

LUIZ ALEXANDRE GARCIA ALEIXO

**RAIOS DE ESPALHAMENTO DO ÓLEO EM MEIO
AQUÁTICO – SIMULAÇÕES E CÁLCULOS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Doutor em
Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. Toshi-ichi Tachibana

V. 2

São Paulo

2004

OK

SUMÁRIO

Resumo

Abstract

1- CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.1- Motivação.....	2
1.2- Revisão bibliográfica.....	4
2- FONTES DE INTRODUÇÃO DE ÓLEO NO AMBIENTE AQUÁTICO.....	26
2. 1- Tipos de agressão ao ambiente aquático.....	27
2. 2- Formas de introdução de óleo gerando poluição.....	31
2. 2. 1- Acidente com o Prestige.....	35
2. 2. 2- Caracterização dos acidentes.....	37
2. 3- Acidentes no Brasil.....	39
2. 4- Custo da poluição por óleo.....	41
3- DERRAMAMENTOS DE ÓLEO: DESTINO, EFEITOS E FORMAS DE ATUAÇÃO.....	42
3.1- Destino do óleo derramado.....	44
3.2- Efeitos do derramamento.....	48
3.3- Mecanismos de Resposta a um Derramamento de Óleo.....	52
4- MODELAGEM, MODELO E RESOLUÇÃO NUMÉRICA DO ESPALHAMENTO DE ÓLEO.....	64
4.1- Lei de Darcy.....	70

4.2- Fluxo dispersivo – Lei de Fick.....	72
4.3- Equação de transporte de massa para misturas multicomponentes.....	75
4.4- Modelo Proposto.....	77
4.5- Objetivos.....	79
4.6- Considerações Sobre o Método dos Elementos Finitos.....	79
4.7- Resolução Numérica do Modelo Apresentado.....	81
5- ENSAIOS EM MODELO EXPERIMENTAL.....	86
5.1- Considerações sobre o espectro de ondas do mar.....	87
5.2- Equipamentos e materiais utilizados.....	88
5.3- Procedimento experimental.....	96
5.4- Técnicas de análise de imagens.....	107
6. DISCUSSÃO.....	109
7. CONCLUSÕES.....	125
ANEXOS.....	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243

Apêndices

Degradação por Biorremediação, Dispersantes Químicos e Queima Intencional

C.1- Aplicação de Microorganismos (Biorremediação)

O óleo, como muitas outras substâncias orgânicas, depois de certo período de tempo, se decompõe em substâncias mais simples como dióxido de carbono, água e biomassa. Biorremediação é o termo utilizado para uma série de processos que podem ser usados para acelerar a biodegradação. Mais especificamente, a bioestimulação é a aplicação de nutrientes no local afetado e a sementeira é a adição direta de microorganismos no local. Em BRADDOCK et al (1995), ATLAS (1995) e BOUFADEL (2000) são discutidos os métodos de utilização e aplicabilidade da biorremediação.

Performance e Limitações

É possível que a biodegradação tenha um grande papel em situações de esgotamento severo de nutrientes. No tocante a isso, muitas perguntas continuam sem resposta em torno do custo/benefício do processo e dos danos ao meio ambiente, de forma que nenhuma conclusão concreta pode ser feita sobre a viabilidade desse processo.

Embora o conceito da biorremediação seja atraente, o seu uso é restrito e deve ser cuidadosamente avaliado, pois qualquer material adicionado ao óleo tende a ser diluído rapidamente e afastado da mancha. Outro problema é a lentidão do processo. Mesmo acelerando-se o processo por meios já citados, a velocidade é muito pequena, muitas vezes insuficiente para prevenir que o óleo chegue à costa ou mesmo cause outros desastres já citados.

A degradação natural do óleo pode ser convenientemente acelerada quando a biodegradação é feita em experimentos em terra, o *'landfarming'*. Dessa forma, os fatores físicos, químicos e biológicos que afetam o processo podem ser cuidadosamente controlados de forma a alcançarem níveis ideais. A utilização desse tipo de experimento é um tanto controverso, pois o mesmo controle não pode ser reproduzido em escala real.

O oxigênio necessário para a decomposição ocorrer é o existente na interface óleo-água. Por isso a biodegradação seria maior se o óleo estivesse disperso na água ou em uma fina camada sobre sedimentos. O uso da biodegradação não é, portanto, indicado para a remoção de grandes quantidades de óleo, mas sim para as pequenas, ou simplesmente como uma limpeza final, como um refino de outro método anteriormente usado. Em praias fortemente poluídas, deve-se retirar grande parte do óleo antes de começar a biodegradação. Em KOSE et al (2003) e PALITTAPONGARNPIM et al (1998) são relatados os processos de biodegradação.

Em todos os casos, a eficiência da biodegradação é limitada também por componentes complexos do óleo que ficam parcialmente decompostos ou até mesmo íntegros. Resinas e asfalto são exemplos desses componentes que têm sua degradação muito lenta.

Métodos de Aplicação

A biodegradação ocorre por meio da oxidação de certos componentes do óleo por bactérias, fungos, seres unicelulares, algas e protozoários. Os fatores limitantes desse processo incluem a temperatura, a quantidade de microorganismos, nutrientes e oxigênio presente no ambiente, além da composição química e o quanto o óleo foi exposto a fatores climáticos e marinhos, BENKA-COKER; EKUNDAYO (1997).

Para funcionar eficientemente, os microorganismos necessitam de uma quantidade suficiente de carbono, nitrogênio e fósforo. Os níveis relativos dessas substâncias são definidos como a razão C:N:P, PRINCE (1997). Quando um derramamento ocorre, uma enorme quantidade de carbono é jogada no mar, fazendo cair a proporção de nitrogênio e fósforo. A bioestimulação, por intermédio da aplicação de certos produtos, equilibra os níveis das substâncias citadas e permite um melhor ambiente para os seres degradantes, o que acelera todo o processo de decomposição do óleo.

Em BOOPATHY (2000), TSUTSUMI et al (2000), GOGOI et al (2003) são tratados os procedimentos de bioestimulação e as condições necessárias ao processo de biorremediação.

Os seres decompositores de óleo estão distribuídos por todas as regiões costeiras pelo mundo afora, mas são mais abundantes em águas constantemente poluídas como as que recebem resíduos industriais e esgoto não tratado. Nessas áreas a adição desses organismos não se faz necessária, mesmo onde a concentração dos decompositores é mais baixa, a semeadura não iria aumentar significativamente a eficiência do processo, RAGHAVAN; VIVEKANANDAN (1999).

Alguns produtos encontrados no comércio combinam seres decompositores colhidos em certas partes do globo com nutrientes suplementares. Sua utilização pode causar discussões sobre a provável introdução de espécies estranhas em alguns ambientes, resultando em grandes impactos. Embora essa possibilidade exista, não há relatos nesse sentido e sim sobre experiências evidenciando que na maioria das vezes esses microorganismos não competem com os preexistentes no local.

Mesmo sendo a biodegradação uma boa ferramenta, ela está longe de resolver o problema prontamente, pois a concentração de resíduos pós-degradação é a mesma usando ou não técnicas para a aceleração do processo, a diferença está no tempo da reação, que no primeiro caso é menor e mesmo assim, o tempo de espera é da ordem de meses.

Considerações Ambientais

Em ambientes sensíveis como salinas e regiões lodosas, a bioestimulação e a semeadura podem causar danos físicos e biológicos muito severos. A

semeadura excessiva pode alterar irreparavelmente essas áreas, pois introduz espécies estranhas no ambiente, alterando assim o equilíbrio da região. Portanto, a aplicação de produtos para se promover a biodegradação deve ser feita com muito critério, e os métodos utilizados devem ser estudados caso a caso variando de região para região.

C.2- Dispersantes Químicos

Os dispersantes químicos fazem parte de um grupo de substâncias criadas para serem pulverizadas nas manchas de óleo a fim de acelerar seu processo de dispersão. Quando não se pode recolher mecanicamente o óleo da superfície do mar, o uso dessas substâncias é muitas vezes a única solução para o problema. O seu emprego visa a diminuição do impacto ambiental causado pela camada de óleo flutuante na superfície marinha, como, por exemplo, danos a pássaros e a regiões litorâneas. Entretanto, o uso de dispersantes tem suas limitações e deve ser cuidadosamente controlado, além de estar sujeito a legislações regionais que variam de país a país. PAGE et al (2002) estudaram a ação dos dispersantes químicos e seus efeitos ecológicos.

Performance e Limitações

Quando ondas e ou outras turbulências do mar entram em contato com a mancha de óleo, esta começa a se desmanchar em pequenas gotas que são carregadas mar adentro. Este é o fenômeno natural de dispersão de toda mancha e a adição de dispersantes a ela somente acelera esse processo. São dois os componentes principais dos dispersantes: o solvente e o tensoativo.

Tensoativos são moléculas que têm afinidade por duas substâncias imiscíveis, agindo como uma interface entre elas, uma parte da molécula tem afinidade com as moléculas do óleo (hidrófoba), enquanto a outra tem com a água (hidrófila). Os detergentes comuns agem da mesma forma com a gordura a ser retirada de pratos e panelas.

Quando o dispersante entra em contato com o óleo, a tensão na interface dessas duas substâncias é reduzida, facilitando a formação de pequenas gotas de óleo de vários tamanhos que serão carregadas naturalmente do local. Uma espuma característica começará a se formar e a espalhar alguns minutos depois da aplicação e isso é sinal de uma dispersão eficaz. Outro fator importante no uso dos dispersantes é a sua distribuição sobre toda a superfície da mancha, que também é facilitada pela ação do solvente, este último faz a substância ter maior poder de penetração e espalhamento, ou seja, o solvente vai 'carregar' o tensoativo para os vários pontos da mancha, degradando a mesma, Figura C.1.

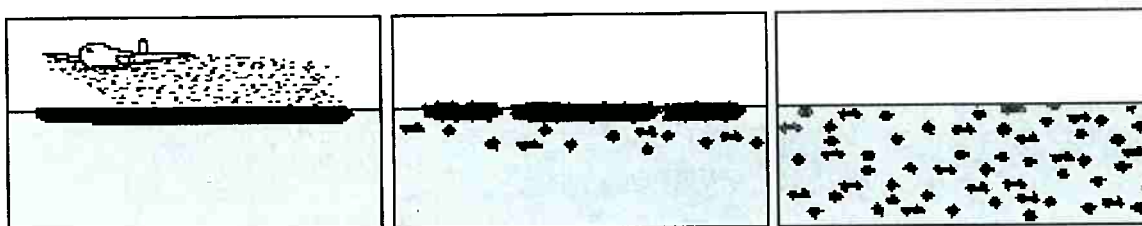


Figura C.1, Mecanismos de Dispersão numa Pulverização Aérea.

Os dispersantes possuem pouco efeito em líquidos muito viscosos, pois o tensoativo tende a escorregar para a água antes que o solvente o carregue para dentro do óleo. Geralmente, os dispersantes agem de maneira satisfatória em líquidos com viscosidades menores que 2000 centistokes, o que é

equivalente a um óleo combustível médio entre 10°C e 20 °C. Os solventes também são pouco eficientes em temperaturas não próximas à ambiente. Até mesmo os óleos que podem ser dispersos inicialmente, começam a apresentar resistência à dispersão depois de certo período de tempo. Isto se deve ao aumento da viscosidade, à evaporação e à emulsificação.

Para alguns óleos em particular, o tempo para que o dispersante perca a eficiência depende de fatores como o estado do mar e temperatura, mas dificilmente será maior que um dia ou dois. Os dispersantes podem, entretanto, ser mais eficientes com óleos mais viscosos em regiões costeiras, pois o tempo de contato entre eles pode ser maior, permitindo uma melhor penetração na mancha.

Existem três principais tipos de dispersantes:

- Tipo 1: Usam hidrocarbonetos como solventes com 15% a 25% de tensoativos. São pulverizados e não diluídos, pois a diluição na água do mar os torna ineficientes. A dosagem gira em torno de 1:1 e 1:3(razão dispersante / óleo).
- Tipo 2: São dispersantes diluíveis colocados em solução concentrada cujos solventes são álcool ou glicol com elevada concentração de tensoativos. A diluição geralmente é 1:10 com água do mar.
- Tipo 3: Também são soluções concentradas muito parecidas com os do tipo 2, porém, estes devem ser usados sem diluição em proporção entre 1:5 e 1:30 (razão dispersante / óleo).

Os do tipo 1 e 2 necessitam ser misturados ao óleo para produzirem uma dispersão mais eficiente, já os do tipo 3 não, o movimento natural das águas é suficiente para ativá-los. As baixas dosagens requeridas pelos tipos 2 e 3 fazem com que o uso do tipo 1 dificilmente ocorra.

Métodos de Aplicação

Há diversas maneiras de se fazer a aplicação dos dispersantes em mar aberto. Geralmente, embarcações menores são recomendadas para se lidar com vazamentos em portos e em áreas confinadas. Já aviões multi motores são melhores para se tratar de manchas maiores. Pequenos aviões, monomotores e helicópteros são os indicados para casos de vazamento em regiões praias. Para minimizar as perdas pela ação do vento, é necessária uma pulverização uniforme de gotas grandes, como uma chuva, ao invés de uma em forma de nuvem de vapor.

Outra possibilidade de aplicação é por intermédio de navios, que pulverizam o dispersante por uma série de bocais fixos nos *botalós* externos, pulverizando pelos *fire monitors* modificados. Num sistema típico, os *botalós* são montados o mais longe possível para assegurar que o dispersante seja aplicado a frente da onda de proa, o que ajuda na mistura do produto no óleo. As unidades de pulverização podem ser portáteis ou permanentemente instaladas na embarcação. O equipamento é disponibilizado para lançar o dispersante puro ou diluído, em último caso uma bomba d'água à parte se faz necessária.

Fire monitors somente podem ser usados para a aplicação de dispersantes diluídos. Quando usados, a vazão tem de ser monitorada para se evitem excessos na diluição ou a falta dela, e também com os *fire monitors* há uma tendência ao desperdício por causa da pequena área coberta pelo jato de produto. A vantagem desse sistema é a alta capacidade de bombeamento, o que permite a embarcação se mover com maior rapidez.

A aplicação por intermédio de embarcações possui a limitação de poder empregar pequenas quantidades de dispersante, devido à dificuldade de localização do óleo a partir da embarcação. Além disso, quando as porções de óleo se fragmentam, começam a ser dispersas, ou quando se amontoam em forma de fenda pela ação do vento, fica inevitável o despejo de dispersante em regiões já limpas. Esses problemas podem ser parcialmente resolvidos por meio da utilização de um plano panorâmico da região, sendo por isso necessária uma boa comunicação entre as equipes aérea e marítima.

Há ainda a pulverização aérea de dispersantes, que possui significativas vantagens sobre a feita por embarcações, pois é mais rápida, permite uma maior visibilidade da área afetada e do processo, possibilita efetuar o tratamento em áreas maiores e mais afastadas da costa, além de maior eficiência na aplicação do produto.

Dois tipos de aeronaves são usados neste tipo de operação: aeronaves usadas na agricultura para aplicação de pesticidas, que demandam poucas adaptações para o serviço, e outras já adaptadas para esse fim. Vários modelos de

helicópteros também são adaptados, embora a maioria possa carregar os recipientes contendo dispersante amarrados na sua parte inferior, não necessitando de nenhuma adaptação.

A decisão do tipo ideal de aeronave a ser usada na aplicação leva em conta o tamanho e a localização do derramamento, sendo a disponibilidade de uma aeronave um fator crucial. A autonomia, o consumo de combustível, o tempo de sobrevôo, a facilidade de carga e a capacidade de decolagem de pistas curtas ou improvisadas também são muito importantes. Por fim, a aeronave deve poder operar em altitudes baixas, a velocidades relativamente baixas (50-150 nós) e possuir boa manobrabilidade.

Somente os dispersantes do tipo três são adequados para a aplicação aérea, pois estes não precisam ser misturados ao óleo, o próprio movimento das águas já é suficiente, além de suas dosagens serem relativamente baixas.

Os dispersantes podem também ser aplicados em regiões costeiras como praias e pedreiras, particularmente nos estágios finais de limpeza. Entretanto é necessário primeiro remover, de alguma outra forma, a massa de óleo parado na praia. Em regiões costeiras sujeitas a ondas mais fortes, a ação dos dispersantes não se faz necessária, pois a própria ação do mar pode limpar a área, o uso deles, contudo, nestas regiões, somente deve ser feito em casos de urgência da remoção do óleo.

Os três tipos de dispersantes podem ser usados em regiões costeiras, embora aqueles que contenham hidrocarbonetos em sua fórmula sejam mais eficientes na ação em óleos mais viscosos devido à sua grande capacidade de penetração nos mesmos. DUKE et al (2000) analisaram o uso de dispersantes como uma estratégia à bioremediação relatada anteriormente.

Os equipamentos mais apropriados para este tipo de aplicação dependem do tipo de subsolo da região a ser limpa, da facilidade de acesso a ela e da escala da operação. Para pequenas praias de difícil acesso e enseadas, back-packs portáteis são os mais recomendados. Para áreas mais extensas, veículos construídos especialmente para esse fim e tratores são os mais apropriados.

Considerações Ambientais

O uso de dispersantes provocou, no passado, muita polêmica, pois seu emprego pode ser visto como a adição de outro poluente no mar, além do próprio óleo, devido à presença de hidrocarbonetos nos solventes. Porém, estudos mostram que o impacto ambiental decorrente de sua aplicação é pequeno, devido à baixa toxicidade dos dispersantes e da mistura óleo dispersantes conforme relatado por OKPOKWASILI; NNUBIA (1995).

A rápida diluição do dispersante na água, a proximidade de áreas mais delicadas em termos ambientais e a direção das correntes marinhas são fatores a serem considerados antes de se optar pelo uso de dispersantes, embora em mar aberto as concentrações do produto se tornem muito baixas horas depois de seu emprego e o risco de dano à vida marinha seja quase

nulo. Em águas rasas perto da costa, onde é mais difícil a dispersão, maiores concentrações podem persistir por mais tempo e causar danos ao ambiente. Em contrapartida, o uso correto dessas substâncias pode ser muito benéfico para o ambiente, uma vez que reduz o dano causado pelo óleo a ambientes mais sensíveis adjacentes à mancha de óleo.

