

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AVALIAÇÃO DE UM REATOR ELETRODIALÍTICO, PARA FINS DE
DESSALINIZAÇÃO DE HIDROLIZADO PROTÉICO POR ELETRODIÁLISE

ELIANE BEZERRA CAVALCANTI

CAMPINA GRANDE

1991

**AVALIAÇÃO DE UM REATOR ELETRODIALÍTICO, PARA FINS DE
DESSALINIZAÇÃO DE HIDROLIZADO PROTÉICO POR ELETRODIÁLISE**

ELIANE BEZERRA CAVALCANTI

**AVALIAÇÃO DE UM REATOR ELETRODIALÍTICO, PARA FINS DE
DESSALINIZAÇÃO DE HIDROLIZADO PROTÉICO POR ELETRODIÁLISE**

*Dissertação apresentada no curso
de mestrado em Engenharia Química
da Universidade Federal da Paraíba,
em cumprimento as exigências para
obtenção do Grau de Mestre.*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Operações e Processos

PROFESSOR ORIENTADOR: Kepler Borges França (PhD)

PROFESSOR CO-ORIENTADOR: Eudésio Oliveira vilar (MSc)

CAMPINA GRANDE

1991



C376a Cavalcanti, Eliane Bezerra.
Avaliação de um reator eletrodialítico, para fins de dessalinização de hidrolizado protéico por eletrodiálise / Eliane Bezerra Cavalcanti. - Campina Grande, 1991.
129 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1991.
"Orientação : Prof. Dr. Kepler Borges França, Prof. M.Sc. Eudésio Oliveira Vilar".
Referências.

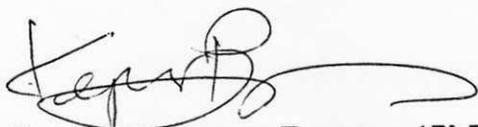
1. Dessalinização - Hidrolizado Protéico. 2. Reator Eletrodialítico. 3. Eletrodiálise. 4. Dissertação - Engenharia Química. I. França, Kepler Borges. II. Vilar, Eudésio Oliveira. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 66.065.31(043)

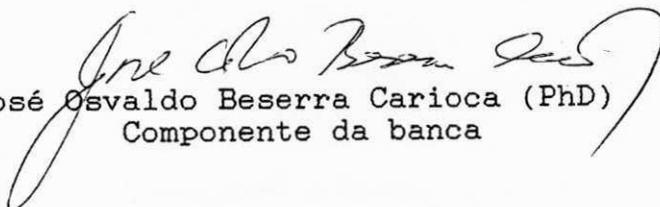
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA

Dissertação Aprovada em : 06 / 12 / 1991

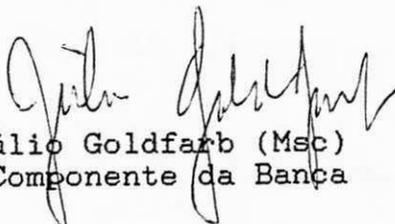
Banca Examinadora:



Kepler Borges França (PhD)
Orientador



José Osvaldo Beserra Carioca (PhD)
Componente da banca



Júlio Goldfarb (Msc)
Componente da Banca

DEDICATÓRIA

A minha mãe, *Maria José*

Ao meu pai, *Amadeu*

Ao meu irmão, *Fábio*

A família.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Kepler Borges França e ao co-orientador Eudésio Oliveira Vilar, pela disposição em compartilhar seus conhecimentos, experiência e sabedoria, bem como a imensurável orientação e empenho no desenvolvimento deste trabalho.

A Bel-Química Indústria e Comércio pela colaboração do material utilizado neste trabalho.

Aos professores José Osvaldo Bezerra Carioca e Júlio Cezar Goes, pelo o envio dos artigos durante a realização deste trabalho.

A Severino Rodrigues de Farias Neto e Gabriel Francisco da Silva pelo imenso apoio e paciência.

A EMBRAPA, no nome da pesquisadora Rosa Maria Mendes Freire e o Técnico Francisco Alves Neto, pela colaboração das análises protéicas.

A UFPb e CNPq, pelo uso dos equipamentos e suporte financeiro.

A Maria de Lourdes Correia, pela colaboração prestada.

Enfim, ao Departamento de Engenharia Química e aos amigos que contribuíram direto ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Um reator eletrodialítico em escala de laboratório, foi construído com o objetivo de investigar, através da eletrodialise, a dessalinização de um colágeno hidrolizado. O qual é uma substância rica em proteínas, constituindo 6% do peso corporal, com características fibrilar, responsável pela firmeza e integridade das estruturas e largamente utilizada na obtenção de produtos cosméticos e farmacêuticos.

A título de avaliar a performance do reator, foram estudados os seguintes parâmetros: taxa e tempo de dessalinização para atingir uma conversão de 99.9%, resistência ohmica, densidade de corrente, consumo de energia em função da concentração inicial do hidrolizado, diferença de potencial aplicado aos eletródos e velocidade de agitação.

Os resultados demostram que a densidade de corrente, eficiência de corrente decrescem, e a resistência ohmica do sistema aumenta, em função do tempo de dessalinização para uma dada concentração inicial. O consumo de energia encontra-se relacionado com o tempo de dessalinização e a diferença de potencial aplicados aos eletródos.

ABSTRACT

An electro-dialytic reactor in of the scale laboratory, was constructed with objective to investigate by electro-dialyse, the desalinization of hidrolised collagen. Which is rich in proteins, constituting 6% of the corporeal weight, with fibreform characteristic and responsable for the integrity of the structures and also used to obtain cosmetics and pharmeceutics products.

Some parameters were studied in order to see the performanse of the reactor: rate and desalinization time to reach 99% of the conversion, resistence of the system, current density, current efficiency, consumption of energy as a function of inicial concentration of the hydrolised, applied tension on the electrodes and rate of mixing.

The results show that the current density, current efficient decrease and the resistance of the system increase as a function of the desalinization time to a given initial concentration the consumption of energy is related with the desalinization time and the tension applied to the electrodes.

SIMBOLOGIA

- a' - Atividade da célula diluída
- a'' - Atividade da célula concentrada
- C - Concentração (mol/cm^3)
- D - Coeficiente de difusão na solução (cm^2/s)
- DDP - Diferença de potencial (V)
- E - Campo elétrico estabelecido (V/cm)
- E_1 - Consumo de energia (kW-h/1000 gal)
- E_2 - Consumo de energia (kW-h/ m^3)
- E_m - Diferença de potencial (V)
- F - Força aplicada no anel (dina)
- F - Fator de Correção
- F_d - Fluxo de corrente diluída (l/min)
- \mathcal{F} - Constante de Faraday (96500 C/eq)
- g - Aceleração da gravidade ($980 \text{ cm}/\text{s}^2$)
- I - Corrente lida pelo amperímetro (mA)
- J - Densidade de corrente (mA/cm^2)
- K_1 - Coeficiente de transferência de massa
($\text{meq.}/\text{cm}^2\text{s})/(\text{meq.}/\text{cm}^3)$
- K_l - Fator de partição
- K_m - Velocidade da espécie iônica através da membrana
(cm/s)
- $K_{m\bullet}$ - Velocidade da espécie iônica fora da membrana (cm/s)
- $K_{\bullet m}$ - Velocidade da espécie iônica no interior da membrana

(cm/s)

- L - Comprimento de arame (cm)
- L - Espessura da membrana (cm)
- m - Massa (g)
- n - Número de pares de célula
- N - Fluxo iônico ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
- N_s - Fluxo iônico seletivo ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
- N_m - Fluxo iônico na membrana ($\text{mol}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)
- p - Picnômetro
- P - Fator de Permeabilidade
- ppm - Partes por milhão
- PVC - Cloreto de polivinila
- r - Raio do arame (cm)
- R_p - Resistência específica do par de célula (ohm)
- R_{ma} - Resistência específica da membrana aniônica (ohm)
- R_{mc} - Resistência específica da membrana catiônica (ohm)
- R_d - Resistência específica da célula diluída (ohm)
- R_c - Resistência específica da célula concentrada (ohm)
- R_s - Resistência do sistema (ohm)
- R - Constante dos gases (8,31 Ws/kmol)
- rpm - Rotação por minuto
- t - Tempo (s)
- t - Número de transporte dos íons na solução
- \bar{t} - Número de transporte dos íons na membrana
- T - Temperatura (k)
- T_d - Taxa de dessalinização (ppm/min)
- T - Tempo para se alcançar uma conversão de 99,9% (min)
- u - Mobilidade da espécie iônica ($\text{mol} \cdot \text{cm}^2 / \text{J} \cdot \text{s}$)
- v - Velocidade de escoamento (cm/s)
- V - Capacidade volumétrica (cm^3)

- V - Queda de potencial através de uma célula eletrodialítica (V/cm)
- V_c - Potencial de concentração
- V_d - Volume do diluído (ℓ)
- Z - Valência da espécie iônica

Letras Gregas:

- ψ_a - Seletividade da membrana aniônica
- ψ_c - Seletividade da membrana catiônica
- ∇ - Gradiente
- $\bar{\Phi}$ - Parâmetros de deslocamento molecular (Å)
- δ - Espessura da camada limite (cm)
- η - Eficiência de corrente (%)
- Σ - Somatório
- τ - Tensão superficial (dina/cm)
- μ - Viscosidade (cP)
- ρ - Massa específica (g/cm³)

Sub-índices

- i - Espécie iônica
- m - Membrana
- s - Sistema
- w - Água
- + - Cátion
- - Ânion

ÍNDICE

	Pag
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II - FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.1 - Membranas eletrodialíticas.....	8
2.1.1 - Membranas homogêneas.....	10
2.1.2 - Osmose e eletrosmose.....	11
2.2 - Difusividade.....	12
2.3 - Eletrodos.....	13
2.4 - Fluxo iônico.....	14
2.5 - Transporte iônico.....	16
2.6 - Resistência elétrica do sistema.....	17
2.7 - Concentração de Polarização.....	18
2.8 - Eficiência de corrente.....	20
2.9 - Consumo de Energia.....	22
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1 - Constituição do sistema.....	28
3.1.1 - Reator.....	28
3.1.2 - Agitador mecânico.....	30
3.1.3 - Condutivímetro.....	30
3.1.4 - Plotter.....	30

3.1.5 - Bomba Peristáltica.....	31
3.1.6 - Fonte de alimentação elétrica...	31
3.2 - Metodologia aplicada.....	32
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 - Taxa e tempo de dessalinização.....	35
4.2 - Resistência ôhmica do sistema.....	37
4.3 - Densidade de corrente.....	38
4.4 - Eficiência de corrente.....	40
4.4.1 - Estudo da eficiência de corrente em função do tempo.....	40
4.4.2 - Eficiência de corrente em função da velocidade de agitação e diferença de potencial aplicado ao sistema.....	41
4.5 - Consumo de energia.....	42
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO.....	118
CAPÍTULO VI - PERSPECTIVAS.....	119
BIBLIOGRAFIA.....	120
APÊNDICE.....	124

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

A eletrodialise é um processo de dessalinização que vem sendo amplamente usado na dessalinização de águas salobras, para fins industriais e irrigação. Nas indústrias de alimentos e laticínios na remoção do ácido cítrico dos sucos de frutas, na dessalinização do leite, sendo este último, rico em proteínas dos tipos: Albumina, lactose, caseína, gorduras, etc., em diferentes concentrações, quando comparado com o leite materno humano, contendo uma larga faixa de concentrações de sais inorgânicos, prejudiciais ao consumo humano, especialmente no caso dos recém-nascidos. Esses elementos poderiam ser reajustados na ordem de aproximar para as composições do leite animal ao leite materno, tornando-o assim, favorável á alimentação para várias crianças.

Na biotecnologia, esse processo vem sendo aplicado como um método de purificação rápida de baixo custo, para dessalinizar produtos protéicos, com o objetivo de purificar as proteínas de soluções altamente diluídas, com concentrações de íons elevadas.

Pode-se citar como exemplo: na produção do queijo, o soro é um sub-produto que pode ser reaproveitado na produção de produtos laticínios. Fluidos biológicos, na aplicação da

engenharia genética, tendo como aplicação típica a remoção de 99% de 2N de sal do alfa-interferon eluate. Outras aplicações são utilizadas, onde diferentes técnicas provam que são inconvenientes para serem consideradas na produção de grandes volumes.

A eletrodialise é um processo que move íons inorgânicos e orgânicos, de baixo peso molecular, de uma solução para outra, por meio de: uma condutividade alta, membranas seletivas iônicas, corrente elétrica direta e de baixa voltagem.

O processo de fluxo ou direção elétrica pode ser rearranjado para subtrair ou adicionar eletrólito, e ser adaptado de uma aplicação para outra. Quando utilizado na dessalinização de proteínas, geralmente a aparelhagem deve ser limpa e esterelizada com água quente, soda cáustica diluída e ácido hipoclorídico, pelo menos uma vez ao dia. Cuidados devem ser tomados, no projeto e operação, para minimizar a perda orgânica. Em produções farmacêuticas são completamente automatizados, geralmente controlados por microprocessadores, onde a planta de dessalinização consiste num painel de controle, sistema hidráulico e um reator eletrodialítico.

Várias são as aplicações da eletrodialise, no processo de separação e purificação na biotecnologia:

1 - Concentração de proteínas

O volume da solução protéica pode ser reduzido, em até 80%, usando eletrodialise.

2 - Dessalinizar e controlar o pH

A transferência rápida do sal e eletrólito de um fluxo do processo para outro é uma principal aplicação da eletrodialise. O sistema iônico de eletrodialise é compatível com sais corrosivos, tipo $3M(NH_4)SO_4$ e pH entre 2-12, e temperatura entre 4-40°C.

3 - Purificação de proteínas

A eletrodialise é usada em produtos farmacêuticos como interferon, e na dessalinização de produtos alimentícios, como o soro de queijo.

4 - Reciclagem e purificação de reagentes

Reagentes como guanidina hidrocloreto, sulfato de amônia e uréia, representam um custo de manufaturamento como abastecimento e como resíduo. Esses custos podem ser reduzidos, quando purificados e retornados para o processo.

5 - Redução do volume do resíduo

Quando o reagente de recuperação não tem custo efetivo, o sistema de eletrodialise pode purificar a água do fluxo do resíduo e reduzir a perda do resíduo que deve ser processada. No processamento de proteínas, a eletrodialise oferece vantagens significativas:

- a) Não existe diluição da solução protéica (o produto é, simultaneamente, concentrado e diluído),
- b) Dessaliniza soluções protéicas de alto ou baixo peso molecular, com alto rendimento;
- c) A remoção do sal é rápida, e o processo pode ser controlado pela eletricidade, para alta ou baixa velocidade de fluxos;
- d) Geralmente, os dados de bancadas de laboratórios são correlacionados, diretamente, no processo de produção de larga escala.

As vantagens da dessalinização por eletrodialise sobre os métodos convencionais são:

- a) A remoção do sal é rápida e controlada, onde a deionização em 99% é, facilmente, atingida;
- b) A escala de laboratório e a escala comercial podem ser operadas a baixa e constante pressão e voltagem;
- c) Simultaneamente, ocorre uma concentração e diluição das proteínas onde o nível de eletrólito é, praticamente, controlado;
- d) Não necessita de reagentes químicos, e
- e) Dessaliniza peptídeos de baixo peso molecular.

Várias pesquisas estão sendo realizadas para diversas instituições. No exterior, fazendo uso da eletrodialise. Típicos laboratórios de biologia, vêm estudando um melhor conhecimento, nas áreas de cardiologia e hipertensão no consumo inadequado de sal através da alimentação.

Os seguintes exemplos, mostram os níveis de dessalinização abaixo de 99%, sem nenhuma monoespécie ligada as membranas. Estes resultados mostram a eficiência de remoção, sem considerar a concentração:

a) Albumina sérica bovina (BSA) com PM 67.000

A solução de 1% de BSA contém 0,2N NaCl e foi deionizado em 95%. A perda de BSA foi, aproximadamente, 1,4% e sem variação significativa no pH e desnaturalização do produto;

b) Polipeptídeo de baixo peso molecular

O polipeptídeo 1 - leucina - acetona - triptofanmetionina - arginina feniledanina (P.M. 830), contém 0,2N de NaCl e foi deionizado em 95%. Houve um aumento gradual do pH, no fluxo de deionização. A perda de polipeptídeo, no fluxo de enriquecimento, foi abaixo de 1%;

c) Conversão de inibidor enzimático (CEI) (PM 1117)

157 micromolar de CEI contém 1N de acetato de sódio e foi deionizado 75%, sem determinar perda de CEI. A deionização acima de 98%, resulta na adsorção de peptídeo, na membrana;

d) Vasopressina (P.M. 1084)

Uma solução de vasopressina contém 0,2N de NaCl e KCl e foi deionizada em 99% aproximadamente, em 01:50 hs. Não houve mudança significativa do pH. Houve alguma adsorção da vasopressina, na membrana.

e) Angiotensina J-125 (P.M. 1172)

Uma solução contém, aproximadamente, 1 ng/ml de J-125 e 0,115N de NaCl e em 1 hora foi deionizada em 99%, sem mudança significativa do pH. O rendimento foi de 80 a 85%, tendo uma perda de angiotensina em 2%.

Através do conhecimento exposto na literatura, REED (1984), pode-se observar que o processo de dessalinização, via eletrodialise, poderá contribuir, satisfatoriamente, no desenvolvimento de novos produtos protéicos.

O trabalho exposto em pauta, tem como objetivo estudar a dessalinização de um hidrolizado protéico, utilizando-se a eletrodialise. Portanto, foi projetado e construído um reator eletrodialítico, em escala de bancada, o qual foi estudado sua performance para diferentes concentrações de sal presente no hidrolizado para diferentes tensões aplicadas e velocidade de agitação. Com essas informações, determinaram-se outros parâmetros pertinentes ao processo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

A Engenharia Química oferece vários processos de dessalinização, tais como: destilação, osmose inversa, diálise, eletrodiálise, energia solar, etc.

A diálise é uma operação unitária, onde a transferência do soluto é feita através de membranas, tendo como força impulsora o gradiente de concentração entre as soluções que compõem os compartimentos adjacentes a membrana, sendo assim se encontra sempre acompanhada por osmose, que é a difusão do solvente através da membrana. Onde a direção da transferência do soluto na diálise é o oposto da transferência do solvente na osmose. Quando utilizado para a dessalinização de hidrolizado protéicos, acarreta graves problemas de contaminação microbiológicas, por ser um processo muito longo de aproximadamente 24 a 48 horas, para se obter um teor de sal menor que 1% LACEY (1979).

Para fluidos do tipo "HIDROLIZADO PROTÉICOS" de alta densidade e peso molecular, a osmose inversa não é recomendada, devido seu alto custo de operação e manutenção. A eletrodiálise está na mesma classificação que a extração com solvente e osmose reversa, onde não há necessidade de mudanças de fases como a destilação, a qual o custo energético é elevado. Eletrodiálise é uma operação unitária,

onde ocorre a separação parcial de um componente de uma solução iônica, induzido por uma corrente elétrica, devido a um campo elétrico gerado pela diferença de potencial aplicado nos eletródos que se encontram na extremidade da bateria, a qual é constituída por membranas eletrodialíticas seletivas, catiônica e aniônica, que compõem o compartimento da solução iônica a ser dessalinizada, nos compartimentos dos eletródos, ocorrem reações do tipo oxi-redução, gerando gases de hidrogênio e cloro, PERRY e GREEN (1984).

O princípio básico da operação que envolve todos os processos de eletrodialise, é a seletividade do transporte iônico através da membrana, como mostra a figura 2.1. Se o número de transporte de alguma espécie presente tem um valor diferente na membrana, comparado com a solução, a passagem da corrente elétrica através do sistema causará a outro lado, uma camada diluída, SHAFFER e MINTZ (1966).

2.1 Membranas eletrodialíticas

A membrana eletrodialítica permite ou não a transferência de uma determinada espécie iônica quando imersa em uma solução eletrolítica. As principais exigências para uma membrana ser usada no processo eletrodialítico são: SHAFFER e MINTZ (1966).

- 1 - Discriminar entre íons de cargas opostas.
- 2 - Conduzir eletricidade.
- 3 - Ter um baixo número de transferência para a água.
- 4 - Ter boa durabilidade química.
- 5 - Ter resistência a oxidação.

A membrana catiônica, é constituída de um sal polimérico e um grupo sulfônico (SO_3^-), ligado covalentemente ao polímero, formando sítios iônicos, que atuam como uma barreira para os ânions, co-íons. A corrente elétrica passa através da membrana apenas pela movimentação dos cátions, contra-íons, que são recolhidos numa face, deslocando assim facilmente no interior da membrana e liberado do outro lado. A membrana eletrodialítica aniônica, também se constitui de um sal polimérico e o grupo amônio quartenário (RNH_4^+), tendo como contra-íon os ânions e co-íons os cátions, PERRY e GREEN (1984).

As membranas seletivas são as partes mais sensíveis da unidade e consideravelmente apresenta um tempo de vida menor que o do restante, geralmente estimado de 5 a 8 anos, dependendo do processo que esta sendo utilizado. Elas podem contaminar-se pelas deposições de incrustações, que devem ser dissolvidos ou removidos, mecanicamente, pelo rompimento de sua estrutura ou formação de cadeias iônicas polivalentes que diminuem sua performance, MATTSON (1975).

A seletividade de uma membrana é uma medida quantitativa da capacidade de as substâncias trocadoras de cátions ou de ânions conduzem seletivamente mediante íons positivos ou negativos, respectivamente. É dada por:

- Para membranas trocadoras catiônicas

$$\Psi_c = \frac{t_+ - \bar{t}_+}{t_-}, \quad (2.1)$$

- Para membranas trocadoras aniônicas

$$\Psi_a = \frac{t_- - \bar{t}_-}{t_+}, \quad (2.2)$$

Onde \bar{t} e t são os números de transporte dos íons na membrana e na solução, respectivamente; os índices + e - indicam os cátions e ânions, na solução de um único eletrólito. O número de transporte de um íon é a fração da corrente total transportada pelo íon. Pode ser determinado mediante experiências diretas de transporte ou por intermédio de medições de potenciais de membrana, isto é, de diferenças de potenciais E_m (em volts) entre duas soluções do mesmo eletrólito, situados à direita e à esquerda da membrana, a equação é:

$$E_m = \frac{RT}{Z\mathcal{F}} (1 - 2\bar{t}) \ln \left(\frac{a''}{a'} \right) \quad (2.3)$$

onde a'' e a' são as atividades dos contra-íons à direita e à esquerda da membrana, respectivamente; \bar{t} e Z são o número de transporte e a valência (positiva para os cátions e negativa para os ânions) dos contra-íons na membrana; R é a constante dos gases ideais, 8.91 Ws/kmol; T é a temperatura em K; e \mathcal{F} é a constante de Faraday, $0,965 \times 10^5$ C/equivalente-grama. Nos dois métodos, é preciso efetuar correções para levar em conta o transporte eletroosmótico da água pelos íons, PERRY e GREEN (1984).

2.1.1 Membranas Homogêneas e Heterogêneas

Existem basicamente dois tipos de manufatura de membranas eletrodialíticas; incorporando-se à matriz (geralmente de fibra sintética), uma resina finamente dividida (com o respectivo grupo aniônico ou catiônico),

formando assim um meio heterogêneo, ou confeccionando-se uma película ($\cong 0,25$ mm) dando um suposto meio homogêneo. No primeiro caso, as membranas são de difícil obtenção porque necessitam de um ótimo contato entre as partículas da resina e a matriz. No segundo caso, podemos tomar como exemplo, a catalização de monômeros de estireno e divinil benzeno com subsequente polimerização seguida de uma sulfonação ou aminação. Pode-se ainda utilizar diversos materiais para dar uma boa estabilidade mecânica como nylon, polipropileno, acrilnitrila ou dicloro vinilideno. Como as membranas eletrodialíticas são termicamente instáveis, elas normalmente trabalham a uma temperatura máxima em torno de 60°C .

As membranas do tipo homogênea, tem uma capacidade de transferência iônica relativamente baixa, de 192 (meq/g) de membrana seca (são transferidos uma quantidade de contra-íon equivalente à quantidade de sítios iônicos), no entanto elas possuem propriedades eletroquímicas como seletividade, condutância e difusão de fluxo eletrolítico, superior à do tipo heterogênea.

