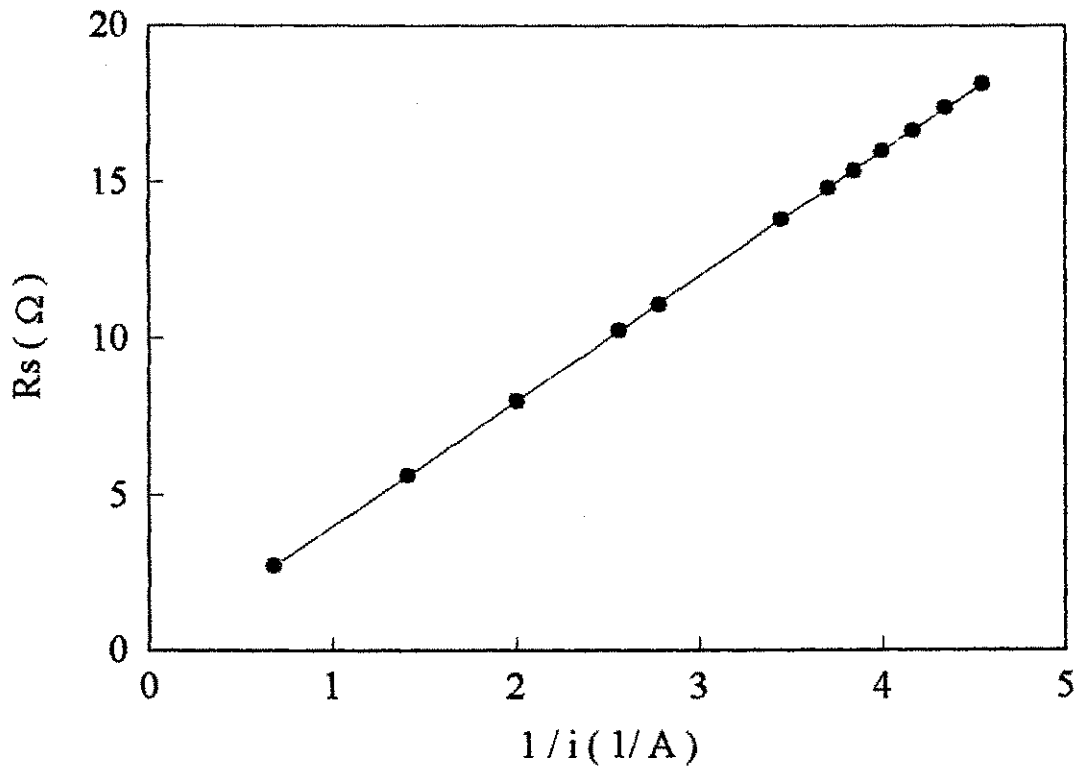


Figura 4.45 - Resistência ohmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 993.9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 27$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.

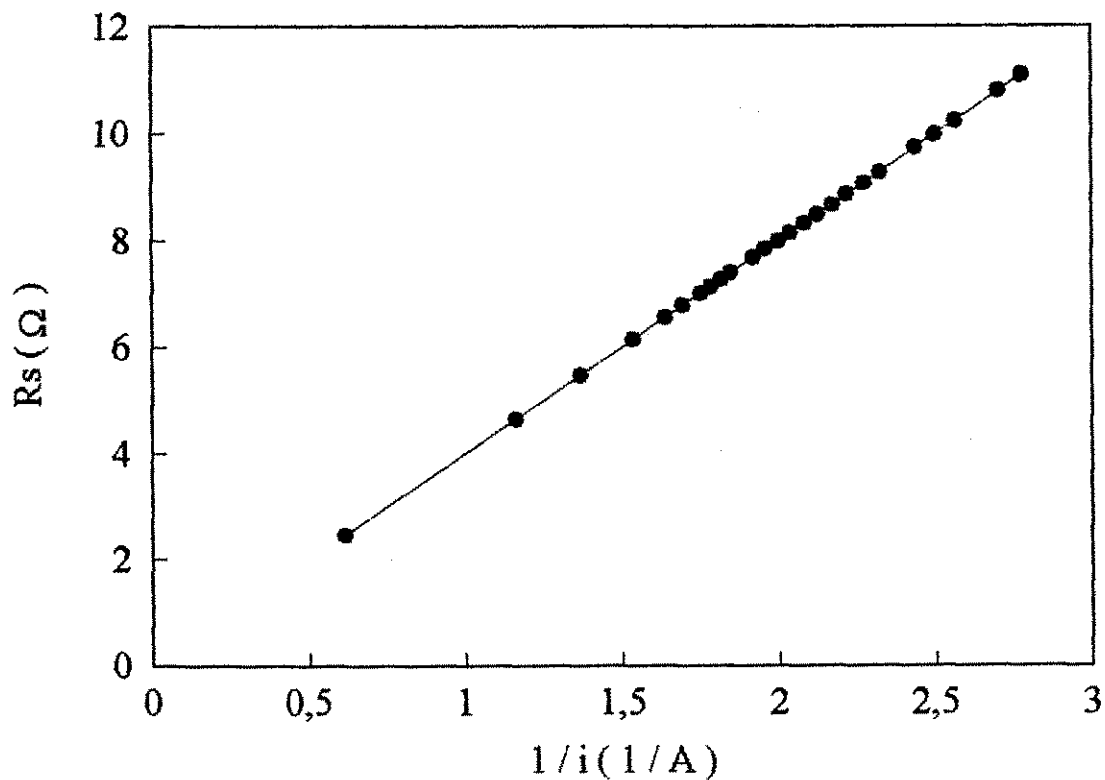


Figura 4.46 - Resistência ohmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 1018.7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 54$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.

4.6 - Eficiência de corrente e a diferença de concentração de entrada e saída do reator

O gradiente do potencial elétrico e o gradiente de concentração formado entre as células, são basicamente os responsáveis pela transferência iônica no reator eletrodialítico com membranas seletivas. Quando o gradiente de concentração entre os compartimentos diluídos e concentrados forem relativamente pequenos, o processo de dessalinização ocorrerá rapidamente. À medida que este gradiente aumenta sensivelmente no interior do reator, esta diferença de concentração tenderá a reduzir a transferência iônica do contra-íon e aumentará a transferência iônica do co-íon, ocasionando o efeito de polarização [Shah & Scamehorn, 1987]. Com o propósito de estudar a eficiência de corrente (ϵ) e a variação da concentração na entrada e saída do reator, $\Delta C_x = (C_a - C_s)$, foi utilizado a Equação 2.4 para os dois sistemas de escoamento, linear e tortuoso, para as concentrações estudadas e para um mesmo potencial elétrico, variando-se apenas as Vazões de alimentação do reator. As Figuras 4.47 e 4.48 mostram o comportamento da eficiência de corrente e da variação da concentração ΔC_x em função do tempo. Observa-se que o sistema de escoamento linear com uma vazão de alimentação de 54 l/h apresentou um súbito crescimento da eficiência e na concentração ΔC_x nos 3 minutos iniciais, alcançando um ponto máximo em torno de 85 % e 0,31 g/l respectivamente. A partir deste ponto a eficiência tende a diminuir até atingir um valor em torno de 75 %, enquanto que a variação de concentração ΔC_x tende também a cair procurando se estabilizar em torno de 0,20 g/l. Com a vazão de alimentação de 38 l/h a eficiência cresce rapidamente até os 3

minutos, apresentando logo em seguida uma estabilização em torno de 80 % enquanto que a variação da concentração ΔC_x cresce até um valor máximo de 0,32 g/l apresentando em seguida uma queda de forma mais suave, representando assim, um aumento no gradiente de concentração. Pela Figura 4.49 pode-se verificar que a eficiência e ΔC_x crescem praticamente juntas, demonstrando uma grande elevação na remoção dos íons até se atingir um valor máximo em torno de 77 % e 0,38 g/l (ver Tabela 4.38) respectivamente com uma vazão de alimentação de 27 l/h. Pela Figura 4.50 observou-se apenas um crescimento bastante elevado das duas variáveis em estudo, no entanto, não foi possível a visualização de um ponto máximo pois a taxa de transferência de íons foi bastante elevada de modo que a solução de cloreto de sódio alcançou a sua faixa de potabilidade em torno dos 3 minutos iniciais. Em função de análises anteriores sobre a taxa de dessalinização, percebe-se mais uma vez que a vazão de alimentação pode influenciar na eficiência de corrente, nesse caso para uma vazão de 14 l/h , apresentou um tempo de residência maior no interior do reator do que os outros, favorecendo assim o processo. Na Figura 4.51 a 4.54 mostram que a eficiência e ΔC_x crescem praticamente juntas apresentando altas taxas de remoção de íons. Em seguida começam a decrescer lentamente, enquanto que a eficiência se estabiliza próximo a 80%. Esse decréscimo pode ser proveniente da diferença de concentração entre os compartimentos concentrados e diluído, ou seja a concentração dos compartimentos concentrados podem se encontrar com duas ou três vezes superior aos dos diluídos. Quando isso ocorre em um processo de dessalinização via eletrodialise a eficiência de corrente pode atingir valores superiores a 100 %, como aconteceu para os casos das vazões de 27,38 e 54 l/h. Isso significa

que alguns íons foram transportados pela membrana não apenas devido ao potencial elétrico ou por difusão normal, mas também por transporte convectivo proveniente do fluxo convectivo da solução que flui através dos poros das membranas, através dos co-íons e contra-íons que podem ser transportados por estes mecanismos [Shah & Scamehorn,1987].

Para os sistema de escoamento tortuoso o comportamento da variação de ΔC_x e eficiência de corrente em função do tempo encontram apresentados nas Tabelas 4.44 a 4.49 e representados pelas Figuras 4.55 a 4.60. Para esse sistema as curvas apresentaram um comportamento semelhante, todavia com oscilações durante o processo. Esse fato pode estar relacionado com as características do tipo de espaçador utilizado no interior do reator, por apresentar uma malha diferenciada quando comparada ao do espaçador linear, retendo assim o fluido por mais tempo no interior do reator o qual oferece condições de apresentar pontos de concentrações diferentes. Nesse caso quando ΔC_x estava sendo observado, apresentou valores altos e baixos durante o processo.

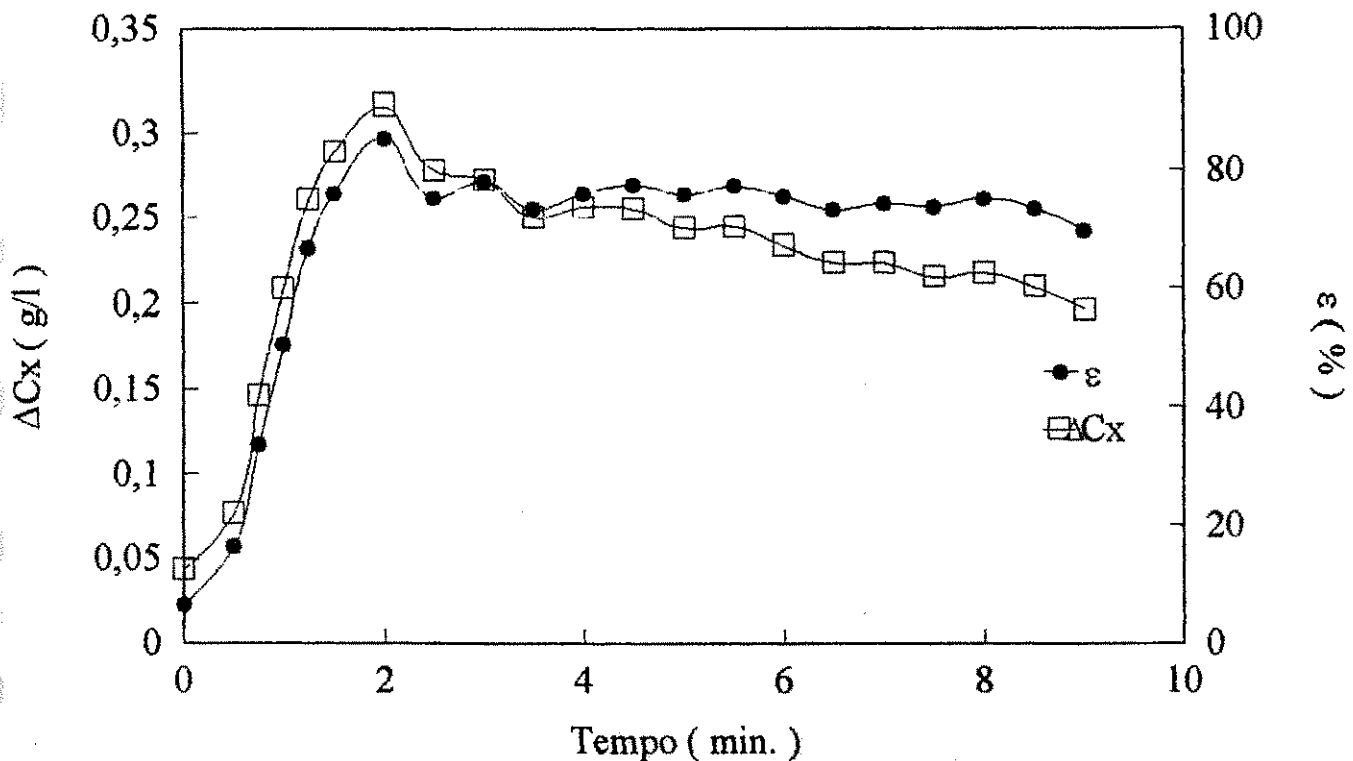


Figura 4.47 - Variação da concentração ΔC_x e eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

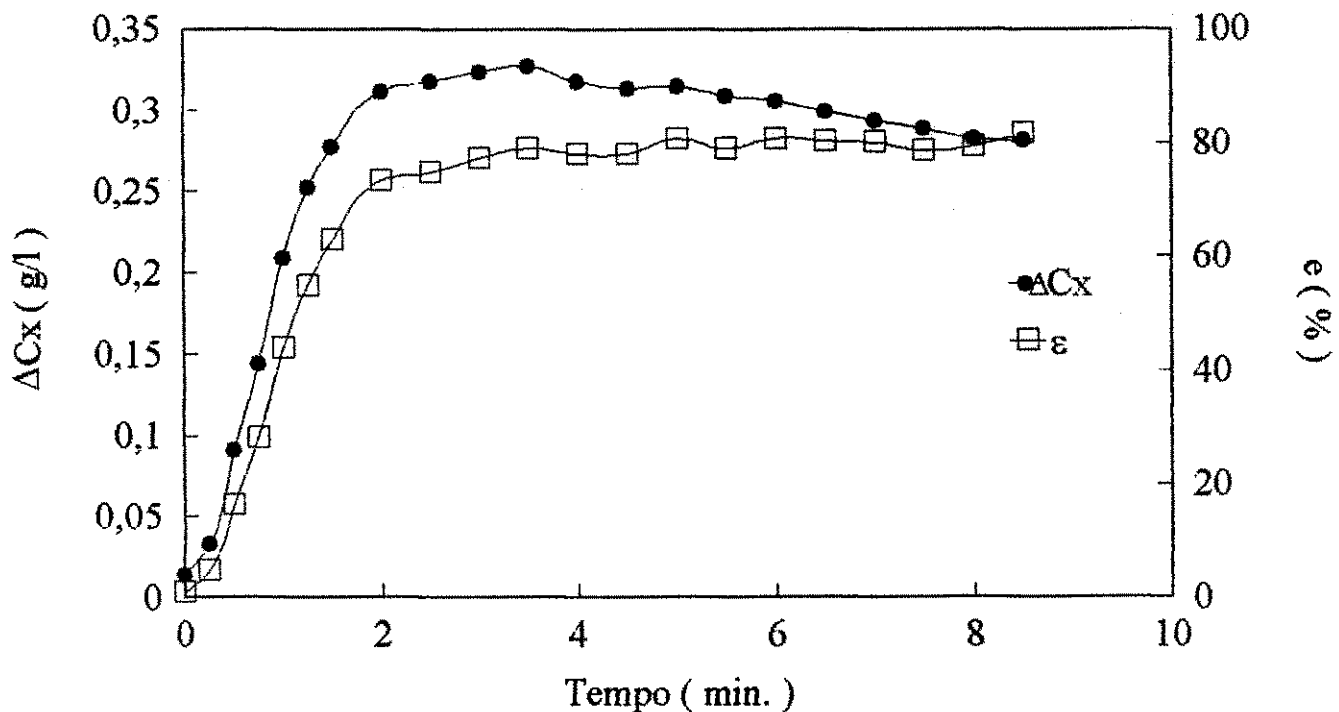


Figura 4.48 - Variação da concentração ΔC_x e eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

