

Tratamento de Despejos de Fecularias de Mandioca por Oxidação Biológica

MAX LOTHAR HESS

Engenheiro Consultor — São Paulo

1. **PROLEGÔMENOS:** Os resíduos industriais líquidos das indústrias de beneficiamento de mandioca fazem parte dos mais concentrados e mais prejudiciais despejos. Seu tratamento tem sido tentado de várias maneiras, principalmente por infiltração no solo e por meio da fermentação em tanques abertos, sem sucesso. A permeabilidade do solo é muito prejudicada pela existência de partículas finas que colmatam os poros; a fermentação anaeróbia provoca a liberação de odores nauseabundos, semelhantes ao cheiro de chiqueiro.

A maior parte da matéria orgânica existente nesses líquidos residuários está sob forma dissolvida ou em suspensão coloidal, de maneira que o tratamento por decantação simples não tem valor algum. É dinheiro jogado fora.

Em virtude da importância do assunto, pois são numerosas as indústrias de mandioca que estão poluindo os cursos d'água do Estado, especialmente os da bacia do rio Mogi-Guaçu, e na falta de bibliografia a respeito, realizei uma série de experiências em escala de laboratório, e que terminaram por demonstrar a viabilidade do tratamento dos resíduos industriais por oxidação biológica. Como consequência foram projetadas até agora onze instalações de tratamento, constituídas de unidades de construção econômica, ao alcance das mais modestas fábricas. Pelo menos três dessas estações estão em construção, devendo entrar em funcionamento na próxima safra de mandioca.

2. **UM POUCO DE FILOSOFIA.** O autor de qualquer pesquisa está predisposto a todas as sugestões do erro, ao exagero dos resultados, à falta de serenidade, à supressão, sem remorso, dos insucessos, aos erros de percepção e de interpretação, à sugestibilidade, à falta de senso crítico, ao entusiasmo fecundo em miragens, provo-

cando freqüentemente uma distorção inconsciente dos fatos circunstanciais. Porém a ossatura da pesquisa permanece inalterada. Podemos encontrar na literatura técnica freqüentes casos de trabalhos pioneiros cercados de conclusões fantasiosas. Os melhores autores claudicam por vezes a verdade, quase sempre sem o perceberem muito bem, ao generalizarem casos excepcionais, antes de terem a confirmação em grau suficiente. Estas palavras não são apenas uma acusação. Podem ser também uma confissão de minha parte. Entretanto, procurarei ser sincero.

Os resultados apresentados no presente trabalho são, por enquanto, apenas provenientes de uma longa série de observações em ponto pequeno, e em condições padronizadas de laboratório. Não penso que sirvam para a aplicação a instalações de grande porte, devendo ser encarados com reserva. Entretanto demonstram a exequibilidade do processo ensaiado.

3. **CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS.** As águas servidas das fábricas de farinha e de raspa de mandioca (chamadas de fecularias, ao passo que as indústrias extrativas do amido são chamadas de amidonarias), são provenientes de duas operações: as águas de lavagem e decantação dos tubérculos, e as águas das prensas, sendo estas constituídas praticamente do suco da mandioca.

As águas dos lavadores, que aparecem em maior quantidade que as outras, contêm terra, a casca das raízes sob a forma de escamas, um pouco de amido, proteínas vegetais, ácido cianídrico e diversos produtos da decomposição da matéria celular. Sua quantidade é de cerca de 1,5 a 2 litros por quilo de mandioca beneficiada. São de cor pardacenta.

As águas das prensas são de aspecto leitoso, contendo apreciável porcentagem

de amido, em parte sedimentável, em parte em suspensão coloidal, proteínas, glicose, restos de células, ácido cianídrico, bem como outras substâncias orgânicas.

Sua quantidade é de cerca de 250 ml por quilo de mandioca beneficiada. Estas águas são altamente concentradas, como se pode depreender do quadro anexo.