2.1.2 - Osmose e Eletroosmose

A quantidade de água transferida de uma célula para outra no processo, depende do tipo de membrana e densidade de corrente utilizada. Ela adquire uma menor importância quando se trata de eletrólitos relativamente concentrados em virtude do gradiente de concentração adquirindo entre as células diluídas e concentradas. Sendo assim, o fluxo iônico é acompanhado de moléculas de água através da membrana por

OSMOSE E ELETROOSMOSE. No entanto, esta quantidade fica em torno de 10 a 15 moles por Faraday. Este fenômeno depende do espaçamento da malha da matriz confeccionada e portanto, as membranas heterogêneas possuem uma maior transferência de água do que das homogêneas, afetando assim, o balanço de massa do eletrólito, SOLT (1971), LAKSHMINARAYANAIH (1969).

2.2. Difusividade

O fluxo de uma espécie iônica "i" através de uma membrana eletrodialítica, é expresso pela seguinte equação, TUWINER (1962):

$$N_{mi} = P_i \Delta C_i / L \quad (2.4)$$

onde " ΔC_i " (mol/cm^3), corresponde à diferença de concentração entre as células adjacentes à membrana. $L(\text{cm})$ é a espessura da membrana, e " P_i ", um fator de permeabilidade definido pela equação:

$$P_i = K_i \cdot D_{im} \quad (2.5)$$

onde,

$$K_i = K_{sm} / K_{ms} \quad (2.6)$$

$$D_{im} = K_m \Phi^2 \quad (2.6)$$

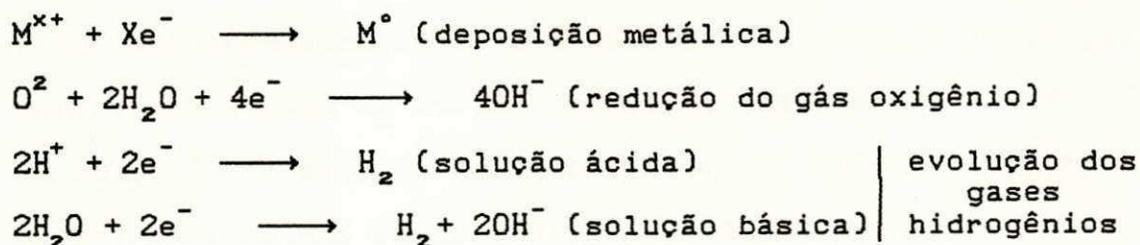
O fator de partição K_i , corresponde a uma razão entre a velocidade da espécie iônica "i" no interior K_{im} e fora K_{ma} da membrana. K_m está relacionado com a velocidade do íon através da membrana e $\bar{\Phi}$ (Å) corresponde ao parâmetro de deslocamento molecular.

2.3 - Eletrodos

A força motriz na eletrodialise é o gradiente de potencial elétrico, o qual promove a passagem de uma corrente elétrica direta, devido o fornecimento de uma potência externa aplicada aos eletrodos, ânodo e cátodo, que devem estar situados nas extremidades do reator ou em posição intermediária.

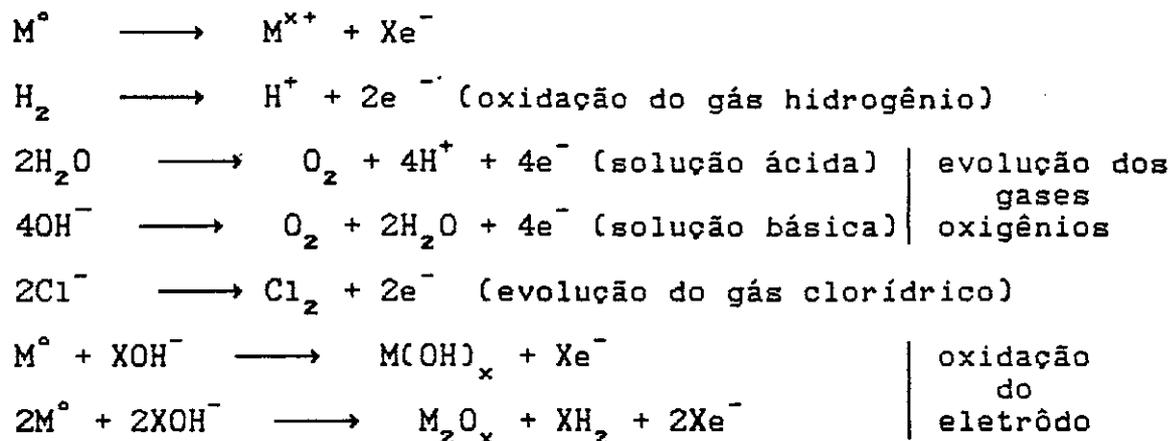
O melhor material a ser utilizado como ânodo é a platina, todavia seu uso torna-se inviável, dependendo do material a ser dessalinizado, devido seu alto custo. No entanto, existem outros materiais, como as ligas de titânio, e magnetita. Usualmente o níquel e o aço inox, vem sendo utilizados como eletrodos, haja visto sua disponibilidade comercial de baixo custo quando comparados com os demais.

No cátodo, os elétrons são transferidos de um circuito externo para íons na solução, as reações que ocorrem são as seguintes LACEY (1979).



A última reação é a mais comum na eletrodiálise.

No ânodo, os elétrons são transferidos dos íons para o circuito externo por uma ou mais das seguintes reações:



Os gases formados pelas reações devem ser removidos, pois formam uma superfície nos eletrodos, causando um aumento na resistência elétrica ou danificam as membranas. Por isso é necessário uma alta velocidade no fluxo de lavagem através dos compartimentos eletródicos.

2.4 - Fluxo iônico

Nas soluções eletrolíticas, a migração das espécies carregadas num campo elétrico constitui um mecanismo adicional do transporte de massa. A contribuição da migração da espécie i ao fluxo total é o produto da força elétrica, que é igual ao produto do campo elétrico ∇E , V/cm, pela carga $Z_i \mathcal{F}$ por mol, onde \mathcal{F} é a constante de Faraday em C/equivalente-grama, e Z_i é a valência da espécie i , pela mobilidade iônica u_i em mol cm²/Js, e pela concentração C_i em mol/cm³, ou seja, o fluxo total de uma espécie iônica, N_i em mol/cm²s de uma solução diluída pode ser expresso por:

$$N_i = Z_i u_i \mathcal{F} C_i \nabla E - D_i \nabla C_i + C_i v \quad (2.8)$$

sendo D_i o coeficiente de difusão do íon em cm^2/s , e "v" a velocidade de escoamento em cm/s .

O primeiro, segundo e o terceiro termos da Equação (2.8), representa o termo de migração, difusão e convecção, respectivamente.

Quando membranas iônicaamente seletivas são dispostas em um meio eletrodialítico, formando assim uma descontinuidade, os íons passam a moverem-se através destas, acompanhadas por um fluxo de calor e solvente. No entanto, pode-se assumir em uma análise mais geral, apenas o fluxo iônico seletivo que é dado pela diferença entre o fluxo da espécie iônica na membrana e na solução, SHAPPER e MINTZ (1966).

$$N_s = N_{m+} - N_+ = N_{m-} - N_- \quad (2.9)$$

onde:

N_s = fluxo iônico seletivo

N_m = fluxo iônico na membrana

N = fluxo iônico na solução

+, -, Espécies catiônicas e aniônicas.

A densidade de corrente $J(\text{mA}/\text{cm}^2)$ provocada pelo movimento das espécies carregadas é igual a soma das parcelas correspondentes para todas as espécies:

$$J = \mathcal{F} \cdot \sum (Z_i \cdot N_i) \quad (2.10)$$

2.5 - Transporte iônico

O processo do transporte iônico na eletrodiálise consiste fundamentalmente na difusão da camada limite da solução na superfície da membrana e difusão através da membrana, como mostra a Figura (2.2). Se a densidade de corrente aumenta, ou se a concentração inicial ou velocidade de fluxo diminui, a taxa do transporte iônico será determinada através da taxa de difusão na camada limite da solução, que controlará a mobilidade dos eletrólitos, tornando assim, mais lento o transporte iônico comparado com a difusão na membrana. Este estado é denominado, Estado Determinado por Difusão na Solução (SDDS). Se a densidade de corrente diminui, ou se a concentração inicial ou velocidade de fluxo aumenta, a taxa do transporte iônico será determinada pela taxa de difusão através da membrana, isso ocorre devido a taxa de difusão na camada limite da solução ser mais rápida do que a taxa de difusão através da membrana. Este estado é denominado, Estado Determinado por Difusão através da Membrana (SDDM). Quando a difusão é controlada pelos dois mecanismos, o estado é chamado de Estado de Transição (ST) sendo este último em termos práticos, o mais importante na eletrodiálise.

A influência da densidade de corrente, concentração inicial e velocidade de fluxo, para o transporte de íons, só pode ser avaliado para cada caso específico, URANO et alli (1980).

2.6 - Resistência Elétrica do Sistema

A resistência elétrica de uma célula eletrodialítica normalmente pode ser avaliada através da contribuição das seguintes resistências: membranas, compartimentos concentrado e diluído e resistências da camada limite de difusão existente na superfície da membrana, podendo ser obtida através da seguinte Equação:

$$R_p = R_c + R_{mc} + R_{ma} + R_\delta + R_d \quad (2.11)$$

Onde R_p é a resistência elétrica de um par de célula em cm^2 , R_c e R_d , são as resistências do fluxo concentrado e diluído, R_{mc} e R_{ma} , são as resistências das membranas catiônicas e aniônicas, R_δ a resistência oferecida pela camada limite de difusão na interface da membrana.

A resistência das membranas depende do material, da espessura e dimensão da malha, pela qual os íons passam.

A resistência dos fluxos são dependentes da concentração e varia de ponto a ponto ao longo do caminho percorrido. A resistência do fluxo concentrado é reduzida para baixos valores devido a recirculação, e não tem importância relativa na resistência total, comparado com o aumento da resistência do fluxo diluído. Já a resistência do fluxo diluído devido o seu alto valor, possui considerável importância em relação a resistência oferecida pelo fluxo concentrado.

Conforme mencionado acima, as membranas representam um componente na resistência total da célula, bem como os fluxos de concentrado e diluído, pode-se verificar através da figura 2.3, SHAFFER e MINTZ (1966).

Todavia num sistema eletrodialítico a resistência global pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$R_{\Sigma} = V/I \quad (2.12)$$

Onde "V" corresponde a tensão aplicada aos eletródos em volts, e "I" é a corrente total obtida em ampere.

2.7 - Concentração de polarização

Os compartimentos de solução e membranas estando em série, são veículos de transporte da mesma corrente elétrica. No compartimento da solução, ambos os íons (cátion ou ânion) transportam a corrente. Na membrana, somente um tipo de íon (cátion ou ânion) pode fazer isso. Os íons na membrana devem atravessar com uma velocidade duas vezes maior, àquela que eles se encontram no compartimento da solução. Isto causa um esgotamento de íons no lado da membrana em comparação ao seio da solução a concentração de polarização requer uma maior corrente para transportar os íons. Se a corrente encontra-se acima do ponto crítico, na qual a superfície da membrana no lado interno encontra-se esgotada de íons, ou seja, a concentração de íons é zero, seguem dois resultados, APPLGATE (1984).

- 1 - O aumento considerável na resistência, acarreta maior consumo de energia.
- 2 - A água é dissociada, e os íons H^+ e OH^- são transportados através da membrana, causando a ineficiência da corrente.

O transporte dos íons H^+ e OH^- resulta num alto e baixo nível de pH na superfície da membrana, podendo danificá-las. A corrente limite (a corrente no ponto crítico) é diretamente relacionada com:

A concentração do íon no seio da solução (a corrente limite é pequena para uma solução de baixo TDS) e a espessura da camada limite.

RESEMBERG e TIRRELL (1956) discutiram a polarização no sistema de membranas. Enquanto praticamente todos os íons são transportados através da membrana na eletrodialise por transporte elétrico, somente a metade dos íons chegam na interface da membrana com a solução por transporte elétrico, a outra metade chega por processo difusional. Como os íons são transferidos da célula diluída através da membrana a concentração de eletrólito na célula diluída na região imediatamente adjacente à superfície da membrana torna-se esgotada e a força motriz da transferência de massa por difusão é aumentada. A Figura (2.4), mostra o que acontece nas imediações de uma membrana aniônica imersa em uma solução de cloreto de sódio, onde a corrente elétrica esta sendo levada pelos íons negativos, do seio da célula para membrana.

O fluxo iônico para o íon Cl^- no interior da membrana, acontece através da linha AB, ou seja, $T_{m-} \approx 1$ enquanto $t_{m+} \approx 0$. Através da linha CD, os íons são transportados pela solução. No estado estacionário, a concentração iônica na interface da membrana, encontra-se determinada pela difusão no interior do filme de espessura " δ ", que é igual ao fluxo elétrico fora desta região, ou seja:

$$D (C - C_{\delta})/\delta = (T_{m-} - T_{-}) \cdot J/\mathcal{F} \quad (2.13)$$

Onde, "D" é o coeficiente de difusão do sal na solução em cm^2/s , "C" a concentração no seio da solução em meq/cm^3 , " C_{δ} " a concentração na superfície da membrana e " δ " é a espessura da camada limite em cm, através do qual é estabelecido o gradiente de concentração.

Quando a polarização ocorre na membrana aniônica, os íons hidroxilas são transferidos para o fluxo concentrado, e os íons hidrogênios que restaram no fluxo diluído da dissociação da água, causa um decréscimo no pH. A polarização na membrana catiônica da transferência do íon hidrogênio para o fluxo concentrado, diminuindo o pH do mesmo e aumentando assim, o pH no fluxo diluído, MASON e KIRKHAM (1959).

2.8 - Eficiência de Corrente

No sistema eletrodialítico, a corrente requerida excede os valores teóricos devido os seguintes fatores:

- 1 - As membranas não são perfeitamente seletivas;
- 2 - Os caminhos paralelos da corrente são estabelecidos na bateria;
- 3 - Os íons de H^+ e OH^- , a partir da água podem ser separados a uma alta densidade de corrente, ou a baixa concentração de sal, chegando a atravessar as membranas. A eficiência de corrente é então o produto das três eficiências;

$$\eta = (\eta)_e (\eta)_m (\eta)_v \quad (2.14)$$

A ineficiência da corrente causada pelo transporte de água através da membrana pode ser considerada significativa, quando a concentração da solução de alimentação é alta, quando uma grande percentagem de sal é removida, ou quando na ausência da concentração de polarização a ineficiência da corrente é gerada a partir do transporte do co-íons.

A eficiência de corrente é definida como a razão de íons que estão sendo transferido do diluído para o concentrado, através da membrana pela corrente lida em um par de células, e pode ser obtida pela seguinte equação:

$$\eta = \mathcal{F} V_d \Delta C / I \quad (2.15)$$

Onde η é a eficiência de corrente, \mathcal{F} a constante de Faraday em C/equivalente-grama, V_d o volume do diluído em litros, ΔC a queda de concentração da solução salina na

célula diluída por unidade de tempo, em eq/l.s, e I a corrente lida em Âmpere. O erro relativo situa-se entre 3 a 9%, dependendo da precisão dos resultados, SHAH e SCAMEHORN (1978).

Existe duas forças que causam o transporte do co-íon e contra-íon através da membrana, o gradiente de potencial elétrico e o gradiente de concentração. O gradiente de potencial elétrico tende a aumentar a transferência de ambos os íons, enquanto que o gradiente de concentração reduz o transporte do contra-íon e aumenta o transporte do co-íon, quando a concentração do concentrado é maior que o diluído.

2.9 - Consumo de Energia

A lei de OHM define o consumo de energia. O consumo de energia por unidade de solução desmineralizada, E_1 em Kw-h/1000 gal. Pode ser calculada por:

$$E_1 = 0,00105 I^2 R_s / F_d n \quad (2.16)$$

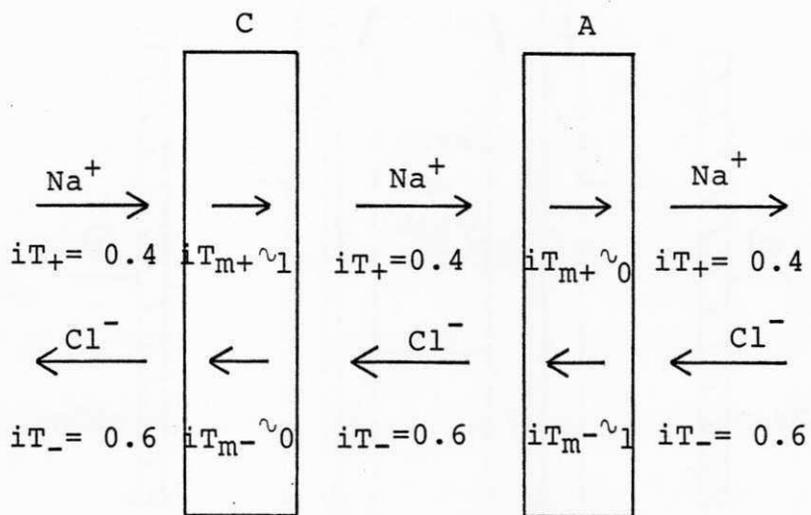
Onde R_s é a resistência elétrica em OHMs da bateria que contém n pares de célula, I a corrente total em ampere, e F_d a velocidade do fluxo diluído em litros/seg. Pela equação (2.16) observa-se que o consumo de energia por unidade de eletrólito removido, ou por unidade da solução desmineralizada, aumenta em proporção direta da corrente aplicada.

A energia elétrica é consumida pelas seguintes etapas:

- 1 - O trabalho teórico de separação do eletrólito e da solução;

- 2 - O processo eletroquímico de oxi-redução que ocorre nos compartimentos eletródicos;
- 3 - Na compensação de eventuais vazamentos ou baixa seletividade das membranas;
- 4 - Na dissipação do efeito térmico de Joule por diversos componentes;
- 5 - Equipamentos necessários para o bombeamento da solução; e
- 6 - Conversão de corrente alternada para corrente contínua.

O consumo de energia que ocorre nos eletródos, depende de vários fatores; do material dos eletródos, das reações envolvidas, da concentração dos íons, da densidade de corrente aplicada e da velocidade dos fluxos. Quando o número de par de células entre os eletródos é pequeno, o maior consumo de energia é devido às reações nos eletrodos, MASON e KIRKHAM (1959).



C - membrana catiônica

A - membrana aniônica

Figura 2.1 Seletividade Iônica da Membranas
(Shaffer & Mintz, 1966)

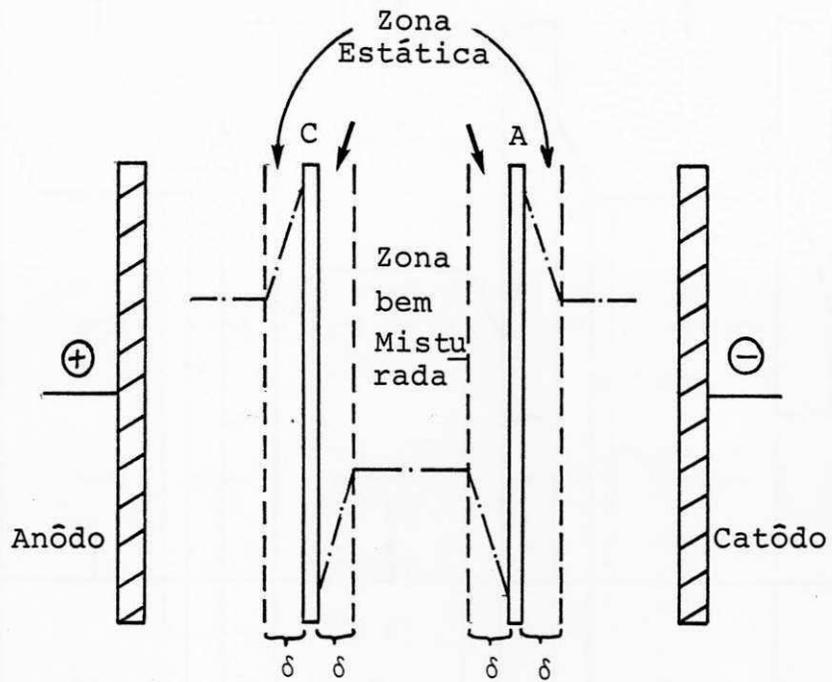


Figura 2.2- Representação idealizada da difusão através da camada limite e membrana na eletrodiálise (Lacey, 1979)

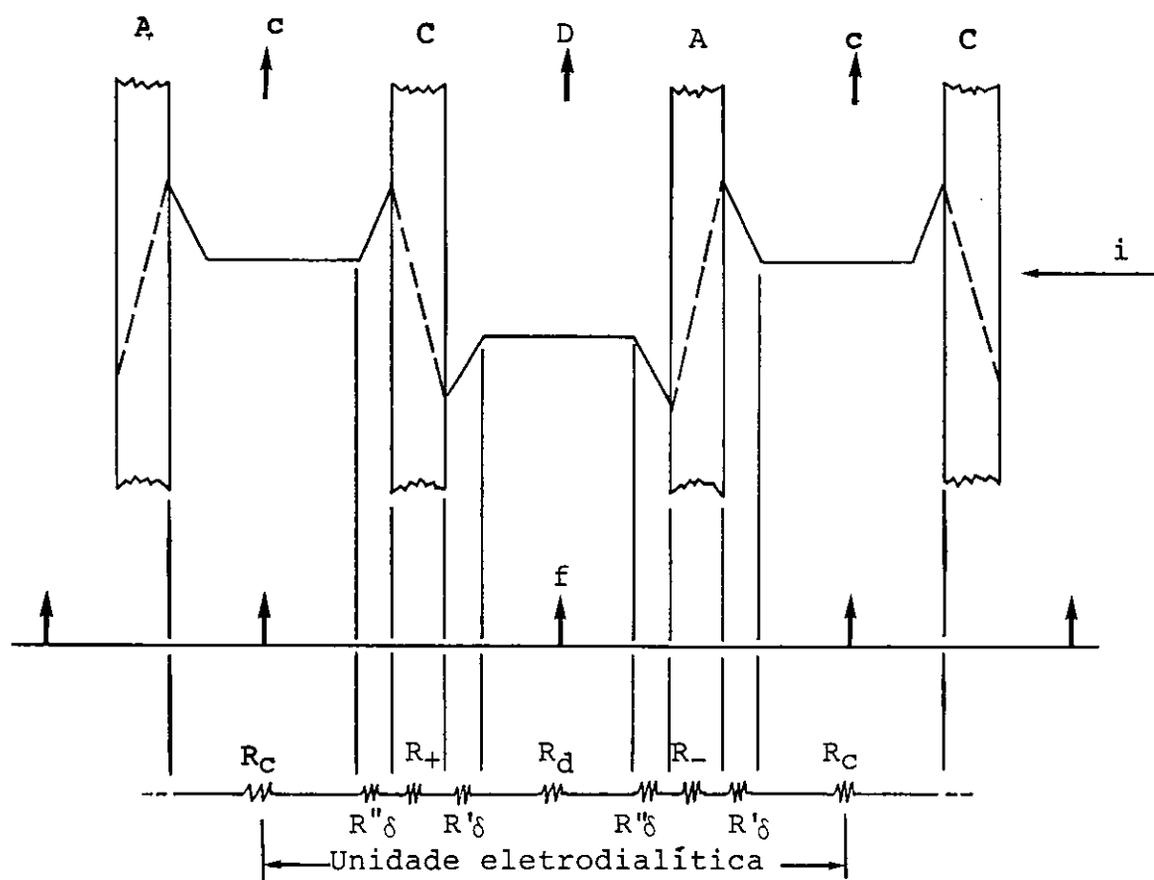


Figura 2.3 Resistências no sistema eletrodialítico. A, membrana aniônica; C, membrana catiônica; f, alimentação; p, produto (diluído); c, concentrado; δ , camada limite (Shaffer & Mintz, 1966).