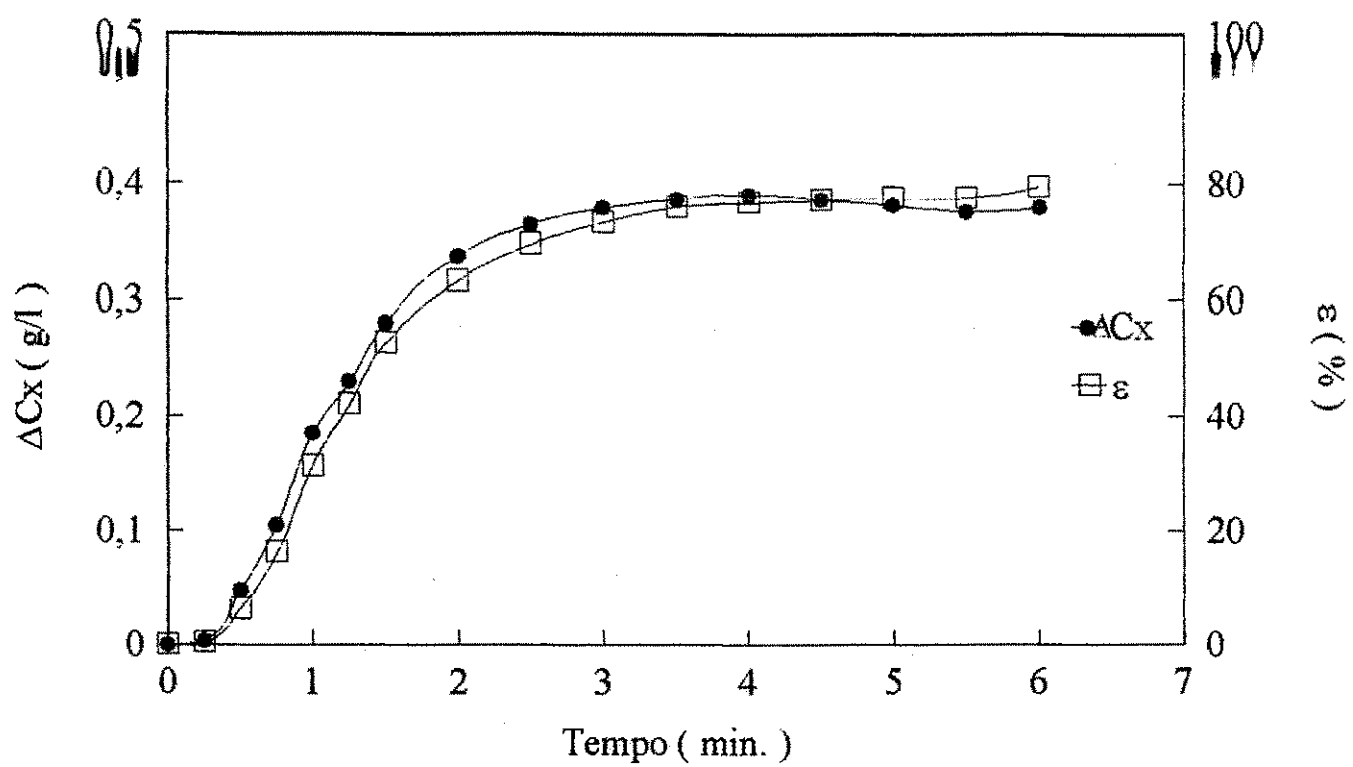


Figura 4.49 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

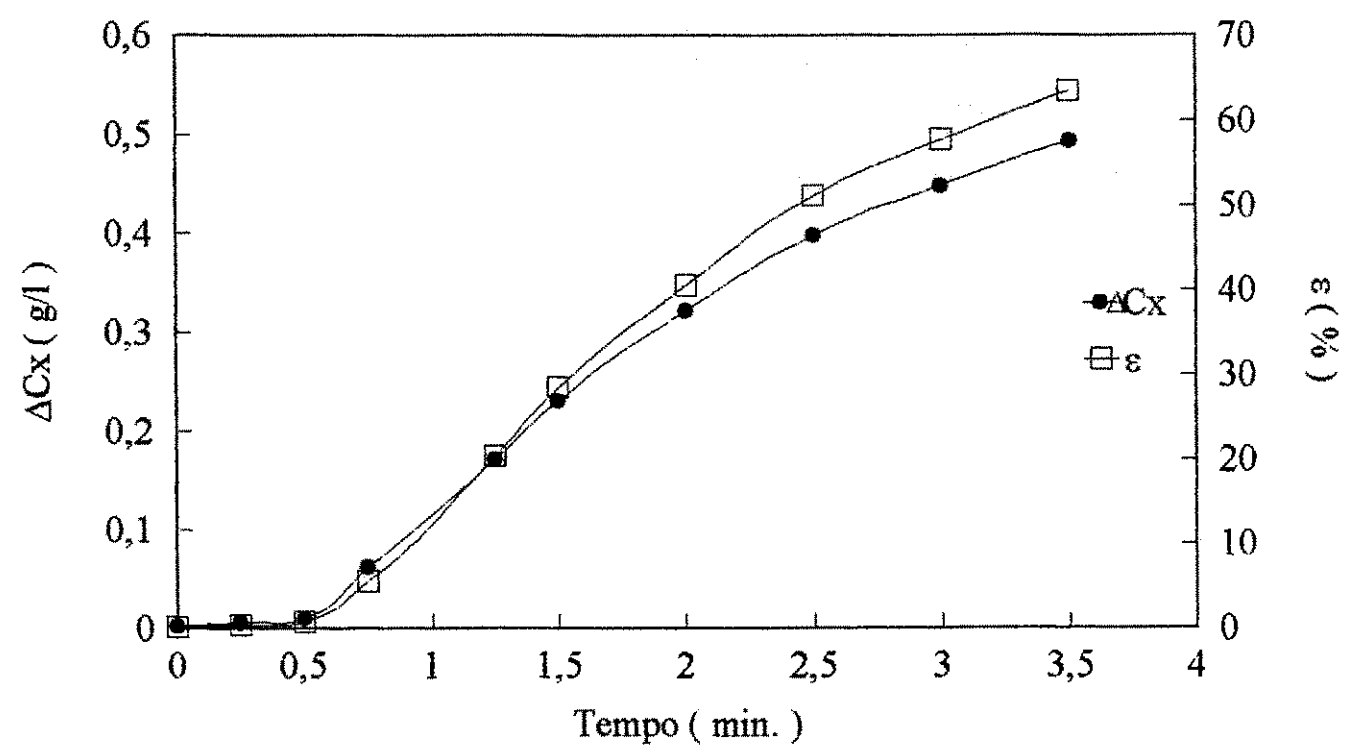


Figura 4.50 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

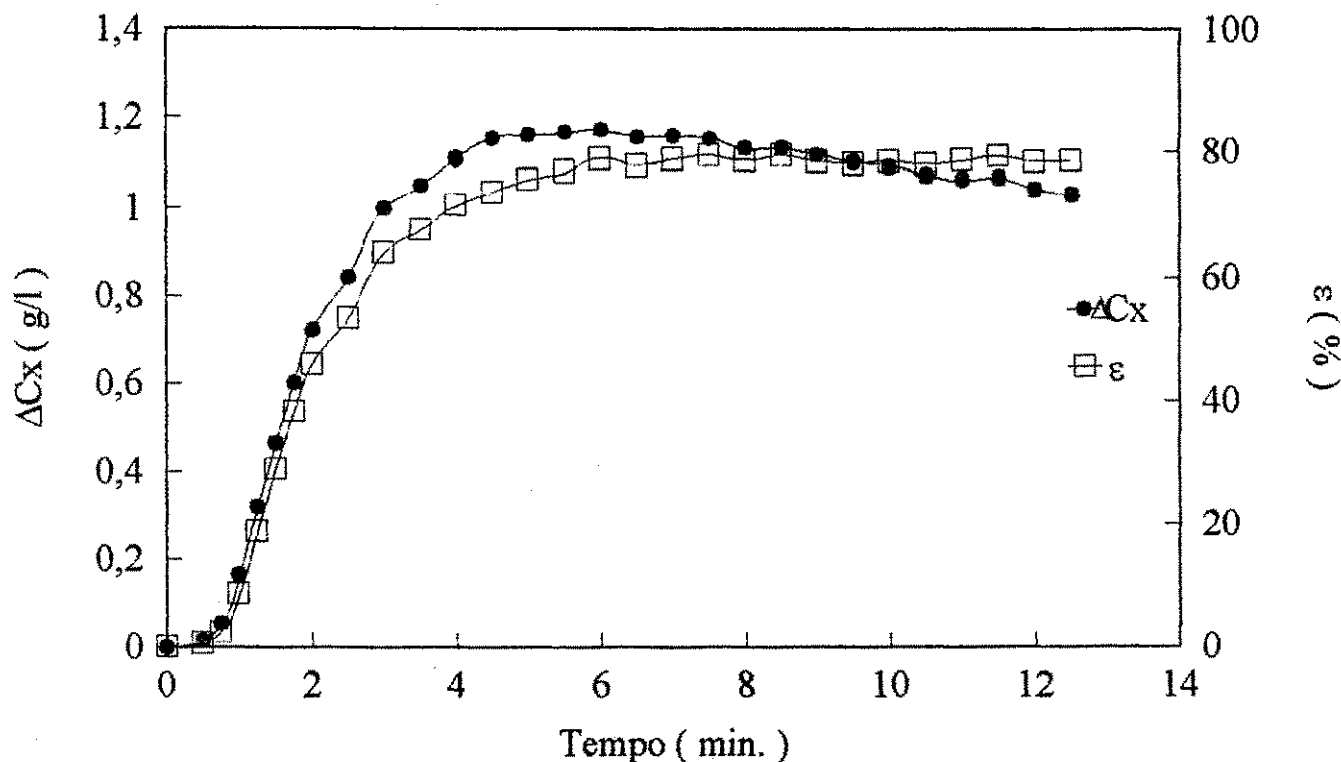


Figura 4.51 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

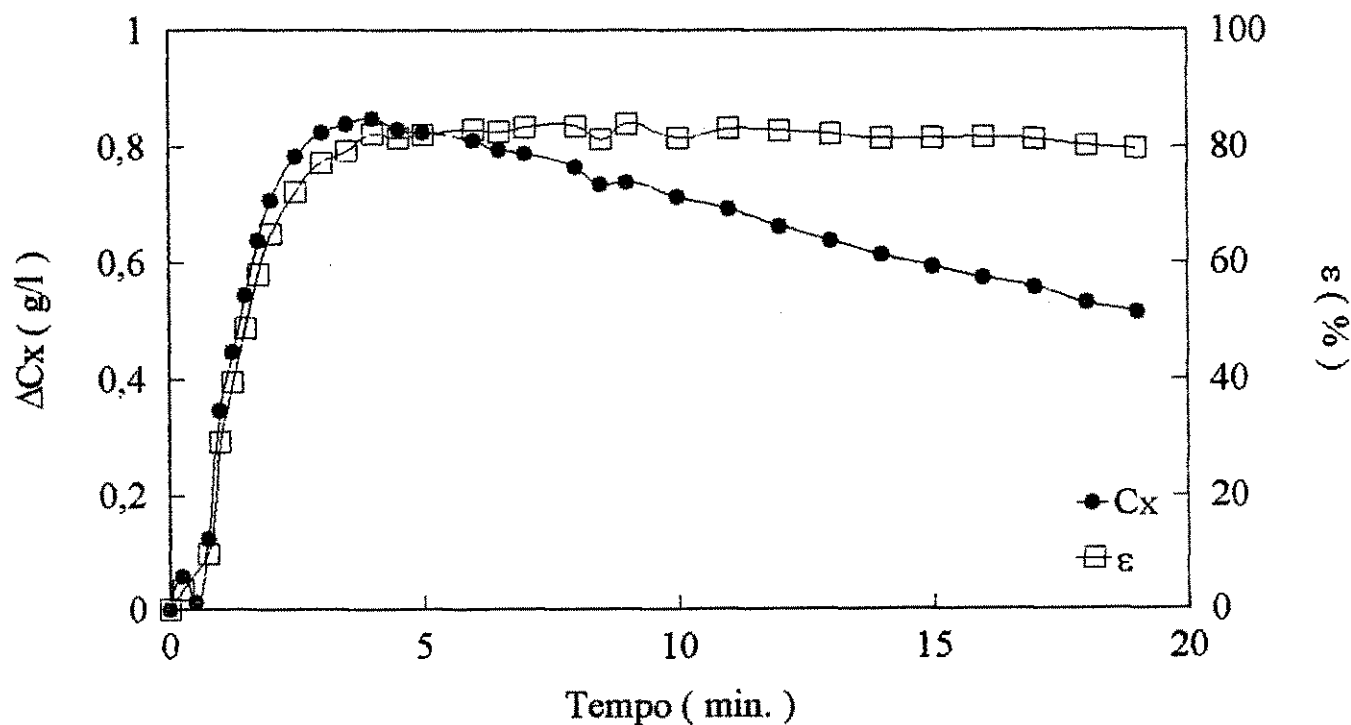


Figura 4.52 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

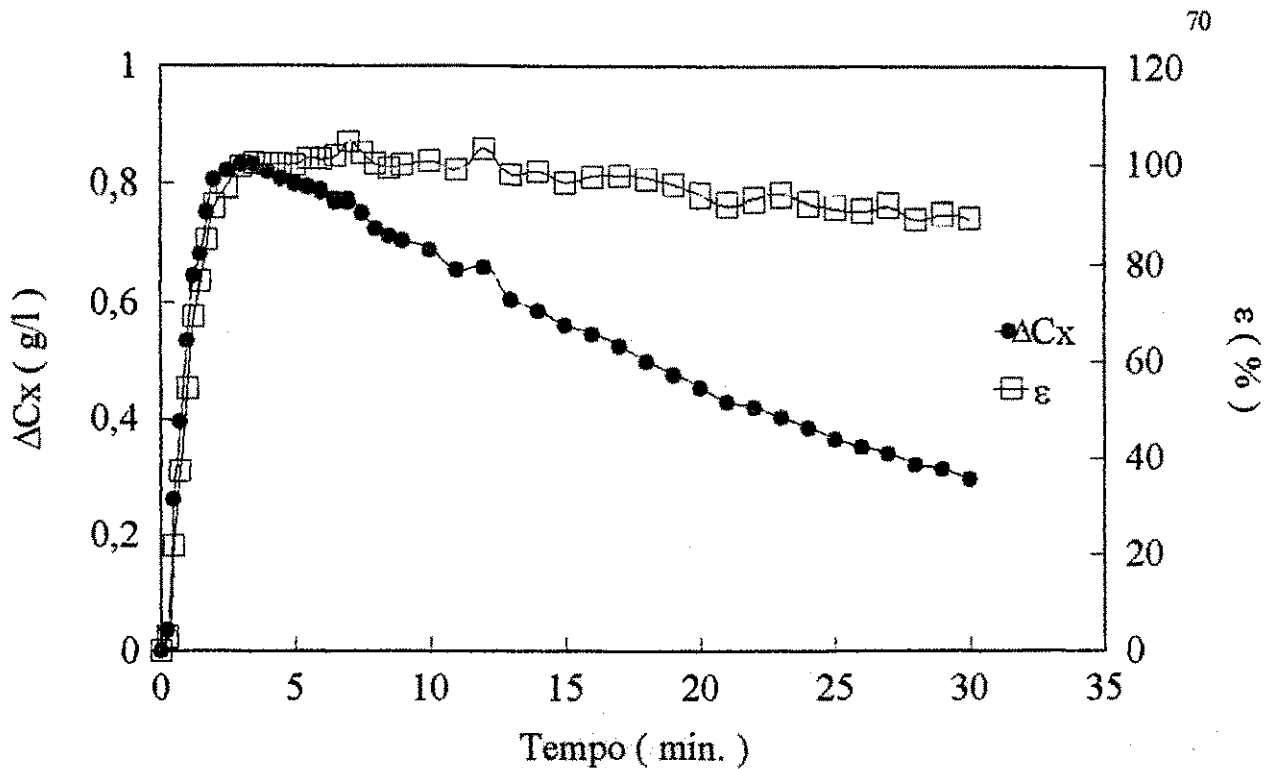


Figura 4.53 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

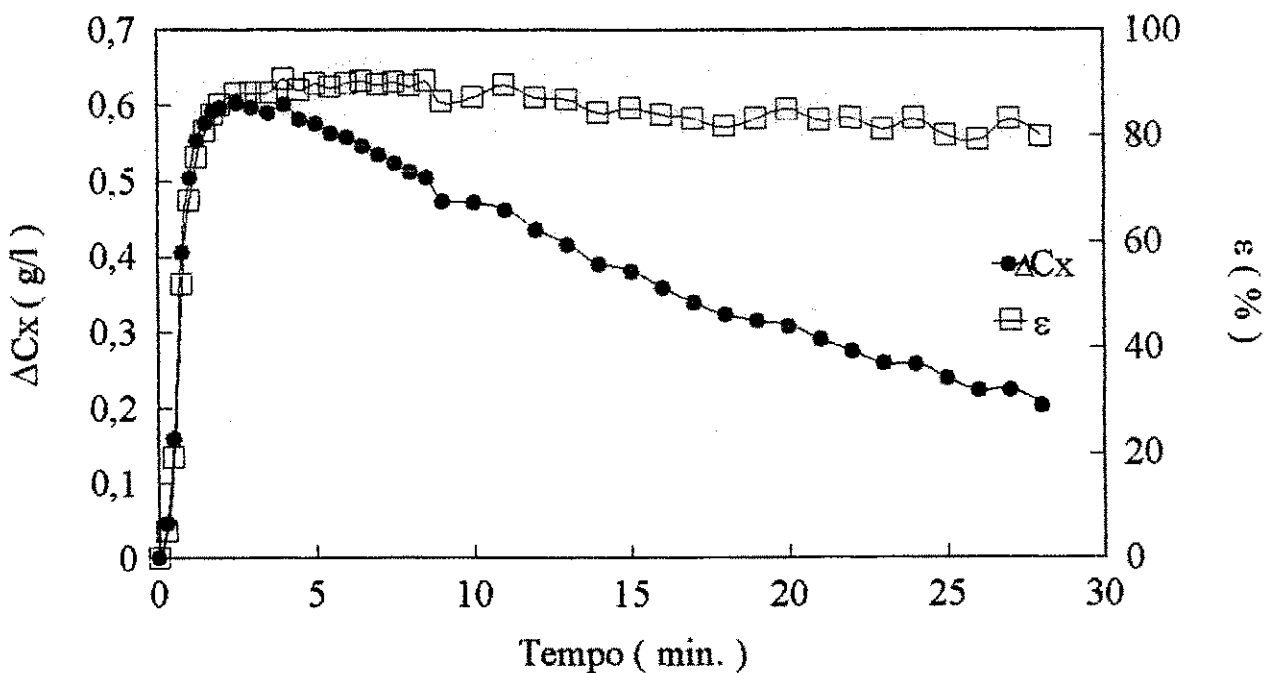


Figura 4.54 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

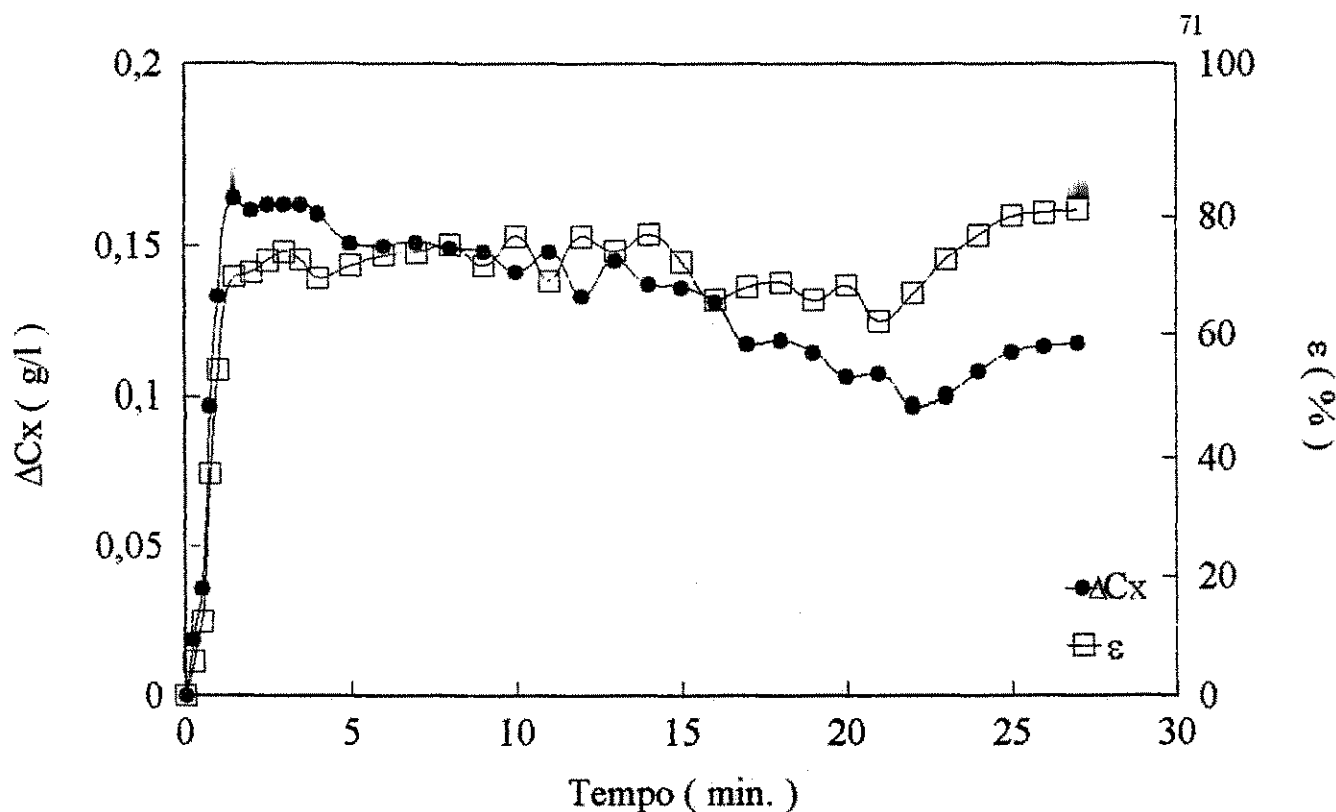


Figura 4.55 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

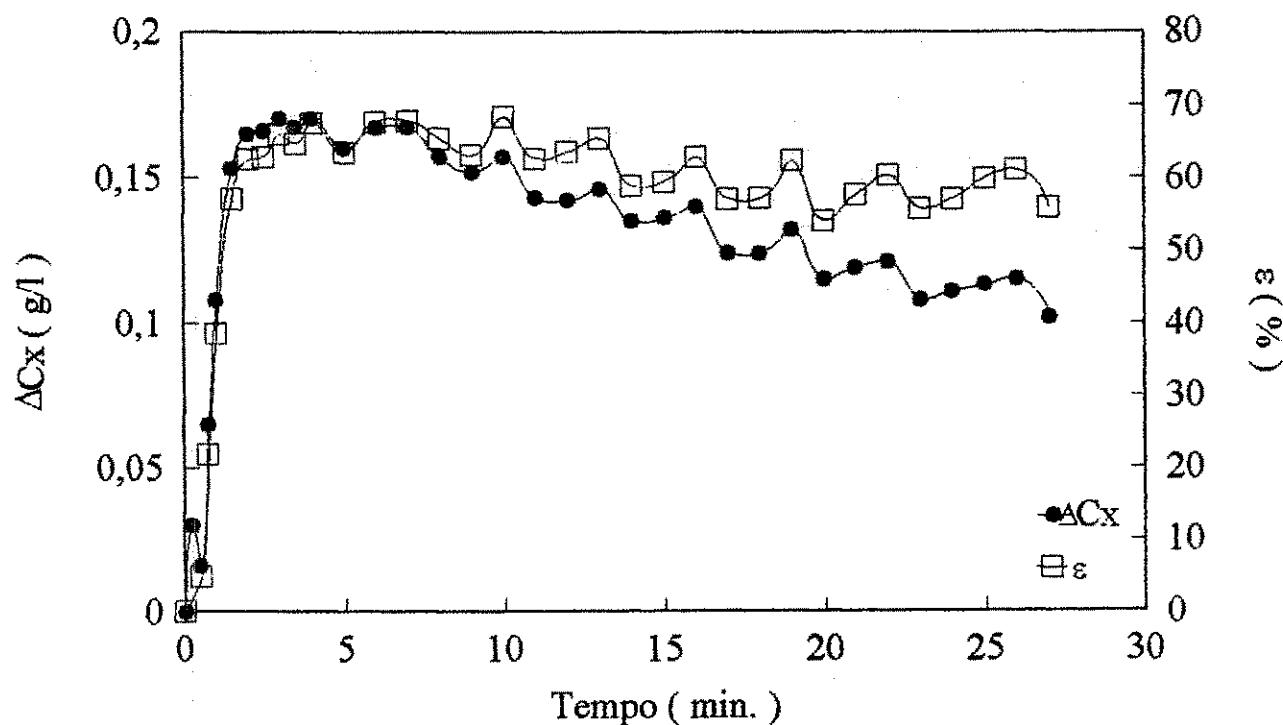


Figura 4.56 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1024,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

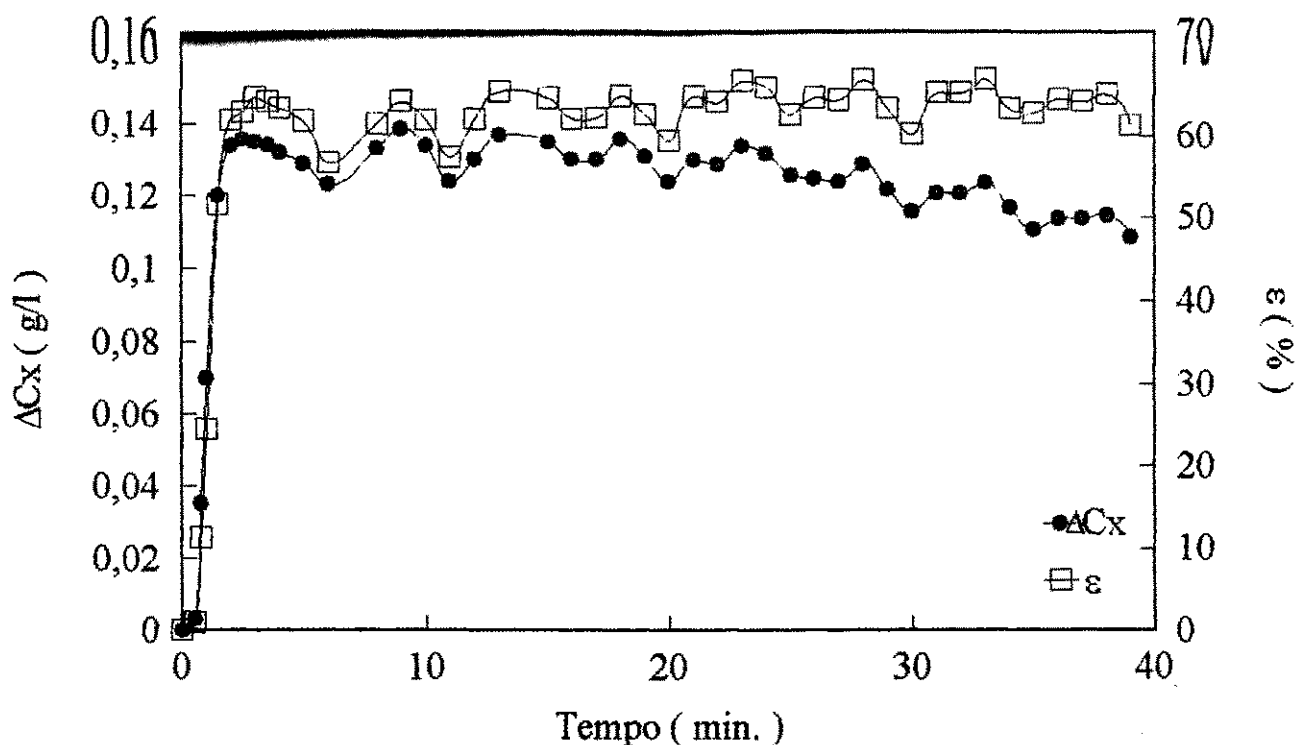


Figura 4.57 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 993,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

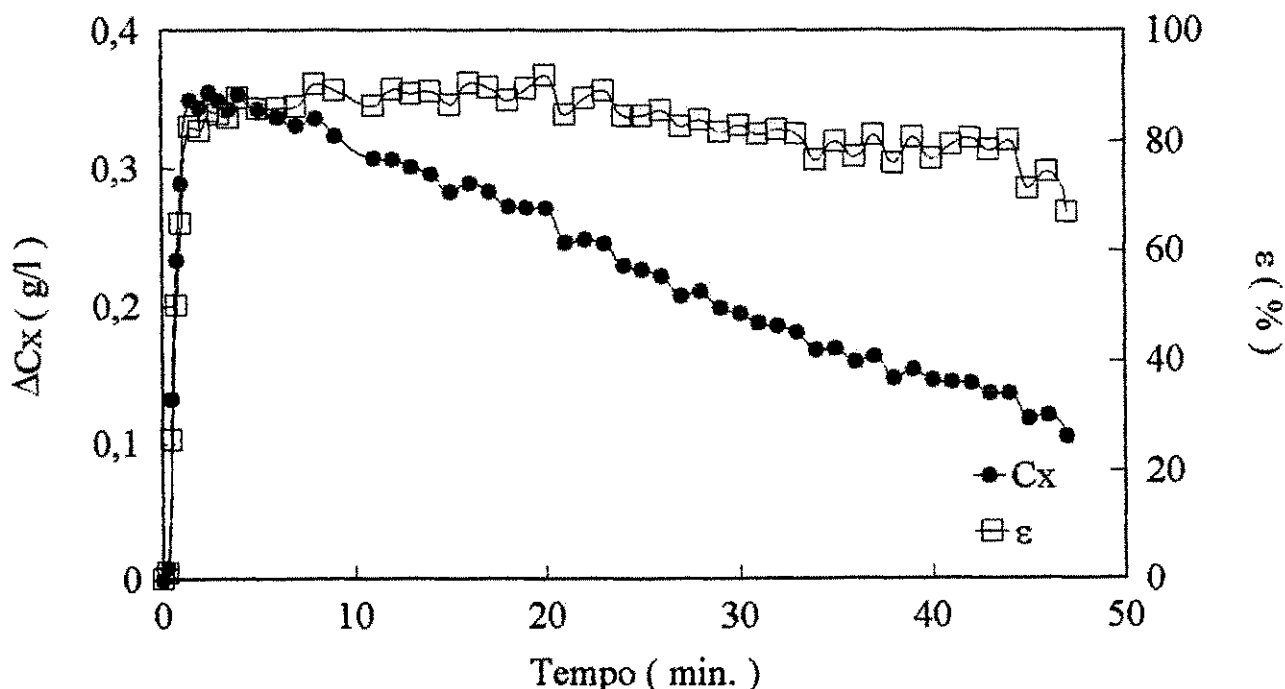


Figura 4.58 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2121,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

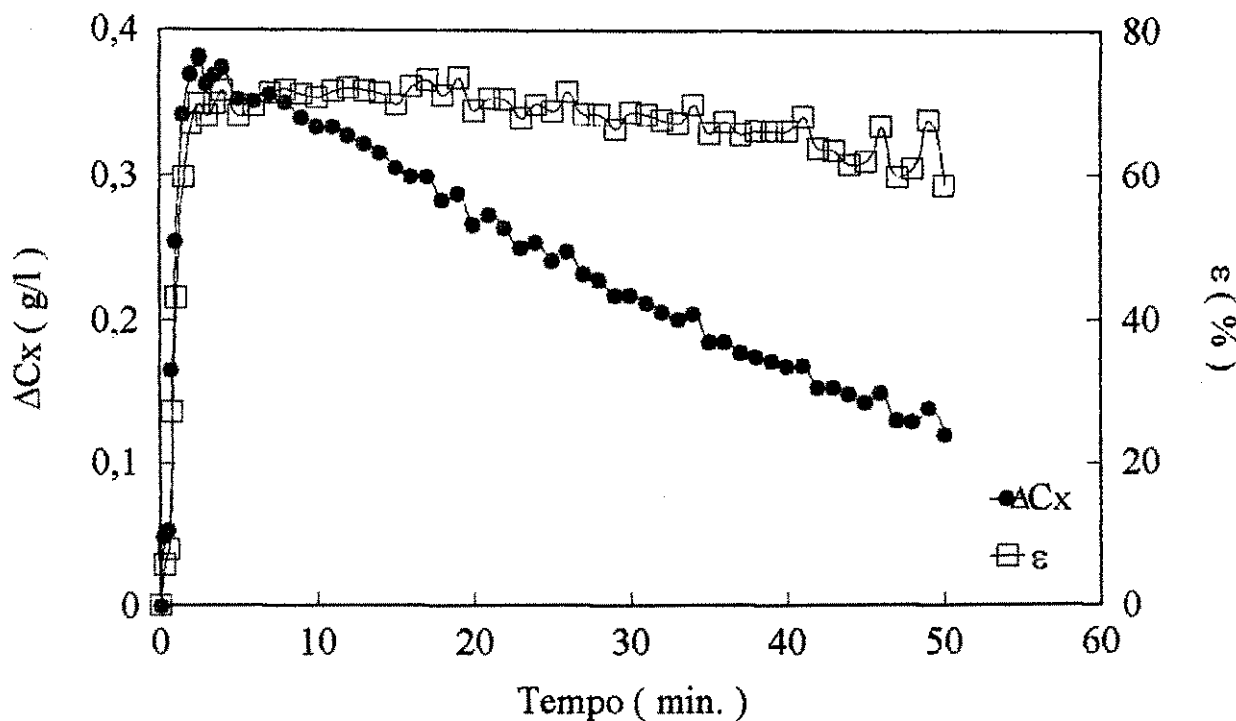


Figura 4.59 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2065,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