COMPOSIÇÃO MÉDIA DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE FECULARIAS DE MANDIOCA

	Água do lavador	Água das prensas
Coloração	Marron claro	Branca, amarelada
Turbidez	1 000 mg/l	3 000 mg/l
pH	5,3	4,5
Sólidos totais	3 000 mg/l	70 000 mg/l
Sólidos em suspensão	1 200 mg/l	25 000 mg/l
Sólidos dissolvidos	1 800 mg/l	45 000 mg/l
Sólidos sedimentáveis	5 ml/l	50 ml/l
Oxigênio consumido (KMnO ₄)	1 000 mg/l	20 000 mg/l
BOD	1 500 mg/l	30 000 mg/l
Ácido cianídrico	10 mg/l	250 mg/l

O ácido cianídrico não existe nas raízes antes de colhidas, mas se forma por uma ação enzimática sobre a matéria nitrogenada, ação esta que se inicia algumas horas após a colheita. Este veneno violento só se forma, entretanto, na chamada mandioca brava ou amarga, não aparecendo na mandioca doce, que é empregada para fins culinários. Sendo um ácido volátil, desaparece facilmente durante a secagem da raspa ou da torração da farinha.

Ambas as águas se decompõem rapidamente, com exalação de cheiro penetrante de lixo em fermentação, e com aumento da acidez, passando o pH a se situar entre 3,5 e 4,0. O lodo formado se torna quase negro com o tempo, e não serve para fins agrícolas.

As águas do lavador contêm grande quantidade de sólidos grosseiros, especialmente cascas e pedaços de mandioca. Estes sólidos às vezes afundam na água, outras vezes flutuam. São facilmente removidos por meio de peneiras, necessitando estas, entretanto, freqüentes limpezas.

As águas das prensas, como já foi dito, carregam amido. A maior parte das fábricas recupera esta fração em canaletas de decantação, obtendo-se o chamado polvilho, que, após secagem em prateleiras, é vendido ou em estado bruto, para fábricas de cola, ou depois de refinado, para fins alimentícios.

Seja como for, nenhum tratamento das águas residuárias deverá ser feito sem remover antes os sólidos grosseiros e o amido.

O teor de nitrogênio e de fósforo é suficiente para manter a vida de microrganismos.

4. COMENTÁRIOS SOBRE A COMPOSIÇÃO DOS EFLUENTES. Pelo quadro da composição dado no item anterior, pode-se ver que cerca de 2/3 do total de sólidos se encontram sob forma dissolvida, portanto nenhum efeito terão sobre eles os tratamentos primários.

A presença de teores elevados de ácido cianídrico poderia causar cepticismo quanto à possibilidade de se manterem organismos vivos nesse meio. A experiência demonstra que não há que recear tal fato. Por outro lado só foram encontrados traços de ácido cianídrico no líquido tratado por oxidação biológica.

O pH baixo é devido à fermentação dos resíduos, com formação de gás carbônico, principalmente. A decomposição bioquímica da glicose produz ácidos orgânicos, especialmente ácido pirúvico, ácido láctico ácido acético e outros, também responsáveis pela depressão do pH.

Dos sólidos totais, perto de 80% são representados por compostos voláteis, ou

seja, por matéria orgânica. Esta fração é que deve preocupar as autoridades sanitárias, por constituir a carga poluidora dos efluentes.

Comparadas em sua composição à dos esgotos domésticos, em termos de sólidos totais, as águas do lavador são três vezes mais concentradas que estes, e cinco vezes mais quanto ao BOD; as águas das prensas o são respectivamente 70 e 100 vezes.

Uma tonelada de mandioca produz efluentes contendo cerca de 24 kg de sólidos totais e 11 kg de BOD, correspondendo, pois, a um equivalente populacional de 200 habitantes. Assim sendo, os efluentes de uma fecularia de mandioca manipulando diariamente 50 toneladas de raízes, correspondem aos esgotos de uma cidade de 10 000 habitantes.

Daí se pode concluir o porquê da pressão das autoridades sanitárias sobre as fábricas deste tipo, para que ponham cõbro à poluição dos cursos d'água.