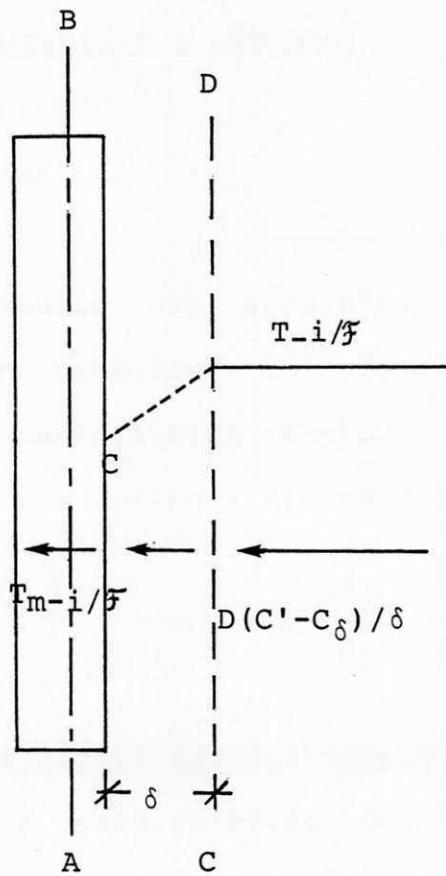


Figura 2.4 Representação da camada limite de difusão na interface membrana-solução.

(Rosemberg & Tirrel, 1957)

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Constituição do Sistema

O sistema é constituído das seguintes unidades: (1) Reator; (2) Agitador mecânico; (3) Condutivímetro; (4) Plotter; (5) Bomba peristáltica e (6) Fonte de alimentação elétrica, conforme mostra a Figura 3.1.

(1) Reator.

Um reator batelada de capacidade volumétrica de 350ml, foi utilizado para estudar a dessalinização do hidrolizado protéico. O mesmo é constituído de dois eletródos paralelos e um par de membranas eletrodialíticas, ambos sob uma distância de 5 cm, possuindo uma área efetiva de 81.5 cm^2 . Os materiais escolhidos para a sua construção foram: acrílico e PVC (cloreto de polivinila), ambos de 0.5 cm de espessura. Contando, ainda, com dois espessadores, os quais ficam localizados entre as membranas e os eletródos, constituindo assim, compartimentos que têm como finalidade facilitar o transporte iônico, proveniente do hidrolizado, como também a lavagem dos eletródos. Os compartimentos de lavagem, anódico e catódico, possuem uma entrada e uma saída

que ficam localizadas nas partes inferior e superior do reator por onde passa um fluxo de água corrente. no compartimento anódico, existe uma tela de proteção entre a membrana aniônica e o compartimento de lavagem para evitar as incrustações da membrana, devido a oxidação do eletrôdo anódico, durante o processo eletrodialítico. Na Tabela 3.1 se encontram as características das membranas.

Tabela 3.1 - Características das membranas.

	K-101	A-201
Grupo Iônico	ácido sulfônico	amônio quaternário
Capacidade de Transporte iônico (meg/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 Kgt / mm ²	2.5 - 3.4	2.6 - 3.8
Espessura (mm)	0.21-0.23	0.22-0.24

Os eletrôdos utilizados foram de Aço Inox VC - 304 (0.08% C, 10% Cr, 10% Ni) para o cátodo, e níquel para o ânodo, ambos possuem uma área efetiva de 81,5 cm², e encontram-se embutidos em placas de PVC. Foram utilizados parafusos de cobre de 3,0 cm de comprimento, para conectar os suportes de cada eletrôdo com os compartimentos de lavagem.

(2) Agitador Mecânico

Um agitador mecânico do tipo Contrac, FANEM Mod. 256, com agitação controlada entre 1.600 a 10.000 rpm, sendo conectado a ele, um bastão de vidro, tendo na sua extremidade uma hélice de acrílico com diâmetro 2,5 cm, a qual foi colocada imersa até o centro do reator, foi utilizado com o objetivo de causar o efeito de mistura do meio.

(3) Condutivímetro

Durante o processo de dessalinização, foi utilizado um condutivímetro Radelkis Modelo OK - 101/1, com um eletrôdo OK - 209 (Bélgica), o qual ficou imerso no hidrolizado. A condutividade foi registrada em função do tempo para todas as bateladas. Devido a temperatura não se encontrar estável durante o processo, foi necessário utilizar um programa computacional AJUSTE, para corrigir os dados de condutividade obtidos para uma temperatura de 25,0 °C.

(4) Plotter

Um plotter foi conectado ao condutivímetro, no objetivo de registrar a variação da condutividade do meio, em função do tempo. (Instrumento científico C.G. Ltda).

(5) Bomba Peristáltica

Uma bomba peristáltica do tipo MHRE 100, com vazão controlada entre 1.0 a 2.3 ml/s, foi utilizada para recircular o hidrolizado, durante o processo entre o tanque de alimentação (500 ml) e o reator. Foi mantido um fluxo volumétrico de 2.3 ml/s, em todas as bateladas, gerando assim, um tempo de resistência para o reator de 2.54 minutos.

(6) Fonte de alimentação elétrica

Foi empregada uma fonte retificadora chaveada, modelo DC POLY 01, com ajuste de tensão na faixa de 0-50 volts e leitura de 0-10A. Conectado a esta, foi utilizado um multímetro tipo Sanwa, modelo 320-XB, com precisão de +/- 2.5%, para ajustar a diferença de potencial aplicada.

3.2 - Produtos utilizados

a) - Hidrolizado Protéico (colágeno)

- 9% de proteínas.

- 0.2% de cinzas.

* Fonte: Belquímica Ind. Comércio

Fortaleza, CE.

b) - Águas Correntes

3.3 - Metodologia Aplicada

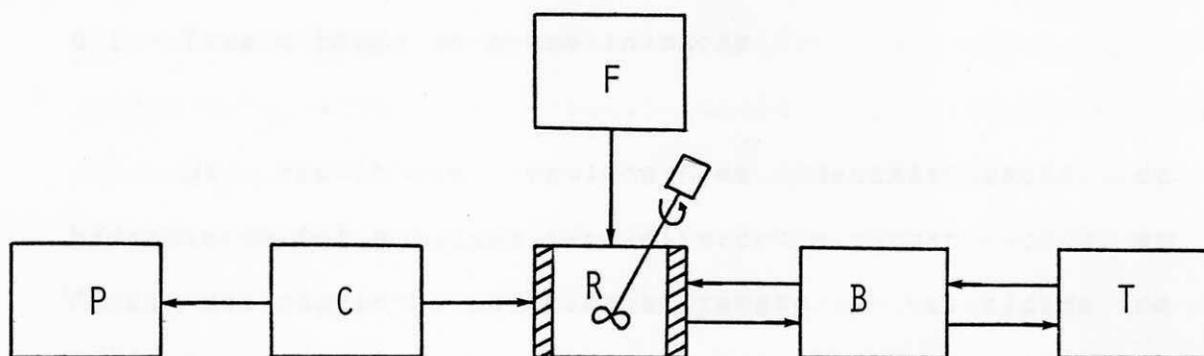
Inicialmente, foram determinadas as seguintes propriedades físicas do hidrolizado: Tensão superficial, através de um tensiômetro tipo Fisher - Model 20; viscosidade, com auxílio de um viscosímetro de Ostwald e a densidade. Em termos de percentagem proteicas contidas no hidrolizado, foram realizadas análises, utilizando o método Biureto. Os resultados encontram-se no Apêndice. Foram realizadas três séries de bateladas, com o objetivo de estudar a dessalinização do hidrolizado.

Série	Tensão (volts)	RPM
I	20	1.600; 2.000; 3.000
II	25	1.600; 2.000; 3.000
III	30	1.600; 2.000; 3.000

Um volume de 500 ml do hidrolizado foi colocado no tanque de alimentação, o qual foi bombeado com um fluxo volumétrico constante de 2.3 ml/s, para alimentar o reator, que, atingindo sua capacidade volumétrica, ficou sob recirculação e velocidade de agitação constantes. Durante esse período, manteve-se também um fluxo de água potável de 3 ml/s, fluindo através dos compartimentos de lavagem dos eletródos. Mantendo assim, 350 ml no reator e 150 ml no tanque de alimentação. Ao atingir o equilíbrio hidrodinâmico, tomou-se o pH e condutividade iniciais do hidratado. Aplicou-se uma diferença de potencial entre os eletródos, com o objetivo de gerar um campo elétrico,

favorecendo assim, a dessalinização do hidrolizado. A partir desse ponto, a corrente e a condutividade do meio foram registradas em função do tempo. Cada batelada teve a duração de 60 a 120 minutos. Observou-se que a condutividade em função do tempo, apresentou um comportamento linear decrescente, conseqüentemente, através das equações obtidas pelo software ENERGRAPHIC - Enertionics Research Inc. (1983) pode-se determinar para uma dada tensão e velocidade de agitação, o tempo de dessalinização para se obter uma conversão de 99.9%. Os resultados se encontram nas Tabelas 12, 13 e 14 e Figuras de 1 a 11.

Tomou-se uma amostra do hidratado dessalinizado para analisar a percentagem de proteínas, através do método citado acima. Após cada batelada, o sistema foi lavado com água destilada.



R - Reator

B - Bomba Peristáltica

T - Tanque de alimentação

C - Condutividade

F - Fonte de alimentação elétrica

P - Plotter

Figura 3.1 Diagramas de Blocos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Taxa e tempo de dessalinização

Os resultados obtidos de dessalinização do hidrolizado foi estudado para diferentes concentrações, em função dos seguintes parâmetros: tensão e velocidade de agitação, conforme já mencionado no capítulo III, no item 3.2.

Os resultados de dessalinização do hidrolizado para diferentes concentrações, das séries I, II, e III, apresentaram um comportamento linear decrescente em função do tempo, conforme mostram as Tabelas 4.1 a 4.11 e Figuras 4.1 a 4.5, em cujas curvas foram obtidas as equações, nas quais, pode-se determinar o tempo e a taxa de dessalinização. A Tabela 4.12 mostra que a taxa e o tempo de dessalinização apresentaram um comportamento crescente, em função da concentração do hidrolizado, para velocidade de agitação de 1.600 rpm. Também observou-se que as taxas de dessalinização a 2.000 rpm, apresentaram o mesmo comportamento, mas o tempo de dessalinização permaneceu, praticamente, constante. Quando se utilizou uma velocidade de agitação de 3.000 rpm, a taxa de dessalinização aumentou e o tempo de dessalinização diminuiu,

notoriamente, em função da concentração inicial. Com uma diferença de potencial de 25 volts (série II), observou-se na Tabela 4.13 o mesmo comportamento da série I, ou seja, a taxa de dessalinização é uma função, diretamente, proporcional à concentração inicial. Os resultados obtidos para a taxa de dessalinização apresentaram uma diferença representativa, quando utilizou-se uma velocidade de agitação de 1.600, 2.000 e 3.000 rpm. Deduz-se que, a velocidade de agitação é também um dos parâmetros responsáveis para estudar o comportamento através desse processo eletrodialítico, uma vez que, o sistema de agitação encontra-se em um determinado ponto do reator, e as linhas de fluxo podem variar em função da velocidade de agitação, conseqüentemente, acarretando diferentes gradientes de concentrações no meio (LEVENSPIEL, 1983). Esperava-se que a taxa de dessalinização para uma velocidade de agitação a 3.000 rpm diminuisse, todavia, a concentração do hidrolizado teve influência nos resultados da taxa e tempo de dessalinização. Aplicando-se uma diferença de potencial no reator de 30 volts, como mostra na Tabela 4.14 os resultados da série III. Observa-se que, praticamente, não ocorreu uma variação significativa na taxa e tempo de dessalinização. Nesse caso, a velocidade de agitação dada ao sistema, aparentemente, apresentou-se como uma variável independente, mas o campo elétrico proveniente da diferença de potencial aplicada ao meio, veio influenciar nos resultados das taxas e tempos de dessalinização, quando comparados com àqueles obtidos com diferença de potencial inferior.

4.2 - Resistência ôhmica do sistema

A resistência ôhmica do sistema foi determinada para as três séries, pela Equação (2.12), onde V corresponde à diferença de potencial em volts aplicado aos eletrodos, e I à corrente total obtida em Ampère. Os resultados da resistência do sistema em função do tempo de operação encontram-se nas Tabelas 4.15 a 4.25 e representados nas Figuras 4.6 a 4.10. Fazendo-se uma análise conjunta do comportamento das curvas de resistência versus o tempo, verifica-se que, a resistência do sistema cresce à medida que a condutividade do meio diminui, em função da diferença de potencial aplicada durante o processo. A partir dos resultados obtidos das Tabelas 4.15 a 4.25, foram calculadas as resistências médias do sistema, com o objetivo de estudá-las para diferentes tensões (20, 25 e 30 volts) e velocidade de agitação, conforme mostra a Tabela 4.26. Para uma velocidade de agitação constante de 1.600 rpm a 20 volts, a resistência média do sistema decresce à medida que a concentração inicial aumenta. Comparando com os resultados anteriores, as resistências apresentam uma tendência a diminuir, em função do aumento da concentração. Para 25 a 30 volts, obteve-se um único resultado para ambos os casos. Comparando esses com os resultados anteriores, as resistências apresentam uma tendência a diminuir, em função da concentração inicial com diferença de potencial aplicada ao sistema. Intercalando as concentrações iniciais e comparando os seus valores a uma velocidade de agitação de 2.000 rpm,

observa-se que as resistências médias do sistema obdeceram o mesmo comportamento dos casos anteriores, ou seja, decresce ao aumento da concentração inicial, embora a velocidade de agitação tenha influenciado nos valores da resistência média do sistema (LEVENSPIEL, 1983).

Os valores da resistência média a uma velocidade de agitação de 3.000 rpm, apresentaram diferentes valores, crescente devido a diferentes concentrações iniciais e potenciais aplicadas ao sistema.

4.3 - Densidade de corrente

A densidade de corrente foi analisada em função do tempo, para várias bateladas como mostram as Tabelas 4.27 a 4.37. As Figuras 4.11, 4.12 e 4.13, demonstram que as curvas de densidade de corrente apresentaram um comportamento linear decrescente, com o tempo para todos os casos. Foram determinadas as taxas de densidade de corrente, cujos valores se encontram na Tabela 4.38. Observa-se que, para uma velocidade de 2.000 rpm, e uma diferença de potencial de 25 volts, a taxa de densidade de corrente é baixa quando comparada com o valor da taxa obtida a 20 volts. Apesar do gradiente de potencial ser menor, o gradiente de concentração aumentou, favorecendo assim, o aumento da taxa da densidade de corrente. Já para uma diferença de potencial de 30 volts, observa-se que a taxa aumentou, notoriamente, devido ao aumento do gradiente de potencial, como também o gradiente de concentração.

Podendo também se verificar o mesmo comportamento para as velocidades de 1.600 a 3.000 rpm, ou seja, à medida que o gradiente de concentração e o potencial aumentam, a taxa de densidade de corrente aumenta. Na Tabela 4.39, são encontradas as densidades de corrente média para cada batelada em função da concentração inicial, velocidade de agitação e diferença de potencial aplicada. Para uma velocidade de agitação de 1.600 rpm, notou-se que a densidade de corrente média aumenta à medida que a concentração inicial aumenta, ocorrendo o mesmo fenômeno ao aumentar a diferença de potencial aplicado ao sistema. Já para uma velocidade de agitação de 2.000 rpm, nas duas primeiras bateladas (25 e 30 volts), as densidades de corrente média aumentam com a concentração inicial, porém, as duas últimas bateladas a 20 volts apresentaram uma densidade de corrente média inferiores. Este fato é devido o gradiente de concentração possuir um valor superior aos demais e se encontrar sob a influência de um gradiente de potencial inferior.

Para este último caso, o campo elétrico apresenta-se 4 V/cm dentro do Reator, enquanto que para 25 e 30 volts estão a 5 e 6 V/cm, respectivamente.

A uma velocidade de agitação de 3.000 rpm, observou-se que há possibilidade de ocorrer o mesmo comportamento dos casos anteriores, onde as velocidades de agitação são inferiores.

4.4 - Eficiência de Corrente

4.4.1 - Estudo da Eficiência de corrente em função do Tempo.

Os resultados de eficiência de corrente foram calculados através da Equação (2.15), com auxílio dos dados de dessalinização em função do tempo, Tabelas 4.1 a 4.11, cujas as taxas de dessalinização empregadas, foram obtidas pela diferença de concentração $\Delta C = C_n - C_{n-1}$, com seu respectivo intervalo de tempo ΔT . Estes dados encontram-se nas Tabelas 4.40 a 4.48 e representados nas Figuras 4.14 a 4.22.

Através dos dados obtidos da diferença de concentração, no reator, observa-se que, durante a dessalinização do hidrolizado, a velocidade de agitação do reator e a diferença de potencial aplicadas são parâmetros que podem influenciar na eficiência de corrente do sistema, para uma dada concentração inicial do hidrolizado, e comparando as curvas de eficiência de corrente e a variação de concentração do hidrolizado com o tempo.

Observando o comportamento semelhante das duas curvas, nota-se que, a variação de concentração de sal e a eficiência de corrente no reator, para os minutos iniciais aumentam, devido à resistência do sistema apresentar-se baixa, em virtude de sua concentração ainda se encontrar elevada, e em seguida, o comportamento é deorescente. A eficiência e a variação de concentração do sistema

apresentam valores altos e baixos, isto está relacionado com a velocidade de agitação dada ao meio, que tem como objetivo facilitar a diluição do hidrolizado, durante o processo. Diversos gradientes de concentração puderam ser criados em diferentes pontos dentro do reator, os quais são oriundos dos efeitos da mistura e o "desing" do mesmo. É importante salientar que, o perfil da variação de concentração, no reator, em função do tempo, apresenta características semelhantes com aquelas estudados em um reator de fluxo de mistura LEVENSPIEL (1983). Logo, o transporte iônico através das membranas variará em função desses gradientes, conforme mostram as figuras mencionadas acima. Todavia, há tendências de ambas diminuírem em função do tempo. Isto se deve ao fato de que a concentração de sal, no reator, vai diminuindo e, conseqüentemente, a resistência do sistema aumentando.

4.4.2 - Eficiência de corrente em função da velocidade de agitação e diferença de potencial aplicados ao sistema.

A eficiência de corrente total do sistema (η total), está relacionada, diretamente, com a taxa de dessalinização (T_d) obtida para cada batelada, ou seja, a concentração de sal é retirada do meio num dado intervalo de tempo, a qual corresponde à quantidade de corrente que passa pelo sistema, de acordo com a lei de Faraday (2.15).

Para se analisar a eficiência de corrente total do sistema, em função da diferença de potencial aplicada à uma

velocidade de agitação constante, considerou-se as concentrações do hidrolizado de valores mais próximos. (O ideal seria manter a concentração do hidrolizado constante). Os resultados das taxas de dessalinização e eficiência de corrente total encontram-se na Tabela 4.49. Comparando as Figuras 4.23 e 4.24, observa-se as curvas de eficiência de corrente total do sistema e taxa de dessalinização, possuem um compartimento semelhante em função da diferença de potencial aplicada ao meio. Comparando os resultados das taxas de dessalinização com os da eficiência de corrente, observa-se que, à medida que a taxa aumenta para uma dada velocidade de agitação, a eficiência de corrente também aumenta, em função da diferença de potencial.

A partir da Tabela 4.49, os valores das médias das concentrações iniciais para cada diferença de potencial aplicada, a de 30 volts foi superior às demais. Independente da velocidade de agitação, a eficiência de corrente total do sistema apresentou maiores valores, devido à atuação do gradiente de potencial durante o processo de dessalinização.

4.5 - Consumo de Energia

O consumo de energia foi calculado através da Equação (2.16), para cada batelada, em função das seguintes variáveis: diferença de potencial aplicada, concentração inicial e velocidade de agitação. A energia elétrica requerida para dessalinizar o hidrolizado,

encontra-se relacionada com a corrente obtida, durante o processo, ou seja está diretamente proporcional à quantidade de sal que deve ser removida. Os resultados obtidos para o consumo de energia, foram calculados para uma diferença de potencial e fluxo de alimentação inicial do hidrolizado. Através da Tabela 4.50, observa-se que, à medida que a concentração inicial do hidratado aumenta, o consumo de energia tende a crescer. É importante salientar que, velocidade de agitação e diferença de potencial contribuem para tal fato; e ambos estão relacionados com a mobilidade iônica do meio. Tomando como exemplo, a concentração de 2075,23 ppm a 20 volts, o consumo de energia foi, aproximadamente, igual àquela obtida para concentração de 1726 ppm, mas para este último, a diferença de potencial aplicada foi de 25 volts. Conclui-se que, a intensidade do campo elétrico estabelecido pela diferença de potencial aplicado, contribui para um melhor processo de transferência e, conseqüentemente, o consumo energético torna-se maior, com o aumento do campo elétrico de 4,5 e 6 V/cm, respectivamente.

Analisando o consumo de energia através da fração de desmineralização, também pode-se observar que o consumo de Energia decresce, à medida que a concentração do hidratado diminui, conforme mostram as Figuras 4.25 a 4.28.

Tabela 4.1 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições; $C_0=897,80$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm, Tensão aplicada de 20 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	1,83	897,80
10	1,71	834,30
20	1,60	776,40
30	1,51	729,27
40	1,40	671,98
50	1,30	620,21
60	1,20	568,77
70	1,11	522,78
80	1,04	487,21
90	0,90	416,67

Tabela 4.2 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1718,38$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm, Tensão aplicada de 20 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,34	1718,38
10	3,19	1637,71
20	3,04	1554,57
30	2,90	1480,03
40	2,79	1416,76
50	2,67	1353,70

Tabela 4.3 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1961,02$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm, Tensão aplicada de 30 volts e $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,51	1961,02
05	3,32	1846,57
10	3,11	1721,14
15	2,88	1591,19
20	2,65	1456,83
25	2,45	1339,82
30	2,24	1216,52
35	2,06	1112,71
40	1,88	1010,09
45	1,72	919,03
50	1,60	854,49
55	1,50	793,99
60	1,38	729,15

Tabela 4.4 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1924,06$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm, Tensão aplicada de 25 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,45	1924,06
05	3,28	1822,14
10	3,00	1661,42
15	2,79	1535,13
20	2,59	1417,77
25	2,45	1339,82
30	2,23	1212,31
35	2,08	1124,03
40	1,83	981,40
45	1,74	932,29
50	1,55	823,66
55	1,46	775,02
60	1,37	721,18

Tabela 4.5 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1726,00$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm, Tensão aplicada de 25 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,11	1726
10	2,99	1651
20	2,86	1576
30	2,68	1501
40	2,55	1426
50	2,42	1351
60	2,25	1276
70	2,13	1201
80	1,99	1120
90	1,84	1051
100	1,71	976
110	1,59	901

Tabela 4.6 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1854,19$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm, Tensão aplicada de 30 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,33	1854,19
05	3,14	1739,95
10	2,92	1609,90
15	2,69	1475,04
20	2,43	1324,79
25	2,24	1218,04
30	2,06	1111,80
35	1,87	1006,11
40	1,73	927,24
45	1,59	848,74
50	1,47	781,02
55	1,34	708,45
60	1,22	641,43

Tabela 4.7 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições; $C_0=1859,95$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm, Tensão aplicada de 20 volts e $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,59	1859,95
10	3,43	1772,15
20	3,30	1701,06
30	3,18	1630,20
40	3,06	1567,70
50	2,95	1502,69
60	2,84	1445,97
70	2,75	1394,80
80	2,64	1335,73
90	2,58	1300,92

Tabela 4.8 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições; $C_0=2075,29$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm, Tensão aplicada de 20 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,97	2075,23
10	3,76	1959,09
20	3,67	1903,96
30	3,56	1846,21
40	3,46	1785,85
50	3,37	1736,58
60	3,29	1692,88

Tabela 4.9 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1969,78$ ppm, velocidade de agitação de 3000 rpm, Tensão aplicada de 30 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,53	1969,78
05	3,33	1854,19
10	3,06	1693,03
15	2,84	1566,99
20	2,62	1435,81
25	2,40	1310,95
30	2,18	1181,11
35	1,98	1068,83
40	1,80	968,33
45	1,67	890,56
50	1,49	791,11
55	1,39	736,15
60	1,29	681,42

Tabela 4.10 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1810,52$ ppm, velocidade de agitação de 3000 rpm, Tensão aplicada de 20 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,50	1810,52
10	3,25	1673,78
20	3,00	1532,46
30	2,78	1412,93
40	2,57	1294,16
50	2,41	1206,89
60	2,23	1109,92
70	2,03	1003,21
80	1,86	914,33
90	1,75	855,43
100	1,63	791,96
110	1,50	725,05
120	1,40	671,02

Tabela 4.11 - Variação da Concentração de sal no hidrolizado, sob as seguintes condições: $C_0=1838,52$ ppm, velocidade de agitação de 3000 rpm, Tensão aplicada de 25 volts e $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Condutividade (ms)	Concentração (ppm)
0	3,55	1838,52
10	3,28	1690,15
20	2,92	1485,60
30	2,58	1303,59
40	2,36	1182,73
50	2,14	1062,80
60	1,95	963,63
70	1,78	872,57
80	1,58	766,86
90	1,45	695,61
100	1,29	615,52
110	1,19	564,11
120	1,11	522,31

Tabela 4.12 - Resultados da taxa e tempo de dessalinização em função da concentração inicial do hidrato e velocidade de agitação para uma tensão aplicada de 20 volts constante a 25°C.