A decisão do uso ou não dos dispersantes em relação a outras soluções deve levar em conta a relação custo benefício e as prioridades de proteção ambiental. Algumas vezes a tentativa de proteger belezas costeiras como corais, pássaros marinhos e ambientes submarinos, pode acarretar grandes danos às áreas pesqueiras, sendo, por vezes, estes prejuízos bem maiores que os benefícios para o primeiro grupo.

Certos meios como *'water intakes'*, culturas marinhas ou áreas de desova de peixes são muito afetadas pelo dispersante e é muito difícil protegê-los da contaminação pelo óleo em dispersão; por isso, o uso desse produto deve ser evitado em regiões próximas a esses ambientes, mesmo que o risco de contaminação seja baixo. Um plano detalhado de contingência deve auxiliar na decisão da melhor alternativa para o problema.

C.3 - In-Situ Burning

'In-situ burning' é o termo dado ao processo de queima do óleo no mar no lugar exato do derramamento ou perto dele. Aparentemente é um método simples e capaz de remover uma grande quantidade de óleo da superfície marinha, mas

há muitos problemas envolvidos nessa técnica, limitando sua aplicação. São eles: a capacidade de queima da mancha, a manutenção das chamas, a geração exacerbada de fumaça e a possível formação de resíduos mais densos e muito viscosos que venham a submergir, além do perigo de explosão conforme relatam EVANS et al (2001) e NORDVIK (1995).

Performance e Limitações

A decisão de queimar ou não uma mancha no mar merece muita cautela, pois pode trazer problemas judiciais e muita polêmica. A distância do óleo à embarcação avariada, as regiões povoadas, a toxicidade da fumaça resultante, a composição do óleo e a probabilidade da queima ser bem sucedida, são considerações a serem feitas.

Uma bóia com combustível e um sistema de ignição são indispensáveis ao processo. Quando esses itens forem colocados em posição, o óleo já terá sido exposto aos efeitos atmosféricos por um tempo considerável, em torno de 25% dos compostos leves e médios já deverão ter evaporado. A perda das frações mais leves pela evaporação faz com que a ignição fique mais difícil, isso já acontece quando se perdem 20% das porções referidas. A queima também fica prejudicada por outros fatores como a formação de emulsões de óleo em água, além de sua fragmentação e dispersão da mancha em grandes áreas. WALAVALKAR; KULKARNI (2001) estudaram a queima de emulsões de água-em-óleo, modelaram as mesmas e fizeram diversos experimentos em laboratório para avaliar a temperatura mínima em que ocorre a combustão.

Métodos de aplicação

A ignição pode ser alcançada usando diversas técnicas, desde trapos embebidos em diesel até as mais sofisticadas como a *Helitorch*. Essa última consiste num lança chamas, fixo na parte inferior de um helicóptero, motivo pelo qual é considerado o mais seguro método, quando usado por pessoas especializadas. Em contrapartida, não é em todo lugar do globo que essa técnica está disponível.

Para uma queima bem sucedida, as bordas da mancha devem ter pelo menos de dois a três centímetros de espessura para evitar o comprometimento das chamas pelo resfriamento causado pelo vento e pelas águas marinhas. Contudo o espalhamento da mancha faz com que sua espessura seja, na maioria das vezes, muito inferior ao ideal. Esse fato pode ser corrigido por algum método de contenção que evite seu espalhamento, o que pode ocorrer naturalmente se a mancha encontrar uma massa de gelo ou até mesmo a costa, porém, vale lembrar que métodos de contenção por meio de bóias geralmente são muito complicados e demorados mesmo em condições climáticas ideais.

O estado do mar também é um fator limitante para o processo. Ondas pequenas diminuem a eficiência da queima e águas agitadas extinguem o fogo completamente. Uma vez acesa, a mancha precisa se manter em altas temperaturas para poder manter as chamas. Porém, devido à diminuição da espessura da mancha causada pela volatilização das frações mais leves, o

efeito resfriante das águas do mar e do vento poderá apagar o fogo. Por isso, uma quantidade significativa de óleo permanecerá não queimada.

Considerações ambientais

Uma grande quantidade de fumaça negra é produzida pela *in-situ burning*. No acidente a bordo do CASTILLO DE BELLVER (África do Sul, 1983), as nuvens negras resultaram numa chuva de óleo que atingiu fazendas situadas até 80km do local do acidente, contaminando ovelhas e culturas de trigo. Por sorte, a maioria do resíduo pôde ser posteriormente removida. Um acidente também levou a carga a bordo do AEGEAN SEA (Espanha, 1982) às chamas e provocou densas nuvens negras que se aproximaram de LA CORUÑA, causando pânico, evacuação da cidade e cobrindo suas construções de fuligem.

Esses dois acidentes ilustram muito bem as possíveis conseqüências que a queima do óleo pode trazer em relação às nuvens de fumaça perto de regiões habitadas. Isso demonstra que as preocupações com saúde e qualidade do ar são os maiores obstáculos para se conseguir uma autorização para o *in-situ burning* e que, em casos como esses, entende-se que outras técnicas de limpeza sejam mais apropriadas.

A consistência dos resíduos viscosos resultantes de queima se assemelha muito com a de doce de leite e por isso fica difícil a remoção até a costa. Além da consistência, a densidade dos resíduos é de importância ainda maior, pois alguns podem submergir e envenenar corais, ambientes mais profundos, além

de peixes e regiões próximas, pois podem ser levados por tempestades e correntes marítimas como aconteceu na explosão a bordo do BETELGEUSE (Irlanda, 1979) e do HAVEN (Itália, 1991). Outro exemplo foi o acidente com o HONAM JADE (Coreia do Sul, 1983) quando o óleo derramado pegou fogo e seus resíduos se depositaram no fundo do mar causando grande contaminação em áreas pesqueiras. Esse problema é particularmente complicado devido à dificuldade de remoção de resíduos submersos.

Modelos Atuais

A ocorrência de acidentes com óleo motivou a criação de formas de atuação e resposta perante os mesmos. Inicialmente, eram poucas possibilidades e de pequena eficácia, ou ainda prejudiciais (como alguns detergentes e a queima intencional). Não havia planos de contingência, impossibilitando a seleção do melhor mecanismo no momento da contenção do esparrame. Os primeiros trabalhos sobre o assunto foram realizados por STROOP (1927) e SMITH (1968). A Organização das Nações Unidas – ONU, que há muito tempo demonstrava interesse no assunto, em 1956 publicou o relatório sobre poluição marinha por óleo.

James A. Fay, um dos precursores no estudo da fluidodinâmica de derrames de petróleo, caracterizou o comportamento de uma mancha de petróleo a partir das forças que atuam no espalhamento, dividindo o fenômeno em três regimes, gravitacional–inercial, gravitacional–viscoso e viscoso–tensão superficial.

Em seus estudos, FAY (1969) correlacionou o tamanho de manchas unidimensionais ou circulares (modelo axi-simétrico), espalhando em águas totalmente calmas. Estas correlações foram determinadas separadamente para cada um dos regimes de espalhamento mencionados, fazendo um balanço entre as forças predominantes em cada fase. Posteriormente, revisou as fórmulas de espalhamento e acrescentou coeficientes obtidos empiricamente,

que melhoraram a capacidade preditiva obtida no seu trabalho inicial.

Mais recentemente ZHU; STRUNIN (2002) avaliaram a eficácia de barreiras, WEI et al (2003), os fatores mais importantes na atuação de absorventes, KATAYAMA et al (2003), a habilidade e capacidade de assimilação de petróleo por microorganismos e EVANS et al (2001) estudaram, em detalhes, a queima intencional. De forma mais abrangente VENTIKOS et al (2004) analisaram operacionalmente estes mecanismos.

Atualmente a escolha do conjunto de respostas mais apropriadas perante um derramamento de óleo é possível, apesar de complexa. Diversos autores estudam o assunto há anos, dando seqüência aos estudos iniciados por Fay e posteriormente retomados pelo mesmo. Estudos do estado-da-arte feitos por REED et al (1999) e por ASCE – Task Committee on Modeling Oil Spills of the Water Resources Engineering Division (1996) revelavam na ocasião a evolução alcançada.

Dados como localização, quantidade, tipo do óleo e condições climáticas, são necessários para um eficiente planejamento de atuação. Essas informações, há alguns anos atrás, eram passadas por rádio pelas embarcações, combinadas a processamento das informações em terra, para então chegar ao responsável pelas medidas de contenção. Comumente, durante o tempo gasto do acidente até a efetiva tentativa de contenção, o derramamento tomava proporções maiores e mudava significativamente suas características.

A tecnologia disponível nos dias de hoje permite a utilização de programas de monitoramento via satélite dos oceanos, como os descritos por FRATE et al (2000), ZHENG et al (2000), FRANCESCHETTI (2002) e por GUILLEN et al (2004), agilizando o processo de identificação do derramamento e a contingência do mesmo.

Os modelos atuais são baseados em enfoques Lagrangeanos ou Eulerianos, que quantificam todos os fenômenos que acontecem em um derrame. Combinam vários tipos de modelos e procuram, geralmente, avaliar a dispersão e o espalhamento da mancha. Alguns incluem modelos de comportamento considerando a evaporação, a emulsificação e etc., bem como a forma com que estes fenômenos influem, por intermédio da transferência de massa, na trajetória da mancha.

D.1- Modelos Lagrangeanos

Geralmente são baseados na hipótese de que a mancha pode ser dividida em pequenas parcelas que não interagem umas com outras. A trajetória das parcelas é calculada a partir de uma velocidade total de arraste, que é função da velocidade do vento e das correntes. A posição de cada parcela é calculada ao longo do tempo, a partir da posição inicial.

Uma vez conhecidas as trajetórias das parcelas, existem, segundo o ASCE (1996), duas formas de avaliar o espalhamento, geralmente por intermédio das fórmulas deduzidas por Fay ou adaptações das mesmas. Uma é avaliar cada parcela como se fosse uma pequena mancha se espalhando axi-

simetricamente, e outra é reconstruir a mancha e aplicar as fórmulas de espalhamento unidimensional ou axi-simétrico, dependendo do aspecto da mancha. Se a mancha for alongada, será dividida em pequenas fatias às quais serão aplicadas as fórmulas de espalhamento unidimensional, se for aproximadamente circular será dividida em porções com forma de setor circular e as fórmulas de espalhamento axi-simétrico serão aplicadas a cada porção.

As fórmulas de espalhamento foram deduzidas para manchas com formas idealizadas (circulares ou retangulares), com o espalhamento nas pequenas parcelas podendo ser considerado unidimensional ou axi-simétrico. Uma vez conhecidas as novas posições das parcelas e o quanto cada uma espalhou, é possível, então, recalcular a superfície total da mancha, considerada a transferência de massa ao meio por evaporação, floculação, diluição, etc.

D.2- Modelos Eulerianos

São baseados numa equação de advecção-difusão de espécies, utilizando como velocidade de advecção a velocidade de arraste, que é função da velocidade da água e do vento, enquanto os termos difusivos representam o espalhamento do óleo devido à gravidade e dispersão turbulenta. Estes modelos são válidos apenas na segunda fase do espalhamento, na qual as forças viscosas equilibram-se às de gravidade. Dentre estes modelos, um dos mais utilizados é o modelo da *Canadian Atmospheric Environment Service* (CAES). Em TKALICH (2003) é desenvolvido um modelo Euleriano para cálculo das conseqüências de um derramamento de óleo.

Modelos Atuais

A ocorrência de acidentes com óleo motivou a criação de formas de atuação e resposta perante os mesmos. Inicialmente, eram poucas possibilidades e de pequena eficácia, ou ainda prejudiciais (como alguns detergentes e a queima intencional). Não havia planos de contingência, impossibilitando a seleção do melhor mecanismo no momento da contenção do esparrame. Os primeiros trabalhos sobre o assunto foram realizados por STROOP (1927) e SMITH (1968). A Organização das Nações Unidas – ONU, que há muito tempo demonstrava interesse no assunto, em 1956 publicou o relatório sobre poluição marinha por óleo.

James A. Fay, um dos precursores no estudo da fluidodinâmica de derrames de petróleo, caracterizou o comportamento de uma mancha de petróleo a partir das forças que atuam no espalhamento, dividindo o fenômeno em três regimes, gravitacional–inercial, gravitacional–viscoso e viscoso–tensão superficial.

Em seus estudos, FAY (1969) correlacionou o tamanho de manchas unidimensionais ou circulares (modelo axi-simétrico), espalhando em águas totalmente calmas. Estas correlações foram determinadas separadamente para cada um dos regimes de espalhamento mencionados, fazendo um balanço entre as forças predominantes em cada fase. Posteriormente, revisou as fórmulas de espalhamento e acrescentou coeficientes obtidos empiricamente,

Resolução Numérica do Modelo por Elementos Finitos

Um dos mais importantes passos na formulação do método dos elementos finitos é a escolha da função de forma para a solução aproximada dos elementos e de seus contornos. Sendo o método dos elementos finitos um procedimento numérico necessita-se que o processo convirja para a solução verdadeira em cada elemento considerado, OLIVEIRA (1969). Para entender as restrições, que serão enunciadas a seguir, necessita-se da notação $C^{(i)}$, usada para expressar o grau de continuidade da variável campo, de cada lado do *elemento*:

- Se a variável campo é contínua ao longo do lado de inter-relacionamento dos lados (lados que se comunicam), diz-se que o elemento tem continuidade $C^{(0)}$;
- Se a variável campo tem derivada primeira contínua no inter-relacionamento, diz-se que o elemento tem continuidade $C^{(1)}$;
- Se a variável campo tem derivada de ordem r contínua no inter-relacionamento, diz-se que o elemento tem continuidade $C^{(r)}$.

Deste modo, a formulação dos elementos finitos, que necessita da integração de um funcional para cada elemento e se tal funcional contém derivadas da variável

campo de ordem $(r + 1)$, então ela assume rigorosamente convergência, para cada elemento tomado pequeno, se as seguintes condições forem satisfeitas:

- 1 – Ao longo dos lados inter-relacionados deve-se ter continuidade $C^{(r)}$ e diz-se que os *elementos* usados são *compatíveis* ou *conformes*;
- 2 – No interior dos elementos deve-se ter continuidade $C^{(r+1)}$

Se as funções de forma satisfizerem as duas condições, os elementos usados serão chamados elementos completos.

Como, em geral, as funções de forma escolhidas são polinômios, tem-se que os elementos serão completos e, portanto, têm continuidade $C^{(\infty)}$, o que garante o emprego do método.

Desta maneira, será empregado o método de Galerkin, descrito no Apêndice IV, para resolver o problema da determinação da concentração, conforme descrito no capítulo 4, no qual foi apresentada a equação de advecção-difusão, como segue:

$$\frac{\partial C_{\alpha}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial x} + v \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial y} = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial y} \right) \right] + r_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \quad (\text{E.1})$$

Utilizando o método de Galerkin, com a função residual R , dada por:

$$R = \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial y} \right] - u \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial x} - v \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial y} - \frac{\partial C_{\alpha}}{\partial t} + r_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \quad (\text{E.2})$$

Nas equações E.1 e E.2, conforme definido no capítulo 5, os coeficientes u e v que representam as componentes da velocidade mássica média nas direções x e y , respectivamente, C_α representa a concentração de óleo na água e $D_{\alpha\beta}$ o coeficiente de difusão binária entre as espécies *óleo* e *água*, r_α representa a taxa de produção de massa de óleo por unidade de volume e o delta de Kronecker, $\delta(x - x_0, y - y_0)$, definido como:

$$\delta(x - x_0, y - y_0) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = 0 \\ 0, & \text{se } (x - x_0) \cdot (y - y_0) \neq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3})$$

A partir deste ponto, para facilitar a colocação das expressões e sua melhor compreensão, as funções que dependem das variáveis espaciais, como por exemplo $\Phi(x, y)$, $\Phi_i^{(e)}(x, y)$, etc. e aquelas que dependem do tempo ou das três, como $h^*(x, y, t)$, serão consideradas como Φ , $\Phi_i^{(e)}$, h^* e assim por diante.