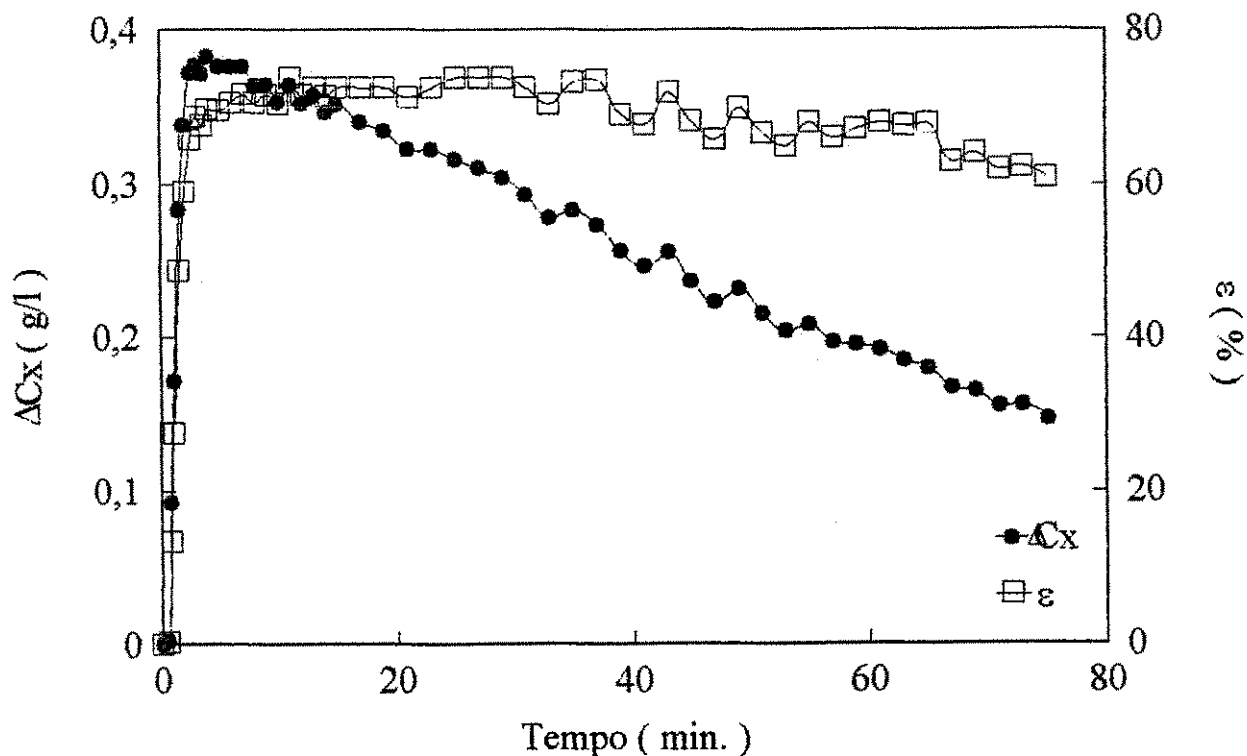


Figura 4.60 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente (ϵ) em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2138,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

4.7 - Variação do pH

Conforme descrito no item 2.7 o transporte de íons pelas membranas de um compartimento para outro, gera um decréscimo na concentração do contra-íon na camada limite laminar próxima à superfície da membrana no compartimento diluído e um aumento no compartimento concentrado, o que ocasiona o efeito de polarização. Com o decréscimo dos íons nas células diluídas os íons H^+ e OH^- começa a competir com os contra-íons originais na transferência elétrica. Estes íons são gerados pela dissociação da água [Lacey, 1979] e que apresentam algumas mudanças tais como o aumento da resistência ôhmica da célula, o aumento do pH no compartimento concentrado e uma queda de seu valor no compartimento diluído.

Apesar de que o reator em estudo não tenha sido projetado para esse tipo de observações, a variação do pH do efluente dos compartimentos diluídos foi registrada no tanque diluído durante o processo de dessalinização. As Figuras 4.61 a 4.63 mostram a variação do pH no tanque diluído em função do inverso da corrente para diferentes concentrações e potenciais elétricos para um reator constituído de 20 pares de membranas com um sistema de escoamento tortuoso.

Observa-se que o pH ficou praticamente constante durante um certo intervalo de tempo e logo após diminui vagarosamente à medida que a corrente diminui. Quando isso vem ocorrer a concentração da solução nos compartimento diluídos apresenta-se relativamente baixa, neste intervalo de tempo poderá está iniciando no interior do reator a dissociação da água em íons H^+ e OH^- , os quais são denominados de co-íons. Quando isso ocorre os íons H^+ migram para os compartimentos diluídos acarretando uma variação do

pH. Esse fato pode ser explicado em função da concentração de íons presente no seio da solução dos compartimentos diluídos com respeito ao potencial elétrico aplicado, ou seja o potencial neste estágio passa a ficar elevado para a concentração presente no meio. Em um processo de eletrodialise quando ocorre uma grande variação do pH no diluído, inviabiliza o processo economicamente [Shaffer & Mintz,1966] e [Strathmann,1992].

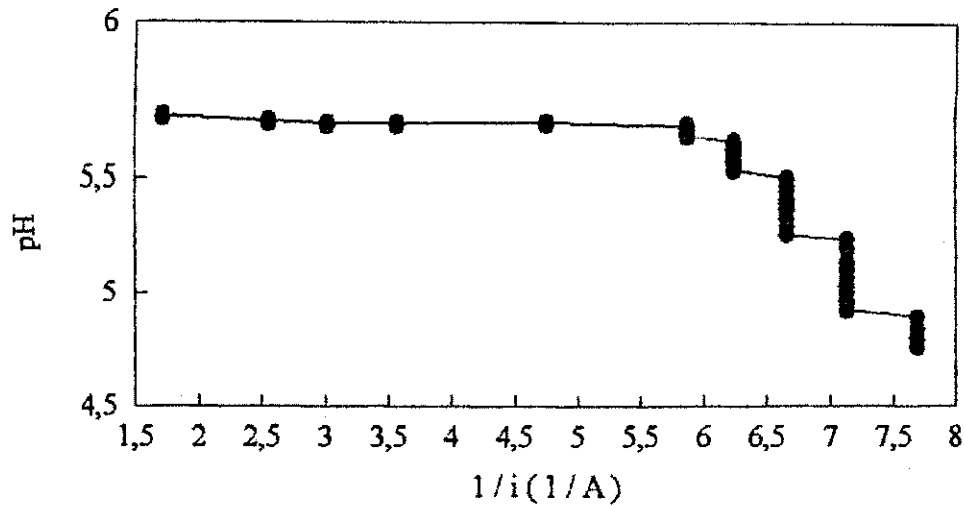


Figura 4.61 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 901,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 25$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

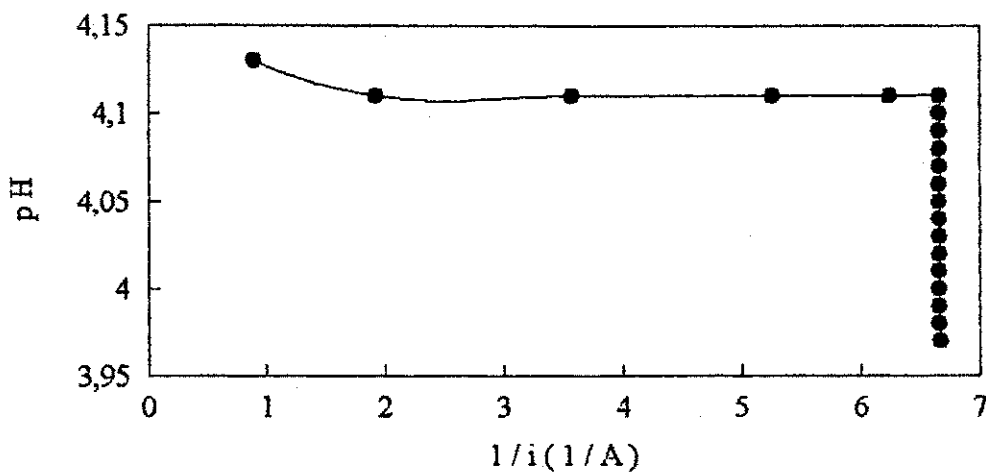


Figura 4.62 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 1045,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

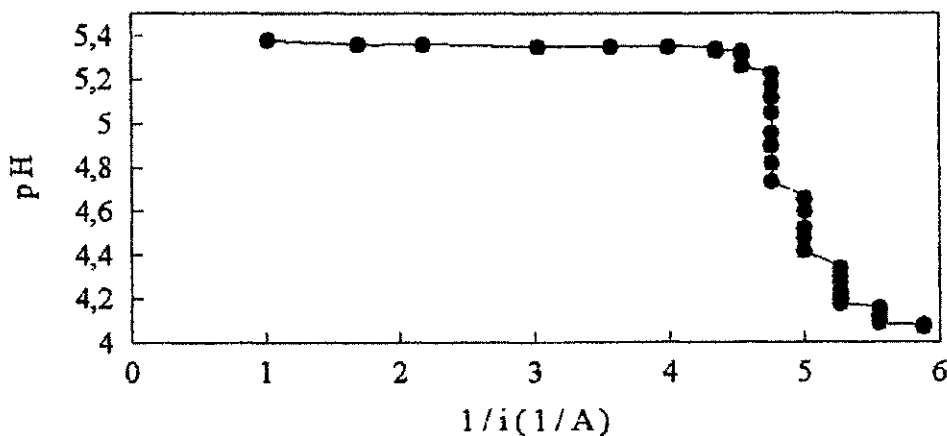


Figura 4.63 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 961,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

4.8 - Consumo de energia

O consumo de energia (E) foi encontrado com auxílio da Equação 2.7 para os dois sistemas de escoamento tortuoso e linear com 10 pares de membranas são mostrados na Tabela 4.11. Este consumo foi estudado em função das concentrações de cloreto de sódio e da vazão de alimentação. Através da referida tabela o consumo de energia para ambos, aumenta em função da concentração e diminui à medida que a vazão de alimentação aumenta.

Tabela 4.11 - Consumo de energia (Kwh/m³) em função da vazão de alimentação para o reator de escoamento tortuoso e linear com 10 pares de membranas nas concentrações em torno de 1000 e 2000 ppm.

VAZÃO (l/h)	LINEAR		TORTUOSO	
	1000 ppm	2000 ppm	1000 ppm	2000 ppm
14	2,22	3,32	--	--
27	1,27	1,97	0,51	0,87
38	0,96	1,48	0,49	0,78
54	0,78	1,24	0,42	0,60

O sistema de escoamento de linear apresentou um comportamento exponencial, enquanto que o de escoamento tortuoso apresentou um comportamento linear para os pontos apresentados. Aparentemente o escoamento linear apresentou-se mais eficiente uma vez que para atingir uma concentração de 450 ppm seus tempos de potabilidade foram inferiores aos do sistema de escoamento tortuoso. Observando ainda o último valor de consumo de energia para o sistema de escoamento linear para concentração de 2000 ppm, este

encontra-se dentro da faixa de consumo de energia da literatura apresentada por [Strathmann 1992].

Com o objetivo de estudar o consumo de energia em função da concentração de alimentação num instante “ t ” qualquer durante a eletrodialise, utilizou-se o raciocínio dado a Equação 2.8 mencionada no Capítulo 2, para estudar o consumo de energia em função da concentração do tanque diluído, ou seja da concentração da solução que está alimentando o reator. A referida equação informa que a energia elétrica é diretamente proporcional à quantidade de sais que devem ser removidos de um determinado volume para se atingir uma concentração de produto desejado.

As Figuras 4.64 a 4.76 apresentam as curvas de eficiência de corrente e consumo de energia em função da concentração de alimentação. A eficiência de corrente apresentou um comportamento crescente para todos os casos estudados à medida que a concentração de alimentação diminui. Esse fato pode ser explicado pelo seguinte: nos primeiros instantes a concentração de alimentação se encontra no seu ponto mais alto e logo após tende a diminuir em consequência do transporte iônico entre as células do reator, neste intervalo de tempo a densidade de corrente apresenta-se alta e em seguida cai ficando praticamente constante, conforme mostram as Figuras 4.23 a 4.31, suficiente para gerar a eletrodialise, ou seja a cada instante a concentração de alimentação tende a diminuir e em consequência deste fato a diferença das concentrações de entrada e saída do reator passam a predominar no aumento da eficiência de corrente.

Analizando o consumo de energia através das figuras acima, observa-se em alguns casos que o consumo de energia apresentou o mesmo comportamento, ou seja cresce à medida que a concentração de alimentação durante o processo diminui. Isso

normalmente foi visto para as vazões de alimentação acima de 27 l/h para os dois sistemas, linear e tortuoso. Em outros casos, com vazões abaixo de 27 l/h, especificamente para o sistema de escoamento linear, o consumo de energia tende a diminuir nos primeiros instantes para em seguida aumentar lentamente. Observando a Equação 2.8 têm-se um outro parâmetro que controla o consumo de energia que é a vazão de alimentação, Q . Para os casos onde a vazão de alimentação apresentou-se baixo para alto valores de eficiência do corrente o consumo de energia tende a diminuir. Isso mostra que o efeito do tempo de residência no interior está relacionado com o comportamento hidrodinâmico do fluido em função dos espaçadores utilizados [Strathmann, 1992].

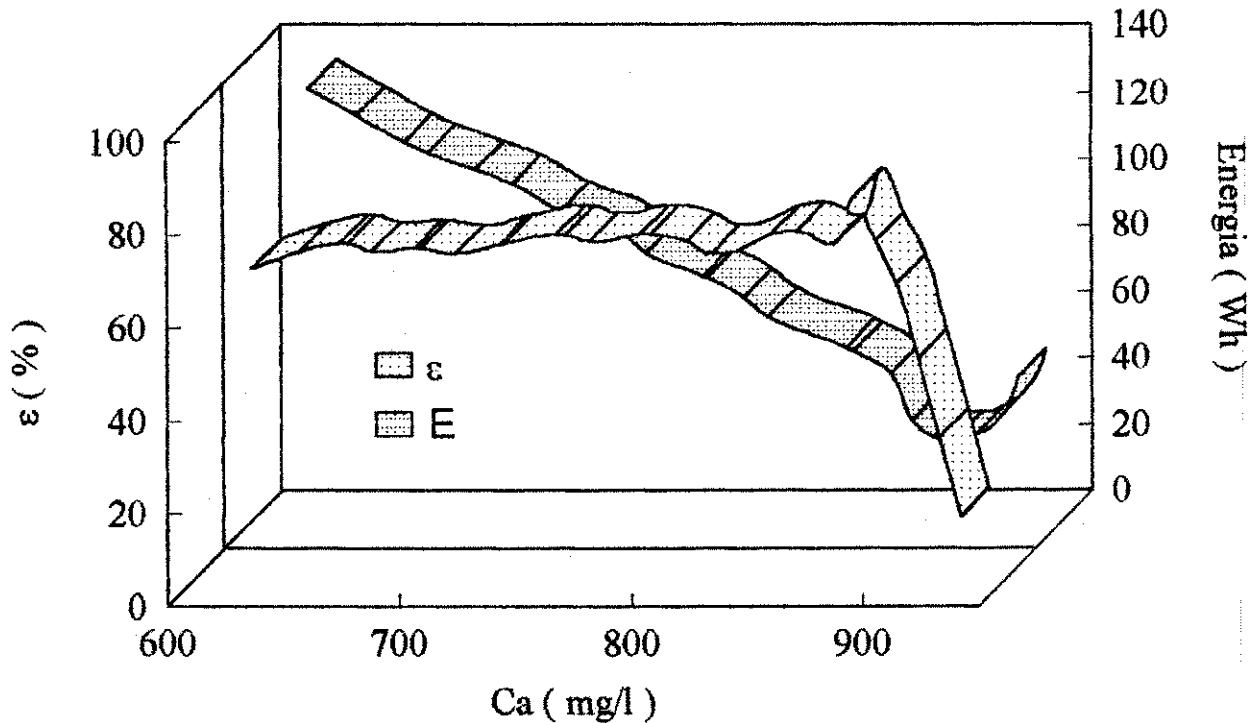


Figura 4.64 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação de 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

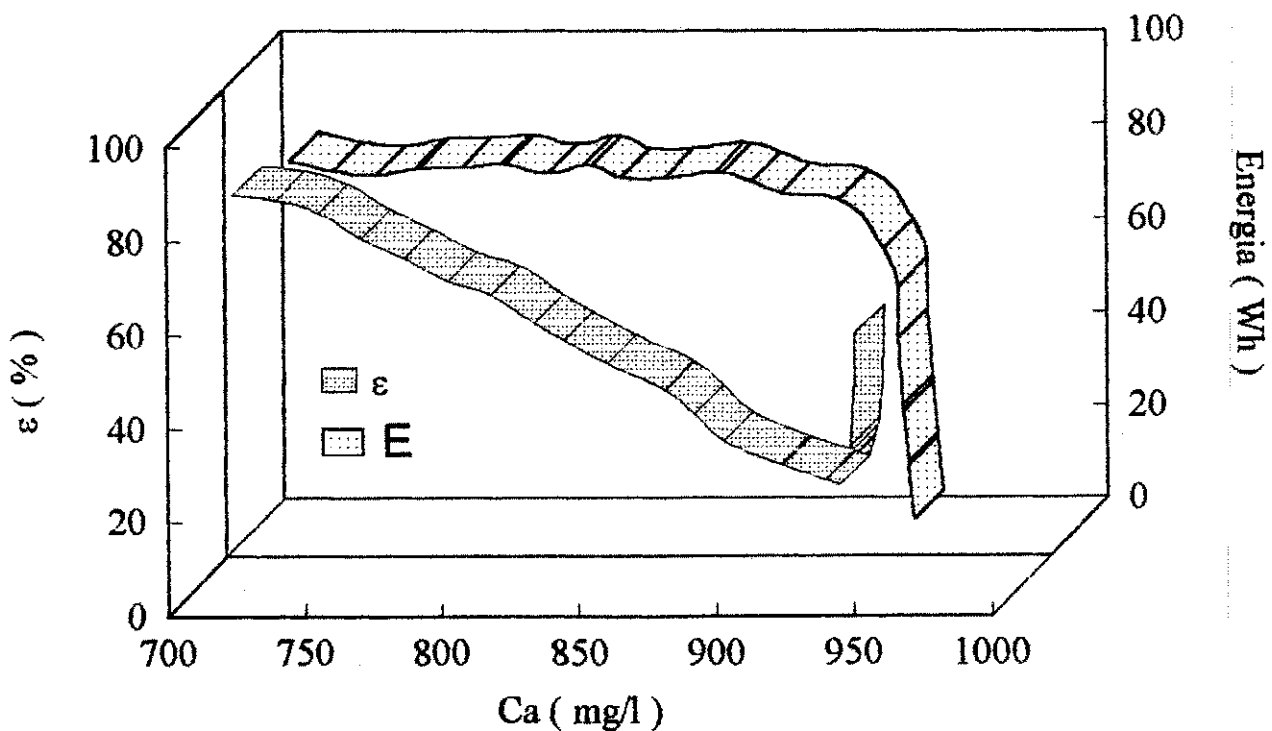


Figura 4.65 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

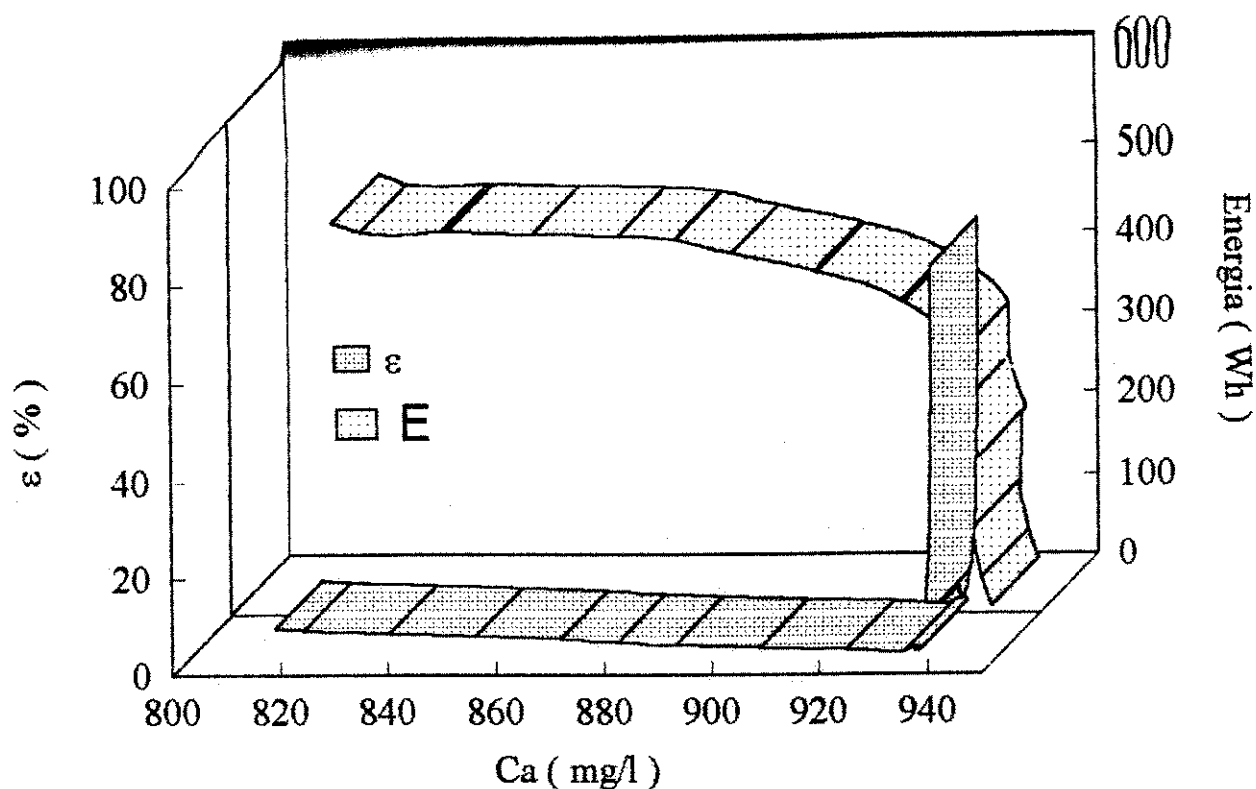


Figura 4.66 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 940 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

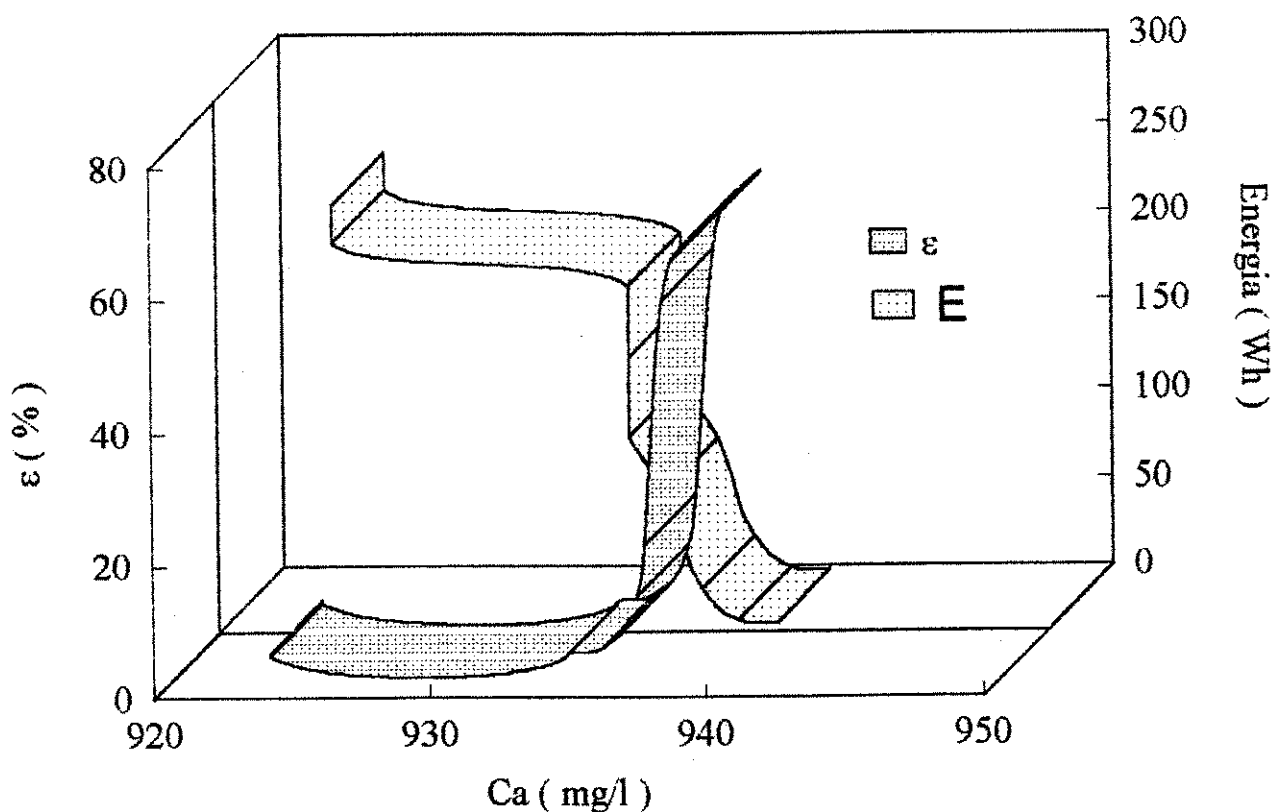


Figura 4.67 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 954.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