Co(ppm)	Taxa de Dessalinização (ppm/min)	Tempo de Dessalinização (min)	RPM
897,80	5,189	171	1600
1718,95	7,316	233	1600
1860,00	5,873	286	2000
2073,23	6,108	284	2000
1810,52	9,440	182	3000

Tabela 4.13 - Resultados da taxa e tempo de dessalinização em função da concentração inicial do hidratado e velocidade de agitação para uma tensão aplicada de 25 volts constante a 25°C.

Co(ppm)	Taxa de Dessalinização (ppm/min)	Tempo de Dessalinização (min)	RPM
1924,06	20,55	99,26	1600
1726,00	7,50	230,00	2000
1838,00	10,91	155,50	3000

Tabela 4.14 - Resultados da taxa e tempo de dessalinização em função da concentração inicial do hidratado e velocidade de agitação para uma tensão aplicada de 30 volts constante a 25°C.

Co(ppm)	Taxa de Dessalinização (ppm/min)	Tempo de Dessalinização (min)	RPM
1961,02	21,16	90,40	1600
1854,19	20,48	85,80	2000
1969,78	22,13	85,30	3000

Resultados da resistência do sistema obtidos a partir da Equação (2.12) em função do tempo de operação nas seguintes condições:

Tabela 4.15 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=897,80$ ppm, Tensão de 20 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	86,96	90,24	95,24	95,24	100,00	105,26	105,26	117,65	125,00	125,00
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Tabela 4.16 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1718,38$ ppm, Tensão de 20 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	50,00	54,79	56,74	57,14	58,82	60,15
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50

Tabela 4.17 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1961,02$ ppm, tensão de 30 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	55,55	56,60	58,82	61,22	63,83	65,22	69,77	73,17	75,00	78,95	83,33	88,23	93,75
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.18 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1924,06$ ppm, tensão de 25 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	52,09	53,19	54,35	55,55	59,52	60,97	64,10	67,57	71,43	75,76	78,12	83,33	89,28
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.19 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $C_0=1726,00$ ppm, tensão de 25 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	73,53	73,53	73,53	73,53	73,53	74,63	78,12	78,12	78,12	78,12	78,12	78,12	78,12
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Tabela 4.20 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $C_0=1854,19$ ppm, tensão de 30 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	54,54	55,55	56,60	58,82	61,22	65,22	69,77	71,43	75,00	81,08	85,71	90,91	93,75
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.21 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $C_0=1859,95$ ppm, tensão de 20 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	64,52	66,67	67,91	69,56	70,17	71,17	74,07	74,76	76,92	80,64
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Tabela 4.22 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $C_0=2075,23$ ppm, tensão de 20 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	46,51	47,62	51,55	52,63	53,33	54,05	54,13
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60

Tabela 4.23 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1969,78$ ppm, tensão de 30 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	55,55	56,60	58,82	60,00	62,50	65,22	69,77	73,17	78,95	83,33	90,91	96,77	103,45
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.24 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1810,52$ ppm, tensão de 20 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	51,28	52,63	52,63	55,55	58,82	60,60	62,50	65,57	68,96	71,43	76,92	83,33	83,33
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Tabela 4.25 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1838,52$ ppm, tensão de 25 volts e Temperatura de 25°C .

R (ohm)	52,08	53,19	54,35	58,14	60,68	62,66	65,79	69,44	73,75	78,12	86,21	89,29	96,15
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Tabela 4.26 - Resultados das Resistências médias (ohm) do sistema obtidos a partir da Equação (2.12) em função da tensão aplicada ao sistema, velocidade de agitação e concentração inicial a $T = 25^{\circ}\text{C}$.

RPM	Co(ppm)	Tensão Aplicada (Volts)		
		20	25	30
1600	897,80	104,65	-	-
	1718,38	56,27	-	-
	1924,00	-	66,56	-
	1961,00	-	-	71,04
2000	1726,75	-	75,99	-
	1854,19	-	-	70,74
	1860,00	71,64	-	-
	2073,34	51,40	-	-
3000	1810,53	64,89	-	-
	1969,78	-	-	73,46
	1838,52	-	69,24	-

Resultados de densidade de corrente obtidos a partir da Equação (2.10) em função do tempo de operação a 25°C, sob as seguintes condições:

Tabela 4.27 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=897,80$ ppm, tensão de 20 volts.

J (mA/cm ²)	2,82	2,69	2,57	2,57	2,45	2,33	2,33	2,08	1,96	1,96
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Tabela 4.28 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1718,38$ ppm, tensão de 20 volts.

J (mA/cm ²)	4,91	4,48	4,32	4,29	4,17	4,08
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50

Tabela 4.29 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1961,02$ ppm, tensão de 30 volts.

J (mA/cm ²)	6,62	6,50	6,26	6,01	5,77	5,64	5,28	5,03	4,91	4,66	4,42	4,17	3,93
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.30 - Velocidade de agitação de 1600 rpm, $C_0=1924,06$ ppm, tensão de 25 volts.

J (mA/cm ²)	5,89	5,77	5,64	5,52	5,15	5,03	4,78	4,54	4,29	4,05	3,93	3,68	3,44
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.31 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, Co=1726,00 ppm, tensão de 25 volts.

J (mA/cm ²)	54,54	55,55	56,60	58,82	61,22	65,22	69,77	71,43	75,00	81,08	85,71	90,91	93,75
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.32 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, Co=1854,19 ppm, tensão de 30 volts.

J (mA/cm ²)	6,75	6,63	6,50	6,26	6,01	5,64	5,28	5,15	4,91	4,54	4,29	4,05	3,93
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.33 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $Co=1859,95$ ppm, tensão de 20 volts.

J (mA/cm ²)	3,80	3,68	3,61	3,53	3,50	3,45	3,31	3,28	3,19	3,04
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Tabela 4.34 - Velocidade de agitação de 2000 rpm, $Co=2075,23$ ppm, tensão de 20 volts.

J (mA/cm ²)	5,28	5,15	4,76	4,66	4,60	4,54	4,53
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60

Tabela 4.35 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1969,78$ ppm, tensão de 30 volts.

J (mA/cm ²)	6,63	6,50	6,26	6,13	5,89	5,64	5,28	5,03	4,66	4,42	4,05	3,80	3,56
Tempo (min)	0	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

Tabela 4.36 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1810,52$ ppm, tensão de 20 volts.

J (mA/cm ²)	4,78	4,66	4,66	4,12	4,17	4,05	3,93	3,74	3,56	3,44	3,19	2,94	2,94
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Tabela 4.37 - Velocidade de agitação de 3000 rpm, $C_0=1838,52$ ppm, tensão de 25 volts.

J (mA/cm ²)	5,89	5,77	5,64	5,28	5,03	4,90	4,66	4,42	4,16	3,93	3,56	3,44	3,19
Tempo (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

Tabela 4.38 - Resultados das taxas de densidade de corrente (mA/cm^2) obtidos através da Equação (2.10), em função da tensão aplicada ao sistema, velocidade de agitação e concentração inicial temperatura de 25°C .

RPM	Co(ppm)	Tensão Aplicada (Volts)		
		20	25	30
1600	1718,38	1,45E-2	-	-
	1924,00	-	4,24E-2	-
	1961,00	-	-	4,57E-2
2000	1726,75	-	3,22E-3	-
	1854,19	-	-	5,11E-2
	1860,00	7,66E-3	-	-
3000	1810,53	1,65E-2	-	-
	1969,78	-	-	5,38E-2
	1838,52	-	2,33E-2	-

Tabela 4.39 - Resultados da densidade de corrente média (mA/cm²) em função da tensão aplicada ao sistema, velocidade de agitação e concentração inicial e Temperatura de 25°C.

RPM	Co(ppm)	Tensão Aplicada (Volts)		
		20	25	30
1600	897,80	2,331	-	-
	1718,38	4,215	-	-
	1924,00	-	4,660	-
	1961,00	-	-	5,217
2000	1726,75	-	4,036	-
	1854,19	-	-	5,275
	1860,00	3,290	-	-
	2073,34	4,560	-	-
3000	1810,53	3,800	-	-
	1969,78	-	-	5,100
	1838,52	-	4,490	-

Resultados da diferença de concentração para um intervalo de tempo e eficiência de corrente numa temperatura de 25°C, nas seguintes condições:

Tabela 4.40 - Tempo de 10 minutos, para $C_0=897,80$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm e tensão aplicada de 20 volts.

C (ppm)	63,51	57,00	47,13	57,29	51,76	51,44	46,00	35,77	70,54
η (%)	39,68	37,89	30,85	39,37	37,45	37,21	37,19	30,55	60,60

Tabela 4.41 - Tempo de 10 minutos, para $C_0=1718,38$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm e tensão aplicada de 20 volts.

C (ppm)	80,67	83,14	74,54	63,27	63,06
η (%)	30,38	32,42	29,27	25,58	26,07

Tabela 4.42 - Tempo de 05 minutos, para $C_0=1961,02$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm e tensão aplicada de 30 volts.

C (ppm)	114,44	126,44	129,95	134,36	117,01	123,30	103,81	102,62	91,06	64,53	60,50	64,85
η (%)	59,36	67,61	72,90	78,59	69,93	78,83	69,60	70,52	65,88	49,28	48,92	55,71

Tabela 4.43 - Tempo de 05 minutos, para $C_0=1924,06$ ppm, velocidade de agitação de 1600 rpm e tensão aplicada de 25 volts.

C (ppm)	101,92	160,72	126,29	117,36	77,95	127,51	88,28	142,63	49,12	108,63	48,63	53,84
η (%)	59,61	96,05	77,15	76,81	52,26	89,88	65,59	112,02	40,91	93,32	44,56	52,86

Tabela 4.44 - Tempo de 05 minutos, para $C_0=1854,19$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm e tensão aplicada de 30 volts.

C (ppm)	114,24	130,05	134,86	150,24	106,75	106,24	105,69	78,87	78,50	67,72	72,57	67,02
η (%)	58,16	67,46	72,69	84,29	63,80	67,92	69,17	54,20	58,33	53,19	60,45	57,68

Tabela 4.45 - Tempo de 10 minutos, para $C_0=1859,95$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm e tensão aplicada de 20 volts.

C (ppm)	87,79	71,09	70,87	62,50	65,01	56,71	51,17	59,07	34,81
η (%)	40,22	33,18	33,88	30,14	31,80	28,87	26,29	31,23	19,29

Tabela 4.46 - Tempo de 10 minutos, para $C_0=2075,23$ ppm, velocidade de agitação de 2000 rpm e tensão aplicada de 20 volts.

C (ppm)	116,14	55,13	57,75	60,36	49,27	43,71
η (%)	38,01	19,53	20,89	22,12	18,30	16,26

Tabela 4.47 - Tempo de 05 minutos, para $C_0=1969,78$ ppm, velocidade de agitação de 3000 rpm e tensão aplicada de 30 volts.

C (ppm)	115,59	161,16	126,04	131,18	124,86	129,84	112,28	100,50	77,78	99,45	54,96	54,73
η (%)	59,95	86,87	69,30	75,13	74,62	83,01	75,28	72,70	59,39	82,84	48,74	51,88

Tabela 4.48 - Tempo de 05 minutos, para $C_0=1810,52$ ppm, velocidade de agitação de 3000 rpm e tensão aplicada de 20 volts.

C (ppm)	136,74	141,32	119,53	118,77	87,26	96,97	104,71	88,88	58,90	63,46	67,92	53,03
η (%)	49,46	51,12	45,64	48,01	36,35	41,65	48,09	42,13	28,91	33,55	38,90	30,37

Tabela 4.49 - Resultados da taxa de dessalinização e Eficiência de corrente total do sistema, em função da velocidade de agitação sob uma tensão constante e uma Temperatura de 25 °C.

Tensão (Volts)	Co (ppm)	RPM	Td	η %	Med. Conc. (ppm)
20	897,80	1600	5,189	36,76	1796,28
	1718,38	1600	7,316	28,16	-
	1859,95	2000	5,873	28,83	-
	2075,23	2000	6,108	21,53	-
	1810,52	3000	9,442	40,94	-
25	1924,06	1600	20,550	72,98	1829,53
	1726,00	2000	7,51	31,09	-
	1838,52	3000	10,91	39,98	-
30	1961,02	1600	21,16	67,00	1928,33
	1854,19	2000	20,48	64,27	-
	1969,78	3000	22,13	71,57	-

Tabela 4.50 - Resultados do Consumo de Energia obtidos através da Equação (2.16) em função das seguintes variáveis: Velocidade de agitação, tensão e concentração inicial a uma temperatura de 25°C.

RPM	Co(ppm)	Tensão Aplicada (Volts)		
		20	25	30
1600	897,80	0,499	-	-
	1718,38	0,990	-	-
	1924,00	-	1,210	-
	1961,00	-	-	1,630
2000	1726,75	-	1,039	-
	1854,19	-	-	1,650
	1860,00	0,720	-	-
	2073,34	1,054	-	-
3000	1810,53	0,794	-	-
	1969,78	-	-	1,600
	1838,52	-	1,176	-

Tabela 4.51 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=897,80$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 1600 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kw-h/m ³)
0	0,00	0,577
10	7,07	0,552
20	13,52	0,527
30	18,77	0,527
40	25,15	0,502
50	30,92	0,477
60	36,65	0,477
70	41,77	0,426
80	45,73	0,401
90	53,59	0,401

Tabela 4.52 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1718,38$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 1600 rpm para $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	1,003
10	4,70	0,915
20	9,50	0,884
30	13,87	0,878
40	17,55	0,853
50	21,22	0,834

Tabela 4.53 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1961,02$ ppm, tensão aplicada de 30 volts, velocidade de agitação de 1600 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	2,031
05	5,84	1,994
10	12,23	1,919
15	18,86	1,843
20	25,71	1,768
25	31,68	1,731
30	37,96	1,618
35	43,26	1,542
40	48,48	1,505
45	53,14	1,430
50	56,43	1,354
55	59,51	1,279
60	62,82	1,204

Tabela 4.54 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1924,06$ ppm, tensão aplicada de 25 volts, velocidade de agitação de 1600 rpm para $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,0	1,505
05	5,4	1,473
10	13,9	1,442
15	20,6	1,411
20	26,8	1,317
25	30,9	1,285
30	32,0	1,223
35	36,9	1,160
40	44,9	1,097
45	47,7	1,035
50	53,8	1,003
55	56,5	0,941
60	59,5	0,878

Tabela 4.55 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1726,00$ ppm, tensão aplicada de 25 volts, velocidade de agitação de 2000 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,0	1,066
10	4,3	1,066
20	8,7	1,066
30	13,0	1,066
40	17,4	1,066
50	21,7	1,050
60	26,1	1,003
70	30,4	1,003
80	35,1	1,003
90	39,1	1,003
100	43,4	1,003
110	47,8	0,003

Tabela 4.56 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1854,19$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 2000 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	2,069
05	6,16	2,031
10	13,18	1,994
15	20,45	1,919
20	28,55	1,843
25	34,31	1,731
30	40,04	1,618
35	45,74	1,580
40	49,99	1,505
45	54,23	1,392
50	57,88	1,317
55	61,79	1,241
60	65,41	1,204

Tabela 4.57 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1859,95$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 2000 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	0,777
10	4,72	0,752
20	8,54	0,739
30	12,35	0,721
40	15,71	0,715
50	19,21	0,705
60	22,26	0,677

Tabela 4.58 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=2075,23$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 2000 rpm para $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	1,078
10	5,60	1,053
20	8,25	0,973
30	11,04	0,953
40	13,94	0,941
50	16,32	0,928
60	18,42	0,927

Tabela 4.59 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1969,78$ ppm, tensão aplicada de 30 volts, velocidade de agitação de 3000 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	2,031
05	5,87	1,994
10	14,05	1,919
15	20,45	1,881
20	27,11	1,806
25	33,45	1,731
30	40,04	1,618
35	45,74	1,542
40	50,84	1,430
45	54,79	1,354
50	59,84	1,241
55	62,63	1,166
60	65,41	1,091

Tabela 4.60 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1810,52$ ppm, tensão aplicada de 20 volts, velocidade de agitação de 3000 rpm para $T=25^\circ\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	0,978
10	7,55	0,953
20	15,36	0,953
30	21,96	0,903
40	28,52	0,853
50	33,34	0,828
60	38,70	0,803
70	44,59	0,765
80	49,50	0,727
90	52,75	0,702
100	56,26	0,652
110	60,01	0,602
120	62,94	0,602

Tabela 4.61 - Resultados do consumo de energia e conversão em função do tempo de operação para $C_0=1838,52$ ppm, tensão aplicada de 25 volts, velocidade de agitação de 3000 rpm para $T=25^{\circ}\text{C}$.

Tempo (min)	Conversão (%)	E2 (kW-h/m ³)
0	0,00	1,505
10	8,07	1,473
20	19,20	1,442
30	29,10	1,348
40	35,67	1,285
50	42,19	1,251
60	47,59	1,191
70	52,54	1,129
80	58,29	1,063
90	62,16	1,003
100	66,52	0,909
110	69,32	0,878
120	71,59	0,815

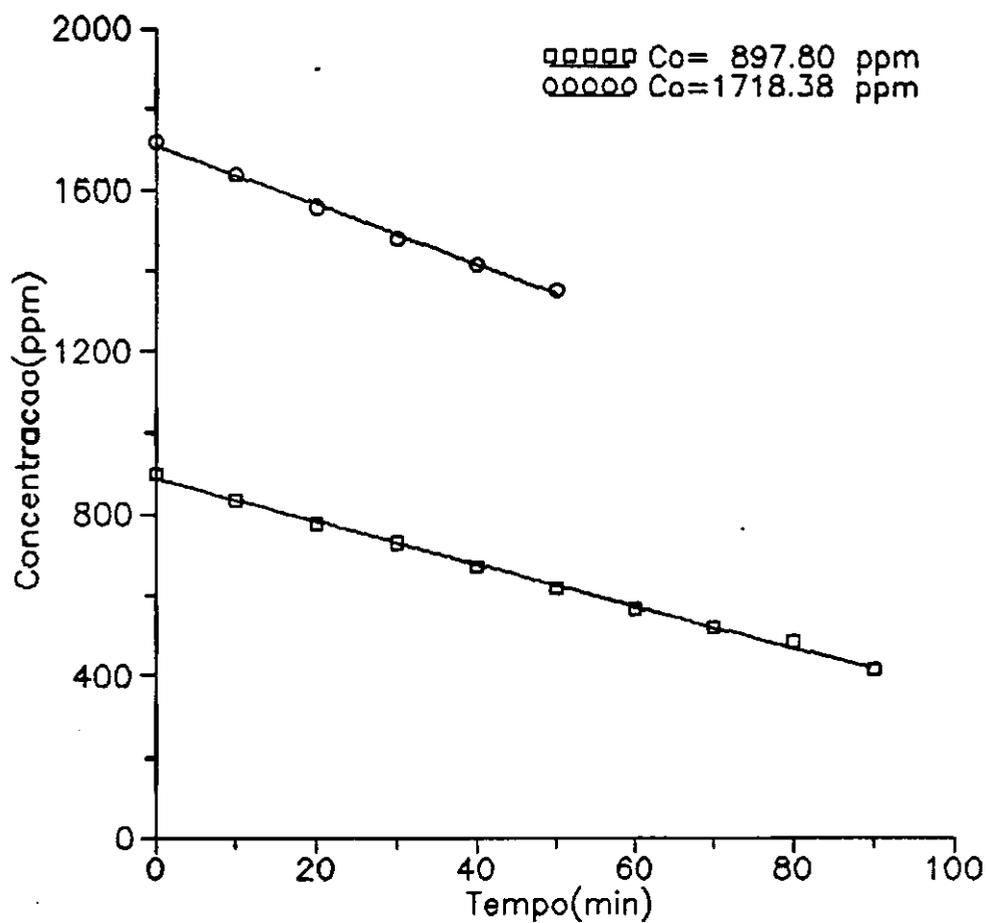


Figura 4.1 - Variação da concentração do meio, em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 1600 rpm e Temperatura de 25°C.

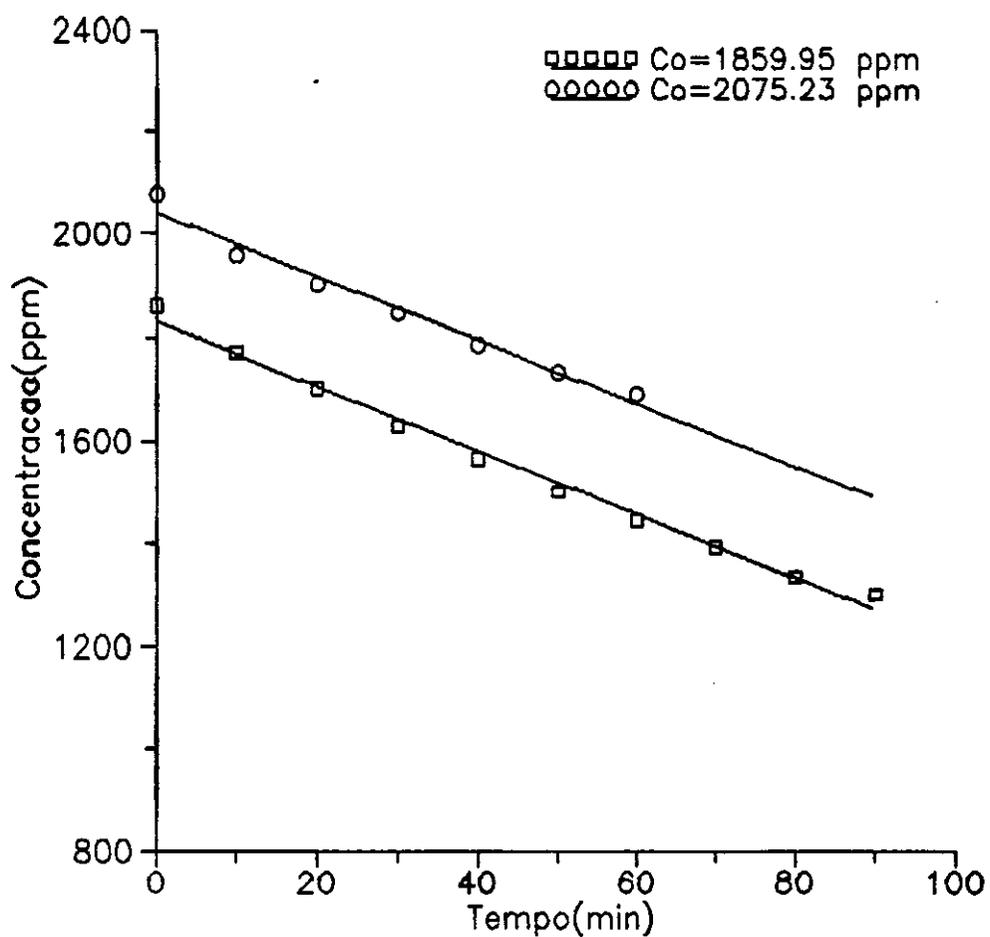


Figura 4.2 - Variação da concentração do meio, em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm e Temperatura de 25°C.