Impondo que a função de ponderação Φ seja dada por:

$$\Phi(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 \cdot y + \alpha_4 \cdot xy \quad (\text{E.4})$$

Conforme definição dada no Apêndice IV, equação: APIV.11, do que resulta:

$$\int_{\Omega} R \cdot \Phi \cdot d\Omega = 0$$

$$\int_{\Omega} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial y} \right] - u \frac{\partial h^*}{\partial x} - v \frac{\partial h^*}{\partial y} - \frac{\partial h^*}{\partial t} + r_\alpha \delta(x - x_0, y - y_0) \right] \cdot \Phi \cdot d\Omega = 0 \quad (\text{E.5})$$

$$\begin{aligned}
&\Rightarrow \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial x} \right] \cdot \Phi_i \cdot d\Omega + \\
&+ \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial y} \right] \cdot \Phi_i \cdot d\Omega - \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} u \frac{\partial h^*}{\partial x} \cdot \Phi_i \cdot d\Omega - \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} v \frac{\partial h^*}{\partial y} \cdot \Phi_i \cdot d\Omega - \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial h^*}{\partial t} \cdot \Phi_i \cdot d\Omega \\
&+ \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} r_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \cdot \Phi_i \cdot d\Omega = 0
\end{aligned} \tag{E.6}$$

Para que se possa calcular estas integrais, as funções de forma devem ser contínuas sobre o domínio Ω . Mas a primeira derivada de $\Phi_L(x, y)$, $L = i, j, m$ e n , não é contínua pelo fato de $h^*(x, y)$ ter sido tomado como uma combinação linear destes valores. Portanto, não existe a segunda derivada nestes pontos de descontinuidade. Para resolver este problema, aplica-se o teorema de Gaus-Green, assim enunciado: " Sejam F , g , $\frac{\partial F}{\partial x}$ e $\frac{\partial g}{\partial x}$ funcionais contínuos no domínio fechado Ω , com fronteira Γ , então:

$$\iint_{\Omega} g \cdot \frac{\partial F}{\partial x} dx dy = \oint_{\Gamma} g \cdot F dy - \iint_{\Omega} \frac{\partial g}{\partial x} \cdot F dx dy \tag{E.7}$$

Utilizando apenas as duas expressões que possuem derivadas parciais de segunda ordem da equação E.6, pode-se escrever:

$$\begin{aligned}
&\sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial x} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial x} \right] \cdot \Phi_i \cdot d\Omega + \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial y} \left[D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial y} \right] \cdot \Phi_i \cdot d\Omega = \\
&= \oint_{\Gamma} D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial x} \Phi_i n_x d\Gamma - \int_{\Omega} D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial x} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} d\Omega + \\
&+ \oint_{\Gamma} D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial y} \Phi_i n_y d\Gamma - \int_{\Omega} D_{\alpha\beta} \frac{\partial h^*}{\partial y} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} d\Omega
\end{aligned} \tag{E.8}$$

Substituindo E.8 na equação E.6, juntamente com $h^* = \Phi_L H_L$, fornece:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \left[\int_{\Omega} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) d\Omega \right] \cdot H_L + \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} u \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \Phi_L H_L d\Omega + \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} v \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \Phi_L H_L d\Omega + \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial H_L}{\partial t} \Phi_i \Phi_L d\Omega - \\
& - \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} r_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_i \Phi_L d\Omega \\
& - \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \oint_{\Gamma} \left(\left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} \Phi_L \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \Phi_L \cdot n_y \right) \cdot H_L \right) d\Gamma = 0
\end{aligned} \tag{E.9}$$

Empregando a notação matricial:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \left[\int_{\Omega} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) d\Omega \right] \cdot H_L = [G] \cdot H; \tag{E.10}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} u \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \Phi_L H_L d\Omega + \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} v \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \Phi_L H_L d\Omega = [U] \cdot H \tag{E.11}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} \frac{\partial H_L}{\partial t} \Phi_i \Phi_L d\Omega = [B] \cdot \left\{ \frac{dH}{dt} \right\} \tag{E.12}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \int_{\Omega} r_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_i \cdot \Phi_L d\Omega + \\
& + \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \oint_{\Gamma} \left(\left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} \Phi_L \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \Phi_L \cdot n_y \right) \cdot H_L \right) d\Gamma = [F]
\end{aligned} \tag{E.13}$$

A equação E.9, pode ser escrita na forma matricial da seguinte maneira:

$$\left([G] + [U] \right) \cdot \{H\} + [B] \cdot \left\{ \frac{dH}{dt} \right\} = [F] \tag{E.14}$$

Onde cada elemento da matriz será expresso por

$$G_{L,i}^{(e)} = \int_e \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) dx dy \tag{E.15}$$

$$G_{L,j}^{(e)} = \int_e \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) dx dy \tag{E.16}$$

$$G_{L,m}^{(e)} = \int_e \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) dx dy \tag{E.17}$$

$$G_{L,n}^{(e)} = \int_e \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n}{\partial x} \frac{\partial \Phi_L}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n}{\partial y} \frac{\partial \Phi_L}{\partial y} \right) dx dy \tag{E.18}$$

$$U_{L,i}^{(e)} = \int_e \left(u \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \Phi_L + v \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \Phi_L \right) dx dy \quad (\text{E.19})$$

$$U_{L,j}^{(e)} = \int_e \left(u \frac{\partial \Phi_j}{\partial x} \Phi_L + v \frac{\partial \Phi_j}{\partial y} \Phi_L \right) dx dy \quad (\text{E.20})$$

$$U_{L,m}^{(e)} = \int_e \left(u \frac{\partial \Phi_m}{\partial x} \Phi_L + v \frac{\partial \Phi_m}{\partial y} \Phi_L \right) dx dy \quad (\text{E.21})$$

$$U_{L,n}^{(e)} = \int_e \left(u \frac{\partial \Phi_n}{\partial x} \Phi_L + v \frac{\partial \Phi_n}{\partial y} \Phi_L \right) dx dy \quad (\text{E.22})$$

$$P_{L,i}^{(e)} = \int_e \Phi_i \Phi_L dx dy \quad (\text{E.23})$$

$$P_{L,j}^{(e)} = \int_e \Phi_j \Phi_L dx dy \quad (\text{E.24})$$

$$P_{L,m}^{(e)} = \int_e \Phi_m \Phi_L dx dy \quad (\text{E.25})$$

$$P_{L,n}^{(e)} = \int_e \Phi_n \Phi_L dx dy \quad (\text{E.26})$$

$$\{H\} = \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \vdots \\ H_n \end{Bmatrix} \quad \left\{ \frac{dH}{dt} \right\} = \begin{Bmatrix} \frac{dH_1}{dt} \\ \frac{dH_2}{dt} \\ \vdots \\ \frac{dH_n}{dt} \end{Bmatrix} \quad (E.27)$$

Sendo [F] a matriz resultante da soma entre a parte da fronteira

$$\int \sum_{i=1}^n \sum_{L=1}^n \oint_{\Gamma} \left(\mathbf{D}_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \Phi_L \cdot \mathbf{n}_x + \mathbf{D}_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \Phi_L \cdot \mathbf{n}_y \right) d\Gamma \quad (E.28)$$

E com os termos independentes:

$$\sum_{L=1}^n \sum_{i=1}^n \int_e \Gamma_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_i \Phi_L dx dy \quad (E.29)$$

$$\sum_{L=1}^n \sum_{j=1}^n \int_e \Gamma_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_j \Phi_L dx dy \quad (E.30)$$

$$\sum_{L=1}^n \sum_{m=1}^n \int_e \Gamma_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_m \Phi_L dx dy \quad (E.31)$$

$$\sum_{L=1}^n \sum_{n=1}^n \int_e \Gamma_{\alpha} \delta(x - x_0, y - y_0) \Phi_n \Phi_L dx dy \quad (E.32)$$

Sendo, para cada uma das expressões, $L = i, j, m, e n$.

Para o cálculo das integrais, em um *elemento* (e), formado pelos nós i, j, m, e n, deve-se considerar como sentido de rotação, o sentido anti-horário. Além

disso, para facilitar os cálculos, será feita uma transformação de variáveis de x e y para k e p , expressa por:

$$x = k.a \text{ com } k \in [-1, 1] \quad \text{e} \quad y = p.b \text{ com } p \in [-1, 1]$$

Resultando:

$$dx = a dk \quad \text{e} \quad dz = b dp$$

Portanto, a integral dupla de uma $g(x,y)$ poderá ser expressa por:

$$\int_c \int_{-a-b}^{a,b} g(x,y) dx dy = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g(x,y) dx dy = a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 g^*(k,p) dk dp \quad (\text{E.33})$$

Onde $g^*(k,p)$ é a $g(x,y)$ expressa nas coordenadas k e p .

Assim, expressando as linhas de cada matriz:

Matriz [G^e]

$$\text{Linha 1} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i^e}{\partial z} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial z} \right) dk dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.34})$$

$$\text{Linha 2} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j^e}{\partial z} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial z} \right) dk dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.35})$$

$$\text{Linha 3} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m^e}{\partial z} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial z} \right) dk dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.36})$$

$$\text{Linha 4} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial x} + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n^e}{\partial z} \cdot \frac{\partial \Phi_l^e}{\partial z} \right) .dk.dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.37})$$

Matriz [P^e]

$$\text{Linha 1} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\Phi_i^e \cdot \Phi_l^e \right) .dk.dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.38})$$

$$\text{Linha 2} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\Phi_j^e \cdot \Phi_l^e \right) .dk.dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.39})$$

$$\text{Linha 3} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\Phi_m^e \cdot \Phi_l^e \right) .dk.dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.40})$$

$$\text{Linha 4} \quad a.b. \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\Phi_n^e \cdot \Phi_l^e \right) .dk.dp; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.41})$$

Matriz [F^e]

$$\text{Linha 1} \quad \oint_{\Gamma_e} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial x} \cdot \Phi_l \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_i}{\partial y} \cdot \Phi_l \cdot n_y \right) .d\Gamma_e; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.42})$$

$$\text{Linha 2} \quad \oint_{\Gamma_e} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j}{\partial x} \cdot \Phi_l \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_j}{\partial y} \cdot \Phi_l \cdot n_y \right) .d\Gamma_e; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.43})$$

$$\text{Linha 3} \quad \oint_{\Gamma_e} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m}{\partial x} \cdot \Phi_l \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_m}{\partial y} \cdot \Phi_l \cdot n_y \right) .d\Gamma_e; \quad \text{para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.44})$$

$$\text{Linha 4} \quad \oint_{\Gamma_e} \left(D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n}{\partial x} \cdot \Phi_l \cdot n_x + D_{\alpha\beta} \frac{\partial \Phi_n}{\partial y} \cdot \Phi_l \cdot n_y \right) d\Gamma_e; \text{ para } l = i, j, m \text{ e } n; \quad (\text{E.45})$$

Utilizando, para calcular a derivada de H^e , em relação ao tempo, o método das diferenças finitas, na forma:

$$\frac{dH^e}{dt} = \frac{1}{\Delta t} \cdot \{H^{t+\Delta t} - H^t\}^e \quad (\text{E.46})$$

Onde H^t é um valor conhecido e $H^{t+\Delta t}$ o valor a ser determinado no *elemento*

(e). Deste modo, o sistema de equações será expresso por:

$$\left([G^e] + [U^e] + \frac{1}{\Delta t} [P^e] \right) \cdot \{H^{t+\Delta t}\}^e = \left(\frac{1}{\Delta t} [P^e] + [F^e] \right) \cdot \{H^t\}^e + \{q^e\}. \quad (\text{E.47})$$

Para calcular os elementos de cada matriz, deve-se utilizar as funções de forma bem como as suas derivadas, dadas por:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_i^{(e)}}{\partial x} &= -\frac{1}{4a}(1-p) & \frac{\partial \Phi_i^{(e)}}{\partial y} &= -\frac{1}{4b}(1-k) \\ \frac{\partial \Phi_j^{(e)}}{\partial x} &= -\frac{1}{4a}(1+p) & \frac{\partial \Phi_j^{(e)}}{\partial y} &= \frac{1}{4b}(1-k) \end{aligned} \quad (\text{E.48})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_m^{(e)}}{\partial x} &= -\frac{1}{4a}(1+p) & \frac{\partial \Phi_m^{(e)}}{\partial y} &= \frac{1}{4b}(1+k) \\ \frac{\partial \Phi_n^{(e)}}{\partial x} &= -\frac{1}{4a}(1+p) & \frac{\partial \Phi_n^{(e)}}{\partial y} &= \frac{1}{4b}(1-k) \end{aligned} \quad (\text{E.49})$$

Fornecendo assim as matrizes de cada *elemento*:

$$[G^e] = \frac{D_{\alpha\beta} \cdot b}{6 \cdot a} \cdot \begin{bmatrix} 2 & -2 & -1 & 1 \\ -2 & 2 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 2 & -2 \\ 1 & -1 & -2 & 2 \end{bmatrix} + \frac{D_{\alpha\beta} \cdot a}{6 \cdot b} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 1 & -1 & -2 \\ 1 & 2 & -2 & -1 \\ -1 & -2 & 2 & 1 \\ -2 & -1 & 1 & 2 \end{bmatrix}; \quad (\text{E.50})$$

$$[P^e] = \frac{a \cdot b}{9} \cdot \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 4 \end{bmatrix} \quad (\text{E.51})$$

$$[U^e] = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -2ub - 2va & 2ub - va & ub + va & -ub + 2va \\ -2ub - va & 2ub - 2va & ub + 2va & -ub + va \\ -ub - va & ub - 2va & 2ub + 2va & -2ub + 2va \\ -ub - 2va & ub - va & 2ub + va & -2ub - 2va \end{bmatrix} \quad (\text{E.52})$$

Resultados da Simulação Numérica

Tabela F.1- Dados de entrada do programa principal

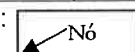
DADO	VALOR
COMPRIMENTO DO LADO X	1,1m
COMPRIMENTO DO LADO y	1,1m
NÚMERO DE NÓS EM X	56
NÚMERO DE NÓS EM Y	56
INTERVALO DE TEMPO DAS ITERAÇÕES	0,5s
VELOCIDADE ADVECTIVA SUPERFICIAL NA DIREÇÃO X	0 m/s
VELOCIDADE ADVECTIVA SUPERFICIAL NA DIREÇÃO Y	0,3 m/s
COEFICIENTE DE DIFUSÃO SUPERFICIAL NA DIREÇÃO X	0,0000654 m ² /s
COEFICIENTE DE DIFUSÃO SUPERFICIAL NA DIREÇÃO Y	0,0000654 m ² /s
NÓ IK DA FONTE DE ÓLEO	1539
CONCENTRAÇÃO INICIAL NA FONTE	100
NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES	1000

Nos Gráficos F.1 a F. 56, são representadas as concentrações obtidas na simulação numérica relatada no capítulo 4. Embora a escala vertical (eixo das concentrações) seja variável ao longo dos gráficos, a escala horizontal (eixo do tempo) é mantida inalterada. A flexibilidade adotada no eixo das concentrações teve por objetivo permitir a visualização da concentração mesmo para valores ínfimos.

Na Tabela F.1 foram relatados os dados de entrada do programa principal, cujo código é descrito no Anexo H. Ainda na mesma tabela, o nó da fonte de óleo é o de número 1539. Este nó está posicionado na grade (56 x 56) na mesma linha dos nós: 27, 83, ... , 3107, enquanto o nó 1 está posicionado na base da grade, da mesma forma que os nós: 57, 1457, ... , 3083, conforme Figura F.1 a seguir.

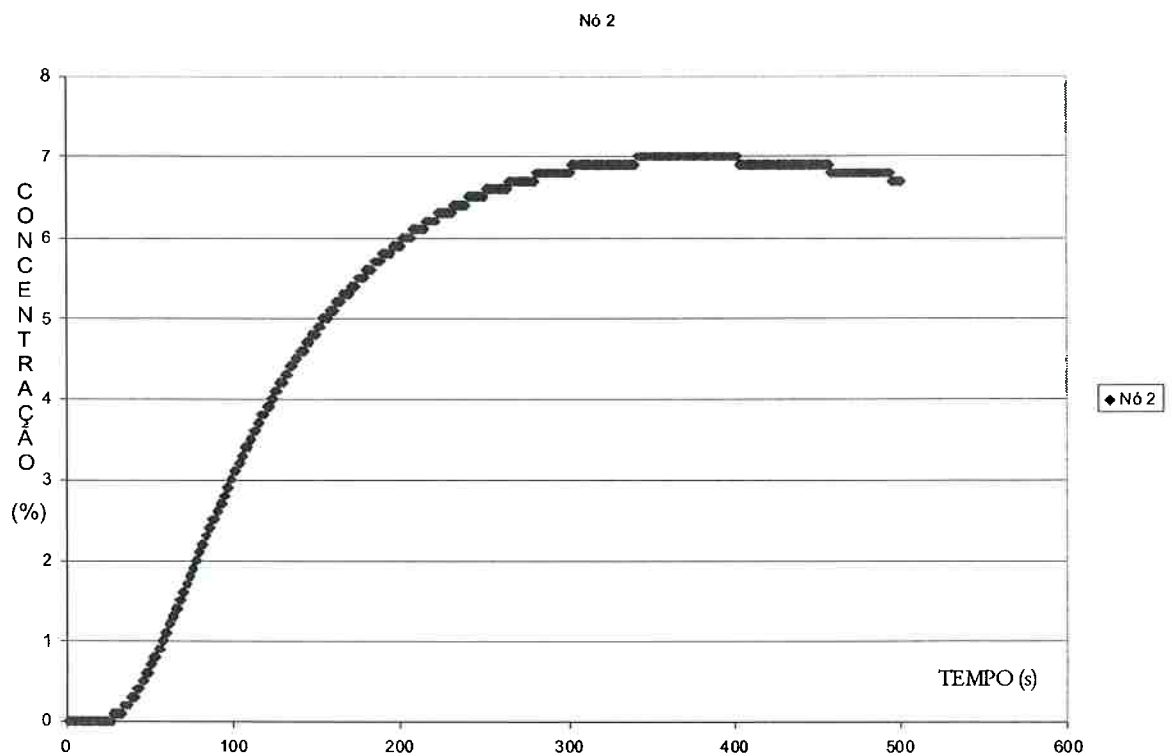
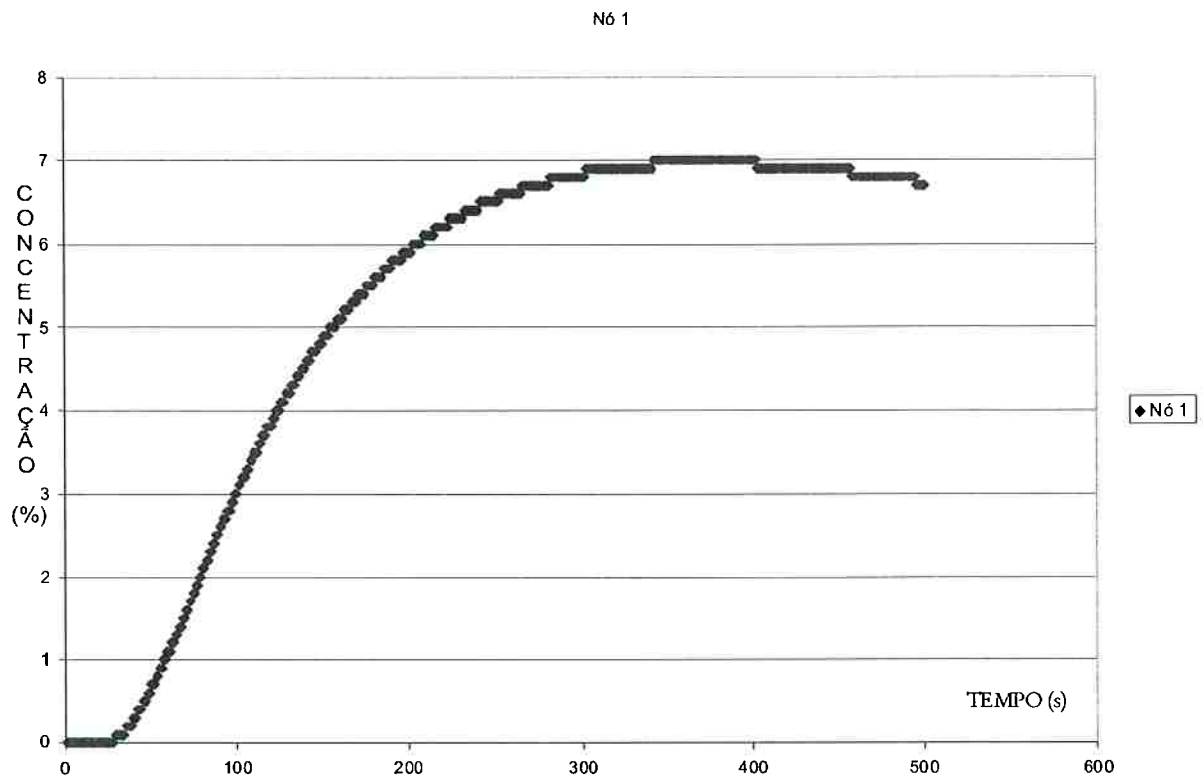
Col 1	Col 2			Col 27	Col 28	Col 29			Col 55	Col 56
56	112			1512	1568	1624			3080	3136
55	111		...	1511	1567	1623		...	3079	3135
54	110		...	1510	1566	1622		...	3078	3134
.
.
.
29	85		...	1485	1541	1597		...	3053	3109
28	84		...	1484	1540	1596		...	3052	3108
27	83		...	1483	1539	1595		...	3051	3107
26	82		...	1482	1538	1594		...	3050	3106
25	81		...	1481	1537	1593		...	3049	3105
.
.
.
2	58		...	1458	1514	1572		...	3028	3084
1	57		...	1457	1513	1571		...	3027	3083