5. TRATAMENTO EXPERIMENTAL.

As experiências foram feitas com efluentes de uma fecularia de Araras e de uma de Mogi-Mirim. As experiências preliminares foram feitas com suco extraído da mandioca ralada, diluindo-o com água pura.

Os efluentes das prensas e do lavador foram misturados na proporção de 1:6. A mistura foi guardada em geladeira, à temperatura aproximada de 5°C, para ser usada aos poucos.

As primeiras experiências foram feitas com efluentes não decantados previamente, contendo, portanto, apreciável quantidade de amido. O líquido foi colocado em um recipiente de vidro, com fundo afunilado, sendo aerado por meio de injeção de ar proveniente de uma bomba de vibrador, tipo de aquário ornamental. A aeração era mantida continuamente, dia e noite.

Quando a aeração era interrompida durante meio minuto, o amido formava um sedimento branco no fundo. A medida que iam passando as horas, o aspecto farináceo do amido ia mudando para o de flocos volumosos. Após 48 horas de aeração, já não havia mais praticamente nenhum sedimento branco. Durante todo o tempo o cheiro se mantinha discreto, sem ser desagradável. Lembrava bem o cheiro da mandioca fresca. A partir do sétimo

dia de aeração da porção inicial, esta era decantada durante 30 minutos, duas ou três vezes ao dia, a fim de se retirar uma parte do sobrenadante, substituindo-a por igual quantidade de efluente. A quantidade substituída era de 480 ml/1/24 horas, correspondendo a um período médio de aeração de 50 horas. O líquido passou a ficar algo pegajoso, como se contivesse cola, pela decomposição hidrolítica do amido, produzindo dextrina. Após 10 dias de guardada na geladeira, a amostra inicial principiou a adquirir um cheiro ligeiramente ácido, de chucrute. O cheiro da amostra aerada permaneceu o tempo todo praticamente inalterado.

Análises feitas da amostra inicial e da tratada deram resultados decepcionantes: nenhuma redução de BOD, redução de 20% no oxigênio consumido. Apenas o resultado da destruição do ácido cianídrico foi satisfatório: de 95 mg/l passou a ser inferior a 10 mg/l, com uma redução de 90%. De resto, a cor era amarela, leitosa. Ao fim de 12 dias de aeração, a experiência foi abandonada. Havia-se formado uma quantidade de lodo de 160 ml/l, após 1 hora de sedimentação. Este lodo foi o indício seguro da exequibilidade do tratamento biológico, apesar de os resultados, sob o ponto de vista sanitário, terem sido dos mais precários.

Uma segunda série de experiências foi iniciada mais tarde. Nesta série sempre se trabalhou com efluentes decantados pelo menos durante uma hora, e quando possível, mais ainda. Ao contrário da primeira série, em que a cultura de microrganismos se formou espontaneamente, na segunda série procurou-se influir diretamente sobre o meio para produzir uma seleção artificial. Não cabe neste trabalho uma descrição da aclimação das culturas. Entretanto, em poucas palavras, pode ser dito que foram juntados ao meio componentes de esgoto doméstico, para introduzir novas espécies de microrganismos, bem como foi feita a adição de compostos proteicos, como carne e leite em pó. Também foi feita a correção de pH, pela adição de carbonato de cálcio. O resultado não veio imediatamente, mas após algumas semanas de aeração contínua pôde-se observar alguns fenômenos animadores, especialmente a formação de boa quantidade de lodo, a eliminação do cheiro de mandioca e a correção espontâ-

nea de pH, quando adicionadas novas quantidades de resíduos ácidos.

6. DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS.

Para ter certeza que os lódos não continham mais os aditivos estranhos (carne, leite em pó, carbonato de cálcio), após consecução de um pH próximo de 9, a amostra foi deixada em repouso durante duas horas. O líquido sobrenadante foi sifonado com cuidado para outro recipiente, e o lodo depositado foi lançado fora. Voltou depois o líquido sobrenadante, a ser aerado, de mistura com uma quantidade de efluente suficiente para substituir o volume deixado pelo lodo rejeitado. Já após 24 horas tinha havido formação de pequena quantidade de lodo. Entretanto passou a se formar grande quantidade de espuma pegajosa, com sensação de cola ao tacto. Ao mesmo tempo se desprendia um leve cheiro caseoso. O pH se mantinha constantemente abaixo de 5, o que, naturalmente, nenhuma alegria causava ao autor desta pesquisa. Finalmente, após várias substituições de lodo e de sobrenadante, a massa líquida foi mantida a mesma, sem novas adições ou supressões, durante uma semana.

Decorrido este tempo, a massa líquida, que originalmente era de cor e aspecto de café com leite, passou a escurecer gradativamente. Ao mesmo tempo o pH, que era controlado periodicamente por meio de papel indicador, se elevava lentamente. 24 horas após o início do escurecimento, o pH estava em volta de 7, e mais 24 horas após, encontrava-se em 8,5. Neste ponto a cor da massa líquida era cinzenta escura.

Decantada a amostra durante uma hora, e substituído o sobrenadante por igual volume de efluente, o lodo cinzento em poucos minutos se tornava de cor de café com leite, como era no início, baixando o pH para 4,5. Após cerca de 50 horas de aeração, o pH estava novamente acima de 8, e o líquido havia retomado a cor cinzenta. Este ciclo foi repetido várias vezes.

7. EFICIÊNCIA DO PROCESSO. Ao fim de um dos ciclos, ao ter o pH ascendido acima de 8, foi retirada uma amostra de sobrenadante de líquido decantado durante uma hora, junto com outra de despejo também decantado, sendo ambas analisadas em um laboratório especializado. Seguem os resultados principais:

	Despejo bruto decantado	Amostra tratada, decantada	% de redução
Côr	Amarelada	Pardacenta	—
Turbidez (escala de sílica)	500 mg/l	700 mg/l	Negativa
pH	4,0	9,1	—
Sólidos totais	3017 mg/l	902 mg/l	70%
Sólidos totais fixos	467 mg/l	321 mg/l	31%
Sólidos totais voláteis	2550 mg/l	581 mg/l	77%
Oxigênio consumido (KMnO ₄)	3000 mg/l	640 mg/l	79%
BOD (5 dias, 20°C)	6900 mg/l	apr. 150 mg/l	98%

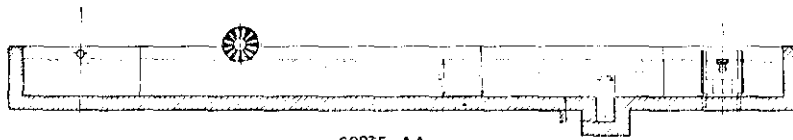
Os resultados falam por si, mostrando a elevada eficiência do processo, ao menos dentro dos limites da experiência.

Há que fazer uma observação importante: sob o ponto de vista estético, não há melhoria no aspecto do efluente tratado em relação ao líquido original; ao contrário, a cor se torna mais acentuada, e a turbidez é muito mais elevada que antes do tratamento. Quanto ao efeito visual, portanto, o processo de oxidação biológica é um fracasso. Entretanto parece-me

que o efeito sanitário deva prevalecer sobre o estético.