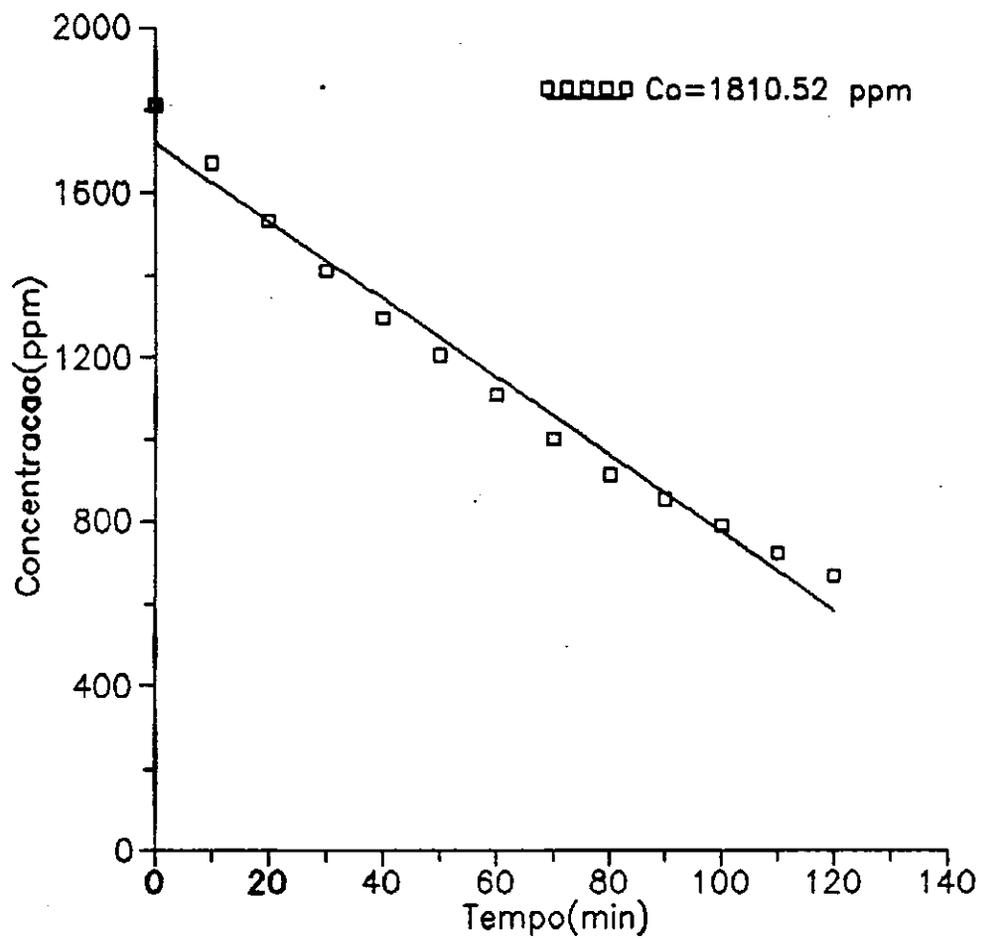


Figura 4.3 - Variação da concentração do meio, em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm e Temperatura de 25°C.

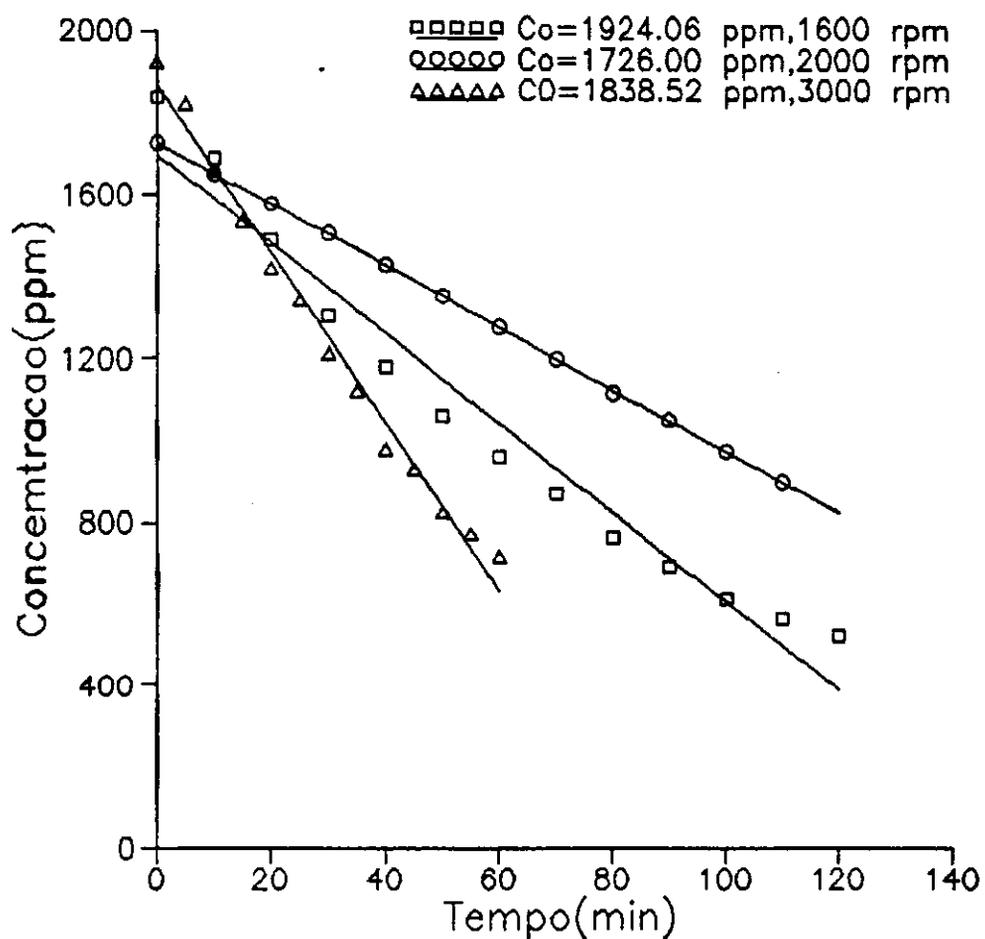


Figura 4.4 - Variação da concentração do meio, em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 25 volts, e Temperatura de 25°C.

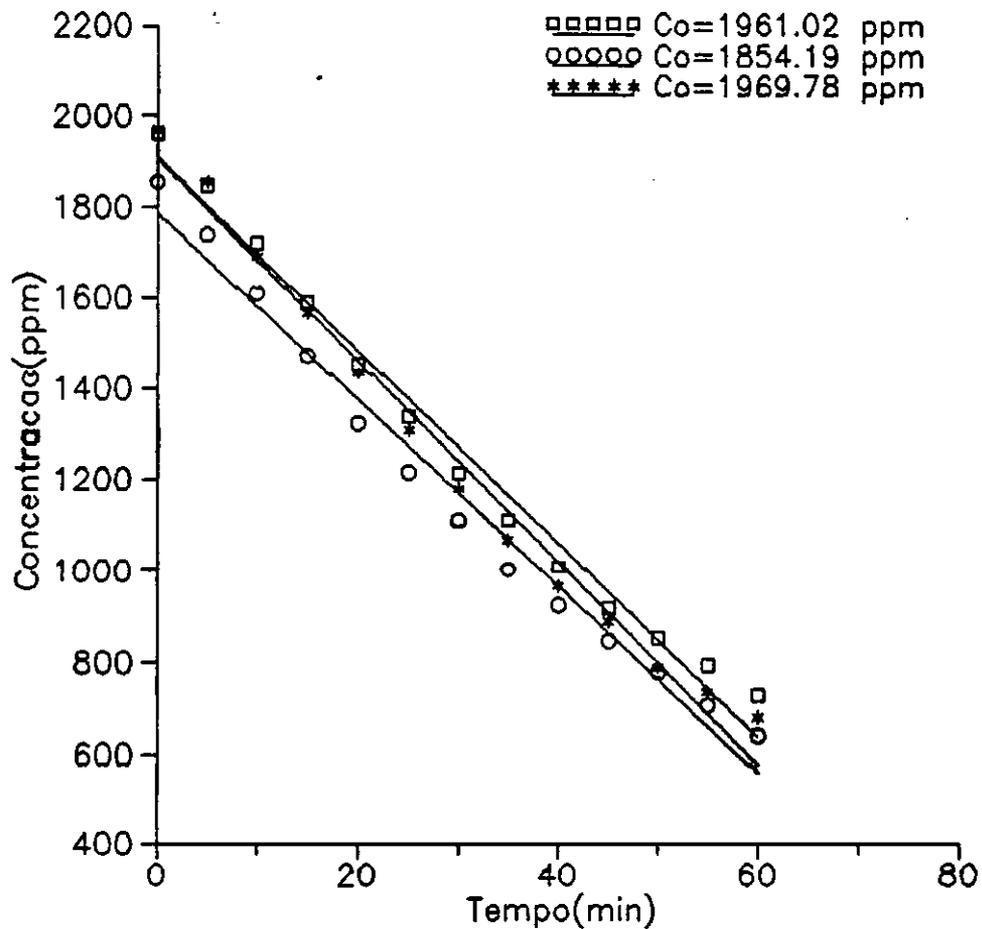


Figura 4.5 - Variação da concentração do meio, em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, e Temperatura de 25°C.

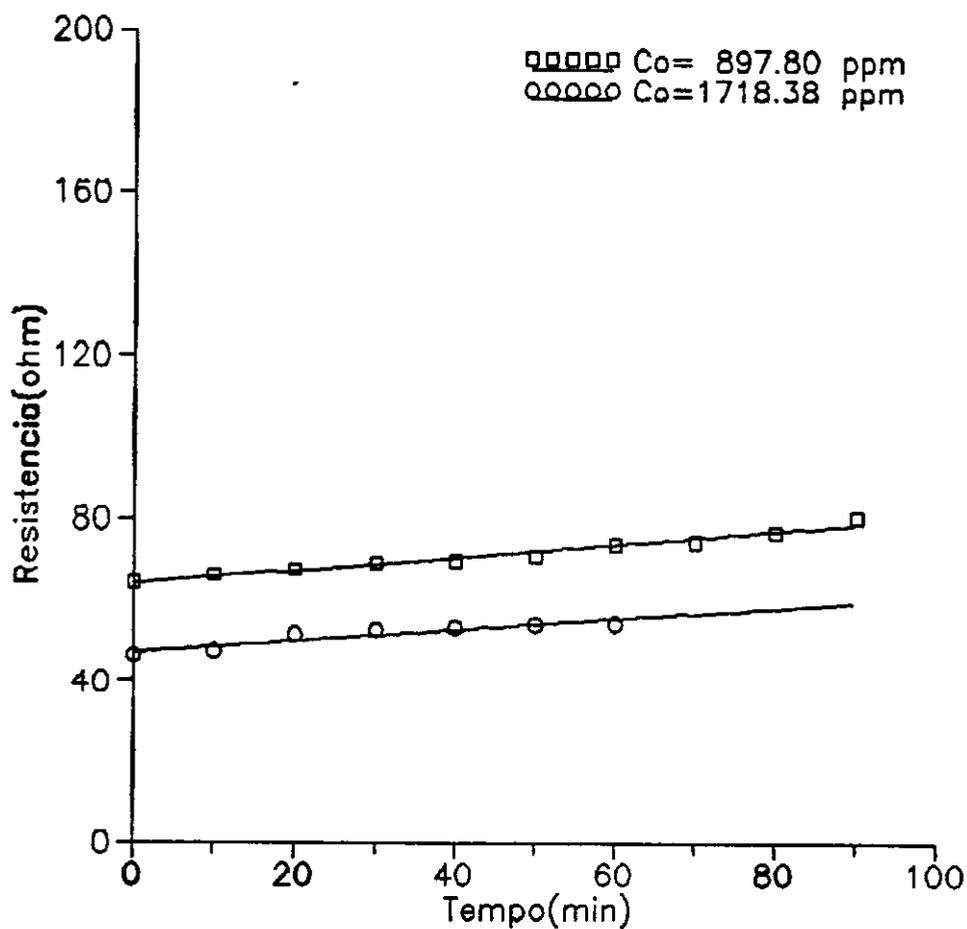


Figura 4.6 - Variação da Resistência do sistema em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 1600 rpm e Temperatura de 25°C.

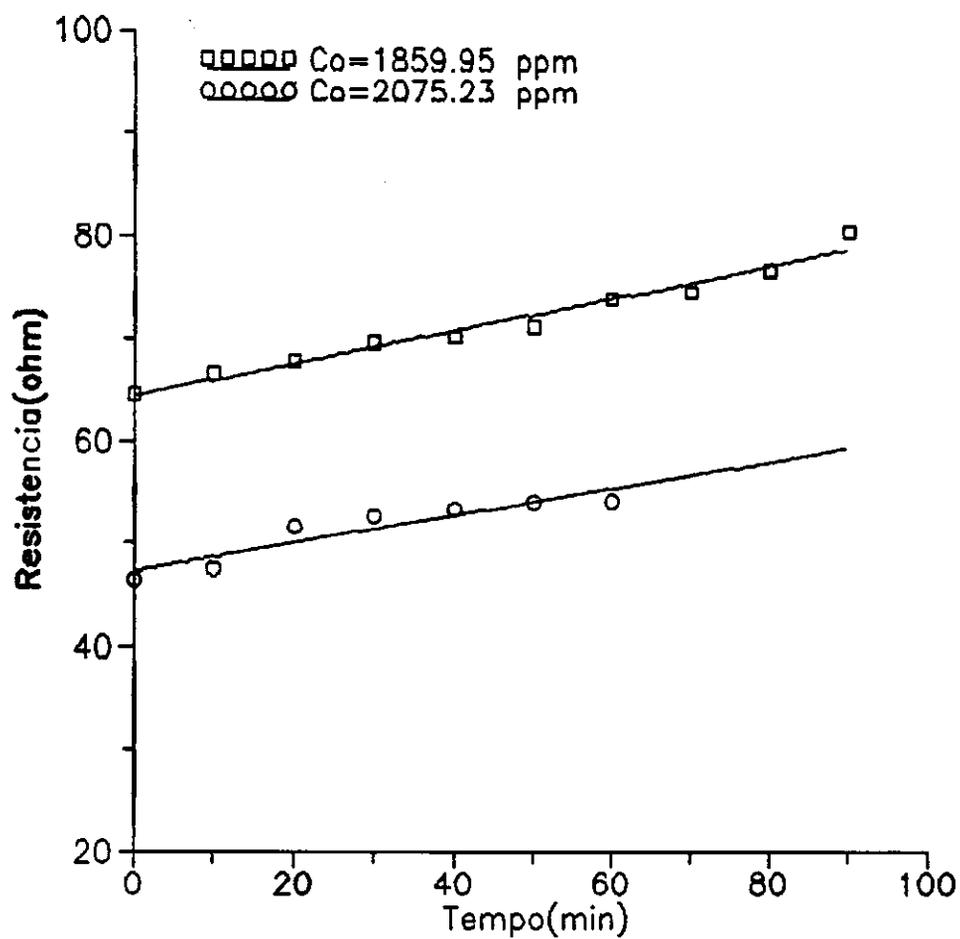


Figura 4.7 - Variação da Resistência do sistema em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm e Temperatura de 25°C.

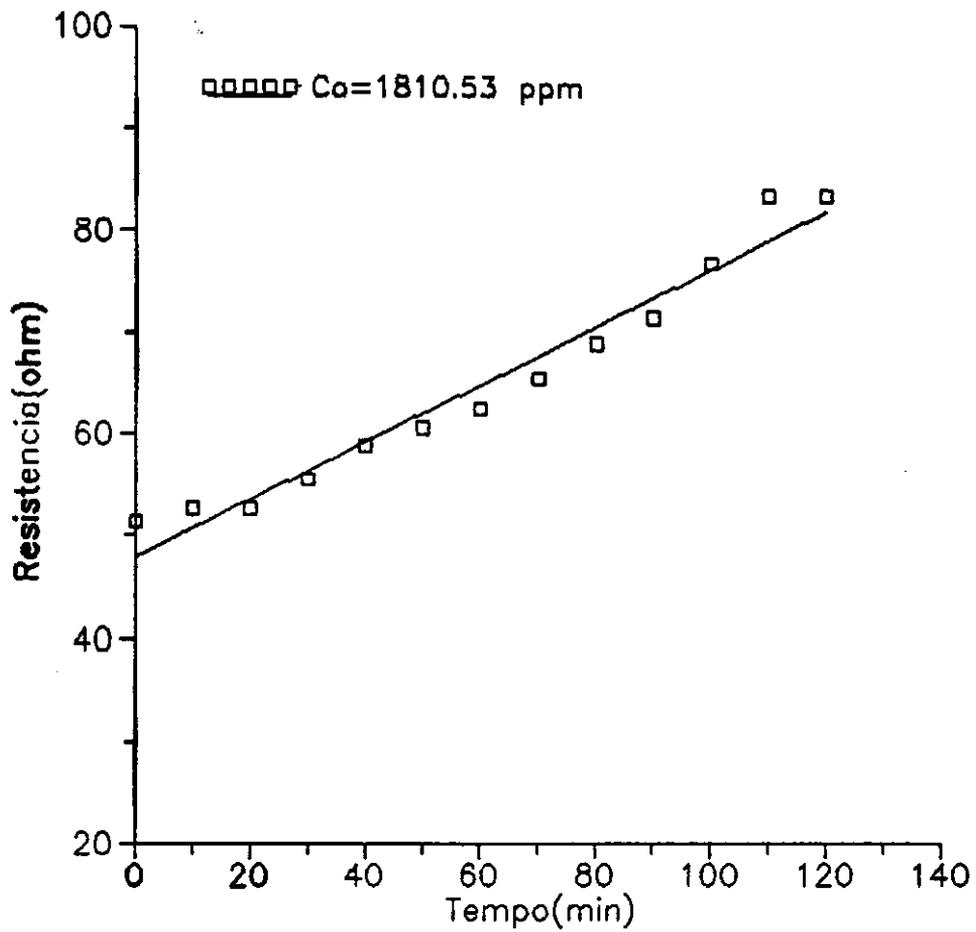


Figura 4.8 - Variação da Resistência do sistema em função tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm e Temperatura de 25°C.

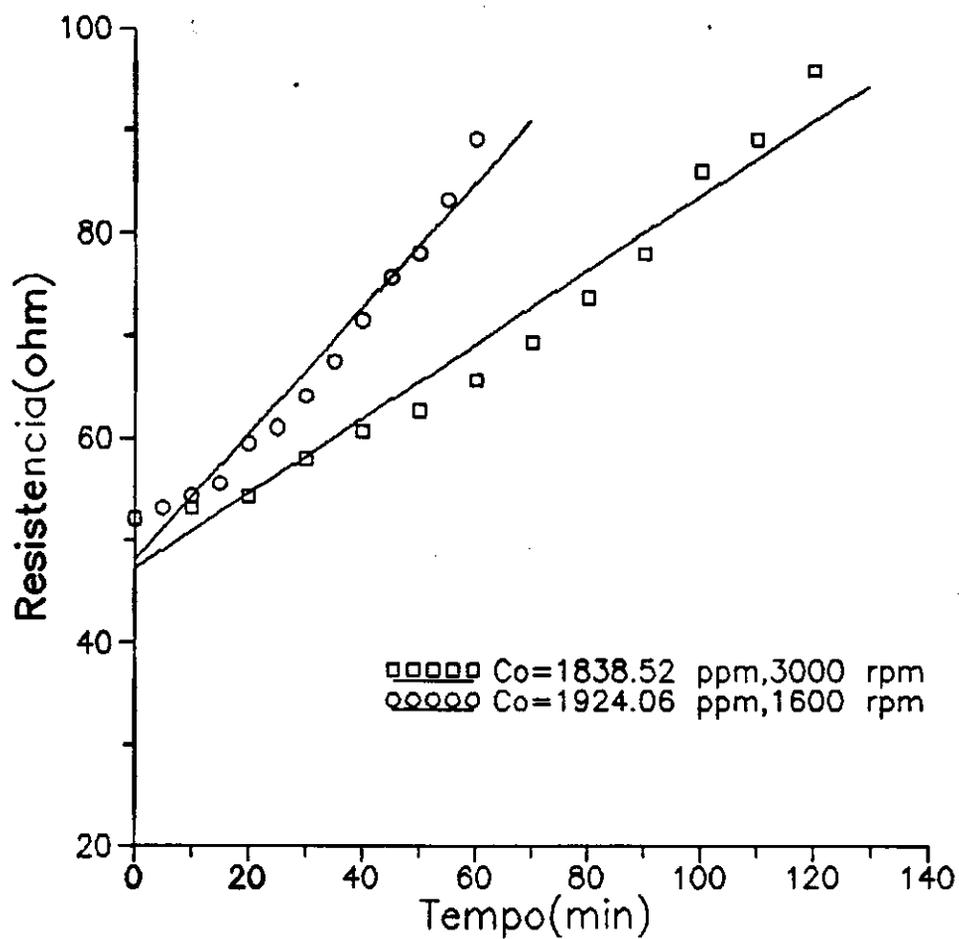


Figura 4.9 - Variação da Resistência do sistema em função tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 25 volts e Temperatura de 25°C.

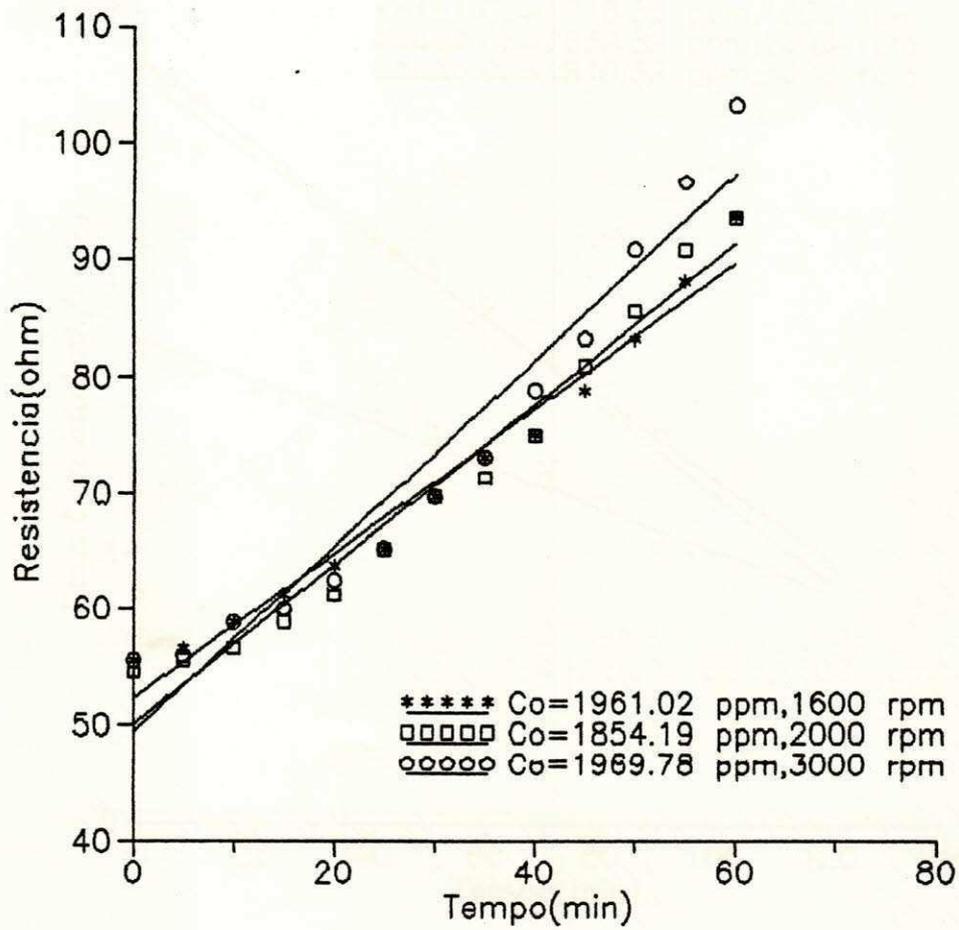


Figura 4.10 - Variação da Resistência do sistema em função do tempo de dessalinização sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, e Temperatura de 25°C .