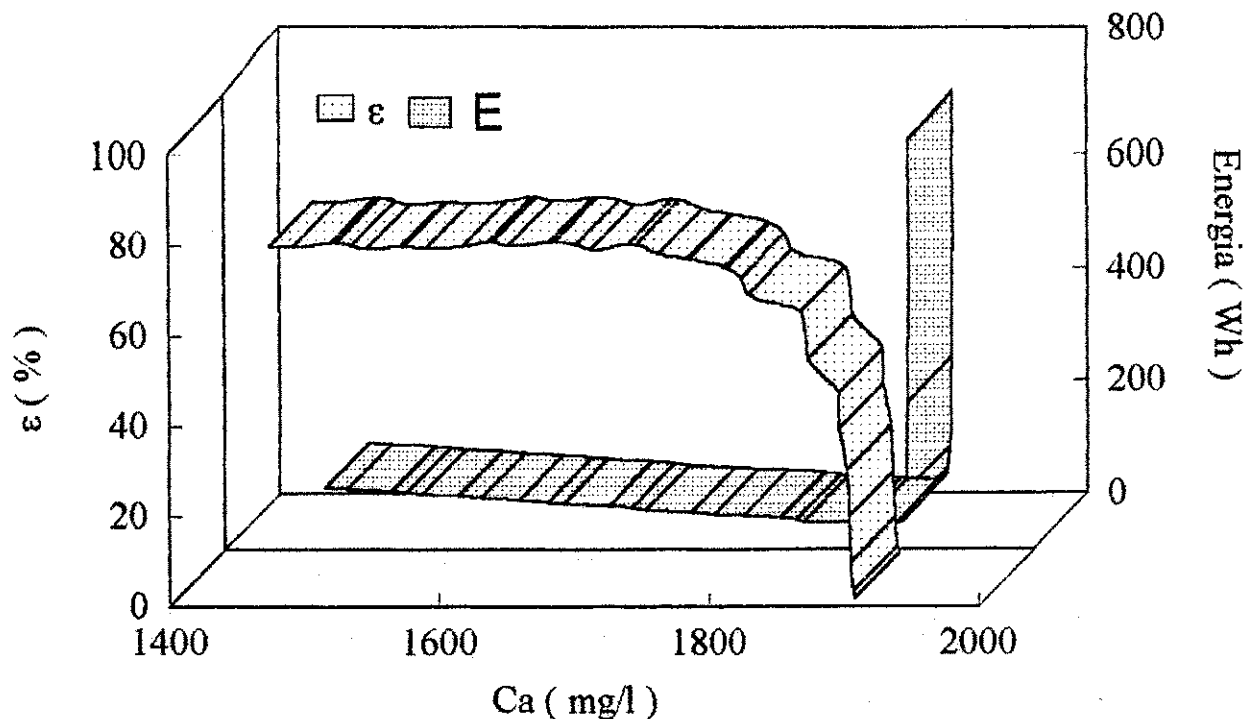


Figura 4.68 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1904.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

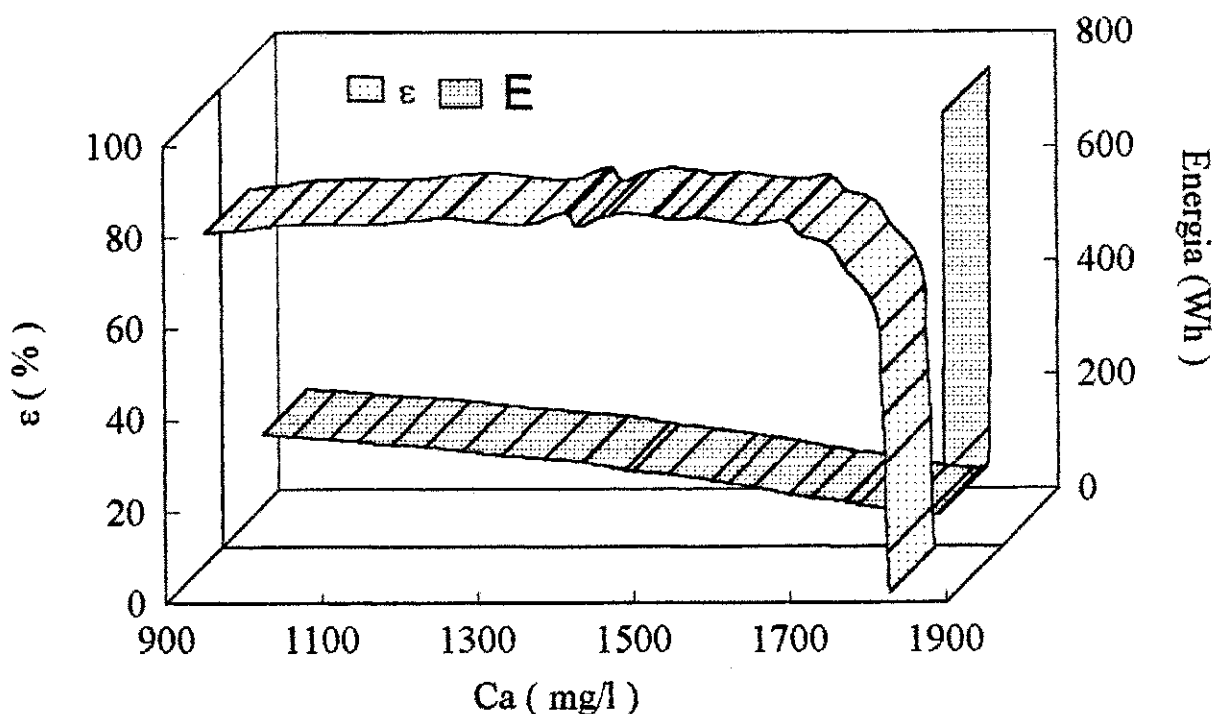


Figura 4.69 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1820.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

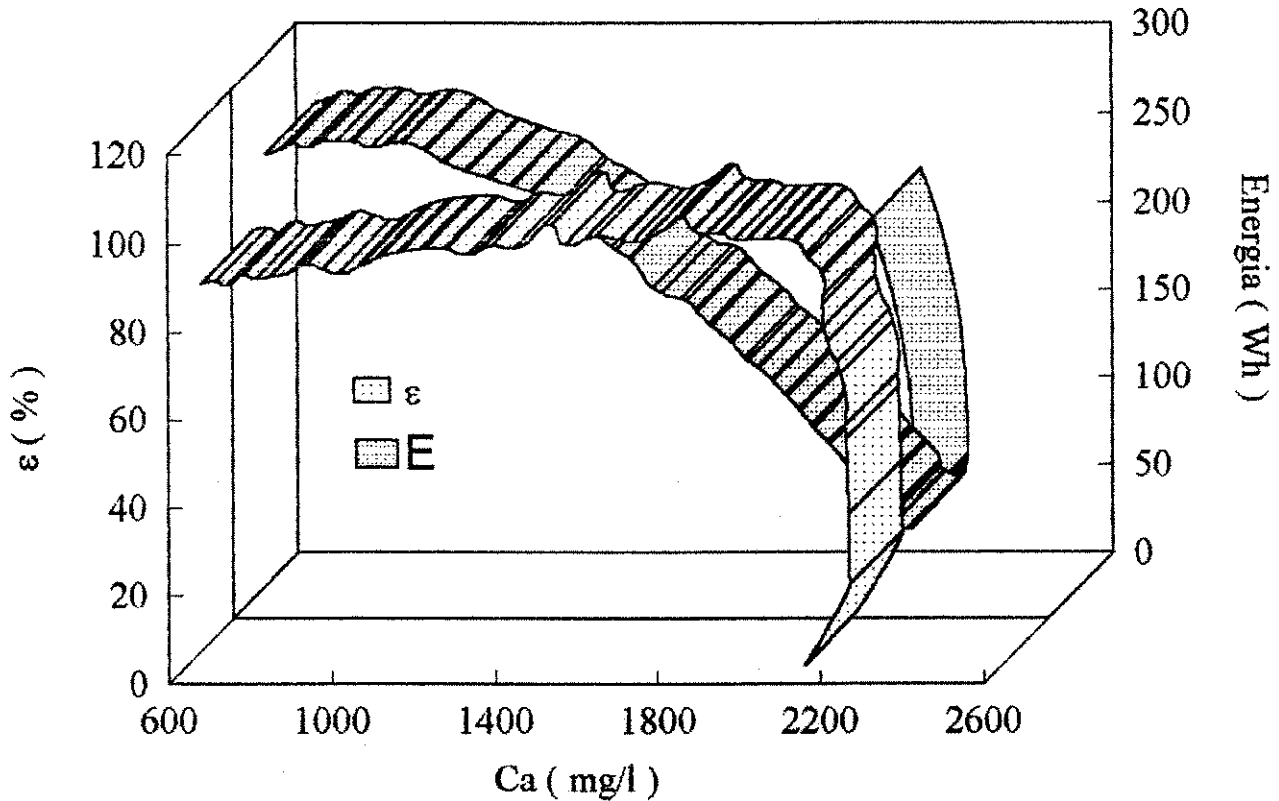


Figura 4.70 - Eficiência de corrente e consumo de energia em função da concentração de alimentação 2146.5 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

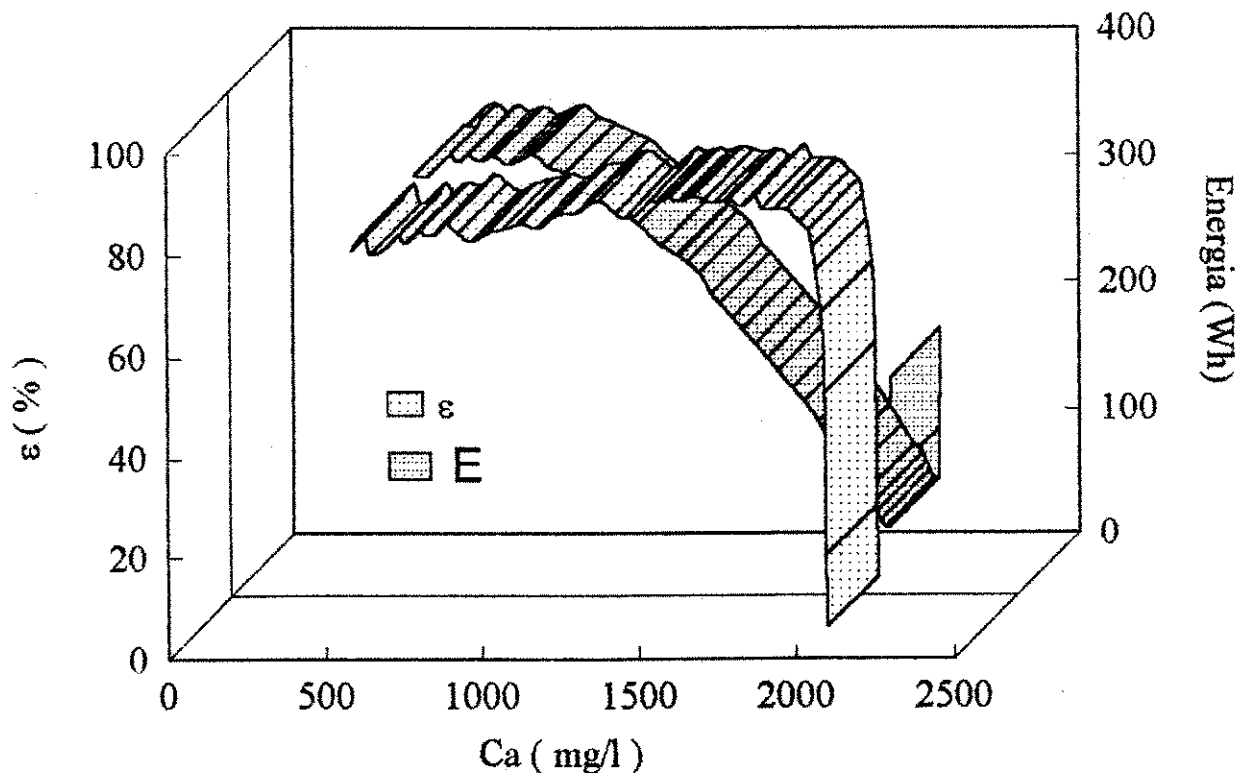


Figura 4.71 - Eficiência de corrente e consumo de energia em função da concentração de alimentação 2078.7 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

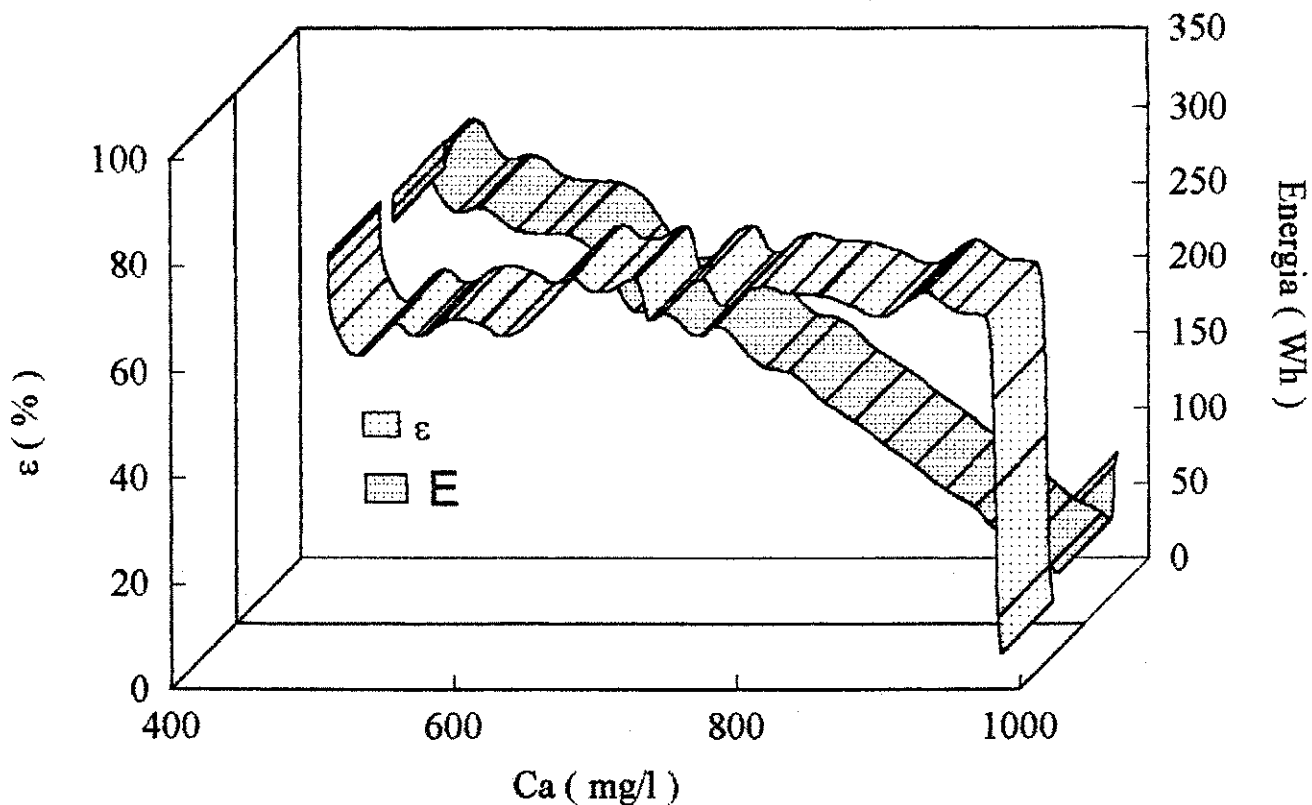


Figura 4.72 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 982.6 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

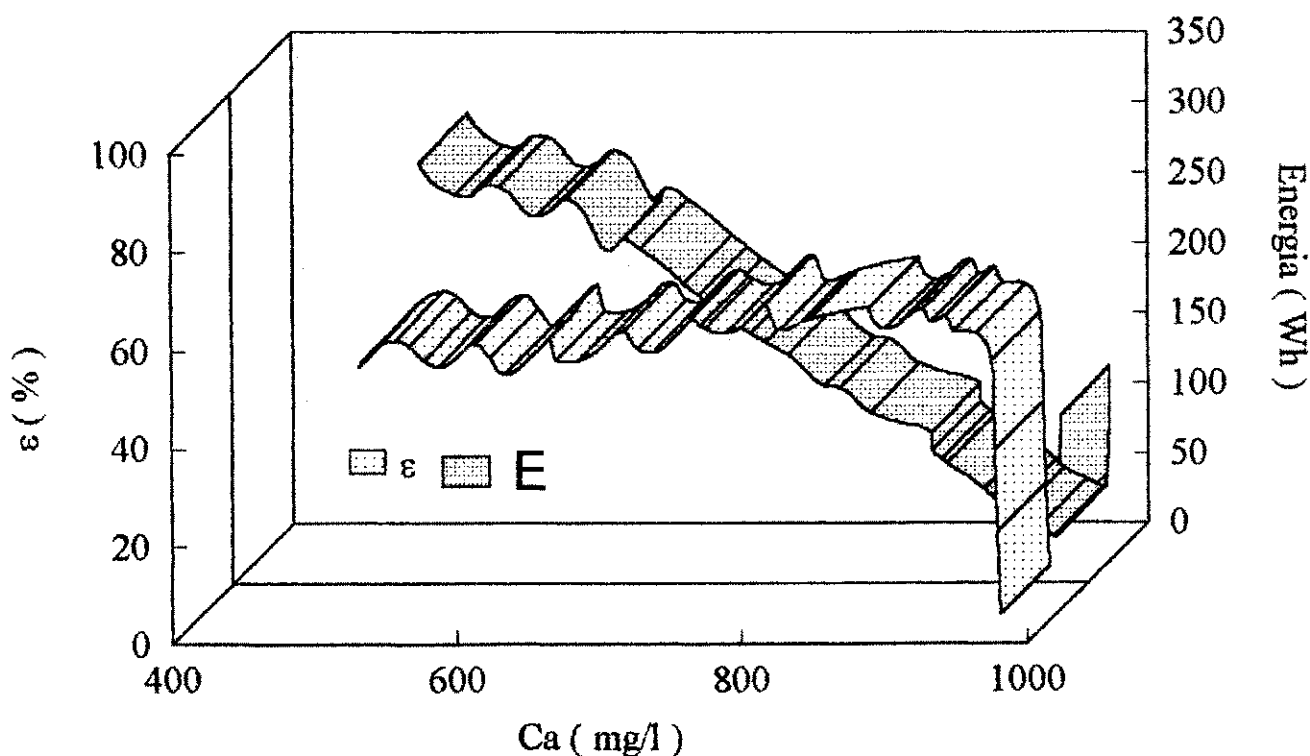


Figura 4.73 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

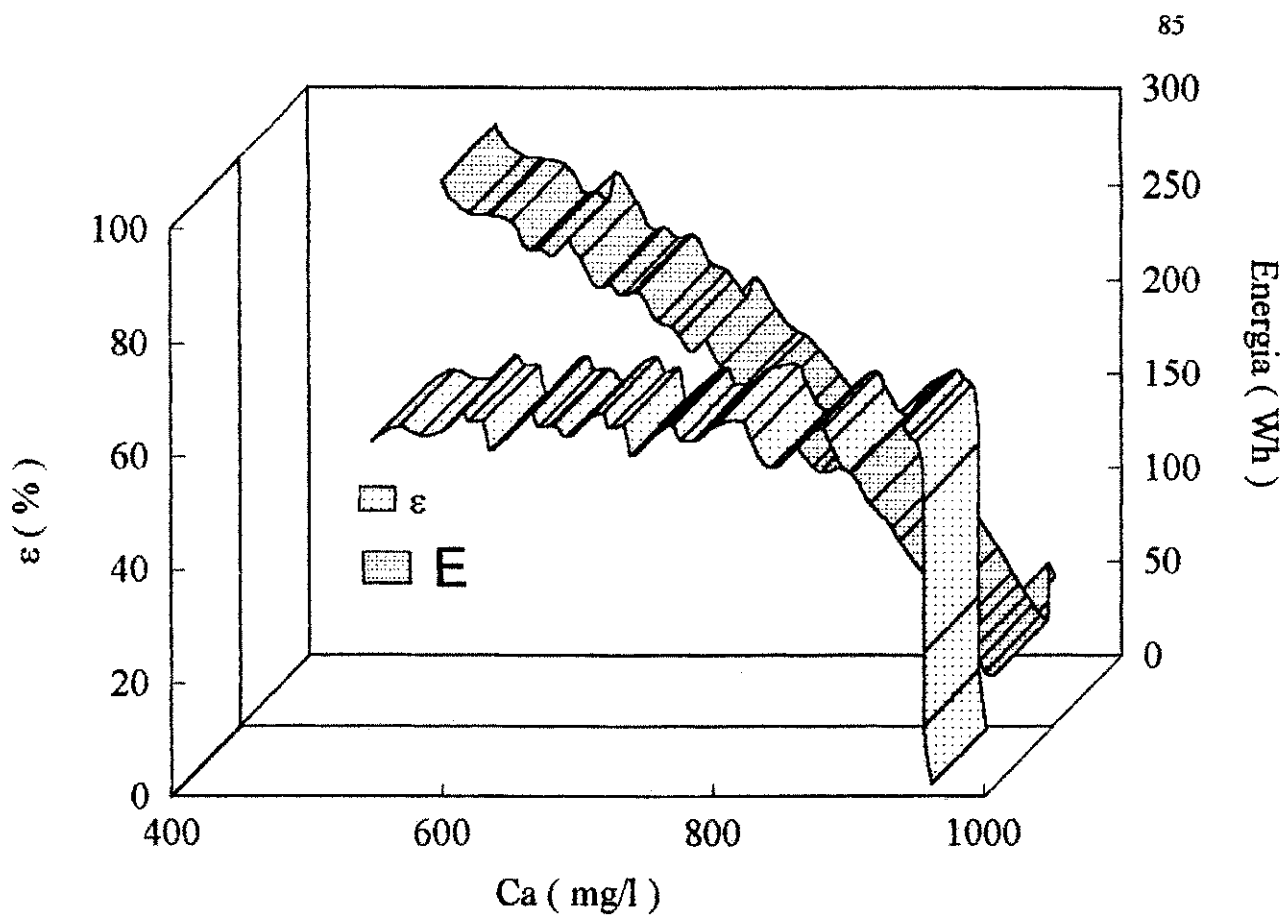


Figura 4.74 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 955.9 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