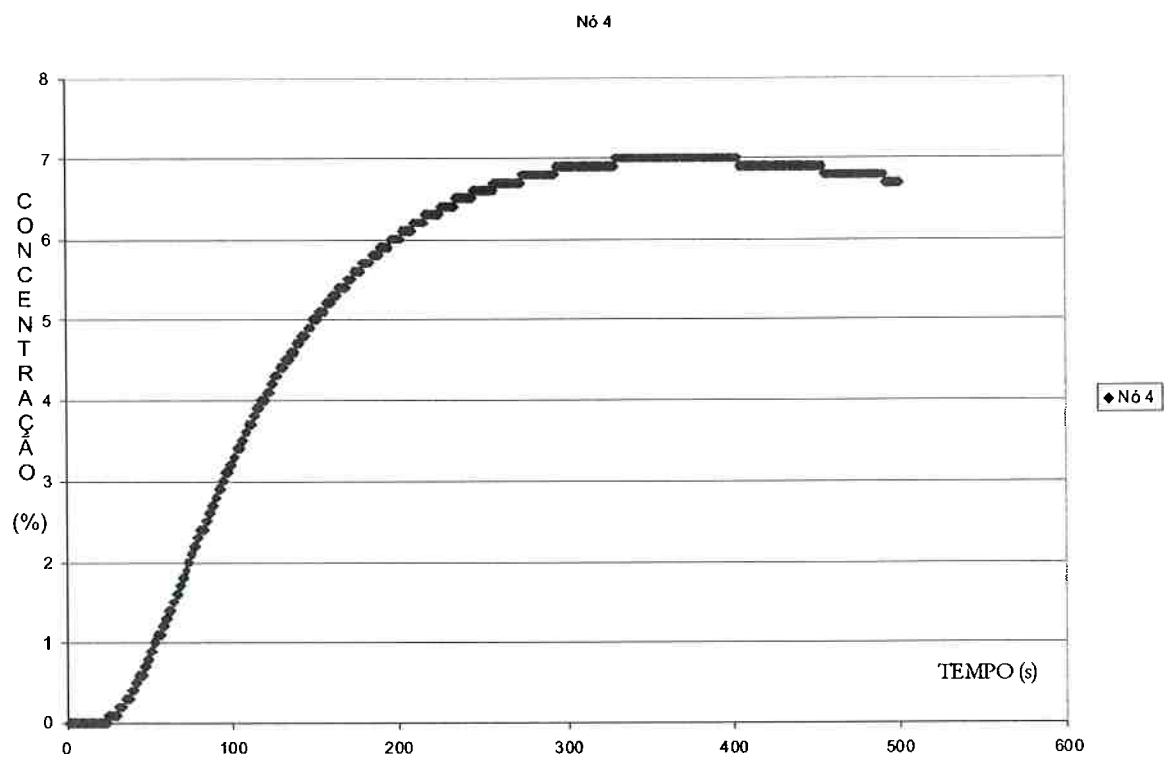
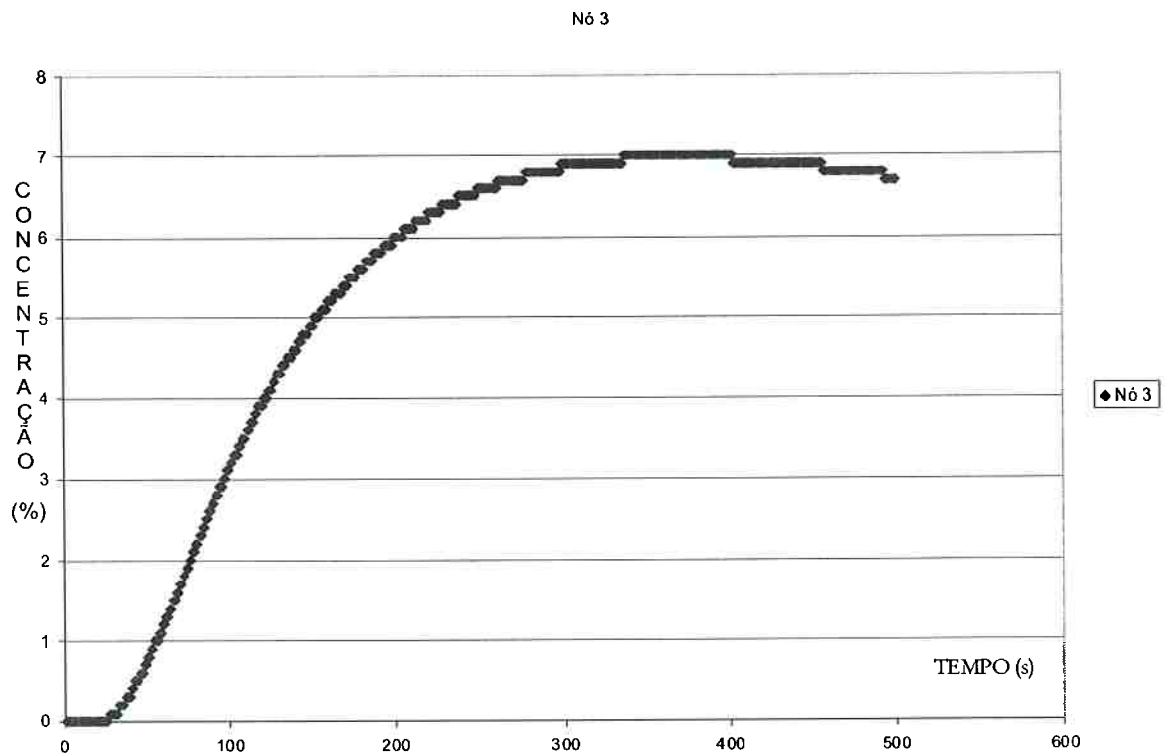
Figura F.1. Representação esquemática da grade adotada. Notação:

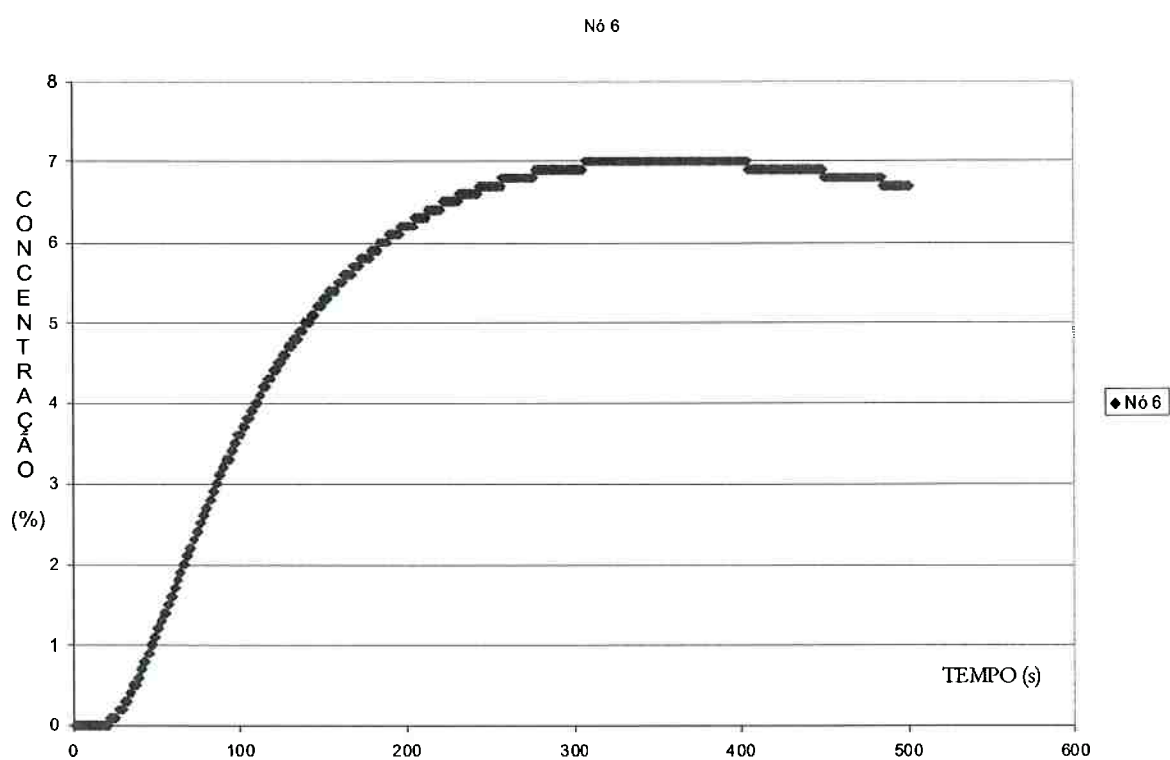
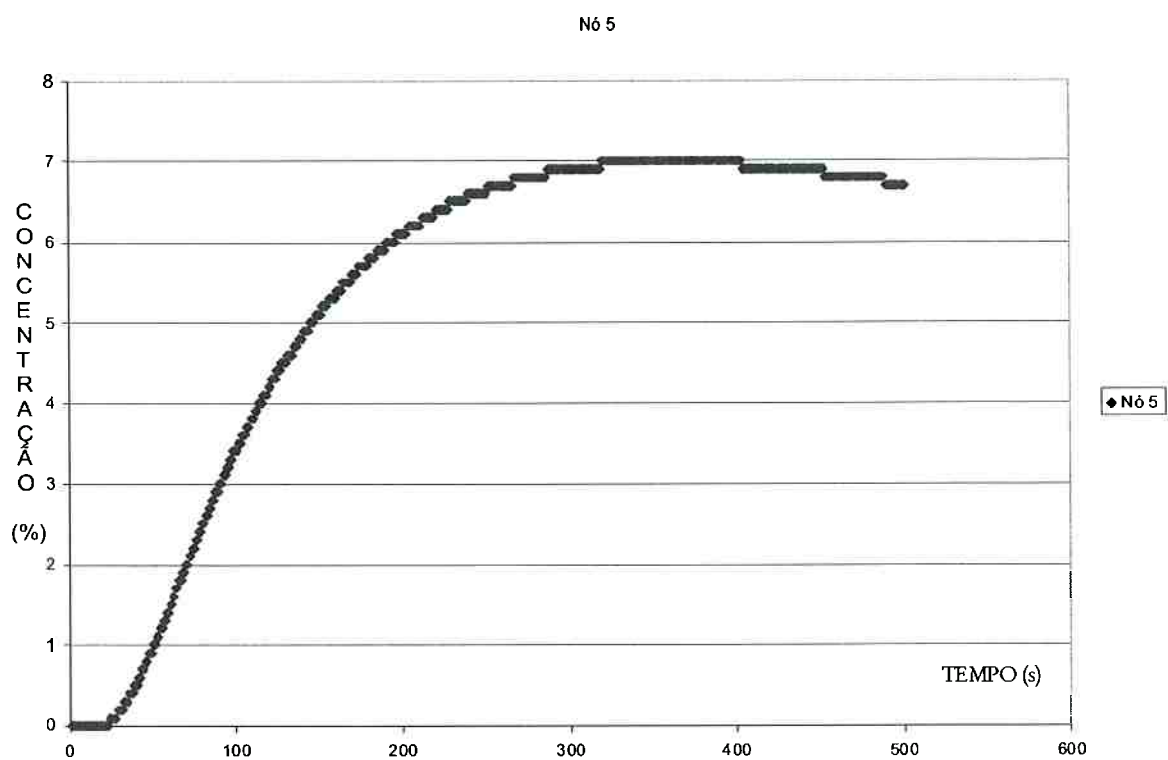


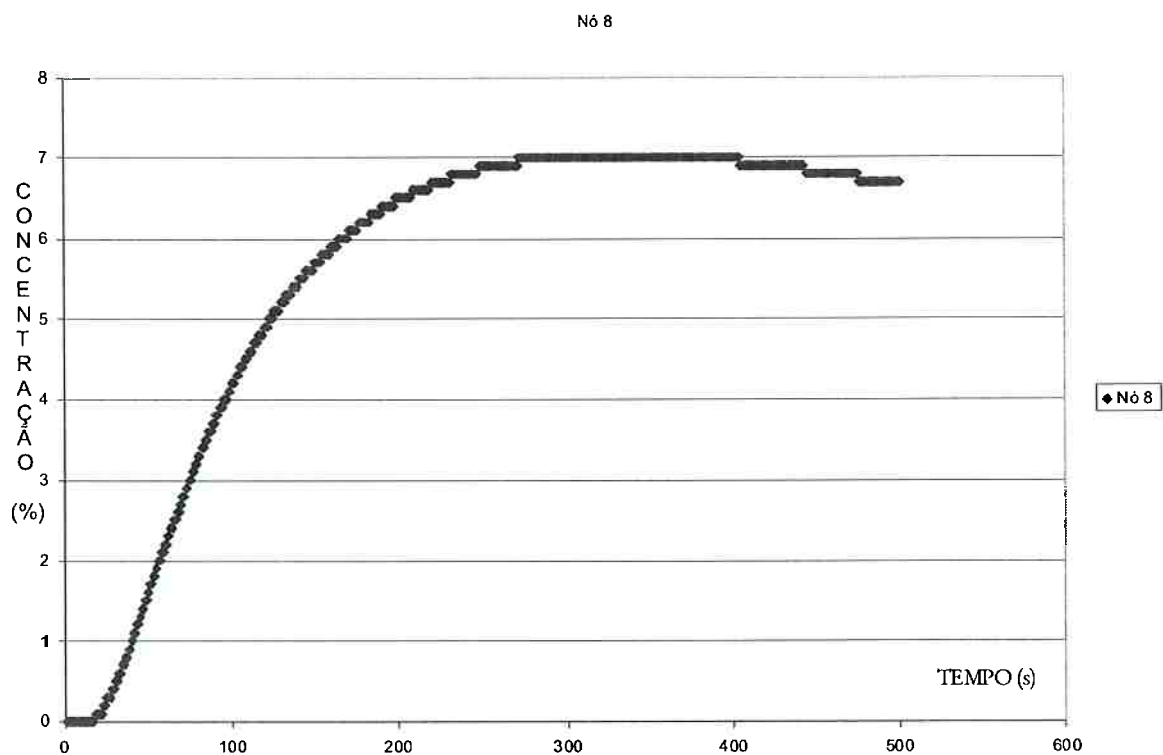
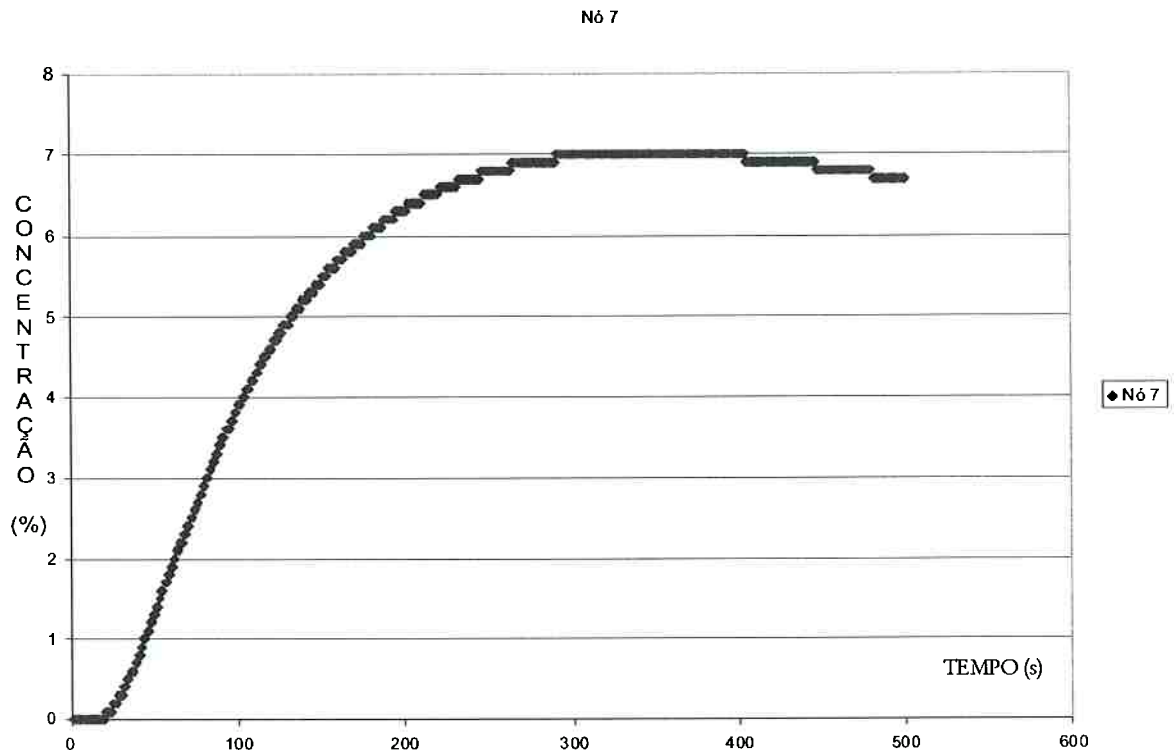
Conforme citado anteriormente, os programas destinados a interpretação dos resultados permitem analisar uma coluna por vez. Objetivando reduzir o número de programas, idealizou-se um programa que representa genericamente os nós de 1 a 56 de uma coluna. Por esse motivo, ao interpretar os resultados é necessário considerar a correspondência existente entre o nó da coluna em análise e o nó obtido como se fosse da primeira coluna.