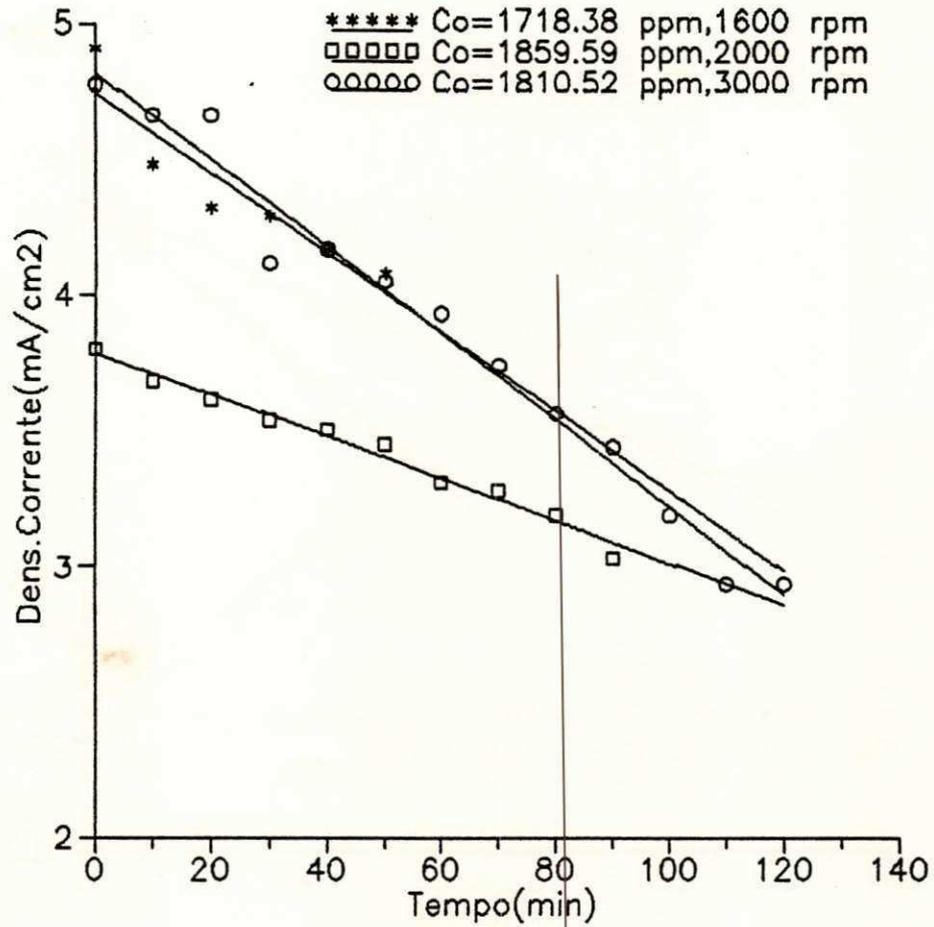


Figura 4.11 - Variação da Densidade de Corrente do sistema em função do tempo de operação sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, e Temperatura de 25°C.

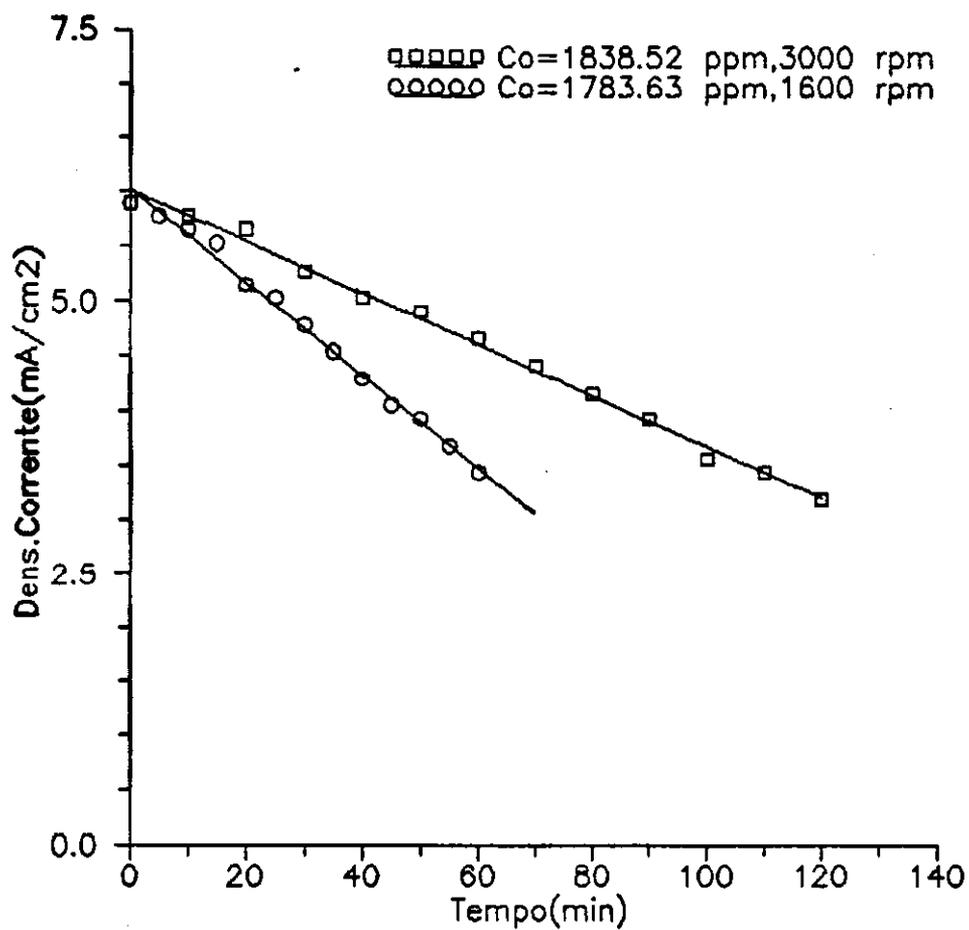


Figura 4.12 - Variação da Densidade de Corrente do sistema em função do tempo de operação sob as seguintes condições: Tensão de 25 volts, e Temperatura de 25°C.

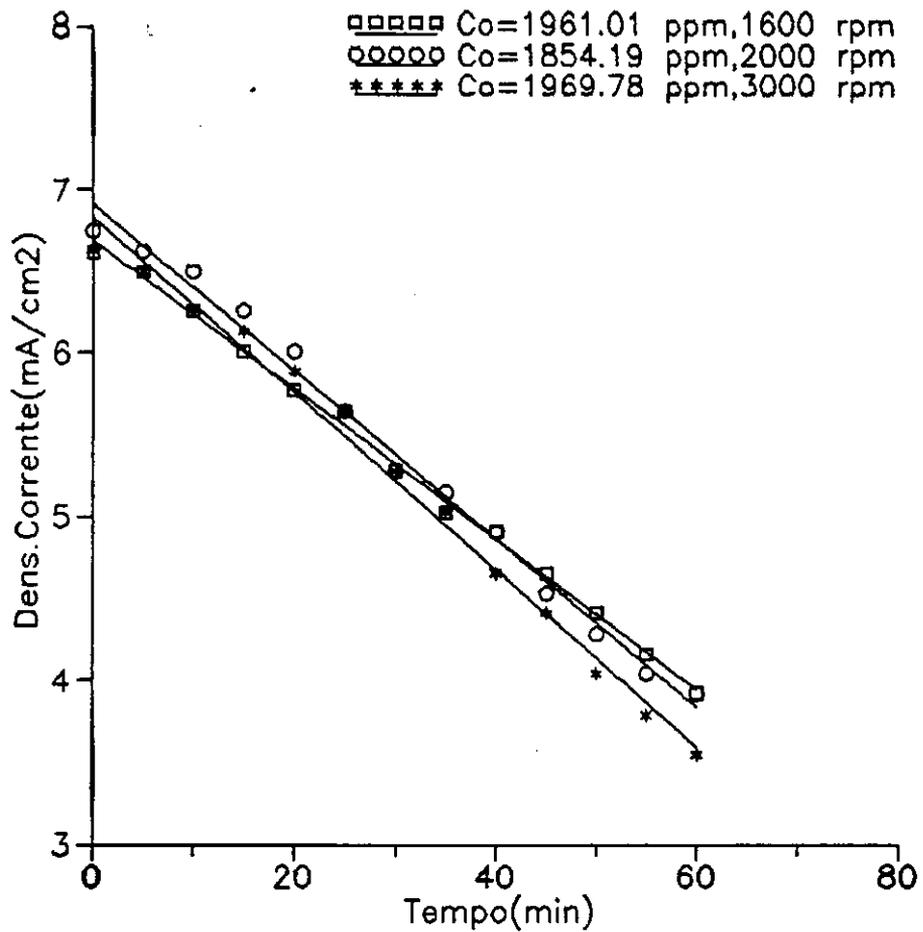


Figura 4.13 - Variação da Densidade de Corrente do sistema em função do tempo de operação sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, e Temperatura de 25°C.

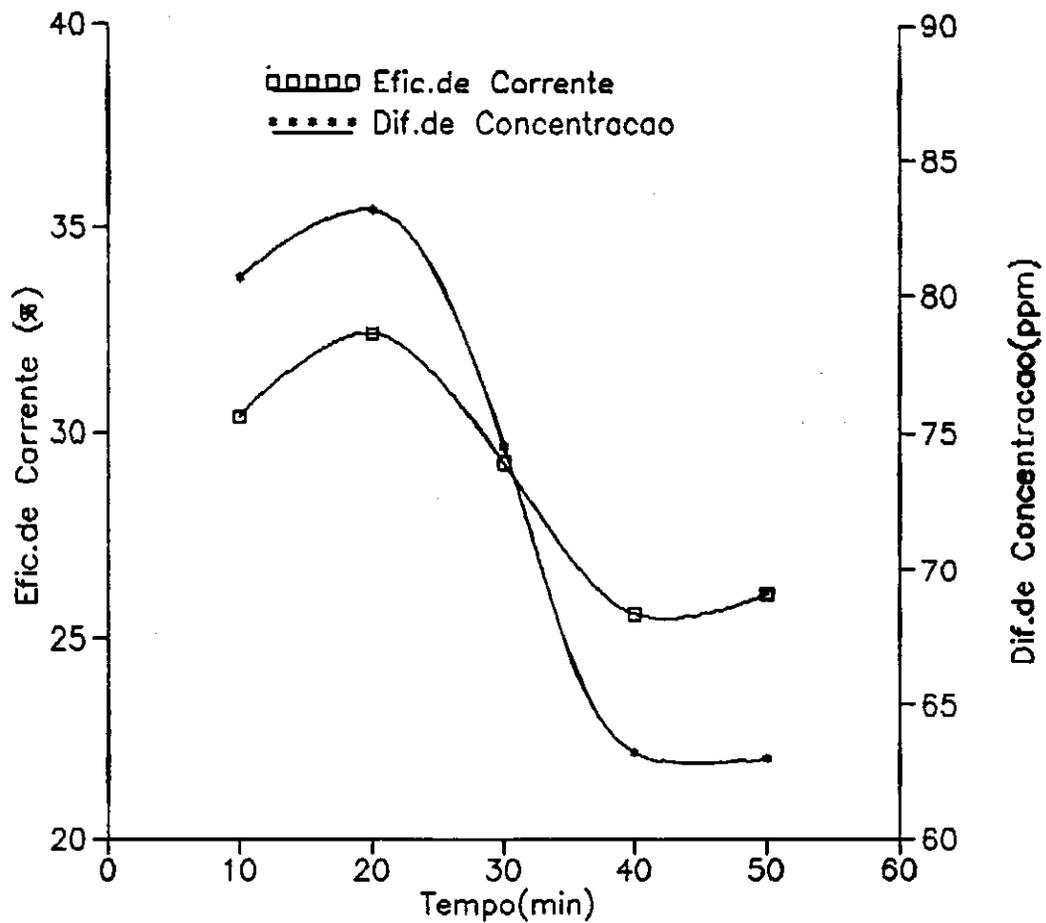


Figura 4.14 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 1600 rpm, concentração inicial de 1718,38 ppm e Temperatura de 25°C.

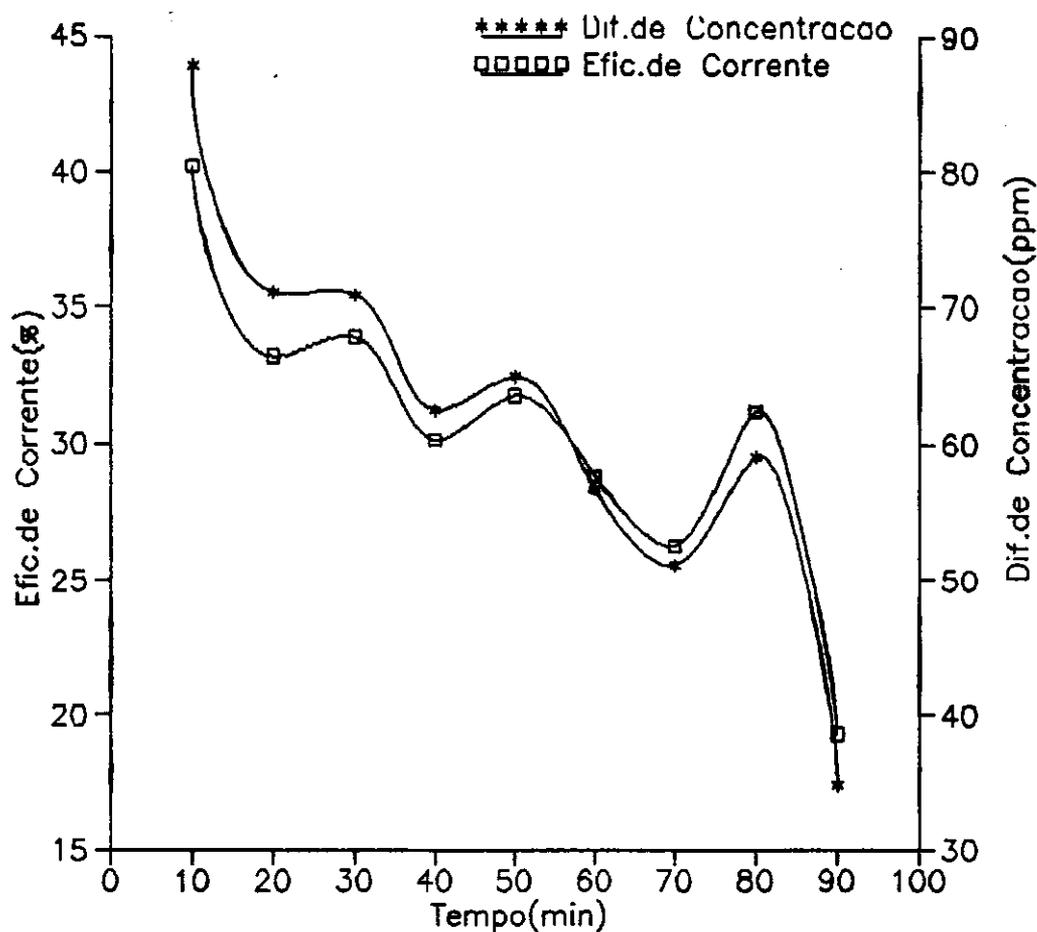


Figura 4.15 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm, concentração inicial de 1859,95 ppm e Temperatura de 25°C.

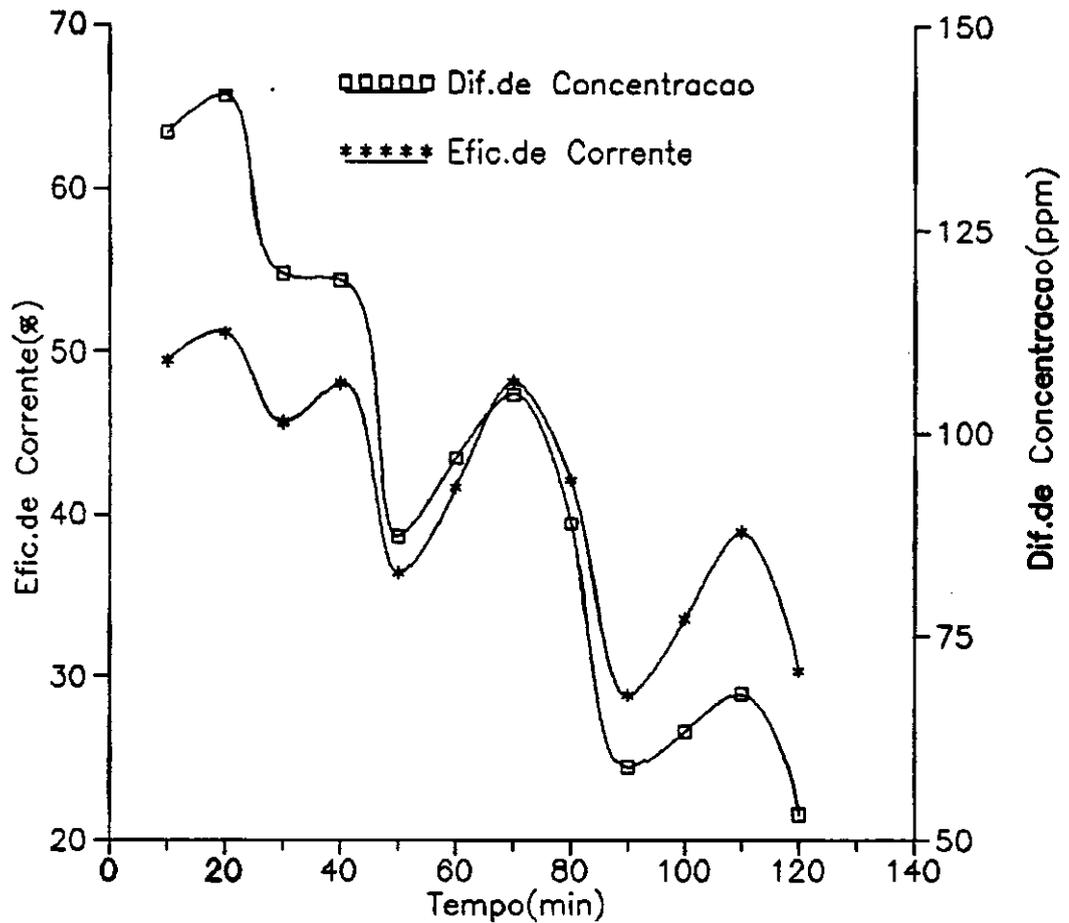


Figura 4.16 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm, concentração inicial de 1810,52 ppm e Temperatura de 25°C.

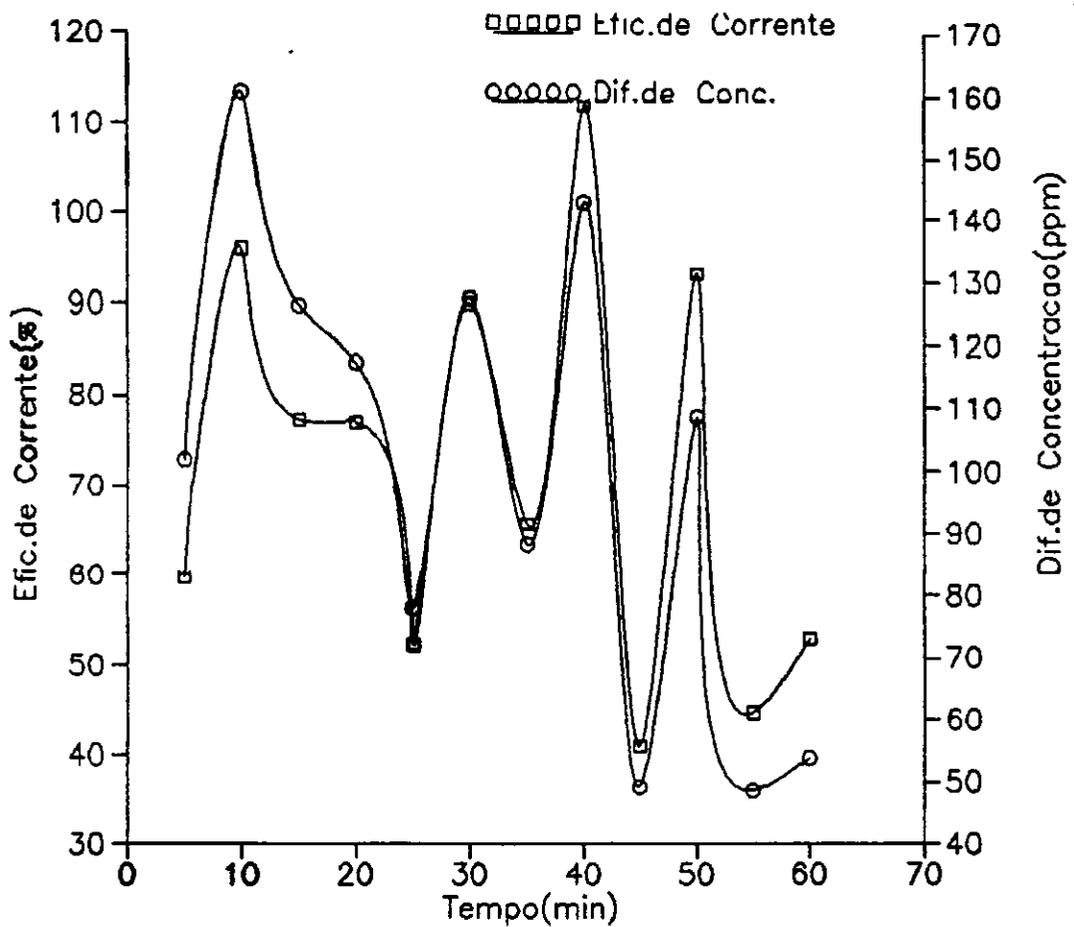


Figura 4.17 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 25 volts, Velocidade de agitação de 1600 rpm, concentração inicial de 1924,06 ppm e Temperatura de 25°C.

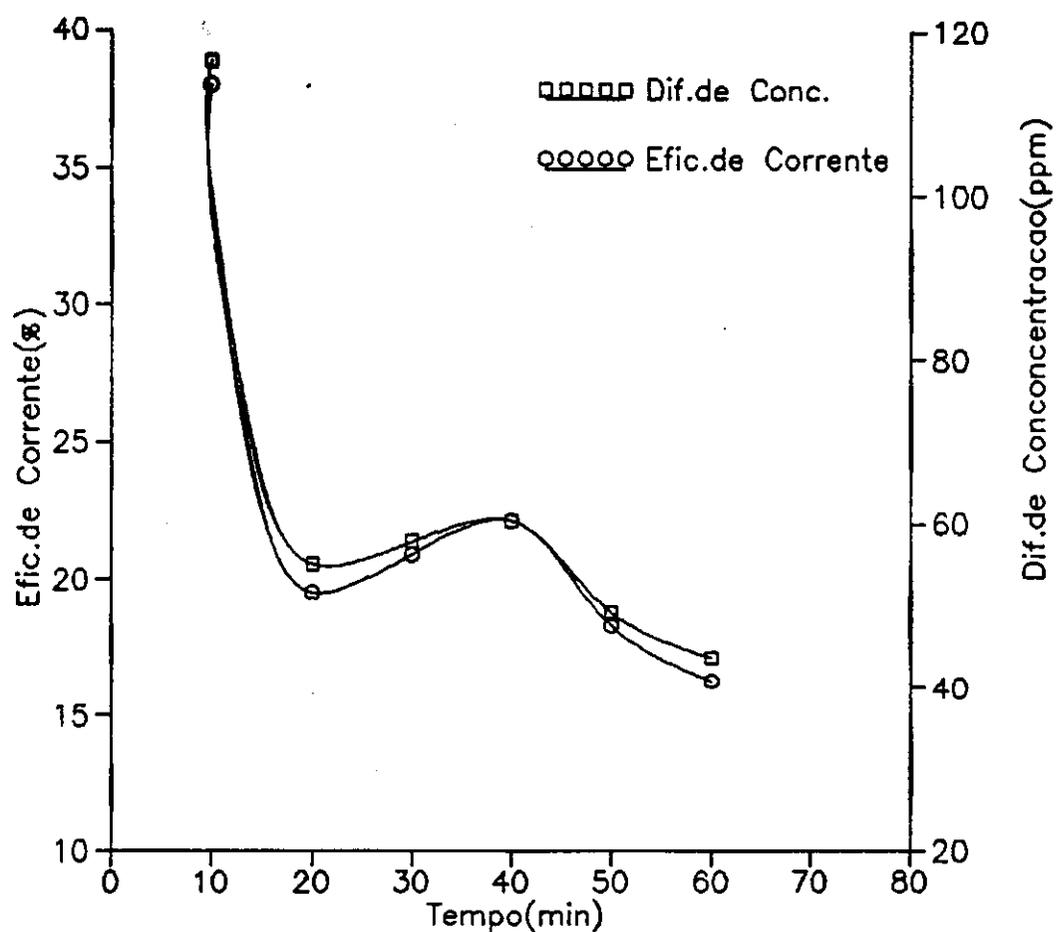


Figura 4.18 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm, concentração inicial de 2075,23 ppm e Temperatura de 25°C.