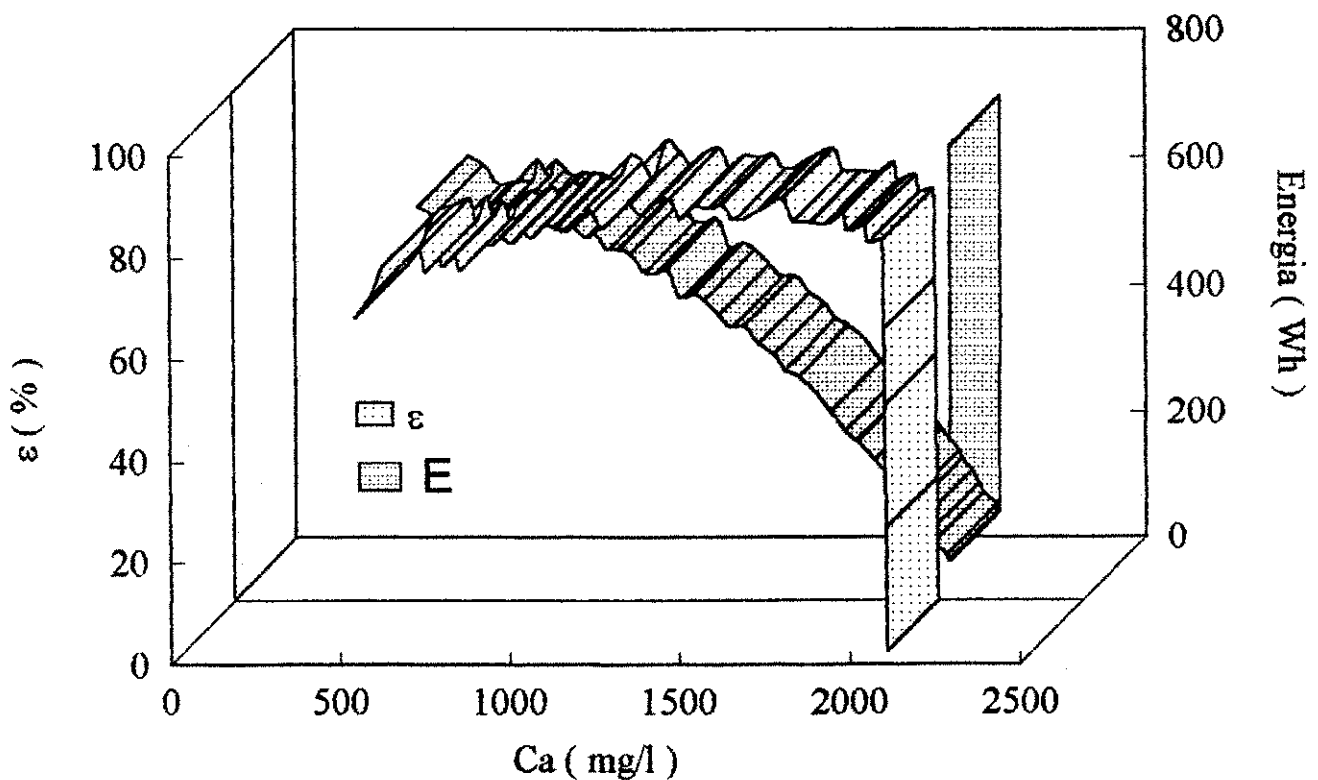


Figura 4.75 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2090,0 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

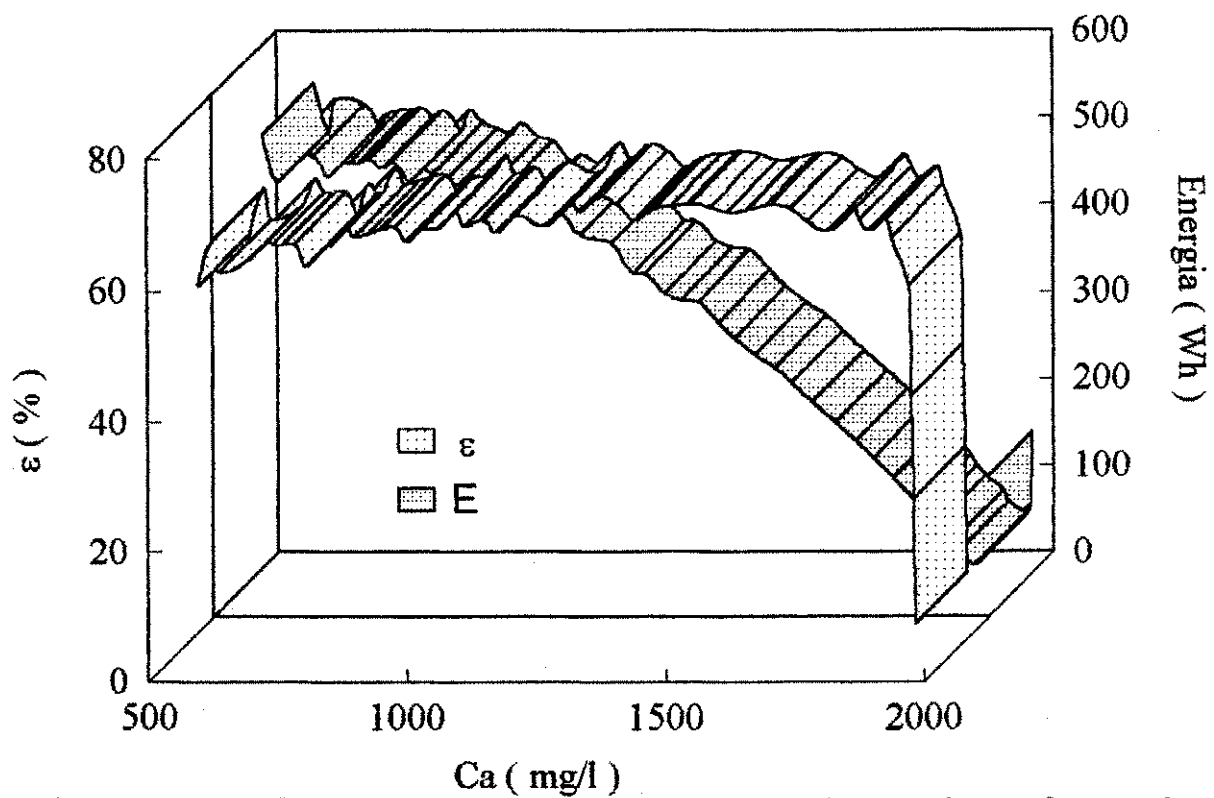


Figura 4.76 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

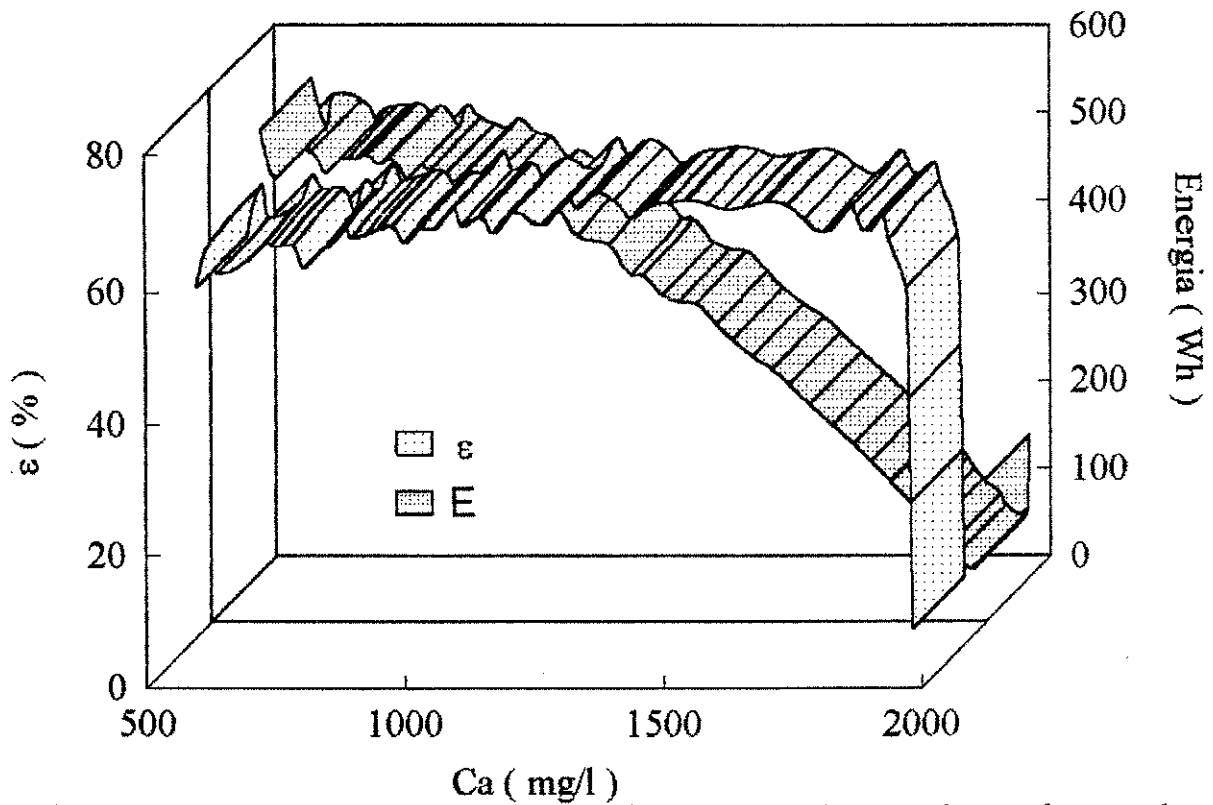


Figura 4.76 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

CAPÍTULO V

5 - Conclusões

A partir do estudo realizado para os dois sistemas de escoamento, linear e tortuoso, obteve-se as seguintes conclusões:

- 1 - Considerando a concentração da solução de cloreto de sódio e a vazão de alimentação para os sistemas de escoamento linear e tortuoso os melhores tempos de potabilidade atingidos foram para o potencial elétrico de 40 volts.
- 2 - Em função dos valores dos tempos de potabilidade e da vazão de alimentação, o sistema de escoamento tortuoso apresentou uma resistência hidrodinâmica superior ao do escoamento linear.
- 3 - Utilizando o espaçador do tipo linear obteve-se tempos de potabilidade menores do que em relação ao espaçador tortuoso trabalhando com as mesmas condições de operação.
- 4 - A densidade de corrente e a resistência ohmica estão relacionadas diretamente com a concentração de íons presentes e da vazão de alimentação durante a eletrodialise para um dado potencial elétrico.
- 5 - Observou-se que os sistemas apresentaram durante o processo de dessalinização um comportamento semelhante a Lei de Ohm através dos resultados da resistência ohmica em função do inverso da corrente.
- 6 - A eficiência de corrente está diretamente relacionada com a variação de concentração da entrada e da saída do reator, apresentando valores acima de 70 % como ponto de referência quando a concentração de cloreto de sódio encontrava-se abaixo de 450 ppm.

7 - Apesar das Figuras 4.74 a 4.76 apresentar um perfil decrescente da variação do pH com o inverso da corrente, esta variação não foi significativa para apresentar efeitos de polarização durante a eletrodiálise.

8 - Em função dos resultados obtidos para o consumo de energia percebe-se que este diminuiu em função da vazão de alimentação nos sistemas estudados e que está relacionado com as resistências das membranas e com a variação do gradiente de concentração entre os compartimentos.

CAPÍTULO VI

6 - Perspectivas

- 1 - Desenvolver um sistema de forma que a concentração do compartimento concentrado seja controlada durante o processo para manter a densidade de corrente mais estável possível.
- 2 - Introduzir unidades de controle com o objetivo de estudar a variação da vazão em função da concentração da solução dos efluentes, concentrado e diluído, e o potencial elétrico.
- 3 - Estudar a dessalinização de águas provenientes de mananciais hídricos da região.
- 4 - Desenvolver um estudo de simulação com o objetivo de otimizar e tornar economicamente viável o sistema.

CAPÍTULO VII

7 - Referências bibliográficas

- 1 - ANDRÉS, L. J., RIERA, F. A., ALVAREZ, R. & AUDINOS, R., *Separation of strong acids by electro dialysis with membranes selective to monovalente ions. An approach to modelling the process*, the Canadian journal of chemical engineering, v 72, p 848 - 853, October(1994).
- 2 - APPLGATE, L.E., *Electrodialysis*, Chemical Engineering, v 91, n 12, p 77 - 88, June (1984).
- 3 - ARNT, R., *Clara água, cara água*, super interessante, n 5, p 46 - 51, Maio(1995).
- 4 - BAUER, B., STRATHMANN, H. & EFFENBERGER, F., *Anion exchange membranes with improved alkaline stability*, Desalination, 79, p 125 - 144(1990)
- 5 - BIRKETT, JAMES D., *electrodialysis - an overview*, Ind. Water Eng, v 15, n 5, p 6 - 12, September(1977).
- 6 - COWAN, D. A. and BROWN, J. H., *Effect of turbulence on limiting current in Electro dialysis Cells*, Industrial and engineering chemistry, v 51, n 12, December(1959).
- 7 - FARIAS NETO, S.R.de, *Estudo e avaliação de alguns parâmetros de dessalinização a partir de um reator eletrodialítico via eletrodialise*. Dissertação de tese de mestrado em Eng Química Campina Grande-Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, Fevereiro(1992).
- 8 - FRANÇA, K.B., REGES, I.S., CIRNE, M.I.S. & FREIRE, M.L., *Estudo de um reator eletrodialítico de fluxo tortuoso para*

dessalinização via eletrodialise, Anais do Segundo Congresso Ibero Americano em Ciências e Tecnologia de Membranas, p 421 - 428, Rio de Janeiro, Agosto(1994).

- 9 - HOWE, E.D., *Fundamental of water desalination*, Environmental Science and Technology Series, v 1, Marcel Dekker, p 271 New York(1974).
- 10 - KRAAIJEVELD, G., SUMBEROVA, V., KUINDERSMA, S., & WESSELING, H., *Modelling electro dialysis using the Maxwell-Stefan description*, The Chemical Engineering Journal, v 57, p 163 - 176(1995).
- 11 - LACEY, Robert E., *Dialysis and Electro dialysis*, Handbook of separation technics for chemical engineers. New York : Mac Graw-Hill Book Company, p 1449 - 1465(1979).
- 12 - LEITZ, F. B. & EISENMANN, J. L., *Electro dialysis as a Separation Process*, AIChE Symposium Series, v 77, n 204, p 204-212(1981).
- 13 - MANSON, E.A. & KIRKHAM, T.A., *Design of electro dialysis equipment*, Chemical Eng. Progress, symposium Series, v 55, n 24, p 172-189(1959).
- 14 - PERRY, ROBERT H. & GREEN, D.W., *Processos de separação baseados primordialmente na ação de um campo*, Handbook de engenharia química, 5ª ed, Editora Guanabara Dois, sec 17: 36-45(1984).

- 15 - PRICE, MICHAEL., *Water from the ground*, New Scientist, n 42, p 1-4(1991).
- 16 - ROSEMBERG, N.W. & TIRRELL, C.E., *Limiting currents in membrane cells*, Industrial and Engineering Chemistry, v 49, n 4, p 780-784, April(1957).
- 17 - SHAFFER, L.H. & MINTZ, M.S., *Electrodialysis in principle of desalination*. New York: Ed Spiegle, p 199-289(1966).
- 18 - SHAH, P.M. & SCAMEHORN, J.F., *Use of electrodialysis to deionize acidic wastewater streams*, Ind. Eng. Chem. Res. v 26, n 2, p 269-277(1987).
- 19 - SOLT, G.S., *Electrodialysis*. Industrial electrochemical process, Ed Kurn A. T., Elsevier Publishing Co., Amsterdam(1971).
- 20 - STRATHMANN, H., *Membrane separation processes*, Journal of Membrane Science, v 9, p 121-189(1981).
- 21 - STRATHMANN, H., *Electrodialysis and related processes*. Proceedigs of the CEE - Brazil. Workshop on Membrane Separation Processes, p 334-437, May, Rio de Janeiro(1992).
- 22 - VILAR, E .O, *Avaliação de um reator eletrodialítico para a dessalinização de águas salobras*.(Dissertação de mestrado em engenharia química) Campina Grande - PB: Universidade Federal da Paraíba(1989).
- 23 - WINGER, A. G., BODAMER, G.W., KUNIN, R., PRIZER, C. J & HARMON, G.W., *Electrodialysis of water using a multiple*

membrane cells. Industrial and Engineering Chemistry, v 47, n 1, p 50-60, March(1954).

APÉNDICE 1

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema do processo eletrodialítico convencional.....	5
Figura 2.2 - Diagrama esquemático dos espaçadores.....	18
Figura 2.3- Representação do efeito da concentração de polarização	14
Figura 2.4 - Diagrama esquemático da determinação da corrente limite.....	17
Figura 3.1 - Sistema eletrodialítico utilizado com suas unidades.....	25
Figura 4.1 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 928,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V=92$ volts, $Q= 54$ l/h e $T= 25$ C.....	32
Figura 4.2 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 890,1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.	32
Figura 4.3 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 938,4 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 68$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.	33
Figura 4.4 -Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 942,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C... ..	33
Figura 4.5 -Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 961,0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....	34
Figura 4.6 - Dessalinização de soluções de NaCl em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 40 membranas com concentrações próximas a 1000 ppm sob as seguintes condições: $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....	34
Figura 4.7 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....	36
Figura 4.8 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1024,1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.....	36
Figura 4.9 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 993,9 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.	37

- Figura 4.10 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1045,7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.37
- Figura 4.11 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2121,5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....38
- Figura 4.12 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2065,0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.....38
- Figura 4.13 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2138,5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.....39
- Figura 4.14 - Curvas de dessalinização de soluções de NaCl em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas com concentrações na faixa de 2065,0 a 2138,5 ppm sob as seguintes condições: $V = 40$ volts e $T = 25$ C.39
- Figura 4.15 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.41
- Figura 4.16 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.41
- Figura 4.17 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.42
- Figura 4.18 - Curvas de dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.42
- Figura 4.19 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.43
- Figura 4.20 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.43

- Figura 4.21 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.44
- Figura 4.22 - Dessalinização de uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.44
- Figura 4.23 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 928,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 92$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....52
- Figura 4.24 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente em função da fração desmineralizada(f) para uma solução de NaCl de concentração de 890,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.52
- Figura 4.25 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 938,4 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 68$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.53
- Figura 4.26 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 942,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.53
- Figura 4.27 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada(f) para uma solução de NaCl de concentração de 961,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.54
- Figura 4.28 - Resistência ohmica(R_s) e densidade de corrente(J) em função da fração desmineralizada (f) para uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.54
- Figura 4.29 - Resistência ohmica e densidade de Corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 1024.1 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.55

- Figura 4.30 - Resistência ôhmica e densidade de Corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 993.9 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.55
- Figura 4.31 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada, para uma solução de NaCl de concentração de 1045.7 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.56
- Figura 4.32 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2121.5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.56
- Figura 4.33- Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2065.0 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.57
- Figura 4.34 - Resistência ôhmica e da densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2138.5 ppm em um reator eletrodialítico de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.57
- Figura 4.35 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.58
- Figura 4.36 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.58
- Figura 4.37 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.59
- Figura 4.38 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um

- reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.69
- Figura 4.39 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.60
- Figura 4.40 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.60
- Figura 4.41 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.61
- Figura 4.42 - Resistência ôhmica e densidade de corrente em função da fração desmineralizada para uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.61
- Figura 4.43 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948.6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 27$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.62
- Figura 4.44 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948.1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 14$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.62
- Figura 4.45 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 993.9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 27$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.63
- Figura 4.46 - Resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 1018.7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $Q = 54$ l/h, $V = 40$ volts e $T = 25$ C.63

- Figura 4.47 - Variação da concentração ΔCx e eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.67
- Figura 4.48 - Variação da concentração ΔCx e eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.67
- Figura 4.49 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.68
- Figura 4.50 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.68
- Figura 4.51 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.69
- Figura 4.52 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.69
- Figura 4.53 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.70
- Figura 4.54 - Variação da concentração ΔCx e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.70

- Figura 4.55 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.71
- Figura 4.56 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 1024,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.71
- Figura 4.57 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 993,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.72
- Figura 4.58 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2121,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.72
- Figura 4.59 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2065,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.73
- Figura 4.60 - Variação da concentração ΔC_x e da eficiência de corrente (ϵ) em função do tempo para uma solução de NaCl de concentração de 2138,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.73
- Figura 4.61 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 901,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 25$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.76
- Figura 4.62 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 1045,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.76

- Figura 4.63 - Dados experimentais do pH do tanque diluído em função do inverso da corrente para uma solução de concentração de 961,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....76
- Figura 4.64 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação de 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.80
- Figura 4.65 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.80
- Figura 4.66 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 940 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.81
- Figura 4.67 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 954.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.81
- Figura 4.68 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1904.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.82
- Figura 4.69 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1820.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.82
- Figura 4.70 - Eficiência de corrente e consumo de energia em função da concentração de alimentação 2146.5 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.83
- Figura 4.71 - Eficiência de corrente e consumo de energia em função da concentração de alimentação 2078.7 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.83
- Figura 4.72 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 982.6 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.84
- Figura 4.73 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.84

- Figura 4.74 -Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 955.9 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.85
- Figura 4.75 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2090,0 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....85
- Figura 4.76 - Eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.....86

APÊNDICE 2

Tabela 3.1 - Características das membranas utilizadas (Asahi Chemical CO.).....	23
Tabela 3.2 - Parâmetros da Equação 3.1.....	27
Tabela 3.3 - Parâmetros de Calibração dos Rotâmetros.....	27
Tabela 4.1 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio para a mesma vazão de alimentação de 54 l/h com concentrações em torno de 1000 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas.	114
Tabela 4.2- Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 1000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas.....	115
Tabela 4.3- Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 2000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas.....	116
Tabela 4.4- Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 1000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento linear com 20 membranas.....	117
Tabela 4.5 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de cloreto de sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 2000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento linear com 20 membranas.	118
Tabela 4.6- Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes potenciais elétricos para um reator de escoamento tortuoso com 20 pares de membranas com uma vazão de alimentação (Q) de 54 l/h a uma temperatura de operação de 25°C.....	45
Tabela 4.7 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes vazões de alimentação em um reator de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.	45

Tabela 4.8 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes vazões de alimentação em um reator de escoamento tortuoso com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.	46
Tabela 4.9 - Apresenta os valores do tempo de potabilidade para diferentes vazões de alimentação em um reator de escoamento linear com 10 pares de membranas a um potencial elétrico constante de 40 volts e uma temperatura de 25°C.....	47
Tabela 4.10- Dados experimentais do tempo de potabilidade T_p (min.) das soluções de cloreto de sódio em um reator de escoamento linear com 10 pares de membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ Volts e $T = 25$ °C.	47
Tabela 4.11 - Consumo de energia (Kwh/m^3) em função da vazão de alimentação para o reator de escoamento tortuoso e linear com 10 pares de membranas nas concentrações em torno de 1000 e 2000 ppm.....	77
Tabela 4.12 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 92$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.	119
Tabela 4.13 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.	120
Tabela 4.14 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 68$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.	121
Tabela 4.15 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 942,7 ppm.	122
Tabela 4.16 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 961,0 ppm.	123
Tabela 4.17 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas	

sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1018,7 ppm.	124
Tabela 4.18 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1024,1 ppm.	125
Tabela 4.19 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 993,9 ppm.	126
Tabela 4.20 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1045,7 ppm.	127
Tabela 4.21 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2121,5 ppm.	128
Tabela 4.22 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2065,0 ppm.	129
Tabela 4.23 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2138,5 ppm.	130
Tabela 4.24 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.	131
Tabela 4.25 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 959,4 ppm.	132

Tabela 4.26 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 948,6 ppm.	133
Tabela 4.27 - Dados experimentais da resistência ôhmica, da fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguinte condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 948,1 ppm.	134
Tabela 4.28 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2110,2 ppm.....	135
Tabela 4.29 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2132,8 ppm.	136
Tabela 4.30 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguinte condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1884,9 ppm.	137
Tabela 4.31 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1935,4 ppm.	138
Tabela 4.32 -Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C.	139
Tabela 4.33 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C.	139
Tabela 4.34 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 993,9 ppm em	

um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h, T = 25 °C.	140
Tabela 4.35 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h, T = 25 °C.	140
Tabela 4.36 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h e T = 25 °C	141
Tabela 4.37 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 38 l/h e T = 25 °C.	142
Tabela 4.38 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h e T = 25 °C.	142
Tabela 4.39 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 14 l/h e T = 25 °C.	143
Tabela 4.40 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 14 l/h e T = 25 °C.	143
Tabela 4.41 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h e T = 25 °C.	144
Tabela 4.42 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2132,8 ppm	

em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 38 l/h e T = 25 °C.	145
Tabela 4.43 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h e T = 25 °C.	146
Tabela 4.44 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h e T = 25 °C.	147
Tabela 4.45 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1024,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 38 l/h e T = 25 °C.	148
Tabela 4.46 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 993,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h e T = 25 °C.	149
Tabela 4.47 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2121,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h e T = 25 °C.	150
Tabela 4.48 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2065,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 38 l/h e T = 25 °C.	151
Tabela 4.49 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2138,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 27 l/h e T = 25 °C.	152
Tabela 4.50 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação de 945.3 ppm, em um reator de	

escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.	153
Tabela 4.51 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.	153
Tabela 4.52 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 940 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.	154
Tabela 4.53 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 954.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.	154
Tabela 4.54 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1904.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.	155
Tabela 4.55 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1820.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.	156
Tabela 4.56 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2146.5 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.	157
Tabela 4.57 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2078.7 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.	158
Tabela 4.58 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 982.6 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.	159

Tabela 4.59 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.....160

Tabela 4.60 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 955.9 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.....161

Tabela 4.61 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2090 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.....162

Tabela 4.62 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.....163

APÉNDICE 3

Tabela 4.1 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio para a mesma vazão de alimentação de 54 l/h com concentrações em torno de 1000 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 40 membranas.