8. CONCLUSÕES PRELIMINARES.

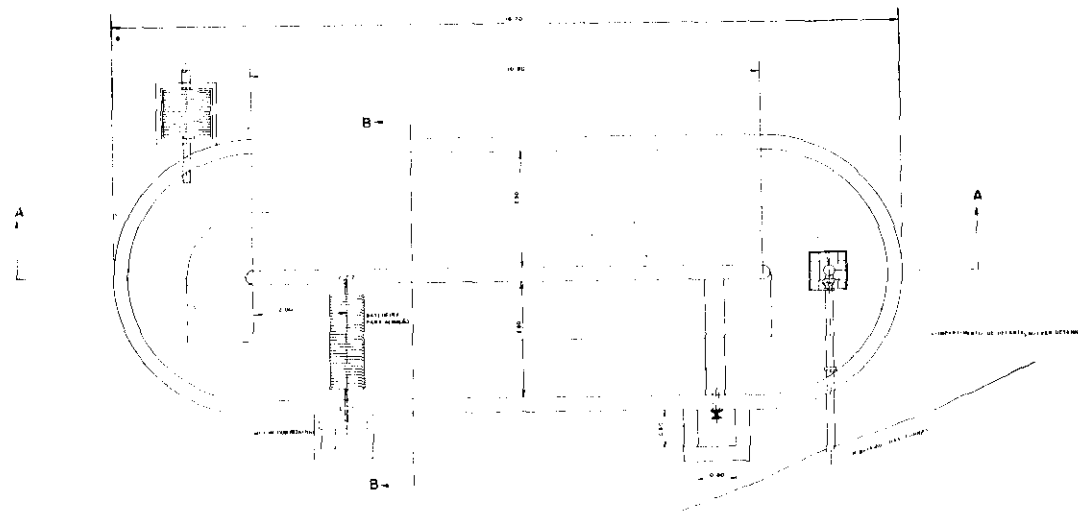
Ainda é cedo para tirar conclusões finais. Somente após o funcionamento das primeiras estações de tratamento em escala industrial, em fase de construção, é que se pode dizer se é lícito extrapolar os números obtidos. Possivelmente deverão ser feitos muitos ajustes, modificações e acréscimos nas futuras instalações.



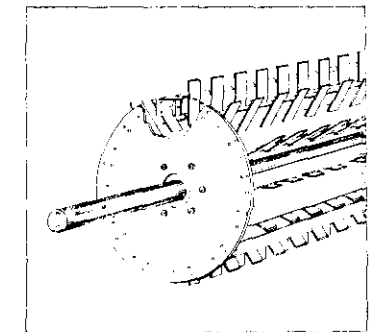
CORTE A A



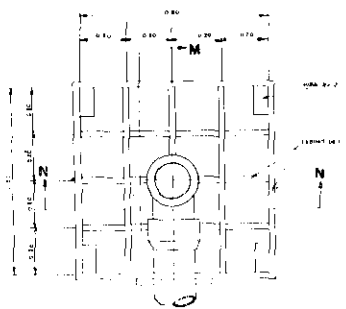
CORTE B B



PLANTA

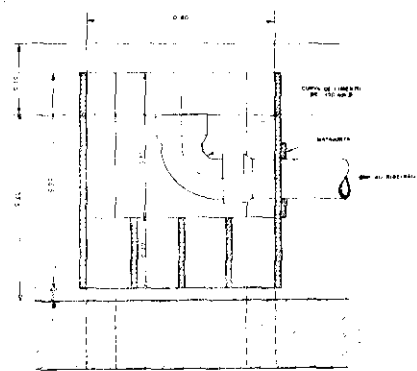


BATEDORA ADEQUADA PARA O USO DE FLOCULANTES PATENTE FRODOLOTT (ALEMÃ) N.º 22.353.881 N.º 22.353.882 N.º 22.353.883 N.º 22.353.884 N.º 22.353.885 N.º 22.353.886 N.º 22.353.887 N.º 22.353.888 N.º 22.353.889 N.º 22.353.890 N.º 22.353.891 N.º 22.353.892 N.º 22.353.893 N.º 22.353.894 N.º 22.353.895 N.º 22.353.896 N.º 22.353.897 N.º 22.353.898 N.º 22.353.899 N.º 22.353.900

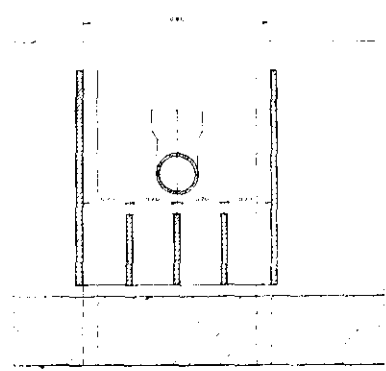


PLANTA

COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO



CORTE M M



CORTE N N

FECULARIA SÃO JOSÉ
(ARARAS)

VALO DE OXIDAÇÃO

PROJETO: ENG.º MAX LOTHAR HESS

Entretanto pode-se dizer que, pelo menos qualitativamente, ficou demonstrada a exequibilidade do tratamento de efluentes de fecularias de mandioca por oxidação biológica.