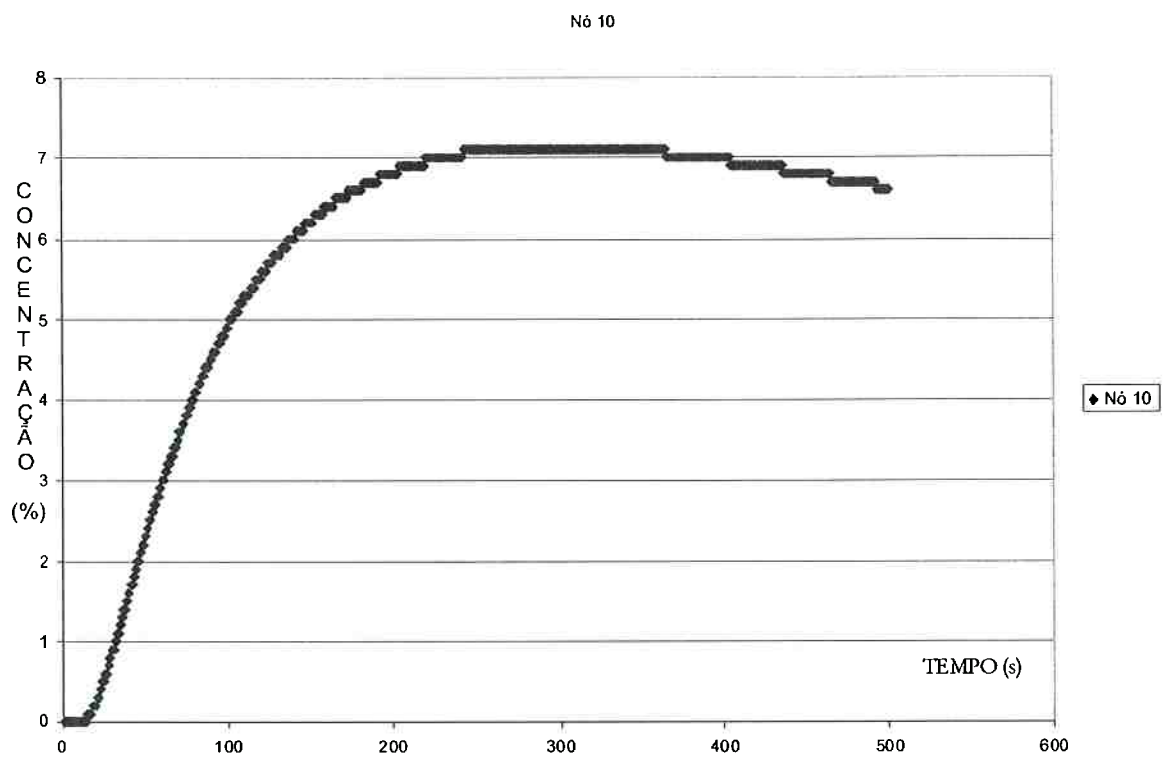
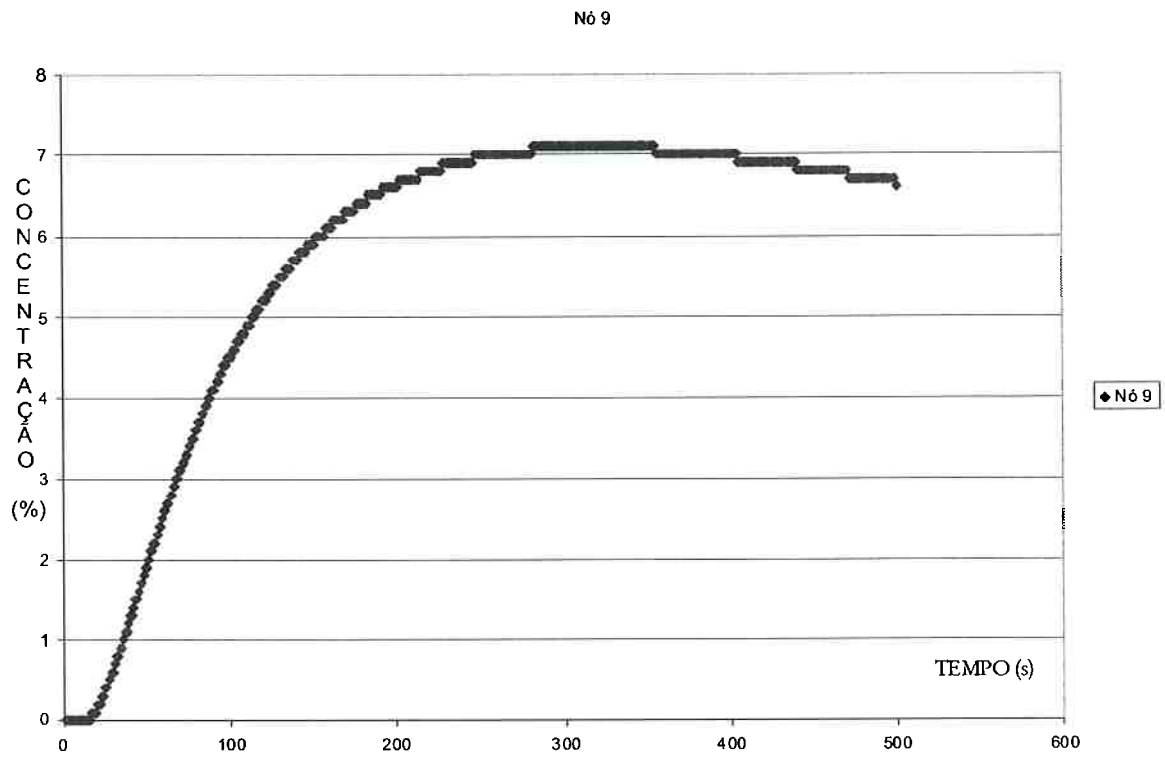
A seguir estão representados os resultados da coluna 25 da grade.

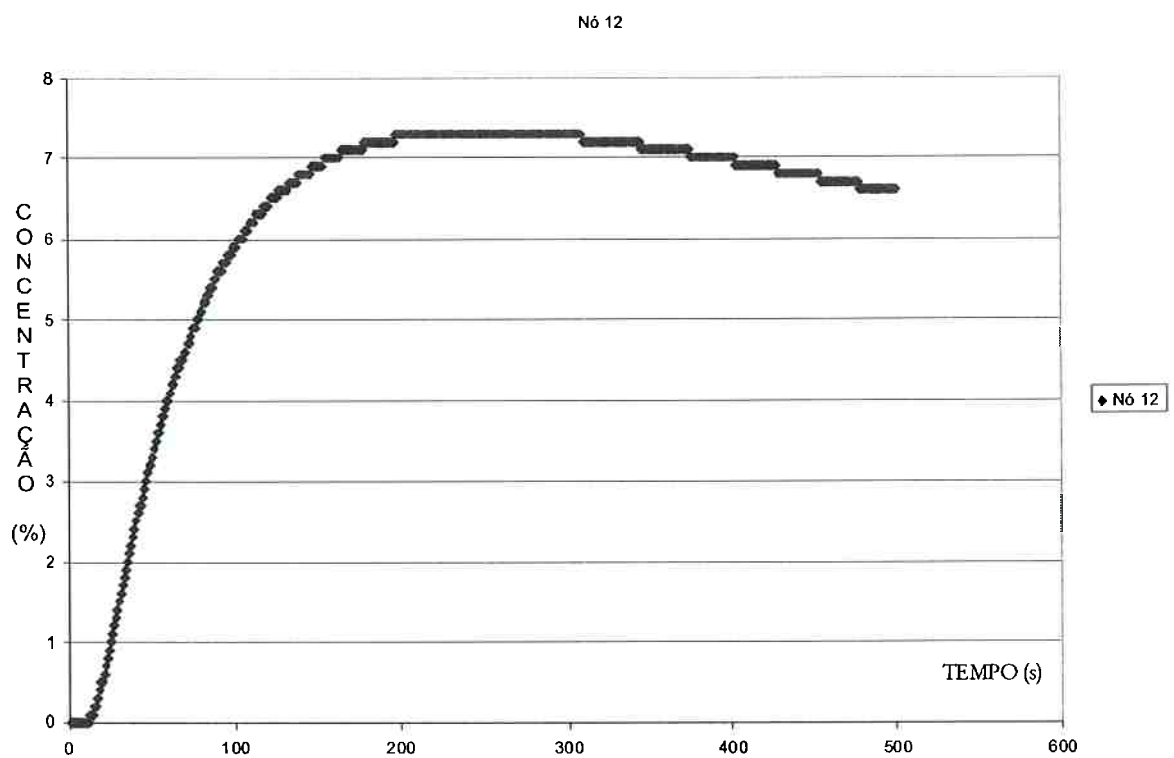
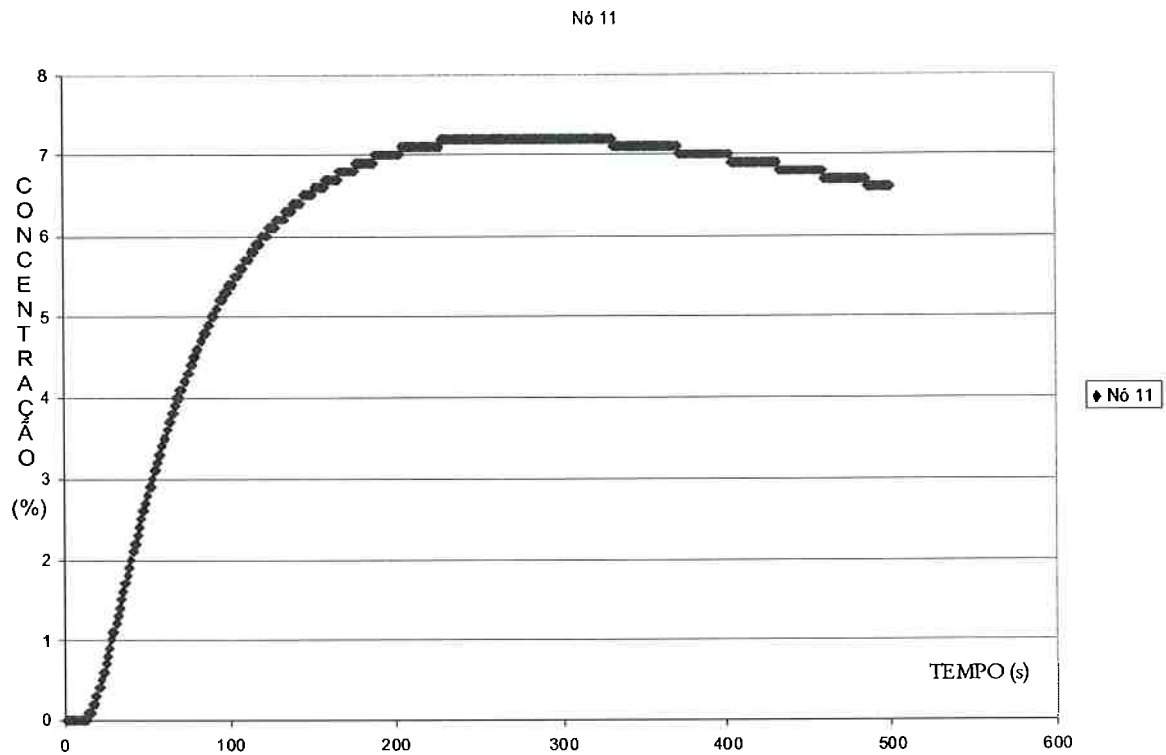


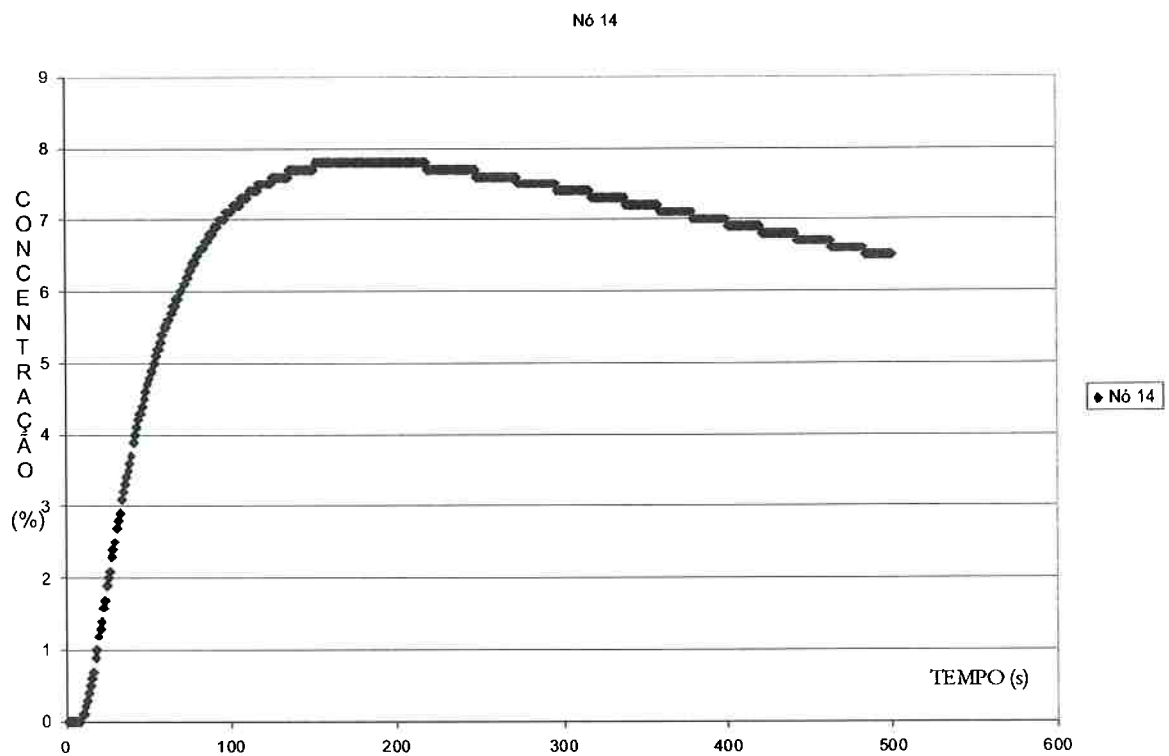
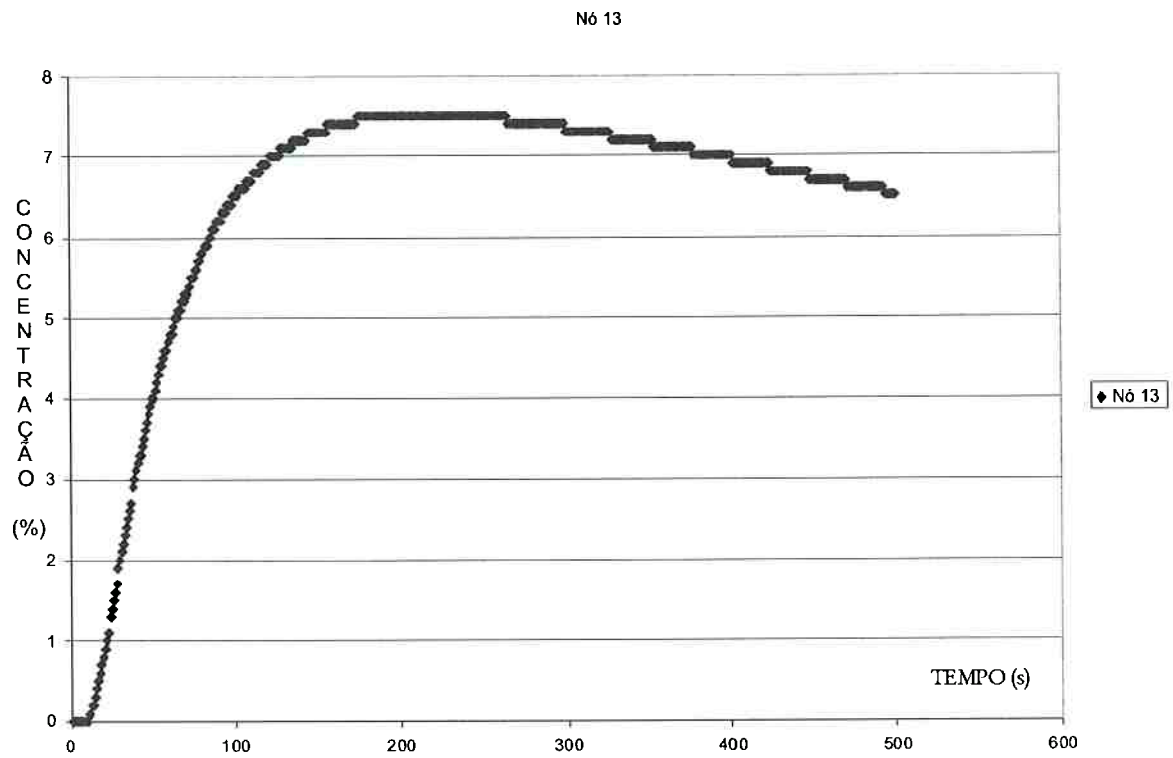