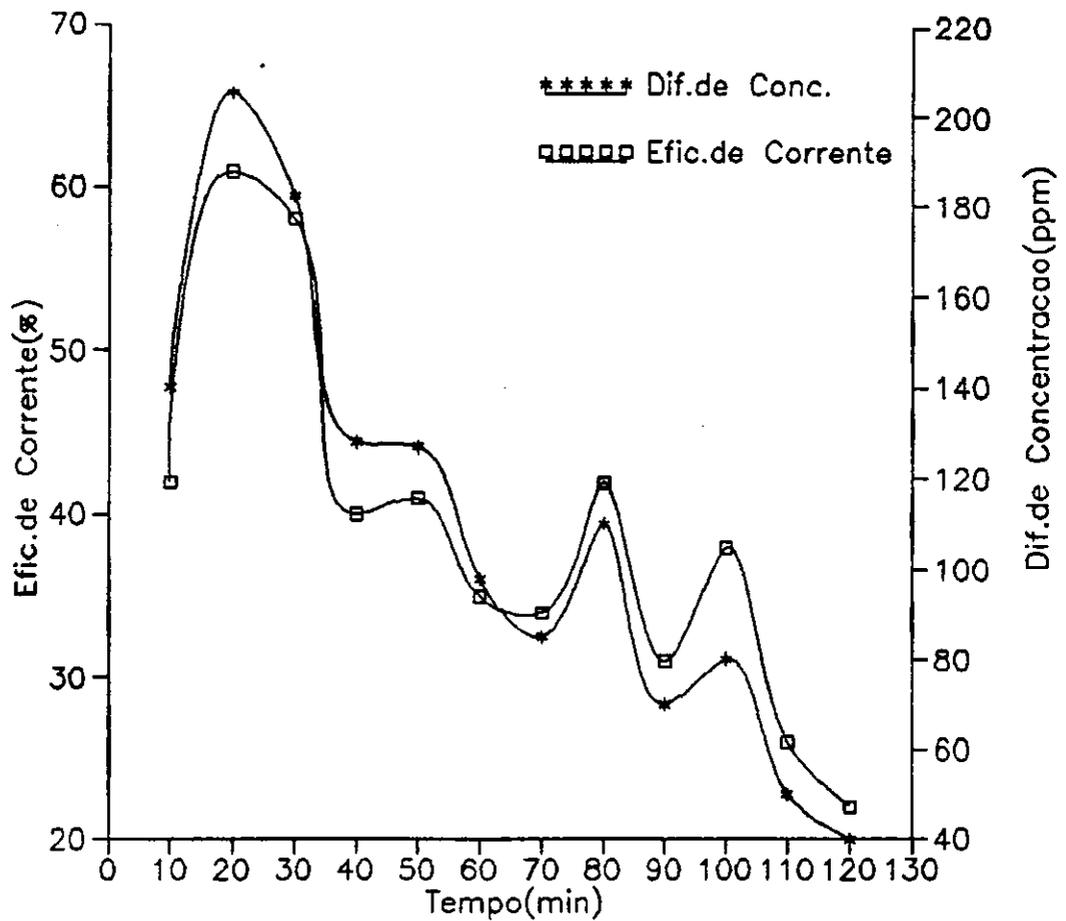


Figura 4.19 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 25 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm, concentração inicial de 1838,52 ppm e Temperatura de 25°C.

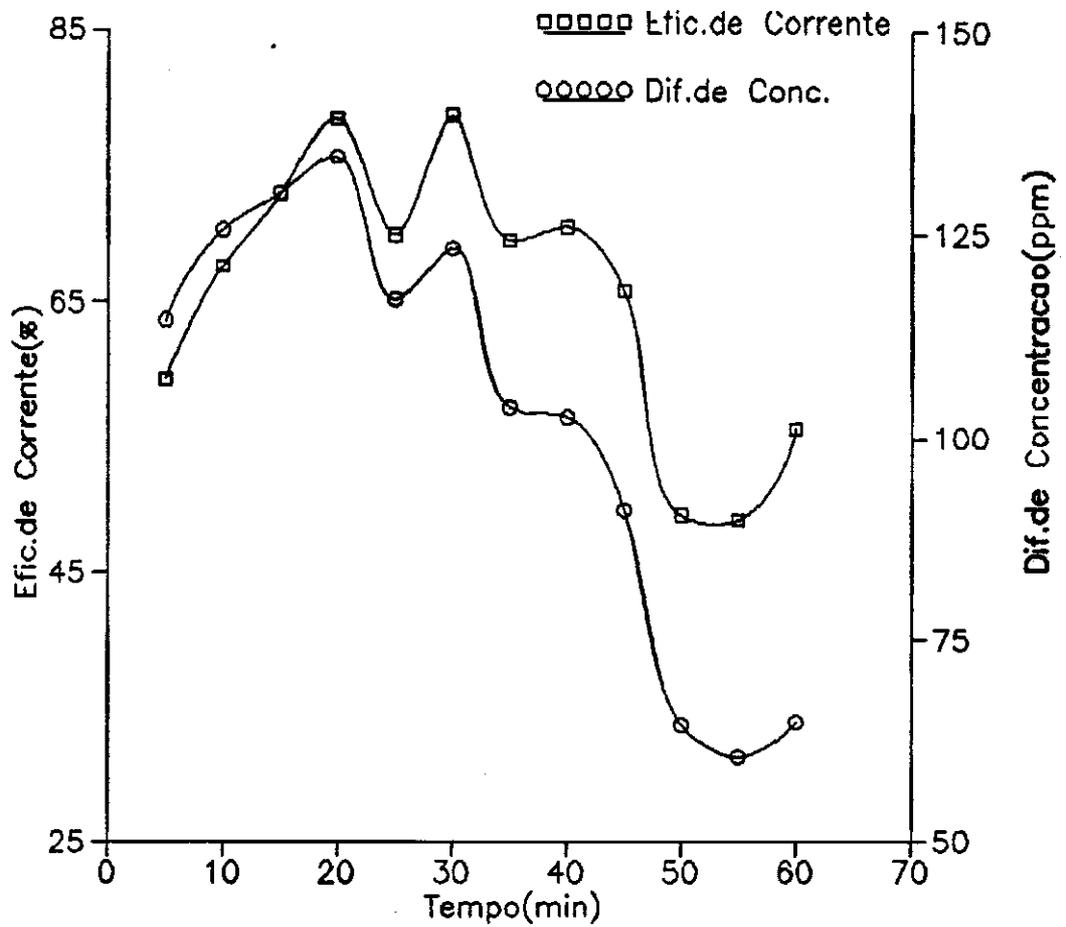


Figura 4.20 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, Velocidade de agitação de 1600 rpm, concentração inicial de 1961,02 ppm e Temperatura de 25°C.

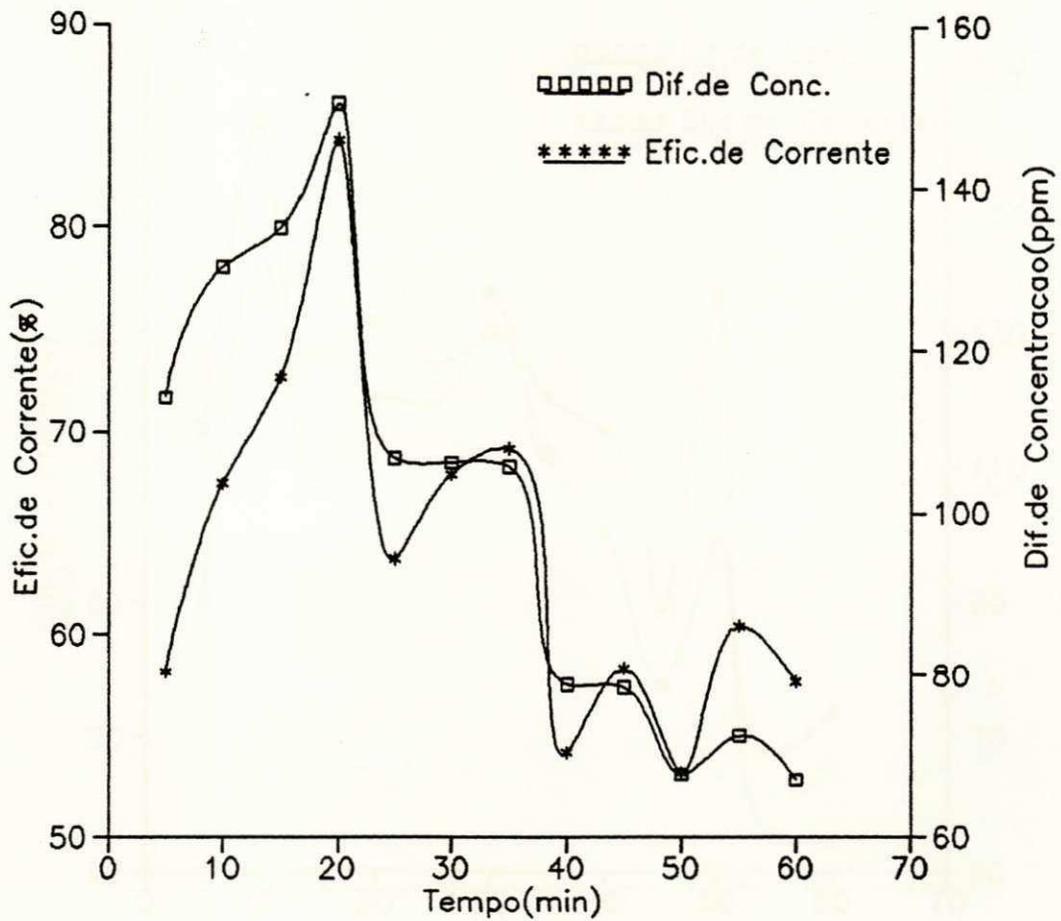


Figura 4.21 - Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm, concentração inicial de 1854,19 ppm e Temperatura de 25°C.

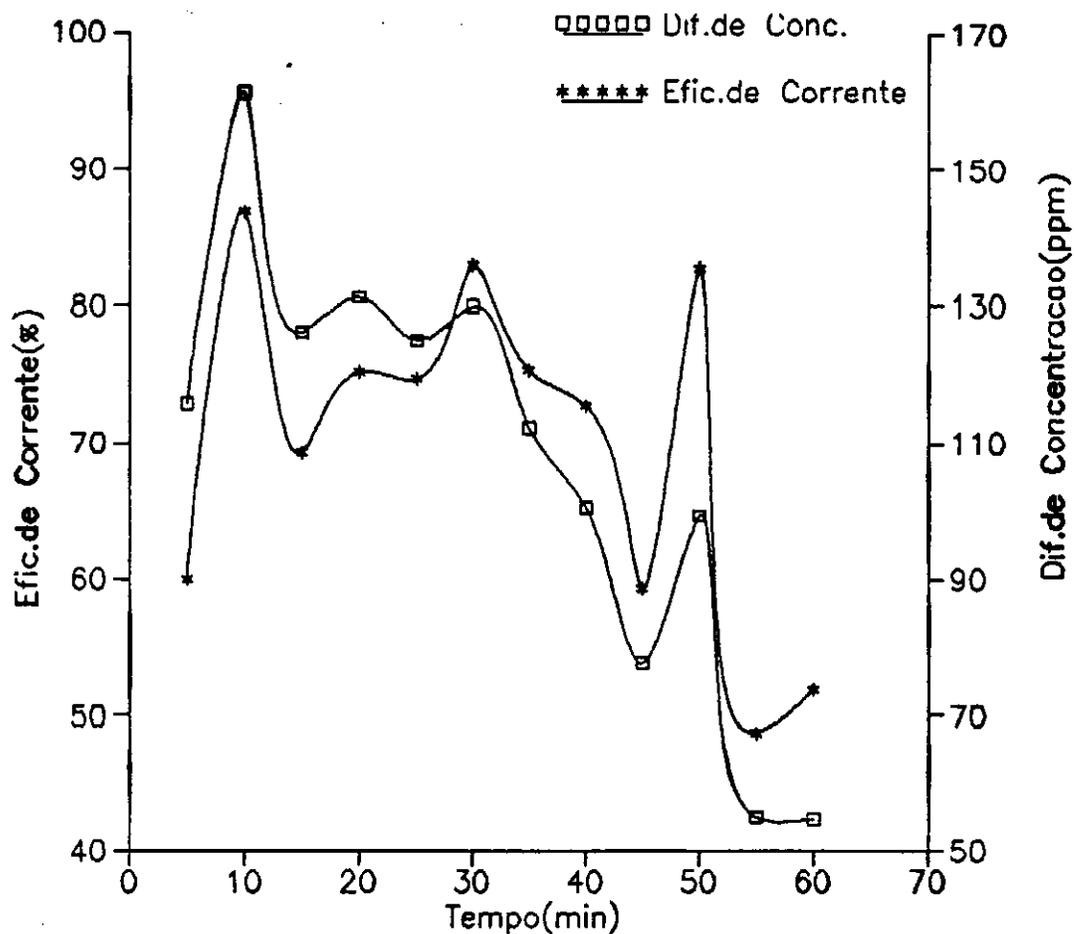


Figura 4.22- Efeito da Diferença de concentração sobre a Eficiência da Corrente no reator sob as seguintes condições: Tensão de 30 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm, concentração inicial de 1969,78 ppm e Temperatura de 25°C.

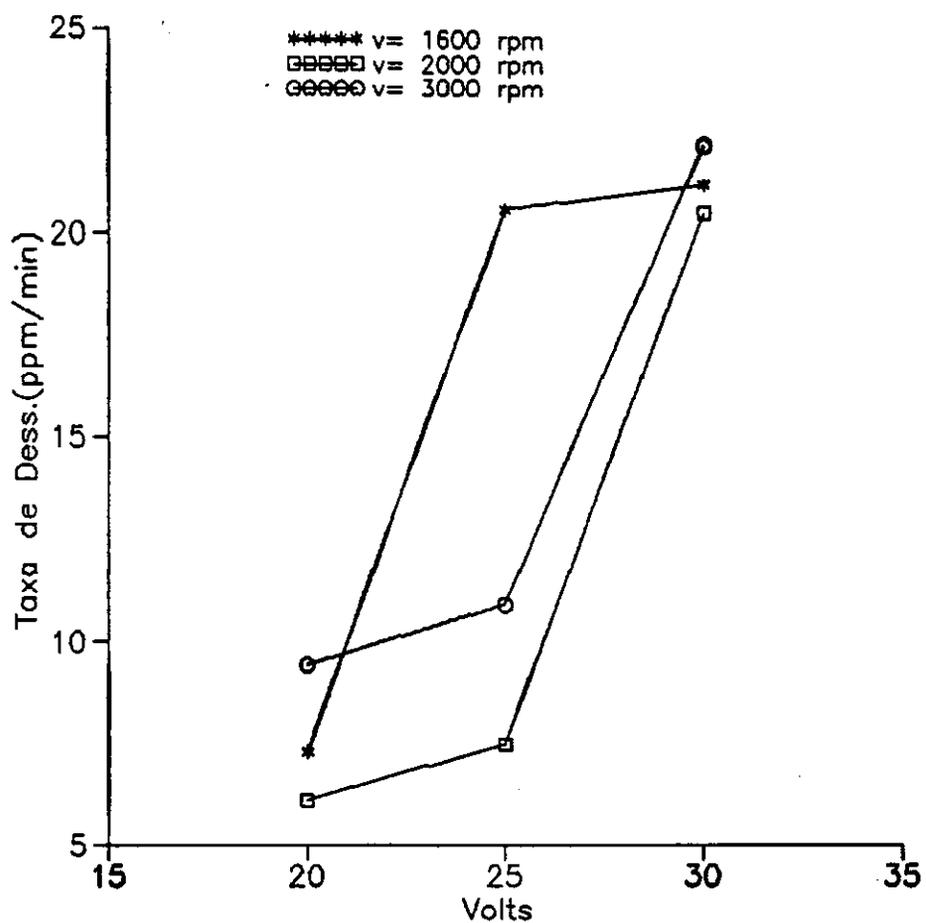


Figura 4.23 - Taxa de dessalinização em função da Diferença de potencial aplicada para diferentes velocidades de agitação, na Temperatura de 25°C.

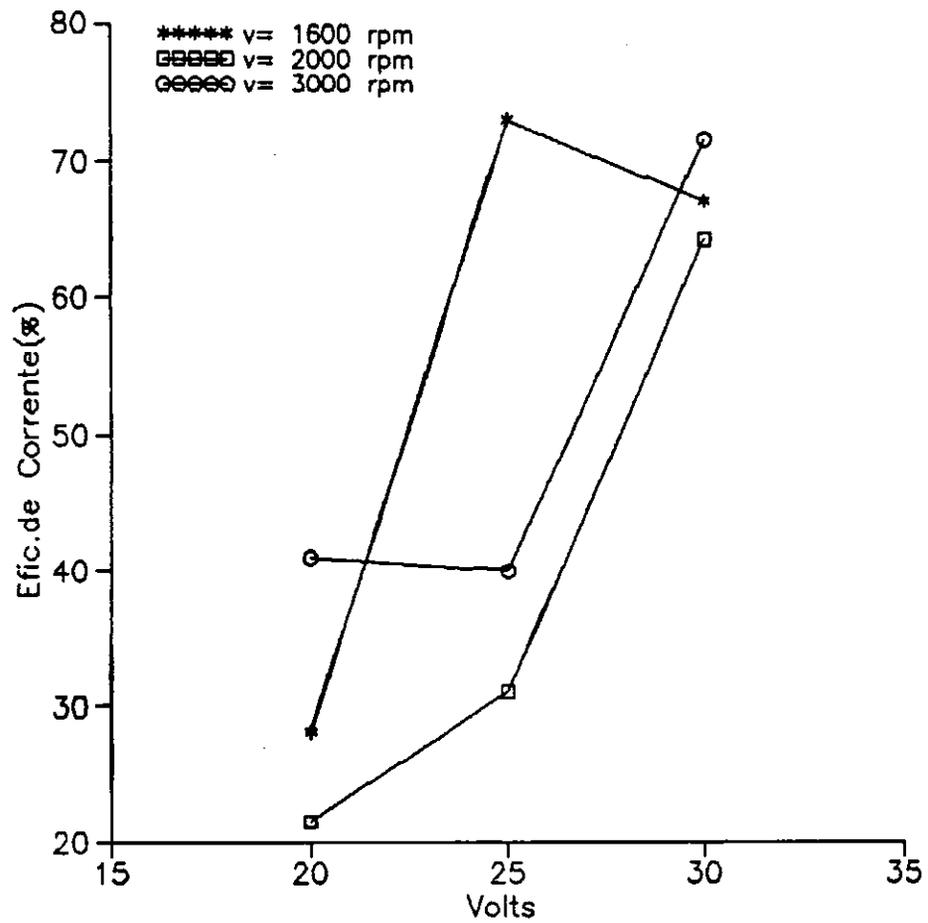


Figura 4.24 - Eficiência de Corrente em Função da diferença de potencial aplicada ao sistema, para diferentes velocidades de agitação e Temperatura de 25°C.

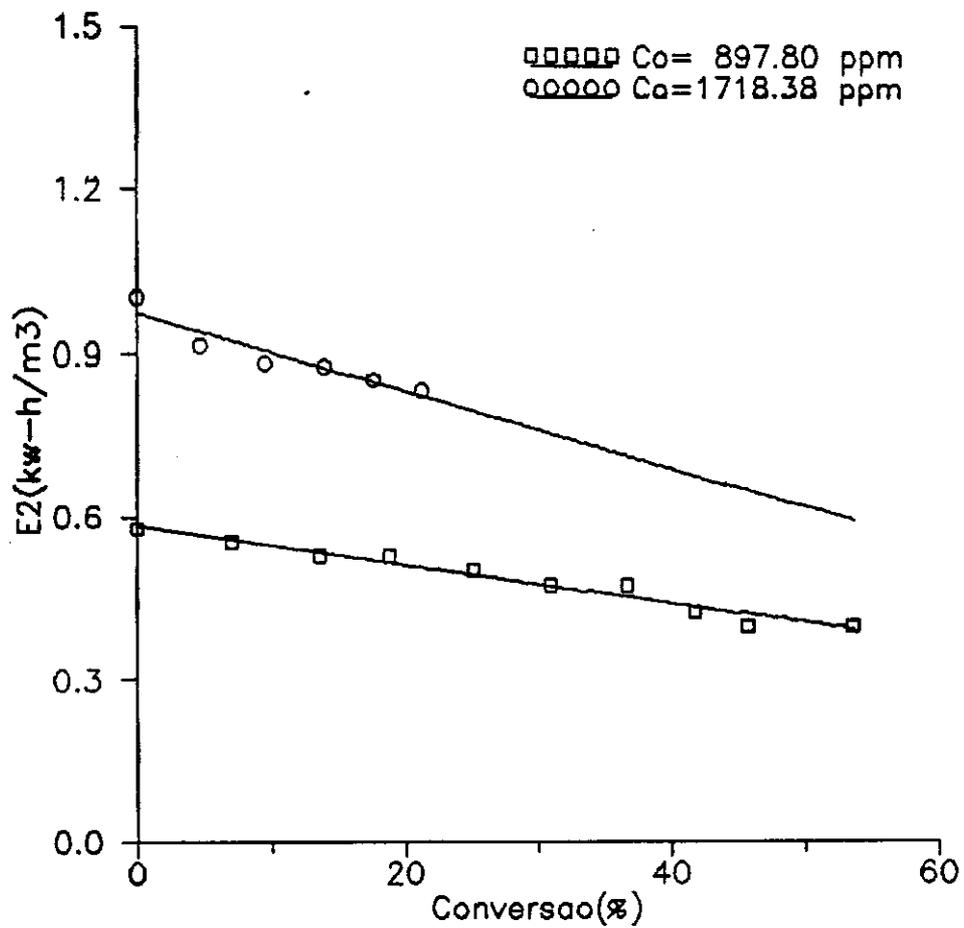


Figura 4.25 - Consumo de Energia em função da Conversão, durante o tempo de dessalinização, para uma tensão de 20 volts, velocidade de agitação de 1600 rpm e Temperatura de 25°C .