Tempo (min.)	92 Volts		80 Volts		68 Volts		56 Volts		40 Volts	
	Ccél	(ppm) C dil	Ccél	(ppm) C dil	Ccél	(ppm) C dil	Ccél	(ppm) C dil	Ccél	(ppm) C dil
0.0	928.7	897.5	890.1	940.0	938.4	929.3	942.7	934.7	961.0	945.3
0.25	919.6	897.5	875.1	940.0	921.8	929.3	941.1	934.7	949.7	955.9
.50	892.8	897.5	811.6	940.0	868.2	934.7	922.3	945.3	908.3	961.3
0.75	837.2	908.1	771.2	945.3	836.6	934.7	896.5	950.6	868.2	961.3
1.0	802.0	913.4	749.9	950.6	816.4	940.0	878.9	950.6	847.3	971.9
1.5	775.4	929.3	744.6	977.3	805.2	950.6	856.4	955.9	833.4	977.3
2.0	769.6	934.7	747.3	982.6	804.1	955.9	844.6	966.6	830.8	982.6
2.5	766.4	945.3	747.3	987.9	806.8	966.6	836.6	977.3	829.7	987.9
3.0	762.1	950.6	744.6	993.3	805.2	977.3	830.2	982.6	828.1	993.3
3.5	754.7	961.3	739.3	998.6	797.2	977.3	822.2	987.9	825.4	998.6
4.0	751.0	977.3	733.5	998.6	789.2	982.6	817.4	987.9	821.2	998.6
5.0	736.2	987.9	724.5	1030.7	777.5	993.3	808.9	993.3	811.0	1030.7
6.0	721.3	998.6	709.2	1041.4	765.3	1004.0	798.3	1004.0	801.5	1036.1
7.0	707.6	1030.7	696.5	1052.2	754.7	1030.7	787.1	1030.7	791.3	1041.4
8.5	688.6	1041.4	683.9	1068.3	740.9	1041.4	776.5	1036.1	779.7	1057.5
9.0	681.2	1052.2	671.7	1084.4	727.7	1052.2	766.4	1041.4	769.6	1068.3
10.0	668.0	1079.0	660.2	1095.2	722.4	1057.5	755.8	1057.5	757.4	1089.8
11.0	654.9	1089.8	646.5	1111.3	710.8	1079.0	745.7	1073.6	749.9	1095.2
12.0	641.8	1100.5	632.8	1138.3	700.2	1095.2	735.6	1089.8	738.8	1100.5
13.0	629.7	1116.7	623.9	1143.7	688.1	1100.5	725.0	1095.2	729.8	1105.9
14.0	617.1	1138.3	613.5	1149.1	662.3	1111.3	714.5	1105.9	720.8	1122.1
15.0	604.0	1149.1	601.4	1159.9	652.8	1127.5	706.0	1116.7	712.9	1143.7
16.0	592.0	1159.9	590.4	1192.3	644.4	1149.1	696.5	1138.3	702.8	1149.1
17.0	579.5	1181.5	576.3	1197.7	635.5	1154.5	682.8	1143.7	693.3	1159.9
18.0	568.5	1203.2	567.5	1208.6	625.5	1165.3	669.1	1154.5	682.8	1170.7
19.0	555.5	1208.6	543.6	1230.3	616.1	1186.9	661.7	1159.9	664.4	1197.7
19.5	550.3	1214.0	535.2	1235.7	606.6	1197.7	656.0	1181.5	653.3	1203.2
20.0	546.1	1219.4	524.3	1252.0	595.1	1203.2	641.2	1197.7	642.3	1214.0
21.0	533.7	1235.7	512.9	1257.4	586.3	1214.0	633.4	1203.2	632.3	1224.9
22.0	522.3	1252.0	503.1	1262.9	576.3	1219.4	625.0	1214.0	623.9	1235.7
23.0	510.4	1257.4	492.8	1273.8	567.0	1235.7	612.9	1224.9	615.5	1246.6
24.0	499.0	1262.9	483.0	1301.0	548.2	1252.0	608.2	1246.6	606.1	1252.0
25.0	484.0	1284.7	473.2	1311.9	538.9	1262.9	595.1	1246.6	597.2	1257.4
26.0	477.3	1306.5	462.9	1317.4	530.1	1284.7	586.3	1257.4	589.4	1268.3
27.0	466.0	1311.9	453.1	1328.3	521.2	1290.1	579.5	1262.9	580.5	1279.2
28.0	455.2	1322.8	444.4	1344.7	509.3	1306.5	565.9	1268.3	571.7	1301.0
29.0	445.4	1333.7	434.6	1361.1	500.0	1317.4	560.2	1290.1	563.3	1306.5
30.0	434.6	1355.6	424.4	1366.5	493.8	1322.8	551.3	1306.5	554.5	1311.9
31.0	424.4	1361.1	415.7	1372.0	486.1	1339.2	539.9	1311.9	545.6	1322.8
32.0	413.6	1366.5	406.5	1377.5	477.8	1350.1	535.8	1322.8	536.8	1333.7
33.0	405.0	1372.0	-	1410.4	-	1361.1	523.8	1328.3	527.5	1350.1

Tabela 4.2 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 1000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas.

Tempo (min.)	Q = 54 l/h		Q = 38 l/h		Q = 27 l/h		Q = 14 l/h	
	Ccé1 (ppm)	C dil	Ccé1 (ppm)	C dil	Ccé1 (ppm)	C dil	Ccé1 (ppm)	C dil
0.0	1018.7	982.6	1024.1	977.3	993.9	955.9	1045.7	982.6
0.25	1002.5	982.6	1007.9	977.3	987.4	955.9	1040.3	982.6
0.75	945.9	982.6	960.5	977.3	959.4	955.9	1029.5	982.6
1.0	884.8	982.6	912.1	977.3	915.3	950.6	1007.9	982.6
1.5	844.1	977.3	868.7	977.3	879.9	950.6	995.5	982.6
2.0	805.7	971.9	818.0	971.9	830.2	950.6	968.0	982.6
2.5	788.2	950.6	796.1	961.3	810.5	945.3	952.4	982.6
3.0	775.9	940.0	779.1	945.3	803.1	940.0	943.3	977.3
3.5	764.8	929.3	769.6	940.0	799.3	934.7	937.9	977.3
4.0	757.4	918.7	761.1	929.3	795.1	929.3	935.7	977.3
4.5	745.7	897.5	753.6	924.0	791.3	924.0	934.1	977.3
5.0	725.6	876.3	737.2	897.5	783.9	913.4	932.5	971.9
6.0	703.9	855.1	719.8	886.9	774.3	897.5	930.9	971.9
7.0	684.9	834.0	703.4	871.0	747.8	881.6	928.2	971.9
8.0	664.4	813.0	687.0	844.6	736.7	876.3	925.8	966.6
9.0	644.9	786.7	671.2	823.5	725.6	860.4	922.8	966.6
10	622.4	771.0	656.0	813.0	714.5	839.3	919.6	966.6
11	600.4	734.3	642.8	786.7	693.3	823.5	916.4	961.3
12	578.4	723.9	628.6	771.0	681.2	818.2	913.2	955.9
13	560.2	697.8	614.0	760.5	661.7	797.2	910.0	950.6
14	540.4	677.1	599.3	734.3	651.2	781.4	906.7	950.6
15	530.1	661.5	587.3	723.9	640.7	771.0	903.7	945.3
16	513.5	630.5	572.7	713.5	629.7	765.7	900.3	940.0
17	496.9	615.0	557.6	682.2	618.7	750.0	897.1	940.0
18	480.4	594.4	542.0	666.7	609.8	734.3	893.9	940.0
19	462.4	568.7	529.0	661.5	598.3	729.1	890.1	934.7
20	445.9	553.4	515.5	630.5	589.4	718.7	886.9	934.7
21	430.0	527.9	501.0	620.1	579.0	713.5	883.2	929.3
22	412.6	512.6	488.6	609.8	570.1	703.0	880.5	929.3
23	398.8	507.5	475.2	584.1	561.2	687.4	876.7	929.3
24	392.7	507.5	462.4	573.9	551.9	677.1	873.5	924.0
25	391.2	507.5	450.0	563.6	542.0	666.7	869.2	924.0
26	390.2	507.5	437.7	553.4	532.1	661.5	865.5	924.0
27	389.7	507.5	425.4	527.9	523.3	646.0	861.2	918.7
28	-	-	-	-	514.0	630.5	858.5	913.4
29	-	-	-	-	504.1	625.3	854.8	908.1
30	-	-	-	-	493.8	615.0	851.1	902.8
31	-	-	-	-	485.5	609.8	848.4	897.5
32	-	-	-	-	476.8	594.4	844.6	892.2
33	-	-	-	-	467.5	579.0	-	-
34	-	-	-	-	459.3	573.9	-	-
35	-	-	-	-	449.5	563.6	-	-

Tabela 4.3 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 2000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas.

Tempo (min.)	Q = 54 l/h		Q = 38 l/h		Q = 27 l/h	
	Ccé1 (ppm)	C dil	Ccé1 (ppm)	C dil	Ccé1 (ppm)	C dil
0.0	2121.5	2090.0	2065.0	1977.3	2138.5	2044.8
0.25	2081.9	2090.0	2025.5	1977.3	2121.5	2044.8
0.50	1957.9	2090.0	1918.6	1971.6	2042.4	2044.8
0.75	1856.8	2090.0	1806.4	1971.6	1952.3	2044.8
1.0	1795.2	2084.3	1717.0	1971.6	1868.3	2039.2
1.50	1728.1	2078.7	1616.7	1960.4	1750.5	2033.6
2.0	1694.7	2039.2	1555.6	1926.7	1689.1	2027.9
2.5	1672.4	2027.9	1533.5	1915.5	1650.1	2022.3
3.0	1655.7	2005.4	1516.9	1881.8	1627.8	2005.4
3.5	1633.4	1977.3	1494.7	1865.0	1611.2	1982.9
4.0	1611.2	1966.0	1478.1	1853.8	1594.5	1977.3
5.0	1572.3	1915.5	1450.5	1803.5	1572.3	1949.1
6.0	1533.5	1870.6	1411.9	1764.4	1550.1	1926.7
7.0	1489.2	1820.2	1373.3	1731.0	1527.9	1904.2
8.0	1450.5	1786.7	1340.3	1692.0	1505.8	1870.6
9.0	1417.4	1742.1	1307.4	1647.6	1483.7	1848.2
10.0	--	--	1274.5	1608.8	1461.5	1814.7
11.0	1340.3	1647.6	1241.6	1575.6	1433.9	1797.7
12.0	1301.9	1608.8	1208.8	15.6.9	1411.9	1764.4
13.0	1274.5	1575.6	1176.1	1498.3	1389.8	1747.7
14.0	1236.2	1531.4	1148.9	1465.3	1362.3	1708.7
15.0	1203.4	1487.3	1121.7	1425.8	1340.3	1692.0
16.0	1165.2	1454.3	1094.5	1393.9	--	--
17.0	1132.6	1415.8	1062.0	1361.1	1296.4	1636.5
18.0	1099.9	1372.0	1040.3	1322.8	--	--
19.0	1067.4	1339.2	1013.3	1301.0	1258.3	1592.2
20.0	1034.9	1306.5	991.7	1257.4	--	--
21.0	1010.6	1257.4	963.2	1235.7	1214.3	1536.9
22.0	982.0	1230.3	934.1	1197.7	--	--
23.0	952.4	1197.7	910.0	1159.9	1176.1	1498.3
24.0	925.0	1154.5	885.3	1138.3	--	--
25.0	896.0	1122.1	859.1	1100.5	1132.6	1448.8
26.0	868.2	1089.8	837.2	1084.4	--	--
27.0	839.3	1046.8	814.8	1046.8	1100.0	1410.4
28.0	815.3	1025.4	791.9	1020.0	--	--
29.0	789.8	987.9	770.1	987.9	1056.6	1361.1
30.0	766.9	961.3	749.4	966.6	--	--
31.0	742.0	929.3	727.7	940.0	1024.1	1317.4
32.0	717.1	902.8	707.1	913.4	--	--
33.0	695.5	876.3	686.0	886.9	989.6	1268.3
34.0	672.3	839.3	666.5	871.0	--	--
35.0	650.2	818.2	648.6	834.0	957.2	1241.1
36.0	627.6	786.7	632.3	818.2	--	--
37.0	607.2	771.0	614.5	791.9	924.4	1197.7
38.0	586.8	734.3	596.2	771.0	--	--
39.0	565.4	718.7	579.0	750.0	892.3	1149.1
40.0	546.7	692.6	561.8	729.1	--	--
41.0	527.5	671.9	545.1	713.5	859.6	1105.9
42.0	507.8	651.1	528.5	682.2	--	--
43.0	489.2	625.3	512.9	666.7	828.6	1084.4
44.0	473.7	609.8	497.9	646.0	--	--
45.0	455.7	573.9	483.0	625.3	799.3	1036.1
46.0	438.2	558.5	465.4	615.0	--	--
47.0	422.3	527.9	453.6	584.1	770.1	993.3
48.0	--	--	439.2	568.7	--	--
49.0	--	--	424.9	563.6	740.4	971.9
50.0	--	--	412.1	533.0	--	--
51.0	--	--	--	--	713.9	929.3
53.0	--	--	--	--	687.5	892.2
55.0	--	--	--	--	662.3	871.0
57.0	--	--	--	--	636.5	834.0
59.0	--	--	--	--	612.4	807.7
61.0	--	--	--	--	588.9	781.4
63.0	--	--	--	--	564.4	750.0
65.0	--	--	--	--	543.0	723.9
67.0	--	--	--	--	519.7	687.4
69.0	--	--	--	--	501.0	666.7
71.0	--	--	--	--	480.4	635.6
73.0	--	--	--	--	459.8	615.0
75.0	--	--	--	--	441.8	589.3

Tabela 4.4 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 1000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento linear com 20 membranas.

Tempo (min.)	Q = 54 l/h		Q = 38 l/h		Q = 27 l/h		Q = 14 l/h	
	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil
0.0	990.1	945.3	959.4	945.3	948.6	940.0	948.1	940.0
0.25	976.1	945.3	912.1	945.3	943.8	940.0	945.9	940.0
0.50	869.2	945.3	854.3	945.3	891.7	940.0	929.3	940.0
0.75	799.3	945.3	800.9	945.3	833.4	940.0	878.3	940.0
1.0	737.2	945.3	730.9	940.0	754.7	940.0	--	--
1.25	684.9	945.3	688.1	940.0	703.9	934.7	768.0	940.0
1.50	655.4	945.3	656.5	934.7	653.3	934.7	703.9	934.7
2.0	629.2	945.3	607.2	918.7	587.8	924.0	612.9	934.7
2.5	603.5	881.6	579.5	897.5	544.1	908.1	563.3	934.7
3.0	593.1	865.7	562.8	886.9	514.5	892.2	474.2	924.0
3.5	578.4	828.8	549.3	876.3	495.9	881.6	429.5	924.0
4.0	561.8	818.2	536.8	855.1	480.9	871.0	--	--
4.5	547.2	802.4	524.9	839.3	469.1	855.1	--	--
5.0	532.1	776.2	513.5	828.8	457.7	839.3	--	--
5.5	520.2	765.7	504.1	813.0	448.0	823.5	--	--
6.0	505.7	739.6	490.7	797.2	439.2	818.2	--	--
6.5	494.8	718.7	481.4	781.4	--	--	--	--
7.0	478.8	703.0	471.1	765.7	--	--	--	--
7.5	465.4	682.2	460.8	750.0	--	--	--	--
8.0	453.6	671.9	451.1	734.3	--	--	--	--
8.5	440.8	651.1	437.2	718.7	--	--	--	--
9.0	433.6	630.5	--	--	--	--	--	--

Tabela 4.5 - Dados experimentais da dessalinização de soluções de Cloreto de Sódio a diferentes vazões de alimentação com concentrações em torno de 2000 ppm, sob tensão de 40 volts, em um reator de escoamento linear com 20 membranas.

Tempo (min.)	Q = 54 l/h		Q = 38 l/h		Q = 27 l/h		Q = 14 l/h	
	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil	Ccél (ppm)	Cdil
0.0	2110.2	2078.7	2132.8	2146.5	1884.9	1820.2	1935.4	1904.2
0.25	2031.2	2078.7	2110.2	2146.5	1879.3	1820.2	--	--
0.5	1918.6	2078.7	1997.3	2259.9	1834.4	1820.2	1918.6	1904.2
0.75	1666.8	2073.0	1856.8	2254.3	1694.7	1820.2	1851.2	1904.2
1.0	1555.6	2061.8	1711.4	2248.6	1472.6	1820.2	1739.3	1904.2
1.25	1489.2	2044.8	1588.9	2237.2	1373.3	1820.2	1583.4	1904.2
1.50	1456.0	2033.6	1516.9	2203.2	1274.5	1820.2	1433.9	1898.6
1.75	1428.4	2022.3	1433.9	2191.8	1170.7	1809.1	1290.9	1893.0
2.0	1395.3	1994.1	1384.3	2191.8	1089.1	1797.9	1170.7	1893.0
2.5	1351.3	1954.8	1334.8	2157.8	980.9	1764.4	1029.5	1870.6
3.0	1318.3	1915.5	1290.9	2123.9	916.4	1742.1	865.5	1865.0
3.5	1285.4	1876.2	1258.0	2090.0	868.2	1708.7	778.6	1825.8
4.0	1252.6	1853.8	1230.7	2050.5	840.4	1692.0	713.6	1820.2
4.5	1225.2	1809.1	1203.4	2011.0	815.8	1647.6	659.1	1808.1
5.0	1192.5	1770.0	1176.1	1977.3	793.5	1619.9	623.9	1781.1
5.5	1159.8	1725.4	1148.9	1943.5	--	--	596.7	1758.8
6.0	1132.6	1692.0	1121.7	1909.8	762.7	1575.6	572.7	1742.1
6.5	1105.4	1653.1	1100.0	1876.2	746.8	1542.4	555.5	1708.7
7.0	1078.2	1614.3	1072.8	1848.2	--	--	541.5	1697.6
7.5	1056.6	1581.1	1051.2	1809.1	730.3	1520.4	530.1	1680.9
8.0	1029.5	1542.4	1029.5	1758.8	700.2	1465.3	519.2	1647.6
8.5	1007.9	1514.8	1007.9	1725.4	684.4	1421.3	509.3	1636.5
9.0	987.9	1476.3	987.9	1697.6	669.6	1410.4	500.0	1314.3
9.5	963.7	1437.8	--	--	--	--	489.2	1586.3
10.0	937.9	1410.4	944.3	1636.5	642.3	1355.6	480.4	1570.0
10.5	--	--	--	--	--	--	473.7	1542.4
11.0	891.7	1355.6	901.4	1559.0	613.5	1306.5	464.9	1531.4
11.5	--	--	--	--	--	--	457.2	1520.4
12.0	847.3	1284.7	863.4	1525.9	587.8	1252.0	449.0	1487.3
12.5	--	--	--	--	--	--	441.3	1470.8
13.0	807.3	1224.9	826.0	1432.3	563.8	1203.2	--	--
14.0	768.0	1159.9	790.3	1377.5	540.4	1154.5	--	--
15.0	729.8	1111.3	754.2	1317.4	517.1	1111.3	--	--
16.0	692.3	1052.2	720.3	1268.3	492.8	1068.3	--	--
17.0	658.6	998.6	687.5	1214.0	471.1	1030.7	--	--
18.0	626.6	950.6	659.1	1159.9	450.0	982.6	--	--
19.0	591.5	908.1	628.1	1105.9	430.0	945.3	--	--
20.0	561.8	871.0	599.8	1057.5	--	--	--	--
21.0	532.1	823.5	571.1	1004.0	--	--	--	--
22.0	505.2	781.4	544.6	966.6	--	--	--	--
23.0	479.9	739.6	519.7	924.0	--	--	--	--
24.0	454.6	713.5	495.4	881.6	--	--	--	--
25.0	432.6	671.9	472.1	839.3	--	--	--	--
26.0	406.5	630.5	448.0	802.4	--	--	--	--
27.0	385.1	609.8	428.5	771.0	--	--	--	--
28.0	365.3	568.7	406.0	729.1	--	--	--	--
29.0	--	--	387.1	703.0	--	--	--	--
30.0	--	--	368.8	666.7	--	--	--	--

Tabela 4.12 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 92$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	4.18	0.0	5.50
0.25	6.76	0.98	3.40
0.50	8.36	3.86	2.75
0.75	12.43	9.85	1.85
1.00	13.53	13.64	1.70
1.50	14.38	16.50	1.60
2.00	14.38	17.13	1.60
2.50	14.38	17.47	1.60
3.00	14.38	17.94	1.60
3.50	14.38	18.74	1.60
4.00	14.38	19.13	1.60
5.00	14.84	20.72	1.55
7.00	14.84	22.23	1.55
8.50	15.34	25.85	1.50
9.00	15.34	26.65	1.50
10.00	15.34	28.07	1.50
11.00	15.86	29.48	1.45
12.00	15.86	30.89	1.45
13.00	15.86	32.19	1.45
14.00	16.43	33.55	1.40
15.00	16.43	34.96	1.40
16.00	16.43	36.25	1.40
17.00	17.03	37.60	1.35
18.00	17.03	38.78	1.35
19.00	17.03	40.18	1.35
19.50	17.03	40.75	1.35
20.00	17.03	41.19	1.35
21.00	17.69	42.53	1.30
22.00	17.69	43.76	1.30
23.00	17.69	45.04	1.30
24.00	18.40	46.27	1.25
25.00	18.40	47.88	1.25
26.00	18.40	48.60	1.25
27.00	18.40	49.82	1.25
28.00	18.40	50.98	1.25
29.00	19.17	52.06	1.20
30.00	19.17	53.20	1.20
31.00	19.17	54.30	1.20
32.00	19.17	55.46	1.20
33.00	20.00	56.39	1.15
34.00	20.0	57.48	1.15

Tabela 4.13 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 80$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.11	0.0	9.45
0.25	5.00	1.68	4.00
0.50	9.52	8.82	2.10
0.75	11.43	13.36	1.75
1.00	12.50	15.75	1.60
1.50	13.34	16.35	1.50
2.00	13.34	16.04	1.50
2.50	13.34	16.04	1.50
3.00	13.34	--	1.50
3.50	13.34	16.94	1.50
4.00	13.34	17.60	1.50
5.00	13.79	18.60	1.45
6.00	14.29	20.32	1.40
7.00	14.29	21.75	1.40
8.00	14.29	23.17	1.40
9.00	14.29	24.54	1.40
10.00	14.29	25.82	1.40
11.00	14.81	27.37	1.35
12.00	14.81	28.90	1.35
13.00	14.81	29.90	1.35
14.00	14.81	31.08	1.35
15.00	14.81	32.43	1.35
16.00	15.38	33.67	1.30
17.00	15.38	35.25	1.30
18.00	15.38	36.24	1.30
20.00	15.38	38.93	1.30
21.00	16.00	39.87	1.25
22.00	16.00	41.09	1.25
23.00	16.00	42.38	1.25
24.00	16.00	43.48	1.25
25.00	16.00	44.64	1.25
26.00	16.00	45.74	1.25
27.00	16.67	46.84	1.20
28.00	16.67	48.00	1.20
29.00	16.67	49.09	1.20
30.00	16.67	50.00	1.20
31.00	16.67	51.17	1.20
32.00	16.67	52.32	1.20
33.00	17.39	52.30	1.15
34.00	17.39	54.33	1.15

Tabela 4.14 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: V = 68 volts, Q = 54 l/h, T = 25 °C na concentração de 1000 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.28	0.0	7.45
0.25	4.66	1.77	3.65
0.50	7.56	7.48	2.25
0.75	10.30	10.85	1.65
1.00	10.97	13.00	1.55
1.50	13.07	14.19	1.30
2.00	13.60	14.31	1.25
2.50	13.60	--	1.25
3.00	12.59	--	1.35
3.50	12.59	15.04	1.35
4.00	12.59	15.90	1.35
5.00	12.59	17.14	1.35
6.00	13.07	18.44	1.30
7.00	13.07	19.58	1.30
8.00	13.07	21.04	1.30
9.00	13.60	22.45	1.25
10.00	13.60	23.01	1.25
11.00	13.60	24.25	1.25
12.00	13.60	25.38	1.25
13.00	13.60	26.67	1.25
14.00	13.60	29.42	1.25
15.00	14.17	32.90	1.20
16.00	14.17	--	1.20
17.00	14.17	--	1.20
18.00	14.17	--	1.20
20.00	14.78	34.35	1.15
21.00	14.78	35.36	1.15
22.00	14.78	36.58	1.15
23.00	14.78	37.52	1.15
24.00	14.78	38.58	1.15
25.00	15.45	39.58	1.10
26.00	15.45	41.58	1.10
27.00	15.45	42.57	1.10
28.00	15.45	43.51	1.10
29.00	15.45	44.46	1.10
30.00	15.45	45.73	1.10
31.00	16.19	46.72	1.05
32.00	16.19	47.38	1.05
33.00	16.19	48.20	1.05
34.00	16.19	49.08	1.05