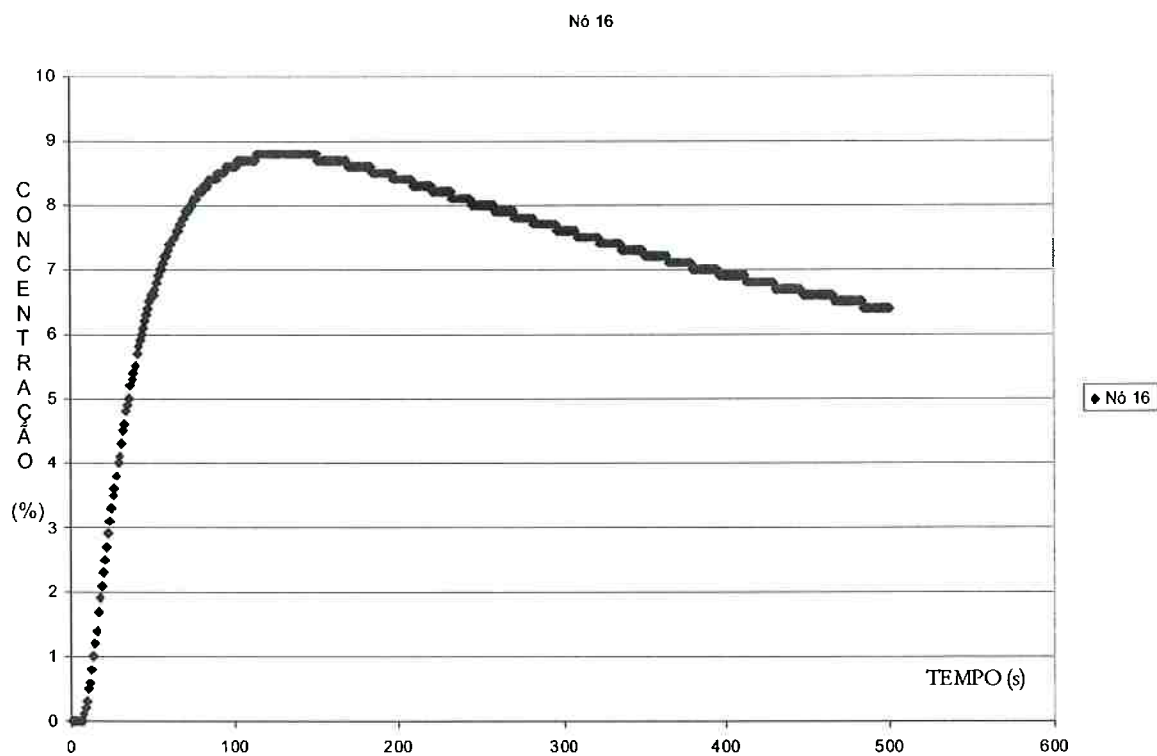
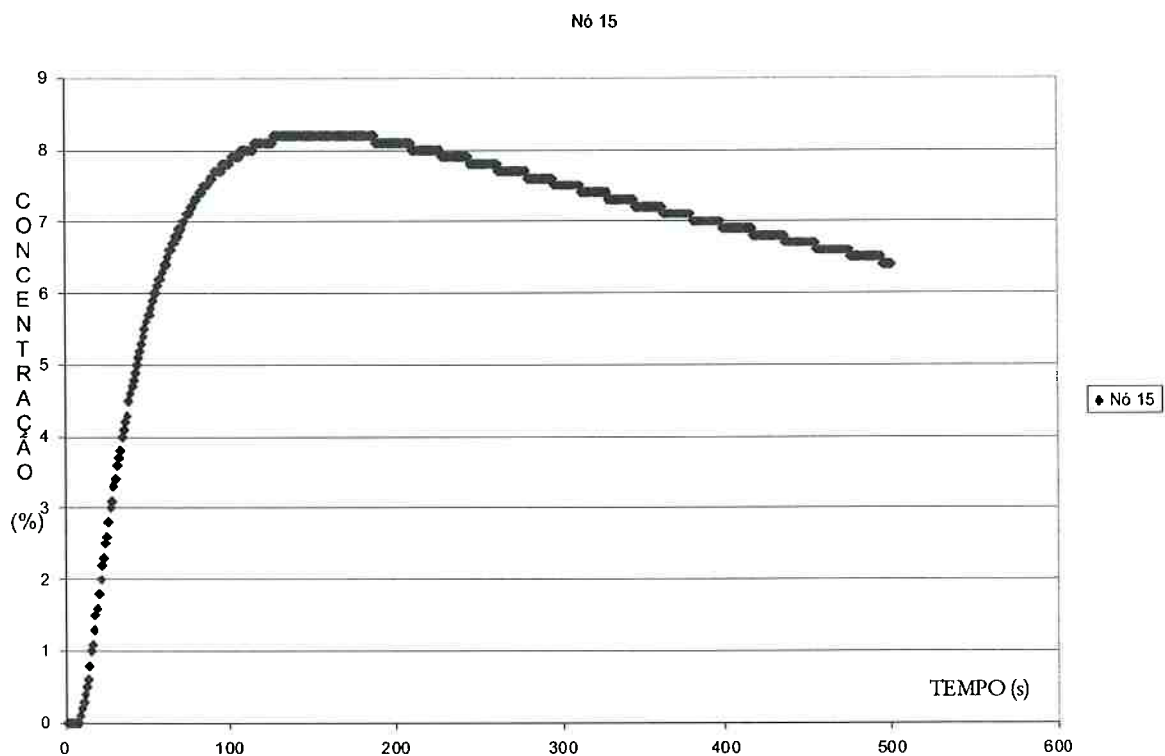












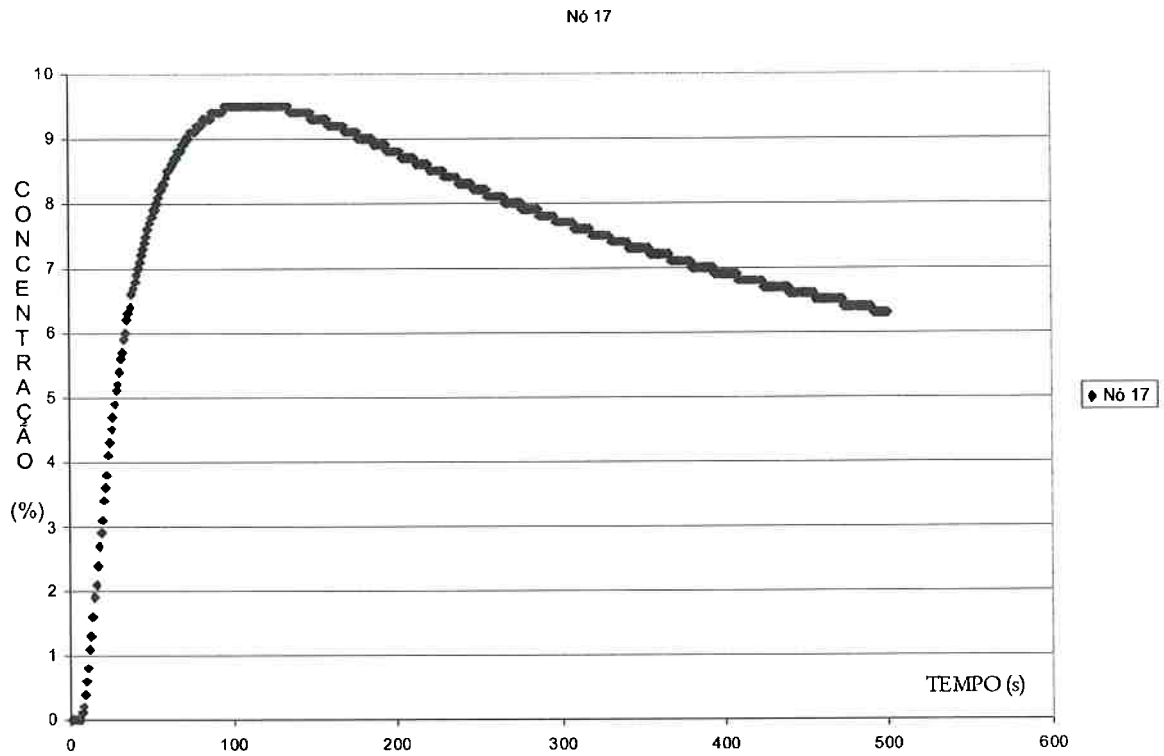


Gráfico F.17, Concentração em função do tempo no nó 17.

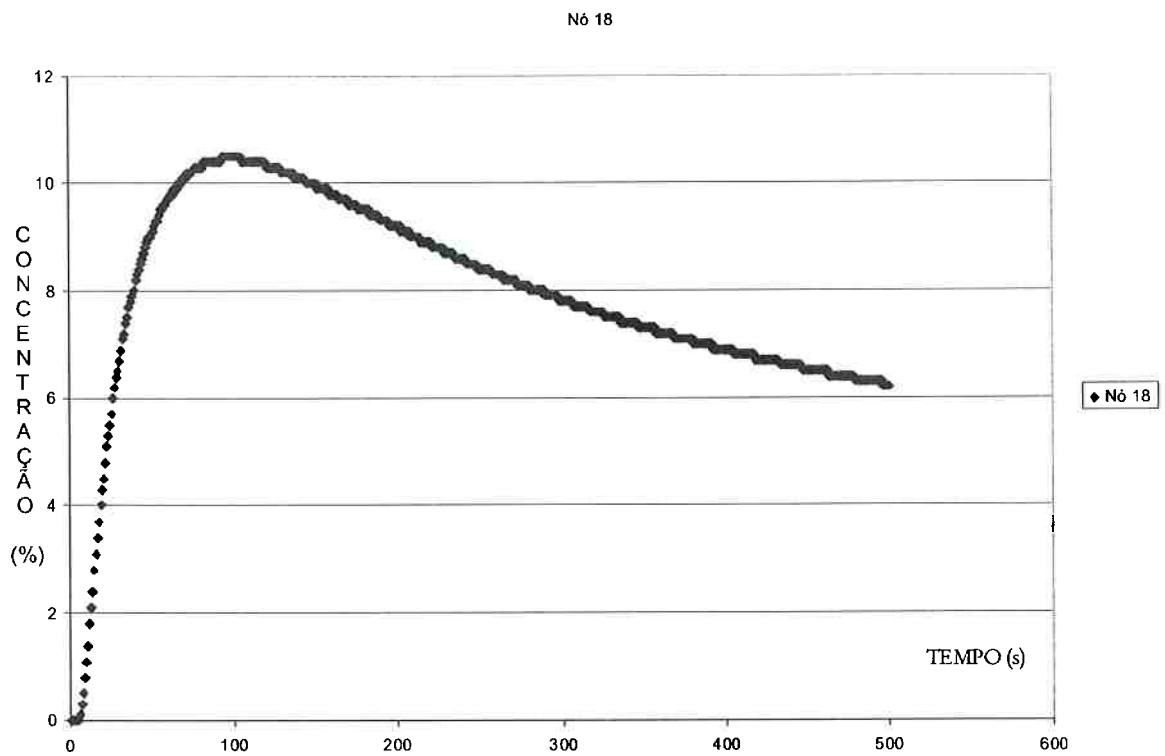
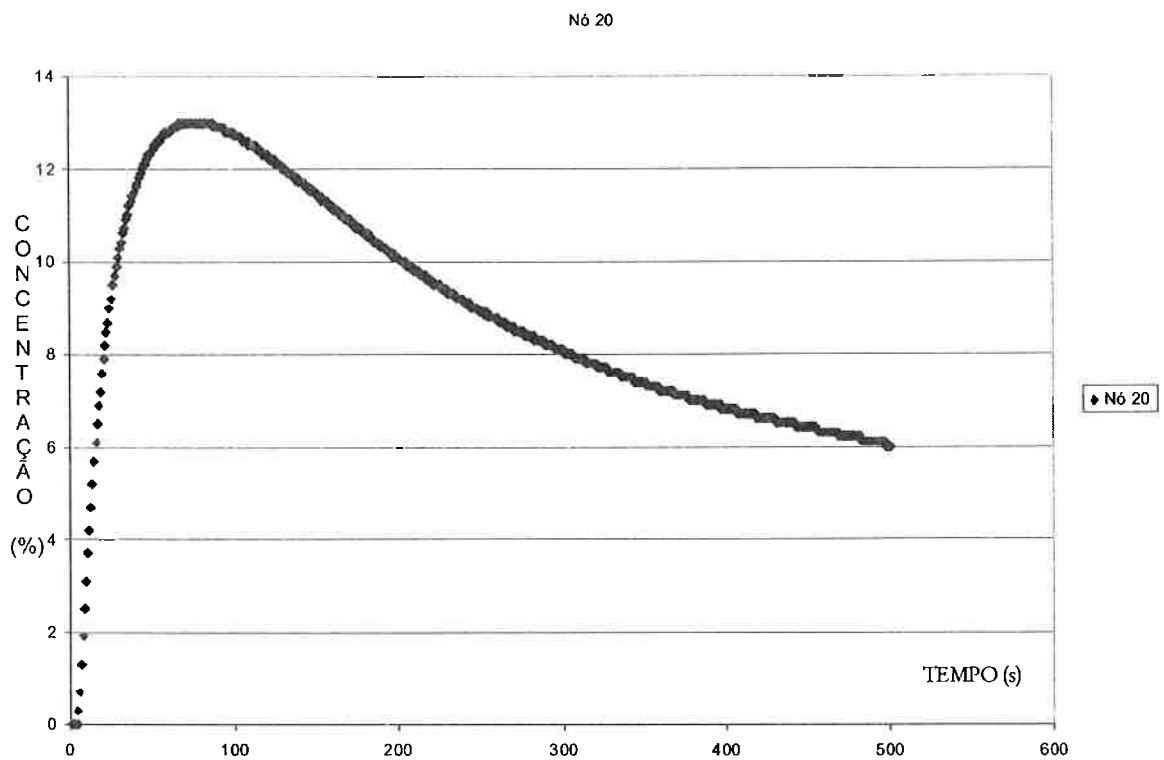
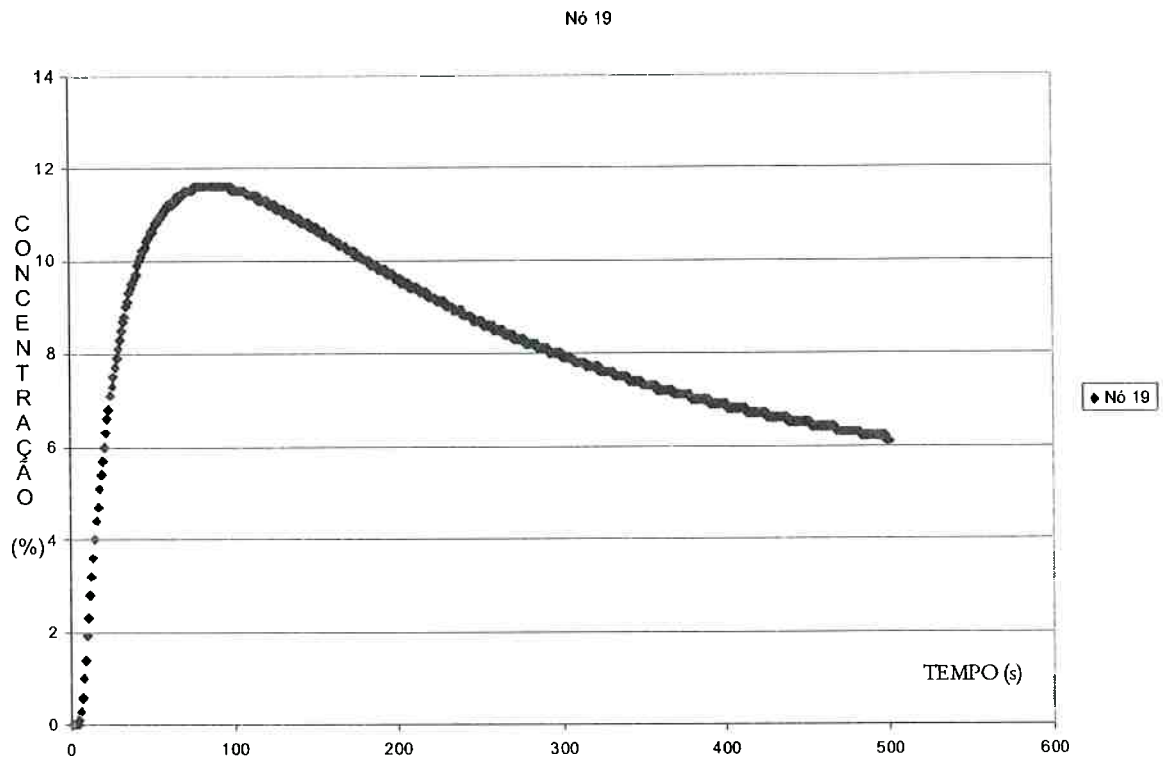
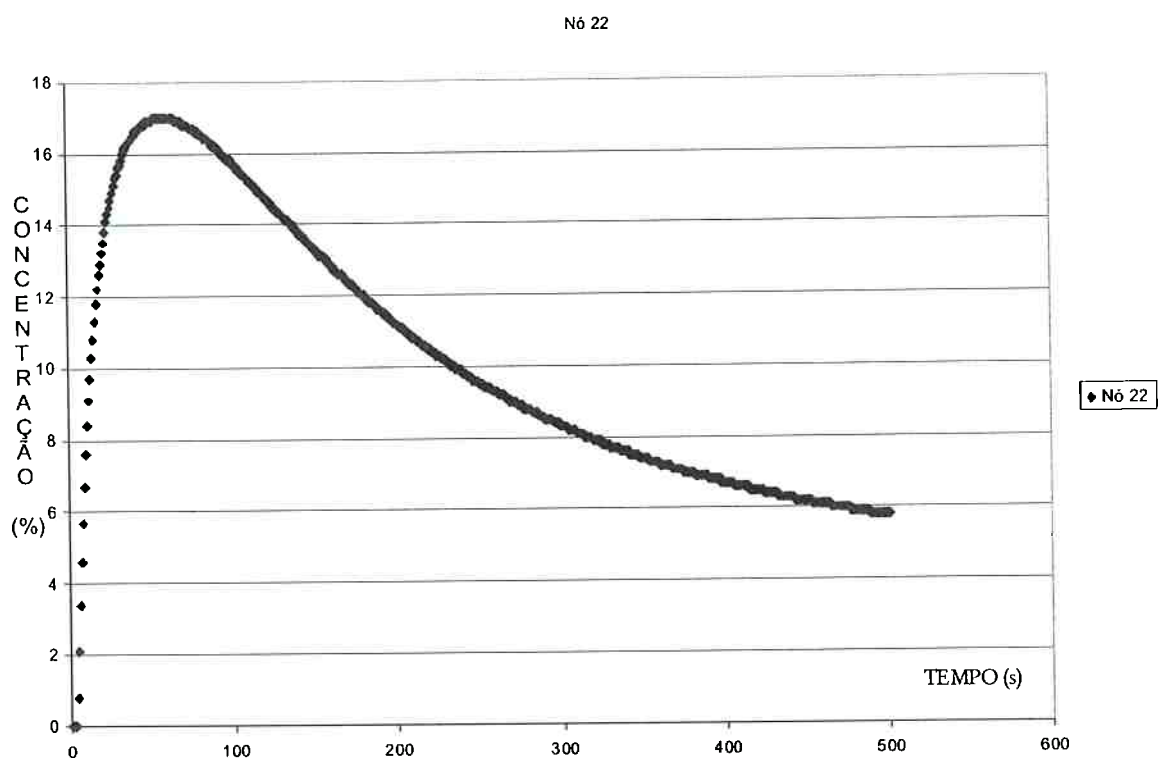
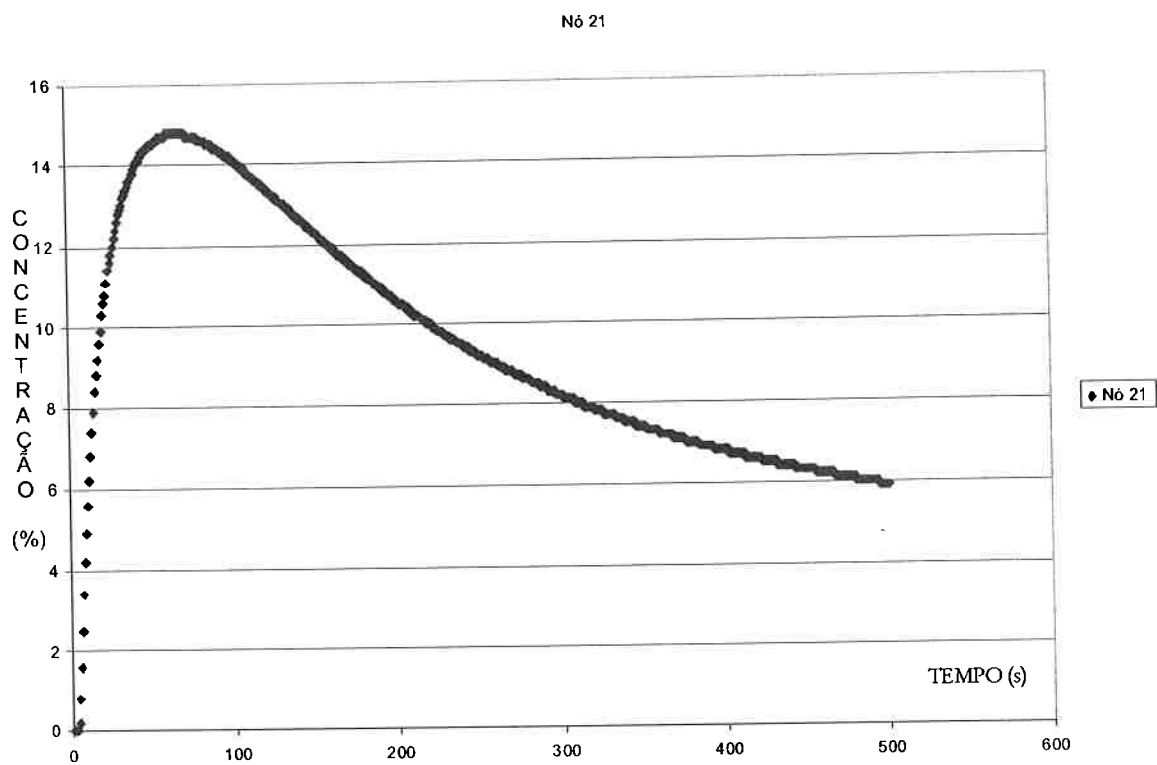