O mecanismo da atividade biológica será investigado no futuro. É um trabalho que demandará meses ou mesmo anos, devido à sua evidente complexidade.

Pode-se adiantar que os fenômenos são de natureza enzimática, como, aliás, não poderia deixar de ser. Pelo menos duas enzimas podem ser identificadas preliminarmente, através do resultado de sua ação: a amilase, agindo em pH baixo, transformando o amido em dextrina, solubilizando-o; e, na fase final, uma oxidase, responsável pela coloração escura do lodo, agindo em ambiente neutro ou alcalino. Como é sabido, a mandioca escurece ao ar sob influência da oxidase, enzima esta segregada pelas próprias células das raízes. Este fenômeno de oxidação se verifica também com as batatas e grande número de frutos, como a banana, a maçã e outras, que escurecem ao ar quando descascados.

A presença de oxidase na fase sólida (lodo) é indicativa também de que os microrganismos do meio se encontram em fase de lise, ou respiração endógena, que se verifica toda a vez em que o substrato se torna muito diluído, com falta de substâncias nutritivas para toda a massa de microrganismos presentes. Este estado de lise é necessário quando se pretende uma disposição do lodo sem digestão, pois neste caso a própria matéria orgânica dos microrganismos entra em estabilização, isto é, alguns microrganismos se alimentam com a matéria orgânica proveniente dos outros.

Na prática, este estado de respiração endógena aparece quando se mantém a idade do lodo elevada, de mais de cinco dias. Há instalações em que a idade do lodo se mantém em volta de um a três meses, o que resulta em um elevado teor de sólidos nas câmaras de aeração. Este teor chega a ser trinta vezes superior ao dos tanques de aeração no processo de lodos ativados convencionais, ao qual o processo aqui empregado se assemelha. Entretanto o número de células vivas por

unidade de massa seca é muito menor no caso de estado de lise. O lodo está bastante estabilizado, seca com facilidade e não desprende maus odores, dispensando ulterior condicionamento. Esta técnica corresponde à oxidação biológica tanto da fase líquida quanto dos sólidos, e tem sido por isto chamada imprópriamente de "oxidação total".

9. CONTRÔLE DE OPERAÇÃO. Pelo exposto, pode-se concluir que a coloração cinzenta que aparece no líquido durante o tratamento põe à disposição do operador um meio simples e seguro de verificação das condições ótimas de funcionamento da instalação. Se a coloração se tornar clara, amarelada, está havendo sobrecarga da instalação, ou o pH baixou por alguma razão a ser corrigida. Em pH baixo dever-se-á também ter um problema sério de formação de espuma. É um consolo saber que, pelo menos em escala de laboratório, uma vez conseguida a cultura apropriada de microrganismos, as condições ótimas sempre se restabeleceram automaticamente, bastando esperar um tempo mais ou menos longo — de 2 a 10 dias.

Mantida então a coloração cinzenta do líquido no tanque de aeração, não haverá necessidade de medir coisa alguma. É de se notar que esta coloração se deve exclusivamente ao lodo; o líquido decantado tem coloração pardacenta, provavelmente devido à presença de argila que vem aderente às raízes, e que se encontra sempre nas águas do lavador.

10. TRATAMENTO DAS ÁGUAS DAS PRENSAS. Até aqui se falou sempre de despejos combinados, com uma parte de água das prensas diluída com seis partes de água do lavador.