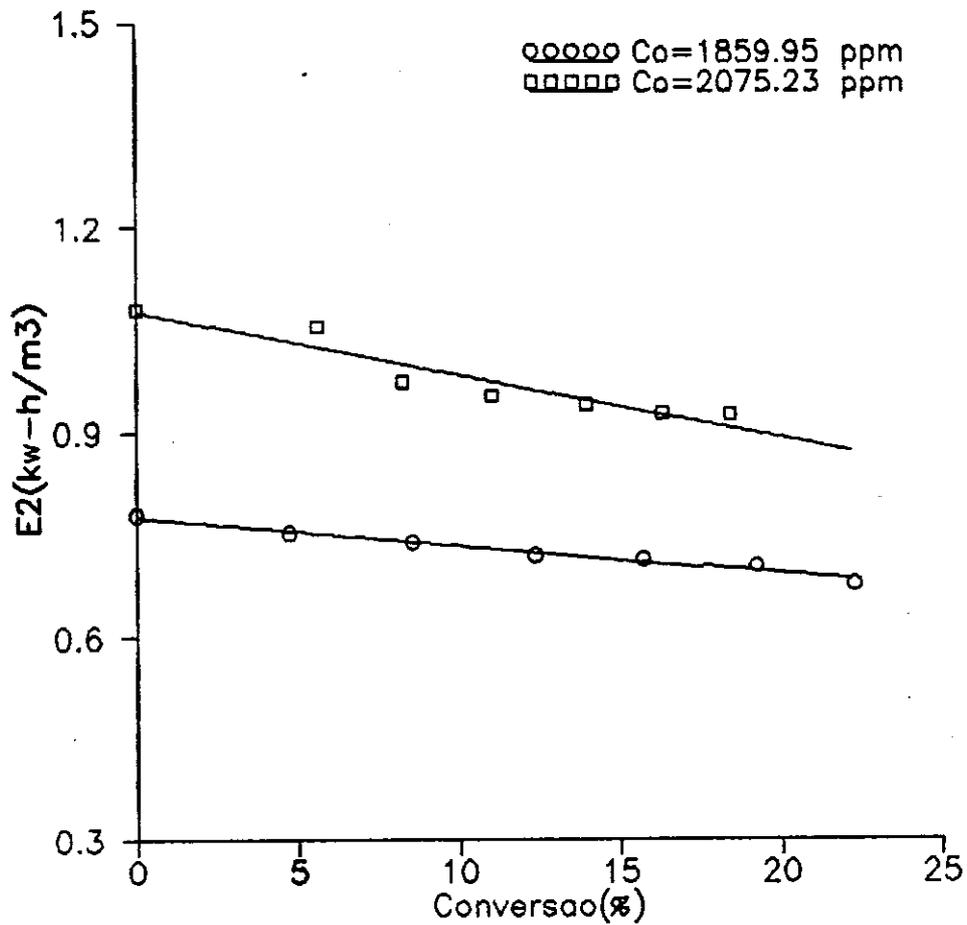


Figura 4.26 - Consumo de Energia em Função da Conversão, durante o tempo de dessalinização, para uma Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 2000 rpm e Temperatura de 25°C .

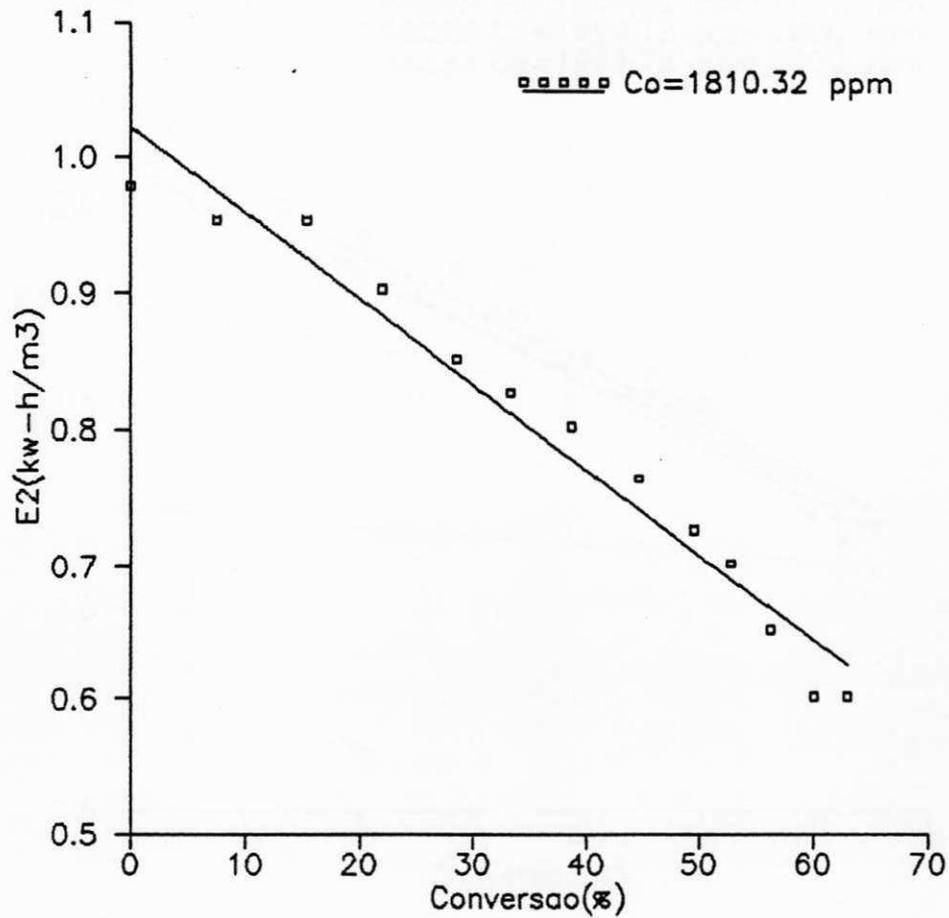


Figura 4.27 - Consumo de Energia em Função da Conversão, durante o tempo de dessalinização, para uma Tensão de 20 volts, Velocidade de agitação de 3000 rpm e Temperatura de 25°C.

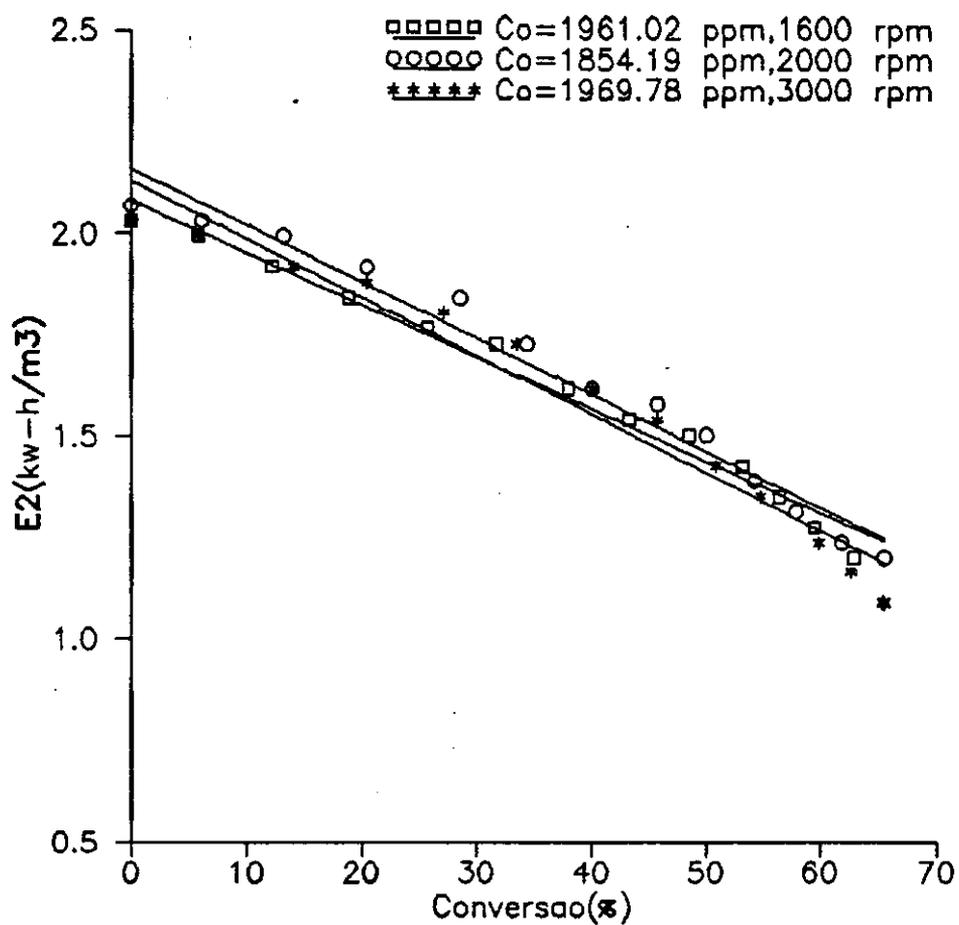


Figura 4.28 - Consumo de Energia em Função da Conversão, durante o tempo de dessalinização, para uma Tensão de 30 volts, a uma Temperatura de 25°C.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

Com os dados experimentais obtidos através do reator eletrodialítico em estudo, conclui-se que:

- 1 - A mobilidade iônica depende do campo elétrico, gerado através da D.D.P e das condições hidrodinâmicas no interior do reator, a qual encontra-se relacionada com a velocidade de fluxo e as características físicas do sistema de agitação.
- 2 - A taxa e o tempo de dessalinização variam em função da concentração iônica do meio, velocidade de agitação e a diferença de potencial aplicada.
- 3 - A resistência do sistema cresce a medida que a condutividade do meio diminui em função da diferença de potencial aplicada, e da velocidade de agitação.
- 4 - A concentração iônica do meio, a velocidade de agitação e a diferença de potencial são parâmetros que contribuem na variação da densidade de corrente.
- 5 - A diferença de potencial aplicada para uma dada concentração iônica e uma velocidade de agitação, estão relacionadas com a eficiência de corrente. (FARADAY)
- 6 - O consumo de energia está relacionado com o grau de turbulências geradas, através da velocidade de agitação e a concentração inicial.

CAPÍTULO VI

PERSPECTIVAS

Considerando o caráter inicial deste trabalho, bem como suas limitações, existe a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de explorar pontos ainda não aprofundados, os quais encontram-se assim relacionados.

- 1 - Determinar a condutividade do hidrolizado no tanque de armazenamento e bem como introduzir um sistema de agitação no mesmo, durante o processo de dessalinização.
- 2 - Estudar os efeitos de temperatura.
- 3 - Através de diferentes velocidades de agitação e fluxo de alimentação, investigar, o tempo requerido de dessalinização.
- 4 - Investigar através da concentração de H^+ , ocorrência da polarização no sistema.
- 5 - Um sistema de controle da voltagem em função da condutividade durante o processo de dessalinização.
- 6 - O reator pode operar fechado de forma que o fluido não fique em contato com o ambiente.
- 7 - Avaliar o reator para outras soluções protéicas.

BIBLIOGRAFIA

- 01 - APPLGATE, L.; "Eletrodialysis"; Chemical Engeneering, 21 (21) 77-84, junho, 1984.
- 02 - CADE, P. H.; "Proteínas derivadas del Calágeno", C & TEE, 3(1): 25-7, 1989.
- 03 - CARIOCA, J. O. B. et alii; "Colágeno: aplicações nas Indústrias cosméticas", I encontro de cosmética aplicada no estado do Ceará, Fortaleza, outubro 1989.
- 04 - COWAN, D. A. e BROWN, J. H.; "Effect of turbulence on limiting current in electrodialysis cells", Industrial and Eng. Chemistry, 51(21): 1445 - 1448, 1959.
- 05 - FRANÇA, K. B. et alii; "Dessalinização de águas salobras por eletrodialise, XXVI Congresso Brasileiro de Química, UFCE, Fortaleza, outubro, 1985.
- 06 - HONE, E. D.; "Electrodialysis", Fundamental of Water Desalination from serie "Environmental sciense and technology series", New York, Marcel DeK ER, INC, vol. 1, cap, 13, 271-99, - 1974.

- 07 - HWANG, SUN-TAK e KAMMERMEYER, K.; "Electromembrane Processes". Techniques of chemistry, VII, cap. IX, 190 - 241, - 1935.
- 08 - KING, C. J.; Separation Processes, McGraw-Hill Book Company, 199-230, - 1971.
- 09 - LACEY, R. E.; "Dialysis and Electrodialysis", Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, McGraw-Hill Book Company, Ed. Schweitzek, Philip. A., 1-14, 1979.
- 10 - LEWNINGER, A. L.; Bioquímica; Ed. Edgar Blucher, 1976.
- 11 - MASON, E. A e JUDA, W.; "Applications of ion exchange membranes in electrodialysis", Engineering Progress Symposium Series, American Institute of Chemical Engineering, 55(24), 155-162, 1959.
- 12 - MASON, E. A e KIRKHAM, T. A; "Design of electrodialysis equipment", Chemical Eng. Progress, Symposium Series, 55(24): 173-89, 1959.
- 13 - MENTS, M. V.; "Water Desalination by Electrodialysis ", Industrial and Engineering Chemistry, 52(2): 149-52, Feb. 1960.
- 14 - MINTZ, M. S., "Electrodialysis, principles of process design", Industrial and Engineering Chemistry. 55(18): 18-28, 1963.

- 15 - MONET, GILBERT P.; "Similarities in adsorption, dialysis and ion exchange", Engineering Progress Symposium Serie, American Instituto of Chemical Engineering, 55(24), 1959.
- 16 - —; "Metathesis reactions by means of ionic membranas", Engineering Progress Symposium Series, American Instituto of Chemical Engeneering, 55(24),191-98,1959.
- 17 - PARRISH, D. F.; "Difference Between Soluble Collagen and Hydrolysed Collagen (gelatin) proteins", Cosmetics and Toiletries, New York, 93, 63-5, Abril, 1978.
- 18 - PERRY, ROBERT H. e GREEN, DOWN W.; Chemical Engeneer's Handbook, 6^a ed., sec. 17: 47-55, 1984.
- 19 - RANGANAYAKI, M. D.; "Collagen Products in Cosmetics", Leather Science, Madras, 30(11): 344-6, nov, 1983.
- 20 - REED, P. B.; "Electrodialysis for the purification of protein solutions", CEP (Company Electrolysis Process), 47-50, dezembro, 1984.
- 21 - ROSENBERG, N. W. e TIRRELL, C. E.; "Limiting currents in membrane cells", Industrial ad. Eng. Chemistry, Cambridge. 49(4): 780-784, 1957.
- 22 - SHAN, P. M. e SCAMEHORN, J. F.; "Use of electrodialysis to deionize acidic was tewater streams", Ind. Eng. Chem. Res. 26: 269-277, 1987.

- 23 - SHAPPER, L. H. e MINTZ, S.; "Eletrodialysis in principle of desalination", Ed. SPIELGLER, K.S., Academic Press, New York, 199-289, 1966.
- 24 - SEKO, M. et alii; "Ion exchange membrane application for electrohydrodimerisation", Asahi Chemical Industry col. Ltd., Tokyo, D.S. Flett, cap. 12, 181-93.
- 25 - SOLT, G. S.; " Electro dialysis ", Industrial Electrochemical Process, Ed. KUHN, A.T., Elevier Publishing Co. Amsterdam, 1971.
- 26 - SWEENEY, M. J; "Membrane - Based Liquid Separation Systems", Chemical Engineering Progress, 81(1): 32-35, janeiro, 1985.
- 27 - TOOD, R.D. e BIOL, L.I.; "Soluble collagen, new protein for cosmetics", D & CI, London, 50-138, out. 1975.
- 28 - URANO, K. et alii; "Selectivity of ion transport in desalination by electrodialysis", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev, 19: 59-64, 1980.
- 29 - VILAR, E. O.; "Avaliação de um reator eletrodialítico para dessalinização de águas salobras", dissertação apresentada no Mestrado em Eng. Química, nov. 1989.
- 30 - WINGER, A. G. et alii; "Electrodialysis of water using a multiple membrane cell", Industrial and Engineering Chemistry, Filadelfia, 47(1), 50-60, jan, 1955.

APÉNDICE

Determinação da tensão superficial

Através de um tensiômetro do tipo Fisher - Model 20, obteve-se os resultados da tensão superficial aparente do hidratado, pela seguinte relação:

$$\tau = F/2L \quad (01)$$

Onde, τ é a tensão superficial em dina/cm, F é a força aplicada para destacar o anel, ou seja, $F = mg$, onde $g = 980$ cm/s², "m" a massa do hidrolizado em grama, "L" é o comprimento do arame, ou seja, $L = 2\pi r$, onde r é o raio do arame em cm, "2" é o fator de película.

Com a tensão superficial aparente, lida no tensiômetro, pode-se determinar a capacidade volumétrica da película formada do anel do tensiômetro:

$$V = \frac{4\pi r \tau}{\rho g} \quad (02)$$

A tensão superficial foi corrigida através do seguinte fator de correção:

$$F = f (R/r, R^3/V)^4 \quad (03)$$

Tensão superficial real = $F * \text{tensão superficial aparente}$.

1 - W.D. Harkins and H.F. Jordan, (1930). J. Amer. Soc. 52, 1751.

Determinação da Viscosidade

O método empregado para o cálculo da viscosidade foi o método de Poiseville, a partir da determinação do tempo de escoamento do fluido, no capilar do viscosímetro de Ostwald, através da seguinte relação:

$$(\mu_{\text{H}_2\text{O}}/\mu) = (\rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t_{\text{H}_2\text{O}})/(\rho \cdot t) \quad (04)$$

Onde μ , corresponde à viscosidade do hidrolizado, e t e $t_{\text{H}_2\text{O}}$, os tempos de escoamento no viscosímetro para o hidrolizado e água destilada, respectivamente.

A viscosidade da água destilada, é determinada através da seguinte correlação empírica:

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = (5,985)/43,25 + T^{1,542} \quad (05)$$

Onde, $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ corresponde à viscosidade da água destilada na temperatura da experiência, ou seja, $T = 25^\circ\text{C}$.

Determinação da Densidade

A densidade do hidrolizado foi determinada através de um picnômetro, utilizando-se posteriormente a relação:

$$\rho = [(m_2 - m_p)/(m_1 - m_p)] \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \quad (06)$$

Onde, m_p corresponde ao peso do picnômetro vazio, m_1 o peso do picnômetro cheio com água, m_2 o peso do picnômetro cheio com o hidrolizado e ρ_{H_2O} a densidade da água destilada na temperatura da experiência, ou seja:

$$\rho_{H_2O} = 0,99708 \text{ g/cm}^3 \text{ a } T = 26^\circ\text{C}.$$

Handbook of Chemistry and Physics (1982).

	ρ (g/cm ³)	μ (cP)	τ (dina/cm)
Início	1,0366	4,24	31,321
Final	1,0366	4,06	31,290

Determinação de Proteína - (Método Biureto)

Ref. J. Goa. Scand - J. Clin e Lab. Invest. (1953) 218

REAGENTES - Biureto - (Benedict's reagentes)

Citrato de sódio (173g) e Na_2CO_3 (100g) são dissolvidos em água com pequeno aquecimento.

Dissolver $CuSO_4$ (17,3g) em 100ml de água e adicionar à solução acima. Diluir para 1 litro. Guardar em frasco escuro.

NaOH 4%

Procedimento

Adicionar a uma amostra contendo entre 0,1 a 2 mg de proteína, 3ml de hidróxido de sódio 4%, agitar, e adicionar 0,2 ml do reagente biureto. Homogenizar bem, aguardar 15 minutos e fazer leitura no espectrofotômetro a 330 nm contra um branco preparado com água destilada.

Curva Padrão - (0,4 a 2 mg/ml)

Dissolver 50 mg de albumina sérica bovina em água destilada, completar para 25 ml e proceder na forma citada acima, para determinação de proteína. Adicionar alguma gotas de NaOH 2N para melhor dissolução. (cond. desta solução - 2 mg/ml).

TUBOS DE ENSAIO	ALBUMINA (ml)	H ₂ O (ml)	NaOH 4% (ml)	BIURETO (ml)	CONC. (mg/ml)
Branco	-	1,0	3	0,2	-
1	0,2	0,8	3	0,2	0,4
2	0,4	0,6	3	0,2	0,8
3	0,6	0,4	3	0,2	1,2
4	0,8	0,2	3	0,2	1,6
5	1,0	-	3	0,2	2,0

Fluxogramas de Produção de xarope de frutose a partir da Alcachofra de Jerusalém (Figura 1) e Produção de Hidrolizado de colágeno (Figura 2).

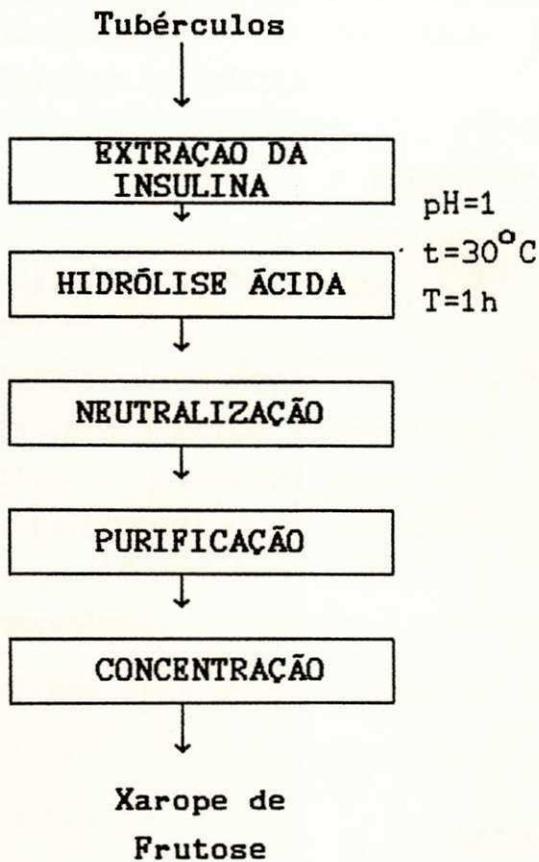


Figura 1

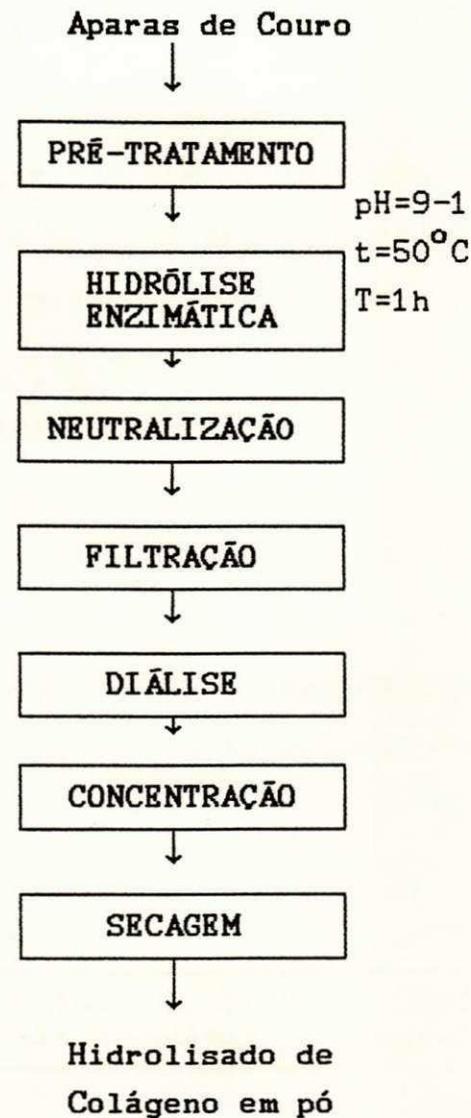


Figura 2

As especificações destes produtos comerciais exigem baixos teores de sais (<1%).

Sendo estes produtos perecíveis, devem ser manipulados com máximo cuidado para evitar contaminação microbiológica.

O processo comum de diálise é muito prolongado (24 a 48h) e isso dá ensejo a graves problemas de contaminação.

A troca iônica é também utilizada para remover sais desses produtos, porém tem custo operacional elevado em relação a eletrodiálise.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DO ALGODÃO
CAIXA POSTAL 174 - CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
LABORATÓRIO DE QUÍMICA

BOLETIM DE ANÁLISE

ANÁLISE LQ. CG. Nº: xxxxx

REMETENTE: Eliane Bezerra Cavalcanti

PROCEDÊNCIA: CCT-UFPB - Campina Grande - PB

NATUREZA DA AMOSTRA: Hidrolisado Protéico (colágeno)

REFERÊNCIA DA AMOSTRA: A, B e de 1-6

DATA DA ENTRADA: 27.5 e 14.6.91

DATA DA ANÁLISE:

OBSERVAÇÕES:

RESULTADO

REF. AMOSTRA	PROTEÍNA (g/100ml)
A	9,00
B	7,40
1	8,20
2	7,80
3	8,20
4	8,20
5	7,80
6	11,15

C. J. 17.06.91.

Assinatura
apost. 17.06.91
Laboratório de Química