Gráfico F.18, Concentração em função do tempo no nó 18.





Nó 23

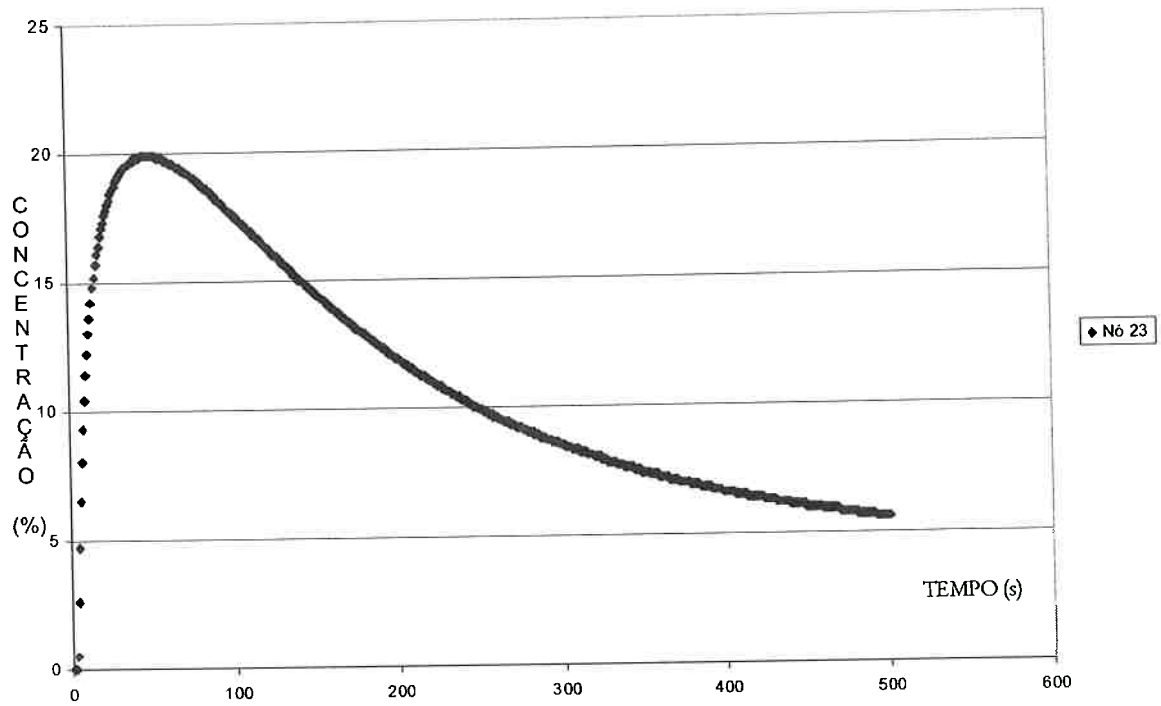


Gráfico F.23, Concentração em função do tempo no nó 23.

Nó 24

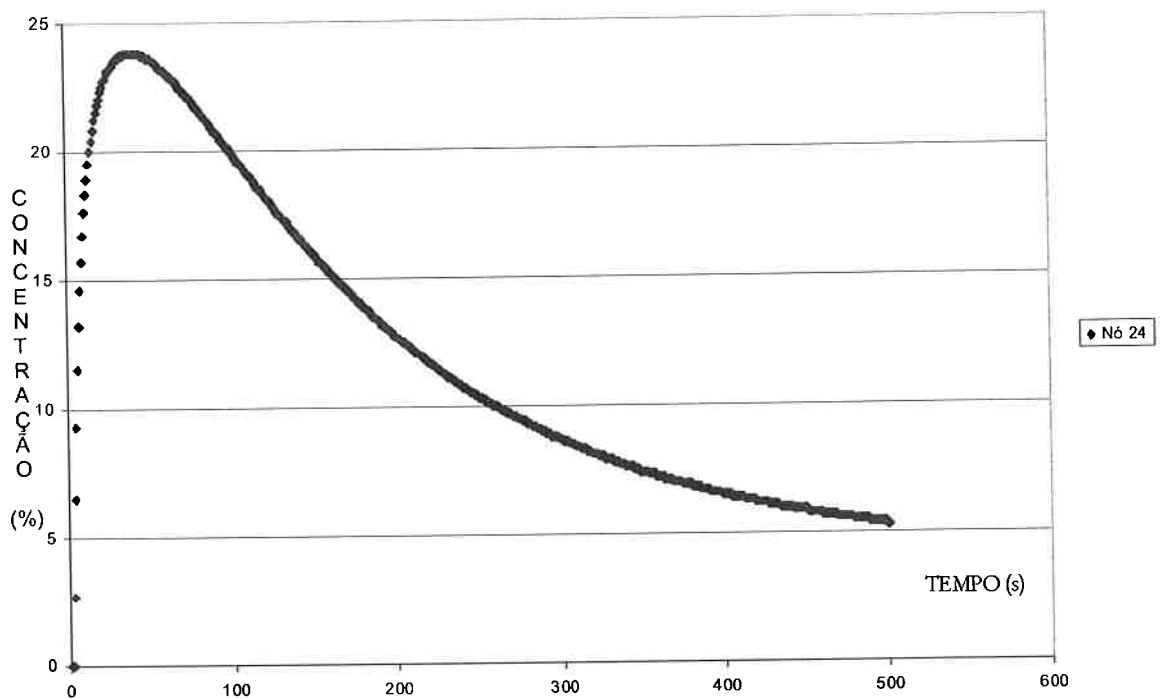
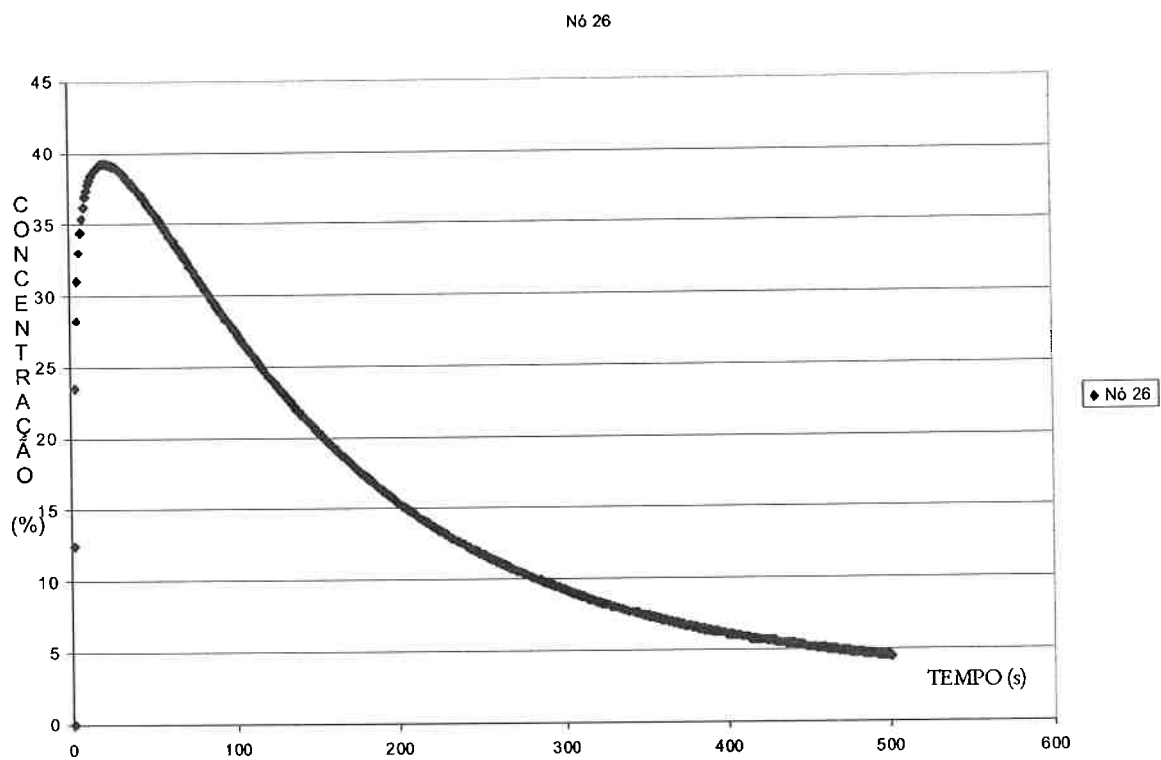
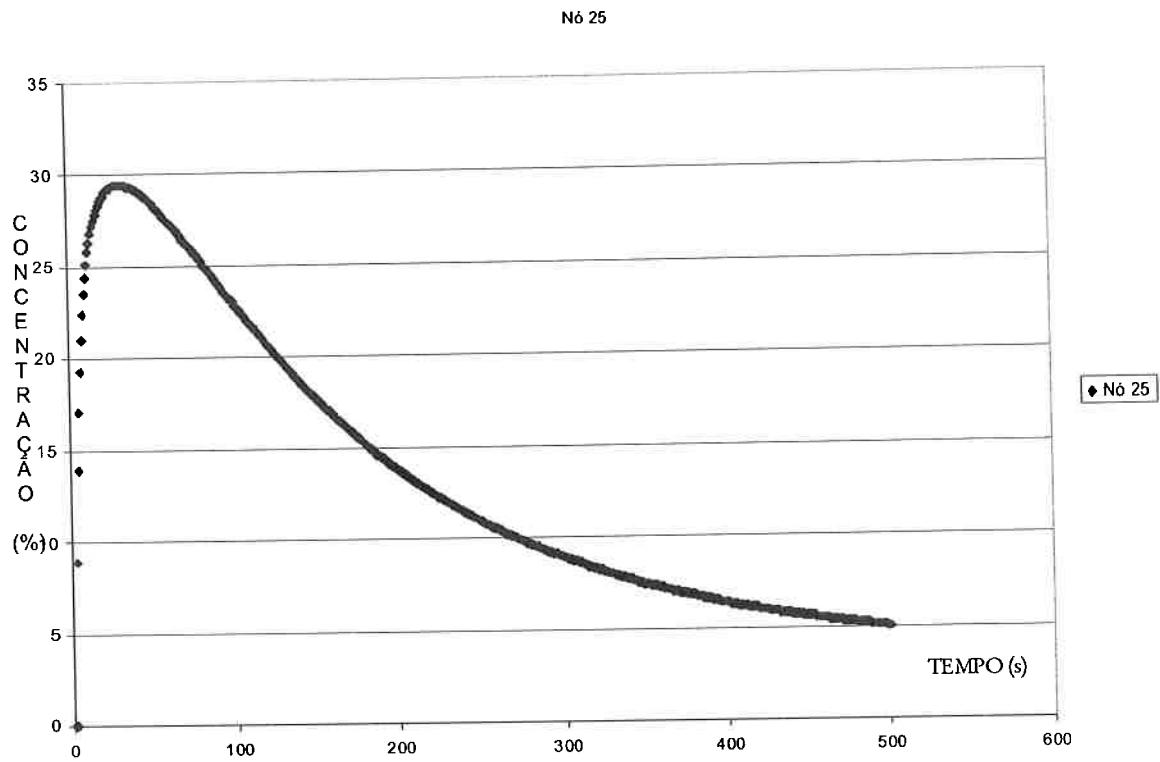


Gráfico F.24, Concentração em função do tempo no nó 24.