Em continuação a esses trabalhos foi investigada a possibilidade da estabilização aeróbia das águas da prensa "in natura", isto é, sem mistura com as outras. Os resultados foram surpreendentes: apesar do elevado teor de sólidos voláteis, da ordem de 60 000 mg/l, conseguiu-se uma estabilização semelhante à obtida na série anterior, de despejos combinados. Seguem os resultados:

	Água das prensas, decantada	Amostra tratada, decantada	% de redução
Cór	Amarelada	Marron claro	—
Turbidez (escala de sílica)	550 mg/l	1 500 mg/l	Negativa
pH	4,5	9,0	—
Sólidos totais	67 105 mg/l	16 520 mg/l	75%
Sólidos totais fixos	7 830 mg/l	6 235 mg/l	20%
Sólidos totais voláteis	59 275 mg/l	10 285 mg/l	83%
Oxigênio consumido (KMnO ₄)	7 500 mg/l	650 mg/l	91%
BOD (5 dias, 20°C)	29 000 mg/l	1 300 mg/l	96%

Para se conseguir tal redução, entretanto, foram necessários períodos de aeração muito mais longos, de 250 horas (aproximadamente 10 dias). Pode parecer muita coisa, mas se se levar em consideração a pequena quantidade de águas das prensas, um tanque de aeração para o tratamento biológico destas, teria uma capacidade de apenas 2,5 m³ por tonelada diária de mandioca beneficiada. Uma indústria que elabore por dia 50 toneladas de raízes teria um tanque de aeração de 125 m³ para a água das prensas. Para os despejos combinados, esta capacidade seria de 200 m³, para 50 horas de aeração.

11. APLICAÇÃO EM ESCALA NORMAL. Como já foi exposto no início do presente trabalho, foram projetadas instalações de tratamento biológico de resíduos industriais para onze fábricas de produtos de mandioca, algumas das quais em fase de construção, porém nenhuma ainda em funcionamento.

As unidades de tratamento são muito simples, constantes essencialmente de um valo de oxidação. Este tipo de tratamento já está sendo empregado com sucesso em fecularias de batatas na Holanda, e não posso entrever motivo algum para que o mesmo não suceda com as nossas fecularias de mandioca. Os resultados dos ensaios de laboratório o confirmam.

Na figura anexa reproduz-se o desenho principal de uma instalação para uma pequena fecularia, com beneficiamento de 12 toneladas de mandioca por dia. O valo de oxidação foi dimensionado para um período de aeração de 72 horas. A decantação do efluente é feita no interior do valo, através de uma câmara celular, de movimento ascendente, com taxa de aplicação de 0,6 l/s/m², suficiente para

reter com segurança a quase totalidade dos flocos formados.

A aeração e a agitação do meio serão operadas através de um rotor de palhetas, de eixo horizontal, tipo holandês "T.N.O.", e será construído na própria oficina da indústria. O tanque de aeração será de alvenaria, a câmara celular, de madeira. O custo da obra está orçado em cerca de Cr\$ 300.000,00, com exclusão das canalizações.

12. CONCLUSÃO. À vista dos trabalhos relatados é lícito esperar que o tratamento dos resíduos industriais líquidos de indústrias de produtos de mandioca por meio de oxidação biológica seja a solução adequada para a salvação dos nossos cursos d'água poluídos por êsses despejos.

Cabe um agradecimento ao prezado colega eng.º Armando Fonzari Pera, pela sua cooperação desinteressada no presente trabalho.

SUMMARY

The industrial wastes resulting from the manufacture of cassava meal and tapioca from *Manihot esculenta* roots have a high content of dissolved and colloidal matter which have to be removed for stream pollution control purposes. The milky juice of the roots has a BOD as high as 30 000 mg/l, a volatile solids content of 60 000 mg/l, and 250 mg/l of hydrocyanic acid. Laboratory tests run during several months showed the feasibility of biological oxidation of these wastes by means of the extended aeration process. The reduction obtained was over 95% of BOD, over 80% of volatile solids and almost all of the hydrocyanic acid. Aeration time ranged from 50 to 250 hours. Some lowpriced treatment plants consisting of oxidation ditches are under construction at the State of São Paulo, Brazil.