Tabela 4.15 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 56$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 942,7 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.00	0.0	7.0
0.25	4.00	0.16	3.50
0.50	6.08	2.16	2.30
0.75	10.00	4.90	1.40
1.00	10.77	6.77	1.30
1.50	11.67	9.15	1.20
2.00	11.67	10.40	1.20
2.50	11.67	11.25	1.20
3.00	11.67	11.93	1.20
3.50	11.67	12.78	1.20
4.00	11.67	13.29	1.20
5.00	11.67	14.19	1.20
6.00	11.67	15.32	1.20
7.00	11.67	16.50	1.20
8.00	12.17	17.63	1.15
9.00	12.17	18.70	1.15
10.00	12.17	19.83	1.15
11.00	12.17	20.89	1.15
12.00	12.17	21.97	1.15
13.00	12.17	23.09	1.15
14.00	12.17	24.21	1.15
15.00	12.17	25.11	1.15
16.00	12.17	26.11	1.15
17.00	12.17	27.57	1.15
18.00	12.17	29.02	1.15
19.00	12.17	29.80	1.15
20.00	12.17	30.41	1.15
21.00	12.73	31.98	1.10
22.00	12.73	32.81	1.10
23.00	12.73	33.70	1.10
24.00	12.73	34.98	1.10
25.00	12.73	35.48	1.10
26.00	12.73	36.87	1.10
27.00	12.73	37.80	1.10
28.00	13.34	38.53	1.05
29.00	13.34	39.97	1.05
30.00	13.34	40.57	1.05
31.00	13.34	41.52	1.05
32.00	13.34	42.73	1.05
33.00	13.34	43.16	1.05
34.00	14.00	44.43	1.00

Tabela 4.16 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 40 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 961,0 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.04	0.0	4.90
0.25	3.39	1.17	2.95
0.50	4.35	5.48	2.30
0.75	6.06	9.66	1.65
1.00	7.14	11.83	1.40
1.50	8.00	13.28	1.25
2.00	8.70	13.55	1.15
2.50	8.70	13.66	1.15
3.00	9.10	13.83	1.10
3.50	9.10	14.11	1.10
4.00	9.10	14.55	1.10
5.00	9.10	15.61	1.10
6.00	9.52	16.60	1.05
7.00	9.52	17.66	1.05
8.00	9.52	18.87	1.05
9.00	9.52	19.92	1.05
10.00	9.52	21.18	1.05
11.00	9.52	21.97	1.05
12.00	9.52	23.12	1.05
13.00	9.52	24.06	1.05
14.00	10.00	24.99	1.00
15.00	10.00	25.82	1.00
16.00	10.00	26.87	1.00
17.00	10.00	27.86	1.00
18.00	10.00	28.95	1.00
19.00	10.53	30.86	0.95
20.00	10.53	32.02	0.95
21.00	10.53	33.16	0.95
22.00	10.53	34.20	0.95
23.00	10.53	35.07	0.95
24.00	10.53	35.95	0.95
25.00	10.53	36.93	0.95
26.00	11.11	37.86	0.90
27.00	11.11	38.67	0.90
28.00	11.11	39.59	0.90
29.00	11.11	40.51	0.90
30.00	11.11	41.35	0.90
31.00	11.11	42.30	0.90
32.00	11.11	43.22	0.90
33.00	11.76	44.14	0.85
34.00	11.76	45.11	0.85

Tabela 4.17 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1018,7 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.47	0.0	8.10
0.25	4.65	1.60	4.30
0.50	5.48	7.10	3.65
0.75	6.15	13.10	3.25
1.00	6.56	17.10	3.05
1.50	6.78	20.90	2.95
2.00	7.02	22.60	2.85
2.50	7.14	23.80	2.80
3.00	7.27	24.90	2.75
3.50	7.27	25.60	2.75
4.00	7.40	26.80	2.70
5.00	7.69	28.80	2.60
6.00	7.84	30.90	2.55
7.00	8.00	32.70	2.45
8.00	8.16	34.80	2.45
9.00	8.16	36.70	2.45
10.00	8.34	38.90	2.40
11.00	8.34	41.00	2.40
12.00	8.51	43.20	2.35
13.00	8.69	45.00	2.30
14.00	9.10	46.90	2.20
15.00	8.89	47.90	2.25
16.00	9.10	49.60	2.20
17.00	9.30	51.20	2.15
18.00	9.76	52.80	2.05
19.00	10.00	54.60	2.00
20.00	10.26	56.20	1.95
21.00	10.26	57.80	1.95
22.00	10.81	59.50	1.85
23.00	10.81	60.90	1.85
24.00	10.81	61.50	1.85
25.00	11.11	61.60	1.80
26.00	11.11	61.60	1.80
27.00	11.11	61.70	1.80

Tabela 4.18 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições:

$V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1024,1 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.52	0.0	7.95
0.25	5.00	1.60	4.00
0.50	6.67	6.20	3.00
0.75	7.69	10.90	2.60
1.00	8.16	15.20	2.45
1.50	8.51	20.10	2.35
2.00	8.69	22.20	2.30
2.50	8.69	23.90	2.30
3.00	8.89	24.80	2.25
3.50	8.89	25.60	2.25
4.00	9.10	26.40	2.20
5.00	9.10	28.00	2.20
6.00	9.30	29.70	2.15
7.00	9.30	31.30	2.15
8.00	9.52	32.90	2.10
9.00	9.52	34.50	2.10
10.00	10.00	36.00	2.00
11.00	10.00	37.20	2.00
12.00	10.25	38.60	1.95
13.00	10.25	40.00	1.95
14.00	9.52	41.40	2.00
15.00	9.52	42.60	2.00
16.00	10.25	44.10	1.95
17.00	10.52	45.60	1.90
18.00	10.52	47.10	1.90
19.00	10.81	48.30	1.85
20.00	10.81	49.60	1.85
21.00	11.11	51.10	1.80
22.00	11.43	52.30	1.75
23.00	11.76	53.60	1.70
24.00	11.76	54.80	1.70
25.00	12.12	56.10	1.65
26.00	12.12	57.30	1.65
27.00	12.50	58.50	1.60

Tabela 4.19 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 993,9 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.72	0.0	7.35
0.25	5.63	0.60	3.55
0.50	8.00	3.50	2.50
0.75	10.25	8.00	1.95
1.00	11.11	11.40	1.80
1.50	13.79	16.50	1.45
2.00	14.81	18.50	1.35
2.50	14.81	19.20	1.35
3.00	15.38	19.60	1.30
3.50	15.38	20.00	1.30
4.00	15.38	20.40	1.30
5.00	15.38	21.10	1.30
6.00	14.81	22.10	1.35
8.00	14.81	24.80	1.35
9.00	14.81	25.90	1.35
10.00	14.81	27.00	1.35
11.00	14.81	28.10	1.35
12.00	15.38	30.20	1.30
13.00	15.38	31.40	1.30
15.00	15.38	33.40	1.30
16.00	15.38	34.50	1.30
17.00	15.38	35.50	1.30
18.00	15.38	36.60	1.30
19.00	15.38	37.80	1.30
20.00	15.38	38.60	1.30
21.00	16.00	39.80	1.25
22.00	16.00	40.70	1.25
23.00	16.00	41.70	1.25
24.00	16.00	42.60	1.25
25.00	16.00	43.50	1.25
26.00	16.67	44.50	1.20
27.00	16.67	45.50	1.20
28.00	16.67	46.50	1.20
29.00	16.67	47.30	1.20
30.00	16.67	48.30	1.20
31.00	17.40	49.30	1.15
32.00	17.40	50.30	1.15
33.00	17.40	51.20	1.15
34.00	17.40	52.00	1.15
35.00	18.18	53.00	1.10
37.00	18.18	54.80	1.10
39.00	18.18	56.30	1.10

Tabela 4.20 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1045,7 ppm.

Tempo (min.)	Resistência Ôhmica (Ω)	Fração Desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0	3,51	0	5,7
0,25	7,14	0,5	2,8
0,5	14,81	1,5	1,35
0,75	30,77	3,61	0,65
1,0	36,36	4,8	0,55
1,5	37,98	7,4	0,526
2,0	38,2	8,92	0,523
2,5	38,76	9,79	0,516
3,0	38,83	10,3	0,515
3,5	38,87	10,5	0,515
4,0	39,02	10,56	0,513
5,0	38,61	10,67	0,518
6,0	38,31	10,82	0,522
7,0	37,91	10,97	0,528
8,0	38,35	11,23	0,522
9,0	38,09	11,49	0,525
10,0	37,63	11,75	0,531
11,0	37,41	12,05	0,534
12,0	37,11	12,36	0,539
13,0	37,52	12,67	0,533
14,0	37,48	12,97	0,533
15,0	37,55	13,29	0,553
16,0	37,27	13,59	0,537
17,0	37,38	13,9	0,535
18,0	37,38	14,21	0,535
19,0	37,1	14,51	0,539
20,0	37,21	14,87	0,538
21,0	36,96	15,18	0,541
22,0	36,93	15,53	0,541
23,0	36,3	15,79	0,551
24,0	36,26	16,16	0,552
25,0	35,87	16,46	0,557
26,0	35,65	16,87	0,561
27,0	35,81	17,23	0,559
28,0	35,61	17,64	0,562
29,0	35,65	17,9	0,561
30,0	36,19	18,25	0,553
31,0	35,84	18,6	0,558
32,0	36	18,82	0,556
33,0	36,23	18,23	0,552

Tabela 4.21 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2121,5 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.44	0.0	13.90
0.25	2.44	1.80	8.20
0.50	3.15	7.70	6.35
0.75	3.48	12.50	5.75
1.00	3.64	15.40	5.50
1.50	3.81	18.50	5.25
2.00	3.84	20.10	5.20
2.50	3.88	21.20	5.15
3.00	3.92	21.95	5.10
3.50	3.96	23.00	5.05
4.00	4.00	24.00	5.00
5.00	4.04	25.80	4.95
6.00	4.12	27.70	4.85
7.00	4.21	29.80	4.75
8.00	4.35	31.63	4.60
9.00	4.45	33.20	4.50
11.00	4.55	36.80	4.40
12.00	4.70	38.63	4.25
13.00	4.76	40.00	4.20
14.00	4.88	41.70	4.10
15.00	4.94	43.33	4.05
16.00	5.06	45.10	3.95
17.00	5.13	46.66	3.90
18.00	5.19	48.20	3.85
19.00	5.34	49.70	3.75
20.00	5.48	51.20	3.65
21.00	5.56	52.30	3.60
22.00	5.71	53.70	3.50
23.00	5.88	55.10	3.40
24.00	5.97	56.40	3.35
25.00	6.06	57.70	3.30
26.00	6.25	59.00	3.20
27.00	6.45	60.00	3.10
29.00	6.67	62.80	3.00
30.00	6.89	63.90	2.90
31.00	7.02	65.00	2.85
32.00	7.14	66.20	2.80
33.00	7.27	67.20	2.75
34.00	7.41	68.30	2.70
35.00	7.69	69.40	2.60
36.00	7.84	70.40	2.55
37.00	8.00	71.40	2.50
38.00	8.34	72.30	2.40
39.00	8.51	73.30	2.35
41.00	8.89	75.10	2.25
42.00	9.10	76.10	2.20
43.00	9.30	77.00	2.15
44.00	9.52	77.70	2.10
45.00	9.76	78.50	2.05
46.00	10.00	79.30	2.00
47.00	10.26	80.00	1.95

Tabela 4.22 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2065,0 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.57	0.0	12.70
0.25	2.74	1.90	7.30
0.50	3.42	7.10	5.85
0.75	3.77	12.52	5.30
1.00	3.88	16.85	5.15
1.50	4.00	21.70	5.00
2.00	4.17	24.60	4.80
2.50	4.21	25.70	4.75
3.00	4.30	26.50	4.65
3.50	4.34	27.60	4.60
4.00	4.40	28.40	4.55
5.00	4.44	29.80	4.50
6.00	4.55	31.60	4.40
7.00	4.60	33.50	4.35
8.00	4.70	35.10	4.25
9.00	4.82	36.60	4.15
10.00	4.88	38.30	4.10
11.00	4.94	39.87	4.05
12.00	5.06	41.40	3.95
13.00	5.13	43.00	3.90
14.00	5.19	44.30	3.85
15.00	5.26	45.70	3.80
16.00	5.56	47.00	3.60
17.00	5.63	48.60	3.55
18.00	5.80	49.60	3.45
19.00	5.88	50.90	3.40
20.00	5.97	52.00	3.35
22.00	6.15	54.80	3.25
23.00	6.25	55.90	3.20
24.00	6.35	57.10	3.15
25.00	6.56	58.40	3.05
26.00	6.67	59.50	3.00
27.00	6.78	60.50	2.95
28.00	6.89	61.60	2.90
29.00	7.02	62.70	2.85
30.00	7.27	63.70	2.75
31.00	7.40	64.80	2.70
32.00	7.55	65.80	2.65
33.00	7.69	66.80	2.60
34.00	7.84	67.70	2.55
35.00	8.16	68.60	2.45
36.00	8.34	69.40	2.40
37.00	8.51	70.20	2.35
38.00	8.69	71.10	2.30
39.00	8.89	71.90	2.25
40.00	9.10	72.80	2.20
41.00	9.30	73.60	2.15
42.00	9.52	74.40	2.10
45.00	10.00	76.60	2.00
46.00	10.25	77.50	1.95
47.00	10.52	78.00	1.90
48.00	10.81	78.70	1.85
49.00	11.11	79.40	1.80
50.00	11.11	80.00	1.80

Tabela 4.23 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2138,5 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.44	0.0	13.80
0.25	2.96	0.80	6.75
0.50	3.81	4.60	5.25
0.75	4.70	8.71	4.25
1.00	5.19	12.64	3.85
1.50	5.56	18.14	3.60
2.00	5.63	21.00	3.55
2.50	5.71	22.80	3.50
3.00	5.88	23.80	3.40
5.00	5.97	26.50	3.35
6.00	6.06	27.50	3.30
7.00	6.15	29.60	3.25
8.00	6.25	29.60	3.20
9.00	6.35	30.60	3.15
10.00	6.45	31.70	3.10
11.00	6.56	33.00	3.05
14.00	6.67	36.30	3.00
17.00	6.89	39.40	2.90
19.00	7.01	41.10	2.85
21.00	7.14	43.20	2.80
23.00	7.27	45.00	2.75
25.00	7.55	47.00	2.65
27.00	7.69	48.60	2.60
29.00	7.84	50.60	2.55
31.00	8.00	52.10	2.50
33.00	8.16	53.70	2.45
35.00	8.34	55.20	2.40
37.00	8.69	56.80	2.30
41.00	8.89	59.80	2.25
43.00	9.10	61.20	2.20
45.00	9.30	62.60	2.15
47.00	9.52	64.00	2.10
49.00	9.76	65.40	2.05
51.00	10.00	66.70	2.00
53.00	10.25	67.80	1.95
55.00	10.52	69.00	1.90
57.00	10.81	70.20	1.85
59.00	11.11	71.40	1.80
61.00	11.43	72.40	1.75
63.00	11.76	73.60	1.70
65.00	12.12	74.60	1.65
69.00	12.50	76.60	1.60
71.00	12.90	77.50	1.55
75.00	13.33	79.30	1.50

Tabela 4.24 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1000 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	2.353	0.0	5.15
0.25	—	1.40	—
0.50	3.478	12.20	3.48
0.75	3.704	19.20	3.27
1.00	3.921	25.50	3.09
1.25	4.124	30.80	2.94
1.50	4.210	33.80	2.88
2.00	4.348	36.80	2.79
2.50	4.348	39.00	2.79
3.00	4.598	40.10	2.64
3.50	4.706	41.60	2.57
4.00	4.762	43.20	2.54
4.50	4.878	44.70	2.48
5.00	5.000	46.20	2.42
5.50	5.063	47.40	2.39
6.00	5.195	48.90	2.33
6.50	5.263	50.00	2.30
7.00	5.333	51.60	2.27
7.50	5.479	52.30	2.21
8.00	5.556	54.20	2.18
8.50	5.634	55.50	2.15
9.00	5.714	56.20	2.12

Tabela 4.25 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 959,4 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.45	0.0	8.36
0.25	3.30	4.90	3.66
0.50	4.16	10.90	2.91
0.75	4.49	16.50	2.70
1.00	4.82	23.80	2.51
1.25	5.00	28.20	2.42
1.50	5.19	31.60	2.33
2.00	5.40	36.70	2.24
2.50	5.40	39.60	2.24
3.00	5.48	41.30	2.21
3.50	5.56	42.70	2.18
4.00	5.63	55.90	2.15
4.50	5.71	45.30	2.12
5.00	5.88	46.50	2.06
5.50	5.88	47.40	2.06
6.00	6.06	48.80	2.00
6.50	6.15	49.80	1.97
7.00	6.25	50.90	1.94
7.50	6.25	51.90	1.94
8.00	6.45	52.90	1.88
8.50	6.67	54.40	1.82

Tabela 4.26 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 948,6 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.89	0.0	6.39
0.25	3.39	0.50	3.57
0.50	4.25	5.90	2.85
0.75	4.94	12.10	2.45
1.00	5.48	20.40	2.21
1.25	5.88	25.80	2.06
1.50	6.06	31.10	2.00
2.00	6.06	38.00	2.00
2.50	6.15	42.60	1.97
3.00	6.25	45.80	1.94
3.50	6.34	47.70	1.91
4.00	6.34	49.30	1.91
4.50	6.45	50.50	1.88
5.00	6.55	51.70	1.85
5.50	6.67	52.70	1.82
6.00	6.78	53.70	1.79

Tabela 4.27 - Dados experimentais da resistência ôhmica, da fração desmineralizada e densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 948,1 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.60	0.0	7.57
0.25	4.00	0.20	3.03
0.50	4.81	1.90	2.51
0.75	5.63	7.40	2.15
1.25	7.41	19.00	1.64
1.50	7.69	25.70	1.57
2.00	7.84	35.30	1.54
2.50	8.00	43.40	1.51
3.00	8.00	50.00	1.51
3.50	8.00	54.70	1.51

Tabela 4.28 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2110,2 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	0.88	0.0	13.70
0.25	1.72	3.70	7.03
0.50	1.94	9.10	6.24
0.75	2.06	21.00	5.88
1.00	2.16	26.30	5.61
1.25	2.21	29.40	5.48
1.50	2.26	31.00	5.36
1.75	2.28	32.30	5.30
2.00	2.31	33.90	5.24
2.50	2.35	35.90	5.15
3.00	2.38	37.50	5.09
3.50	2.41	39.10	5.03
4.00	2.44	40.60	4.97
4.50	2.45	41.90	4.94
5.00	2.51	43.50	4.82
5.50	2.55	45.00	4.76
6.00	2.59	46.30	4.66
6.50	2.67	47.60	4.55
7.00	2.70	48.90	4.48
7.50	2.78	50.00	4.36
8.00	2.82	51.20	4.30
8.50	2.88	52.20	4.21
9.00	2.88	53.20	4.21
9.50	2.94	54.30	4.12
10.00	2.98	55.50	4.06
11.00	3.12	57.70	3.88
12.00	3.22	59.80	3.76
13.00	3.36	61.70	3.61
14.00	3.48	63.60	3.48
15.00	3.60	65.40	3.36
16.00	3.77	67.20	3.21
17.00	3.96	68.80	3.06
18.00	4.08	70.30	2.97
19.00	4.25	71.90	2.85
20.00	4.44	73.40	2.73
21.00	4.59	74.80	2.64
22.00	4.88	76.00	2.48
23.00	5.06	77.20	2.39
24.00	5.19	78.40	2.33
25.00	5.40	79.50	2.24
26.00	5.71	80.70	2.12
27.00	5.97	81.70	2.03
28.00	6.35	82.70	1.91

Tabela 4.29 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 2132,8 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.68	0,0	7.21
0.25	1.78	1.00	6.82
0.50	1.90	6.30	6.36
0.75	2.15	12.90	5.63
1.00	2.32	19.70	5.21
1.25	2.45	25.50	4.94
1.50	2.56	28.90	4.73
1.75	2.58	32.80	4.70
2.00	2.61	35.10	4.64
2.50	2.67	37.40	4.55
3.00	2.74	39.50	4.42
3.50	2.75	41.00	4.39
4.00	2.80	42.30	4.33
4.50	2.83	43.60	4.27
5.00	2.85	44.80	4.24
5.50	2.92	46.10	4.15
6.00	2.94	47.40	4.12
6.50	3.00	48.40	4.03
7.00	3.03	49.70	4.00
7.50	3.10	50.70	3.91
8.00	3.15	51.70	3.85
8.50	3.17	52.70	3.82
9.00	3.22	53.70	3.76
10.00	3.33	55.70	3.64
11.00	3.44	57.70	3.52
12.00	3.57	59.50	3.39
13.00	3.70	61.30	3.27
14.00	3.84	62.90	3.15
15.00	3.92	64.60	3.09
16.00	4.08	66.20	2.97
17.00	4.26	67.80	2.85
18.00	4.44	69.10	2.73
19.00	4.59	70.50	2.64
20.00	4.70	71.90	2.57
21.00	4.87	73.20	2.48
22.00	5.06	74.50	2.39
23.00	5.34	75.60	2.27
24.00	5.48	76.80	2.21
25.00	5.71	77.90	2.12
26.00	5.88	78.90	2.06
27.00	6.15	80.00	1.97
28.00	6.35	81.00	1.91
29.00	6.55	81.80	1.85
30.00	6.89	82.70	1.76

Tabela 4.31 - Dados experimentais da resistência ôhmica, fração desmineralizada e da densidade de corrente para o reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C na concentração de 1935,4 ppm.

Tempo (min)	Resistência ôhmica (Ω)	Fração desmineralizada (%)	Densidade de Corrente (mA/cm^2)
0.0	1.61	0.0	7.54
0.50	2.47	0.80	4.91
0.75	2.86	4.30	4.24
1.00	3.25	10.10	3.73
1.25	3.64	18.20	3.33
1.50	3.88	25.90	3.12
1.75	3.96	33.33	3.06
2.00	3.96	39.50	3.06
2.50	3.96	46.80	3.06
3.00	4.00	55.30	3.03
3.50	4.04	59.70	3.00
4.00	4.04	63.10	3.00
4.50	4.00	65.90	3.03
5.00	4.08	67.70	2.97
5.50	4.12	69.10	2.94
6.00	4.21	70.40	2.88
6.50	4.21	71.30	2.88
7.00	4.25	72.00	2.85
7.50	4.30	72.61	2.82
8.00	4.35	73.20	2.79
8.50	4.39	73.70	2.75
9.00	4.39	74.20	2.75
9.50	4.44	74.70	2.73
10.00	4.49	75.20	2.70
10.50	4.55	75.55	2.66
11.00	4.59	75.97	2.64
11.50	4.65	76.37	2.61
12.00	4.70	76.80	2.57
12.50	4.76	77.19	2.54

Tabela 4.32 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948,6 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C.

Resistência	Γ^{-1}
1,89	0,474
3,39	0,847
4,25	1,064
4,94	1,253
5,48	1,37
5,88	1,471
6,06	1,515
6,06	1,515
6,15	1,538
6,25	1,563
6,34	1,587
6,34	1,587
6,45	1,613
6,55	1,639
6,67	1,667
6,78	1,695

Tabela 4.33 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h, $T = 25$ °C.

Resistência	Γ^{-1}
1,6	0,4
4,0	1,0
4,81	1,20
5,63	1,40
7,41	1,85
7,69	1,92
7,84	1,96
8,0	2,0

Tabela 4.34 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 993,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h, $T = 25$ °C.

Resistência	I^{-1}
2,72	0,68
5,63	1,408
8,00	2
10,25	2,56
11,11	2,77
13,79	3,44
14,81	3,70
15,38	3,84
16,00	4,00
16,67	4,16
17,40	4,34
18,18	4,54

Tabela 4.35 - Dados experimentais da resistência ôhmica em função do inverso da corrente para uma solução de cloreto de sódio de concentração de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h, $T = 25$ °C.

Resistência	I^{-1}
2,47	0,61
4,65	1,16
5,48	1,36
6,15	1,53
6,56	1,63
6,78	1,69
7,02	1,75
7,14	1,78
7,27	1,81
7,40	1,85
7,69	1,92
7,84	1,96
8,00	2,00
8,16	2,04
8,34	2,08
8,51	2,12
8,69	2,17
8,89	2,22
9,10	2,27
9,30	2,32
9,76	2,43
10,00	2,50
10,26	2,56
10,81	2,70
11,11	2,77

Tabela 4.36 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 990,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ °C

Tempo (min.)	Eficiência de corrente (ϵ)	Variação de concentração ΔC_x (g/l)
0,0	6,52	0,044
0,50	16,37	0,076
0,75	33,44	0,146
1,00	50,48	0,208
1,25	66,42	0,260
1,50	75,50	0,289
2,00	85,01	0,316
2,50	74,79	0,278
3,00	77,52	0,272
3,50	72,88	0,250
4,00	75,52	0,256
4,50	77,00	0,255
5,00	75,50	0,244
5,50	76,89	0,245
6,00	75,16	0,234
6,50	72,89	0,224
7,00	73,96	0,224
7,50	73,48	0,216
8,00	75,02	0,218
8,50	73,29	0,210
9,00	69,60	0,197

Tabela 4.37 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Eficiência de corrente (ϵ)	Variação de concentração ΔCx (g/l)
0,0	0	0,014
0,25	4,78	0,033
0,50	16,51	0,91
0,75	28,25	0,144
1,00	43,86	0,209
1,25	54,83	0,252
1,50	62,91	0,278
2,00	73,3	0,312
2,50	74,83	0,318
3,00	77,31	0,324
3,50	79,08	0,327
4,00	78,06	0,318
4,50	78,21	0,314
5,00	80,73	0,315
5,50	79,09	0,309
6,00	80,86	0,306
6,50	80,36	0,3
7,00	80,15	0,294
7,50	78,68	0,289
8,00	79,53	0,283
8,50	81,69	0,282

Tabela 4.38 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 959,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔCx (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,0038	0,39
0,5	0,048	6,36
0,75	0,106	16,28
1	0,185	31,4
1,25	0,23	42
1,5	0,281	52,75
2	0,336	63,02
2,5	0,364	69,28
3	0,378	73,01
3,5	0,386	75,74
4	0,39	76,6
4,5	0,386	77,02
5	0,381	77,39
5,5	0,376	77,43
6	0,379	79,47

Tabela 4.39 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 948,1 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0,0025	0,06
0,25	0,0059	0,38
0,5	0,0107	0,83
0,75	0,0617	5,57
--	--	--
1,25	0,172	20,43
1,5	0,231	28,47
2	0,322	40,47
2,5	0,398	51,11
3	0,449	57,7
3,5	0,494	63,44

Tabela 4.40 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1935,4 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,5	0,0144	0,57
0,75	0,053	2,42
1	0,164	8,6
1,25	0,32	18,7
1,5	0,464	28,94
1,75	0,602	38,24
2	0,722	45,88
2,5	0,841	53,42
3	0,999	64,11
3,5	1,047	67,85
4	1,106	71,68
4,5	1,15	73,77
5	1,157	75,74
5,5	1,162	76,85
6	1,169	78,96
6,5	1,153	77,86
7	1,156	78,89
7,5	1,15	79,38
8	1,128	78,67
8,5	1,127	79,46
9	1,114	78,55
9,5	1,097	78,22
10	1,089	78,53
10,5	1,069	77,94
11	1,06	78,64
11,5	1,063	79,3
12	1,038	78,36
12,5	1,029	78,62

Tabela 4.41 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1884,9 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,059	3,45
0,5	0,014	
0,75	0,125	9,76
1	0,347	29,25
1,25	0,447	39,49
1,5	0,545	48,92
1,75	0,638	58,07
2	0,708	64,95
2,5	0,784	72,34
3	0,826	77,39
3,5	0,84	79,38
4	0,851	82,31
4,5	0,831	81,67
5	0,826	82,24
6	0,812	83,11
6,5	0,795	82,71
7	0,79	83,54
8	0,765	83,76
8,5	0,736	81,4
9	0,74	84,08
10	0,713	81,71
11	0,693	83,24
12	0,664	83
13	0,639	82,4
14	0,614	81,69
15	0,594	81,68
16	0,575	81,83
17	0,559	81,45
18	0,532	80,35
19	0,515	79,68

Tabela 4.42 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 2132,8 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔCx (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,036	2,81
0,5	0,262	21,77
0,75	0,397	37,21
1	0,537	54,38
1,25	0,648	69,25
1,5	0,686	76,6
1,75	0,758	85,14
2	0,807	91,89
2,5	0,823	95,53
3	0,833	99,34
3,5	0,832	99,9
4	0,819	99,81
4,5	0,807	99,73
5	0,801	99,64
5,5	0,794	100,98
6	0,788	100,89
6,5	0,776	101,62
7	0,775	104,65
7,5	0,757	102,29
8	0,729	99,98
8,5	0,717	99,15
9	0,709	99,65
10	0,692	100,44
11	0,657	98,71
12	0,662	102,99
13	0,606	97,75
14	0,587	98,31
15	0,563	96,14
16	0,548	97,36
17	0,526	97,52
18	0,5	96,88
19	0,477	95,62
20	0,457	93,76
21	0,432	91,92
22	0,422	93
23	0,404	93,86
24	0,386	92,11
25	0,367	91,33
26	0,354	90,74
27	0,342	91,74
28	0,323	89,29
29	0,315	90,16
30	0,297	89,42

Tabela 4.43 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 2110,2 ppm em um reator de escoamento linear com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔCx (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,047	5,06
0,5	0,16	19,23
0,75	0,406	51,8
1	0,506	67,7
1,25	0,555	75,95
1,5	0,577	80,74
1,75	0,593	83,96
2	0,598	85,64
2,5	0,603	87,83
3	0,597	87,95
3,5	0,59	88,06
4	0,601	90,7
4,5	0,583	88,63
5	0,577	89,86
5,5	0,565	89,14
6	0,559	89,87
6,5	0,547	90,34
7	0,536	89,63
7,5	0,524	90,12
8	0,512	89,37
8,5	0,506	90,23
--	--	--
9	0,474	86,25
10	0,472	87,24
11	0,463	89,67
12	0,437	87,28
13	0,417	86,83
14	0,391	84,32
15	0,381	85,04
16	0,359	84
17	0,34	83,29
18	0,324	81,8
19	0,316	83,33
20	0,309	85
21	0,291	82,87
22	0,276	83,34
23	0,259	81,33
24	0,258	83,19
25	0,239	80
26	0,224	79,17
27	0,224	82,98
28	0,203	79,88

Tabela 4.44 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 1018,7 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔCx (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,019	5,73
0,5	0,036	12,44
0,75	0,097	37,23
1	0,133	54,02
1,5	0,166	69,69
2	0,162	70,49
2,5	0,164	72,5
3	0,164	74
3,5	0,164	72,56
4	0,161	69,55
5	0,151	71,7
6	0,15	73,36
7	0,151	73,78
8	0,149	75,03
9	0,148	71,6
10	0,141	76,6
11	0,148	69,02
12	0,133	76,59
13	0,145	74,01
14	0,137	76,87
15	0,136	72,25
16	0,131	65,79
17	0,117	67,95
18	0,118	68,8
19	0,114	65,75
20	0,106	68,2
21	0,107	62,11
22	0,097	66,87
23	0,1	72,69
24	0,108	76,76
25	0,114	79,93
26	0,116	80,62
27	0,117	80,96

Tabela 4.45 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 1024,1 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (e)
0	0	0
0,25	0,03	--
0,5	0,016	4,88
0,75	0,065	21,83
1	0,108	38,59
1,5	0,153	57,01
2	0,165	62,53
2,5	0,166	62,9
3	0,17	65,93
3,5	0,167	64,69
4	0,17	67,43
5	0,16	63,43
6	0,167	67,66
7	0,167	67,86
8	0,157	65,33
9	0,152	63,13
10	0,157	68,34
11	0,143	62,64
12	0,142	63,57
13	0,146	65,41
14	0,135	58,76
15	0,136	59,46
16	0,14	62,86
17	0,124	57,09
18	0,124	57,14
19	0,132	62,35
20	0,115	54,12
21	0,119	57,6
22	0,121	60,29
23	0,108	55,77
24	0,111	57,1
25	0,113	59,94
26	0,115	61,04
27	0,102	55,77

Tabela 4.46 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 993,9 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	--	--
0,5	0,003	0,86
0,75	0,035	11,19
1	0,07	24,29
1,5	0,12	51,36
2	0,134	61,76
2,5	0,136	62,73
3	0,135	64,42
3,5	0,134	63,85
4	0,132	63,14
5	0,129	61,62
6	0,123	56,45
8	0,133	61,3
9	0,139	63,96
10	0,134	61,76
11	0,124	57,18
12	0,13	61,95
13	0,137	65,19
--	--	--
15	0,135	64,47
16	0,13	61,95
17	0,13	62
18	0,136	64,71
19	0,131	62,48
20	0,124	59,24
21	0,13	64,73
22	0,129	63,98
23	0,134	66,56
24	0,132	65,76
25	0,126	62,45
26	0,125	64,54
27	0,124	64,28
28	0,129	66,7
29	0,122	63,25
30	0,116	60,05
31	0,121	65,19
32	0,121	65,19
33	0,124	66,86
34	0,117	63,26
35	0,111	62,7
36	0,114	64,44
37	0,114	64,16
38	0,115	65,06
39	0,109	61,35

Tabela 4.47 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2121,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,008	1,22
0,5	0,132	25,74
0,75	0,233	50,17
1	0,289	65,03
1,5	0,35	82,62
2	0,344	81,96
2,5	0,355	85,39
3	0,349	84,83
3,5	0,343	84,24
4	0,354	87,79
5	0,343	85,78
6	0,337	85,98
7	0,331	86,21
8	0,336	90,42
9	0,324	89,26
--	--	--
11	0,307	86,4
12	0,306	89,33
13	0,301	88,69
14	0,295	89,07
15	0,283	86,72
16	0,289	90,54
17	0,283	89,84
18	0,272	87,44
19	0,271	89,67
20	0,271	92,05
21	0,246	84,81
22	0,248	87,77
23	0,245	89,25
24	0,229	84,75
25	0,226	84,76
26	0,221	85,67
27	0,207	82,81
28	0,21	83,84
29	0,198	81,68
30	0,194	82,93
31	0,187	81,3
32	0,185	82,04
33	0,18	81,33
34	0,167	76,51
35	0,168	79,94
36	0,159	77,18
37	0,163	81,05
38	0,147	76,03
39	0,153	80,7
40	0,145	76,81
41	0,144	79,4
42	0,143	80,58
43	0,136	78,31
44	0,136	80,17
45	0,118	71,33
46	0,12	74,41
47	0,105	67

Tabela 4.48 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔC_x em função do tempo para uma solução de NaCl de 2065,0 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Variação de concentração ΔC_x (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	0,048	5,74
0,5	0,053	7,89
0,75	0,165	27,14
1	0,254	43,04
1,5	0,343	59,84
2	0,371	67,31
2,5	0,382	70
3	0,364	68,32
3,5	0,37	70,08
4	0,375	71,88
5	0,353	68,29
6	0,352	69,74
7	0,357	71,58
8	0,351	72,06
9	0,34	71,36
10	0,334	70,98
11	0,334	71,8
12	0,328	72,31
13	0,322	71,92
14	0,316	71,55
15	0,305	69,89
16	0,299	72,4
17	0,299	73,35
18	0,282	71,28
19	0,287	73,66
20	0,265	69,05
21	0,272	70,82
22	0,263	70,61
23	0,249	67,98
24	0,253	69,92
25	0,241	68,9
26	0,247	71,74
27	0,232	68,46
28	0,228	68,48
29	0,217	66,53
30	0,217	68,76
31	0,212	68,45
32	0,206	67,77
33	0,2	67,26
34	0,204	69,82
35	0,185	65,88
36	0,185	67,43
37	0,177	65,72
38	0,174	66,16
39	0,171	66,16
40	0,167	66,2
41	0,168	68,18
42	0,153	63,72
43	0,153	63,38
44	0,148	61,4
45	0,142	61,94
46	0,149	66,79
47	0,13	59,8
48	0,129	60,94
49	0,138	67,71
50	0,12	58,47

Tabela 4.49 - Dados experimentais da eficiência de corrente e da variação de concentração ΔCx em função do tempo para uma solução de NaCl de 2138,5 ppm em um reator de escoamento tortuoso com 20 membranas sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ °C.

Tempo (min.)	Varição de concentração ΔCx (g/l)	Eficiência de corrente (ϵ)
0	0	0
0,25	--	--
0,5	0,002	0,28
0,75	0,092	13,46
1	0,171	27,49
1,5	0,283	48,64
2	0,338	59,03
2,5	0,372	65,78
3	0,377	68,7
3,5	0,371	67,62
4	0,382	69,64
5	0,376	69,58
6	0,376	70,59
7	0,376	71,62
8	0,364	70,52
9	0,364	71,58
10	0,353	70,48
11	0,364	73,82
12	0,352	71,49
13	0,357	72,58
14	0,346	71,42
15	0,351	72,52
17	0,34	72,54
19	0,334	72,54
21	0,322	71,27
23	0,322	72,47
25	0,316	73,81
27	0,31	73,85
29	0,304	73,86
31	0,293	72,57
33	0,278	70,37
35	0,283	73,17
37	0,273	73,3
39	0,256	69,06
41	0,246	67,71
43	0,255	71,92
45	0,236	68,13
47	0,223	65,75
49	0,231	69,85
51	0,215	66,62
53	0,204	64,93
55	0,208	67,94
57	0,197	66,03
59	0,195	67,11
61	0,192	68,04
63	0,185	67,53
65	0,18	67,82
67	0,167	62,87
69	0,165	64,06
71	0,155	61,93
73	0,156	62,3
75	0,147	60,83

Tabela 4.50 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação de 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
945,3	--	--
936,2	16,37	47,16
927,1	33,44	34,3
918	50,48	30
908,9	66,42	28,21
899,8	75,5	29,45
890,7	85,01	34,56
881,6	74,79	48,61
865,7	77,52	55,26
828,8	72,88	65,65
818,2	75,52	71,48
802,4	77	77,35
776,2	75,5	84,79
765,7	76,89	90,34
739,6	75,16	97,39
718,7	72,89	105,71
703	73,96	109,74
682,2	73,48	114,85
671,9	75,02	118,2
651,1	73,29	126,29
630,5	69,6	134,48

Tabela 4.51- Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 945.3 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
945,3	57,29	4,78
943,5	33,11	16,51
941,78	29	28,25
940	25,2	43,86
940	24,87	54,83
934,7	25,84	62,91
918,7	29,06	73,3
897,5	34,37	74,83
886,9	39,95	77,31
876,3	45,04	79,08
855,1	50,82	78,06
839,3	56,01	78,21
828,8	59,56	80,73
813	65,6	79,09
797,2	68,65	80,86
781,4	73,32	80,36
765,7	77,62	80,15
750	82,98	78,68
734,3	85,72	79,53
718,7	86,85	81,69

Tabela 4.52 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 940 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
940	497,01	0,39
938,2	60,87	6,36
936,4	35,72	16,28
937,7	24,69	31,4
934,7	22,93	42
934,7	21,91	52,75
924	24,18	63,02
908,1	27,01	69,28
892,2	30,23	73,01
881,6	33,55	75,74
871	37,45	76,6
855,1	41,19	77,02
839,3	44,67	77,39
823,5	48,26	77,43
818,2	50,95	79,47

Tabela 4.53 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 954.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
940	264,47	0,38
938,6	242,85	0,83
937,3	53,93	5,57
936	24,5	20,43
934,7	21,05	28,47
934,7	19,74	40,47
934,7	19,55	51,11
924	20,54	57,7
924	21,8	63,44

Tabela 4.54 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1904.2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 14$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
1904,2	0,57	714,6
1902,8	2,42	252,45
1901,4	8,6	94,34
1900	18,7	54,37
1898,6	28,94	42,04
1893	38,24	37,04
1893	45,88	35,28
1870,6	53,42	37,43
1865	64,11	37,32
1825,8	67,85	40,27
1820,2	71,68	43,44
1809,1	73,77	47,19
1781,1	75,74	50,26
1758,8	76,85	53,78
1742,1	78,96	56,6
1708,7	77,86	60,99
1697,6	78,89	64,33
1680,9	79,38	67,9
1647,6	78,67	71,68
1635,5	79,46	74,77
1614,3	78,55	79
1586,6	78,22	82,32
1570	78,53	85,41
1542,4	77,94	88,95
1531,4	78,64	91,45
1520,4	79,3	94,27
1487,3	78,36	97,28
1470,8	78,62	99,96

Tabela 4.55 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1820,2 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
1820,2	1	747,74
1817,9	9,76	115,81
1815,7	29,25	51,3
1813,5	39,49	47,56
1811,3	48,92	45,89
1809,1	58,07	44,94
1797,9	64,95	45,61
1764,4	72,34	50,2
1742,1	77,39	55,69
1708,7	79,38	62,06
1692	82,31	67,71
1647,6	81,67	74,76
1619,9	82,24	81,08
1575,6	83,11	93,65
1542,4	82,71	99,93
1520,4	83,54	105,11
1465,3	83,76	115,43
1421,3	81,4	122,36
1410,4	84,08	124,52
1355,6	81,71	136,69
1306,5	82,24	142,63
1252	83	149,28
1203,2	82,4	156,69
1154,5	81,69	163,14
1111,3	81,68	168,15
1068,3	81,83	172,36
1030,7	81,45	177,21
982,6	80,35	181,62
945,3	79,68	185,91

Tabela 4.56 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2146.5 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
2146,5	2,81	221,95
2259,9	21,77	60,1
2254,3	37,21	52,73
2248,6	54,38	47,88
2237,2	69,25	46,8
2203,2	76,6	50
2191,8	85,14	52,28
2191,8	91,89	55,28
2157,8	95,53	66,54
2123,9	99,34	74,46
2090	99,9	84,73
2050,5	99,81	95,48
2011	99,73	105,07
1977,3	99,64	114,89
1943,5	100,98	122,89
1909,8	100,89	131,78
1876,2	101,62	138,95
1848,2	104,65	143,49
1809,1	102,29	153,93
1758,8	99,98	163,38
1725,4	99,15	171,45
1697,6	99,65	177,65
1636,5	100,44	181,65
1559	98,71	201,18
1525,9	102,99	206,3
1432,3	97,75	220,89
1377,5	98,31	227,34
1317,4	96,14	238,5
1268,3	97,36	241,85
1214	97,52	245,93
1159,9	96,88	249,91
1105,9	95,62	254,65
1057,9	93,76	261,62
1004	91,92	265,81
966,6	93	265,25
924	93,86	263,16
881,6	92,11	266,67
839,3	91,33	266,48
802,4	90,74	266,74
771	91,74	263,23
729,1	89,29	265,43
703	90,16	262,18
666,7	89,42	259,39

Tabela 4.57 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2078.7 ppm, em um reator de escoamento linear sob as seguintes condições: V = 40 volts, Q = 54 l/h e T = 25 C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
2078,7	5,06	169
2075,2	19,23	89,07
2073	51,8	49,46
2061,8	67,7	50,18
2044,8	75,95	55,51
2033,6	80,74	62,32
2022,3	83,96	69,35
1994,1	85,64	76,74
1954,8	87,83	91,67
1915,5	87,95	107,73
1876,2	88,06	123,02
1853,8	90,7	134,91
1809,1	88,63	151,27
1770	89,86	162,09
1725,4	89,14	175,76
1692	89,87	185,93
1653,1	90,34	196,44
1614,3	89,63	207,76
1581,1	90,12	217,22
1542,4	89,37	228
1514,8	90,23	235,58
1476,3	86,94	252,22
1437,8	86,25	261,13
1410,4	87,24	266,23
1355,6	89,67	273,87
1284,7	87,28	290,84
1224,9	86,83	302,39
1159,9	84,32	317,83
1111,3	85,04	323,02
1052,2	84	330,29
998,6	83,29	335,98
950,6	81,8	344,91
907,1	83,33	341,12
871	85	337,72
823,5	82,87	343,65
781,4	83,34	340,39
739,6	81,33	344,79
713,5	83,19	339,23
671,9	80	346,01
630,5	79,17	341,3
609,8	82,98	327,29
568,7	79,88	328,87

Tabela 4.58 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 982.6 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
982,6	5,51	73,52
980,8	12,44	65,01
979	37,23	32,54
977,3	54,02	29,85
971,9	69,69	34,5
950,6	70,49	44,5
940	72,5	53,44
929,3	74	62,12
918,7	72,56	73,07
897,5	69,55	85,06
876,3	71,7	100,77
855,1	73,36	115,32
834	73,78	130,52
813	75,03	142,93
786,7	71,6	163,05
771	76,6	166,16
734,3	69,02	193,17
723,9	76,59	187,07
697,8	74,01	202,5
677,1	76,87	203,62
661,5	72,25	226,57
630,5	65,79	253,19
615	67,95	253,74
594,4	68,8	256,63
568,7	65,75	271,08
553,4	68,2	267,79
527,9	62,11	294,53
512,6	66,87	278,16
507,5	72,69	264,86
507,5	76,76	261,72
507,5	79,93	261,81
507,5	80,62	269,95
507,5	80,96	279,16

Tabela 4.59 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
977,3	4,88	116,29
975,54	21,83	38,89
973,7	38,59	29,27
971,9	57,01	29,84
961,3	62,53	35,66
945,3	62,9	43,58
940	65,93	49,65
929,3	64,69	58,37
924	67,43	63,69
897,5	63,43	82,2
886,9	67,66	91,27
887,1	67,86	104,26
844,6	65,33	118,91
823,5	63,13	136,22
813	68,34	138,09
786,7	62,64	160,36
771	63,57	168,83
760,5	65,41	175,34
734,3	58,76	193,33
723,9	59,46	201,81
713,5	62,86	210,68
682,2	57,09	235,66
666,7	57,14	243,64
661,5	62,35	233,97
630,5	54,12	270,44
620,1	57,6	262,4
609,8	60,29	258,33
584,1	55,77	279,51
573,9	57,1	279,89
563,6	59,94	272,84
553,4	61,04	273,59
527,9	55,77	296,67

Tabela 4.60 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 955.9 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 27$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
955,9	0,86	45,83
950,6	11,19	52,51
950,6	24,29	32,27
950,6	51,36	22,89
945,3	61,76	25,24
940	62,73	30,88
934,7	64,42	35,89
929,3	63,85	42
924	63,14	48,26
913,4	61,62	61,11
897,5	56,45	78,65
881,6	61,3	94,86
876,3	63,96	101,66
860,4	61,76	114,86
839,3	57,18	133,12
823,5	61,95	131,52
818,2	65,19	134,53
797,2	64,47	152,93
781,4	61,95	166,4
771	62	174,31
765,7	64,71	175,61
750	62,48	188,05
734,3	59,24	204,4
729,1	64,73	195,09
718,7	63,98	203,82
713,5	66,56	208,48
703	65,76	211,61
687,4	62,45	226,96
677,1	64,54	225,02
666,7	64,28	231,01
661,5	66,7	229,08
646	63,25	244,34
630,5	60,05	259,84
625,3	65,19	245,37
615	65,19	249,11
609,8	66,86	248,36
594,4	63,26	263,62
579	62,7	266,54
563,6	64,16	268,04
543,2	61,35	284,77

Tabela 4.61 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 2090 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 54$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
2090	1,22	706,75
2088,1	25,74	66,91
2086,2	50,17	51,47
2084,3	65,03	52,92
2078,7	82,62	62,26
2039,2	81,96	81,95
2027,9	85,39	97,84
2005,4	84,83	116,94
1977,3	84,24	135,5
1966	87,79	147,76
1915,5	85,78	184,13
1870,6	85,98	215,13
1820,2	86,21	243,76
1786,7	90,42	260,89
1742,1	89,26	290,11
1647,6	86,4	346,36
1608,8	89,33	356,05
1575,6	88,69	380,81
1531,4	89,07	397,21
1487,3	86,72	424,51
1454,3	90,54	423,66
1415,8	89,84	442,08
1372	87,44	465,46
1339,2	89,67	474,91
1306,5	92,05	468,3
1257,4	84,81	514
1230,3	87,77	508,31
1197,7	89,25	508,93
1154,5	84,75	539,29
1122,1	84,76	545,89
1089,8	85,67	545,58
1046,8	82,81	569,74
1025,4	83,84	564,75
987,9	81,69	578,8
961,3	82,93	573,09
929,3	81,3	584,72
902,8	82,04	580,64
876,3	81,33	586,3
839,3	76,51	581,26
818,2	79,94	590,75
786,7	77,18	605,06
771	81,05	580,59
734,3	76,03	605,88
718,7	80,7	572,88
671,9	79,4	572,39
625,3	78,31	566,24
573,9	71,33	597,47
527,9	67	611,08

Tabela 4.62 - Dados experimentais da eficiência de corrente e do consumo de energia em função da concentração de alimentação 1977.3 ppm, em um reator de escoamento tortuoso sob as seguintes condições: $V = 40$ volts, $Q = 38$ l/h e $T = 25$ C.

Concentração de alimentação Ca (ppm)	Eficiência de corrente (ϵ)	Consumo energético E (Wh)
1971,6	7,89	145,08
1967,8	27,14	63,06
1964,1	43,04	52,92
1960,4	59,84	53,24
1926,7	67,31	66,5
1915,5	70	79,4
1881,8	68,32	95,89
1865	70,08	107,92
1853,8	71,88	119,86
1803,5	68,29	153,12
1764,4	69,74	176,38
1731	71,58	196,59
1692	72,06	217,77
1647,6	71,36	241,24
1608,8	70,98	263,2
1575,6	71,8	280,3
1536,9	72,31	295,87
1498,3	71,92	314,22
1465,3	71,55	332,5
1426,8	69,89	355,25
1393,9	72,4	357,86
1361,1	73,35	365,93
1322,8	71,28	387,95
1301	73,66	389,39
1257,4	69,05	422,75
1197,7	70,61	432,9
1159,9	67,98	455,54
1138,3	69,92	453,6
1100,5	68,9	463,7
1084,4	71,74	456,43
1046,8	68,46	479,68
1020	68,48	483,66
987,9	66,53	500,04
966,6	68,76	489,36
940	68,45	493,67
913,4	67,77	500,83
886,9	67,26	514,67
871	69,82	492,15
834	65,88	514,12
818,2	67,43	507,47
791,9	62,72	517,49
771	66,16	513,71
750	66,16	513,27
729,1	66,2	511,89
713,5	68,18	497,93
682,2	63,72	521,76
625,3	61,94	527,34
615	66,79	491,37
584,1	59,8	546,59