Nó 27

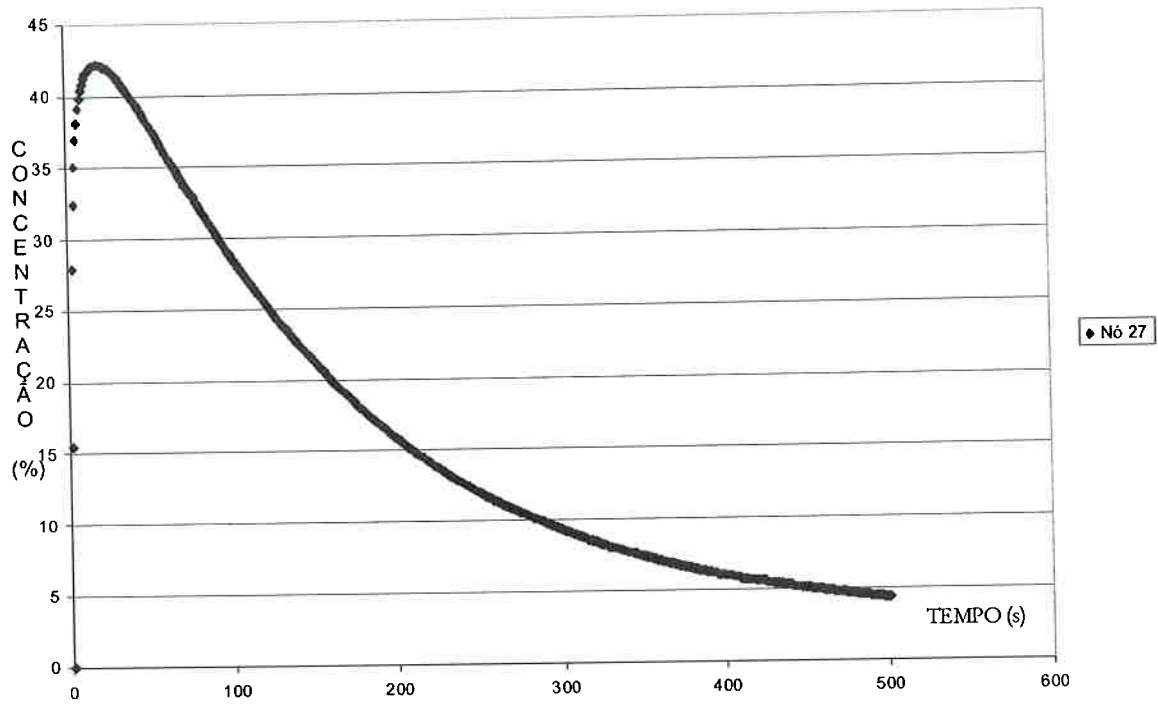


Gráfico F.27, Concentração em função do tempo no nó 27.

Nó 28

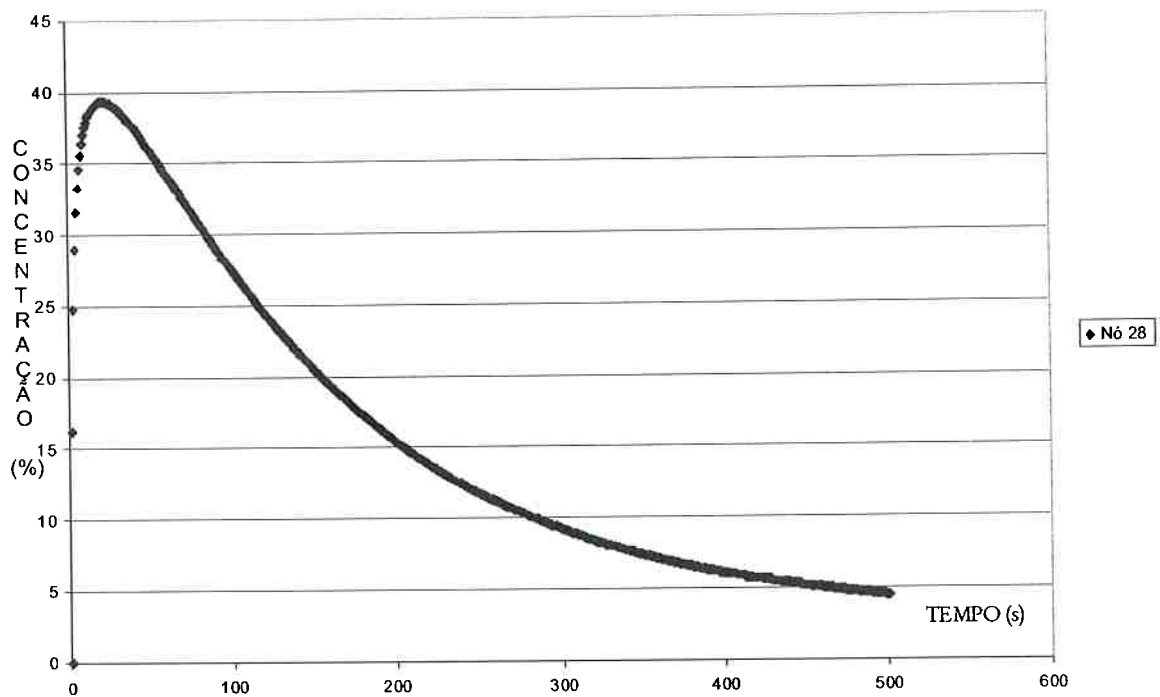
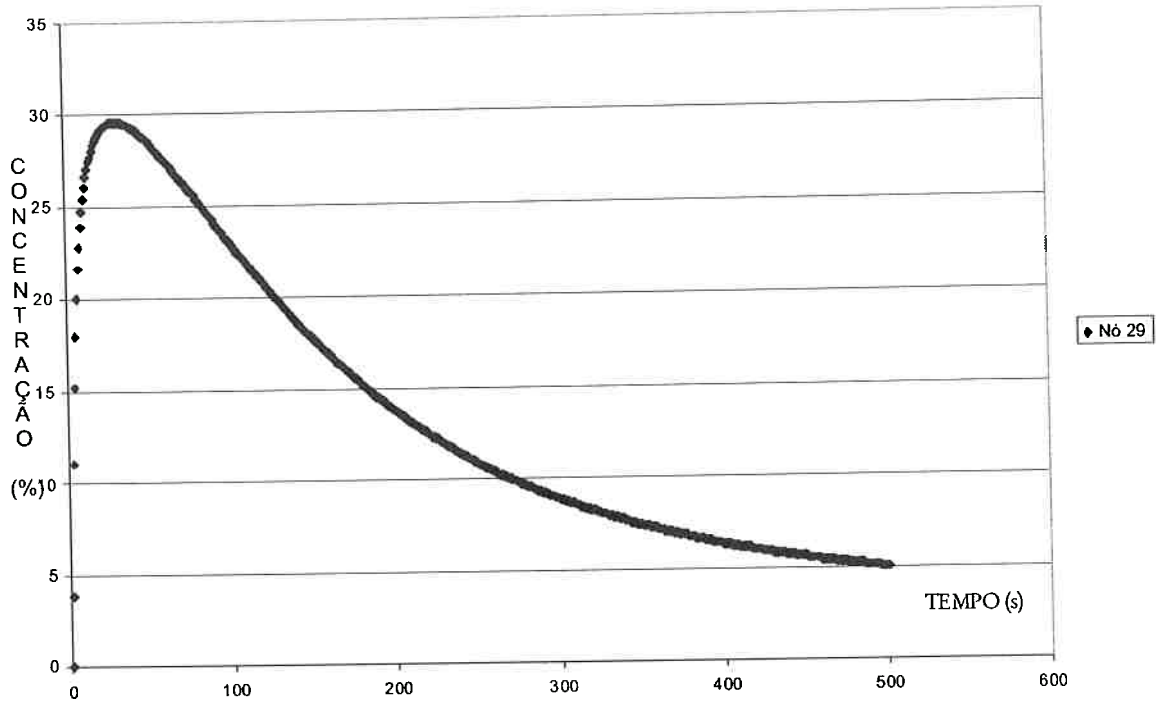


Gráfico F.28, Concentração em função do tempo no nó 28.

Nó 29



Nó 30

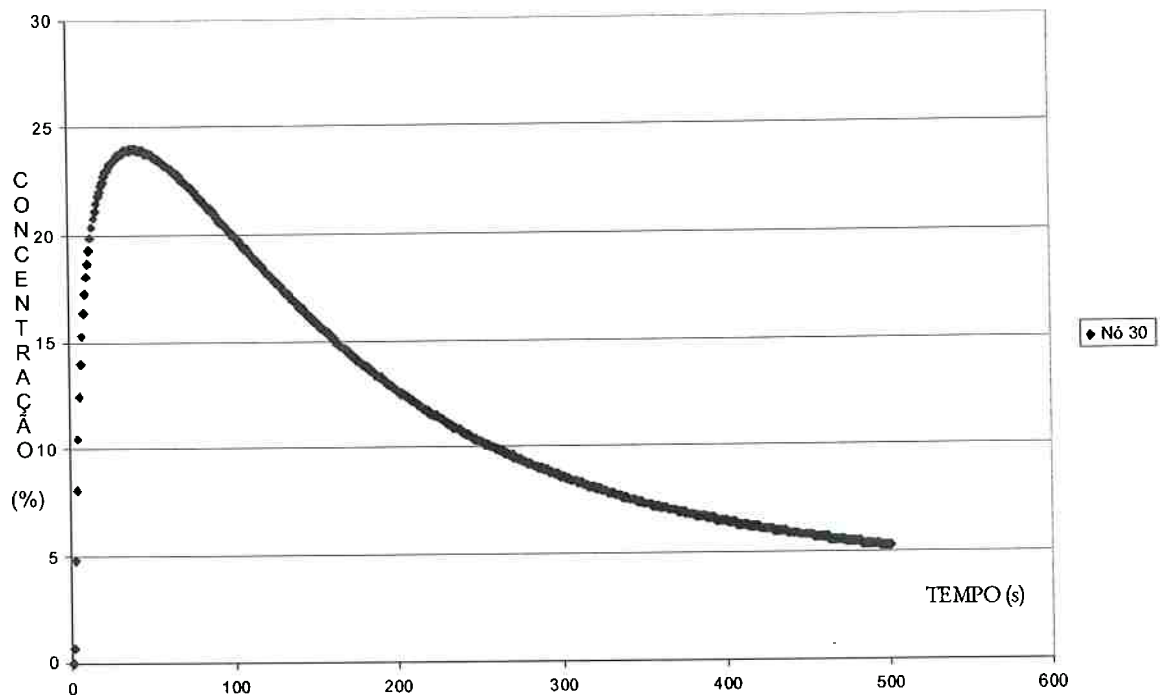
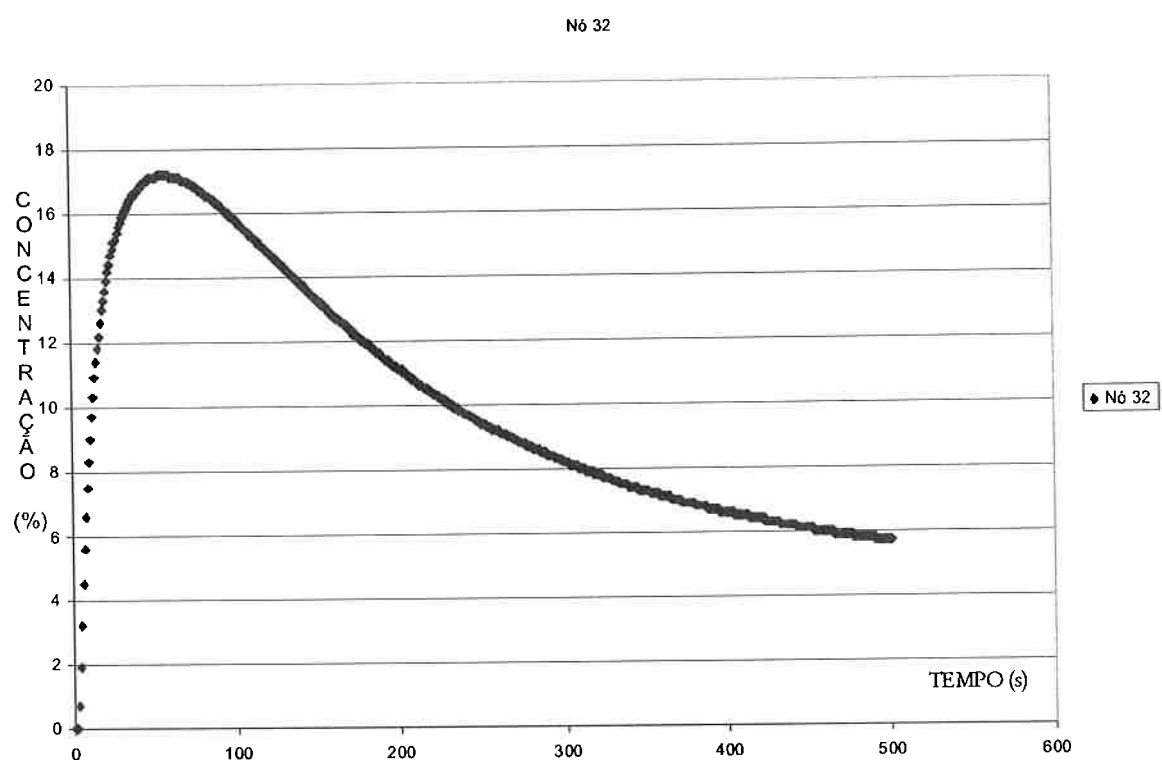
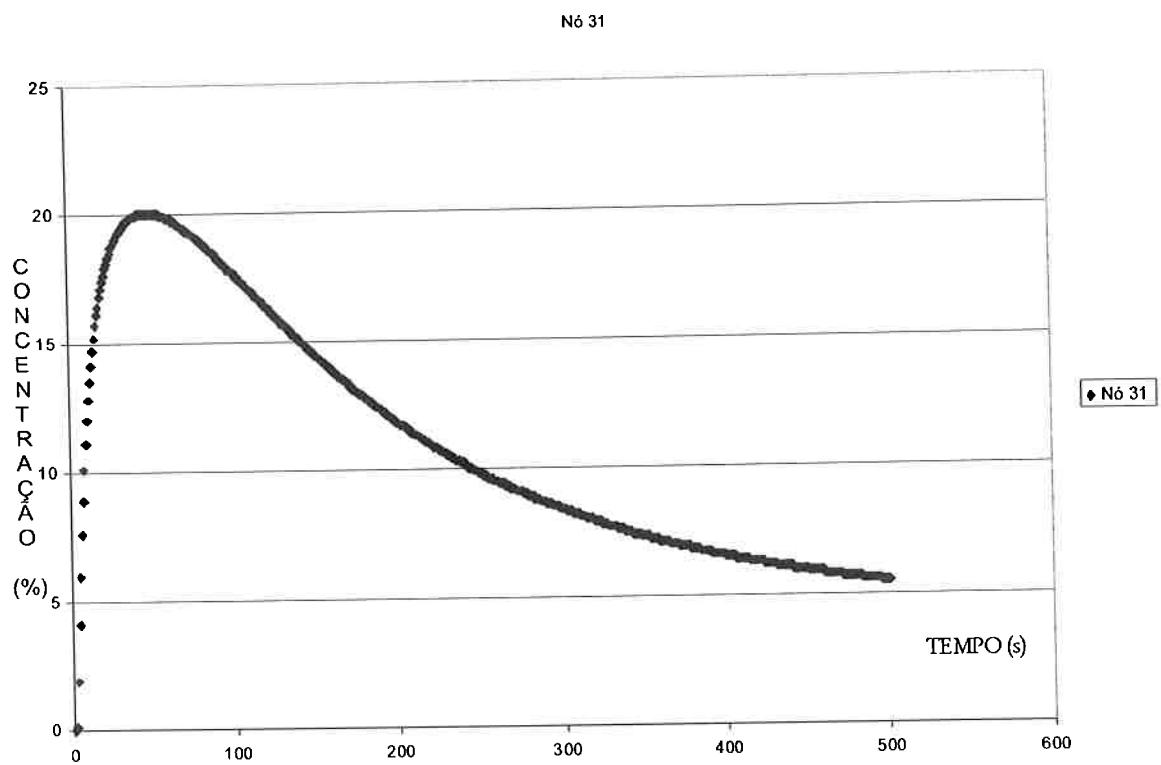


Gráfico F.30, Concentração em função do tempo no nó 30.



Nó 33

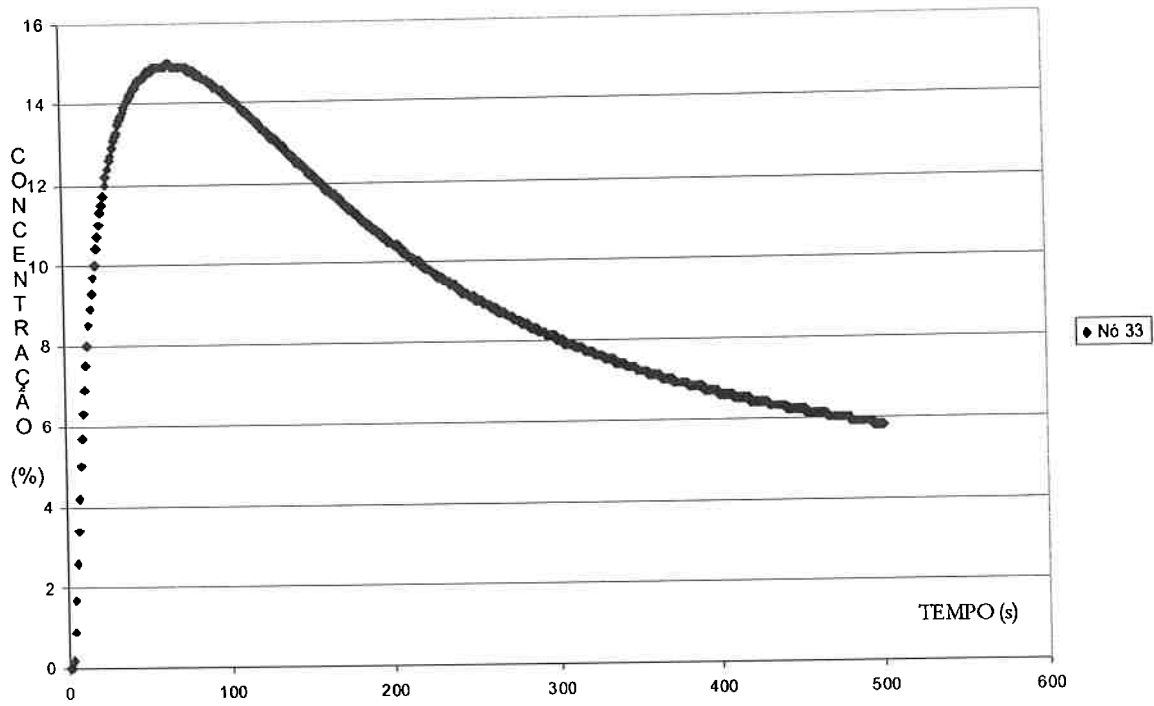


Gráfico F.33, Concentração em função do tempo no nó 33.

Nó 34

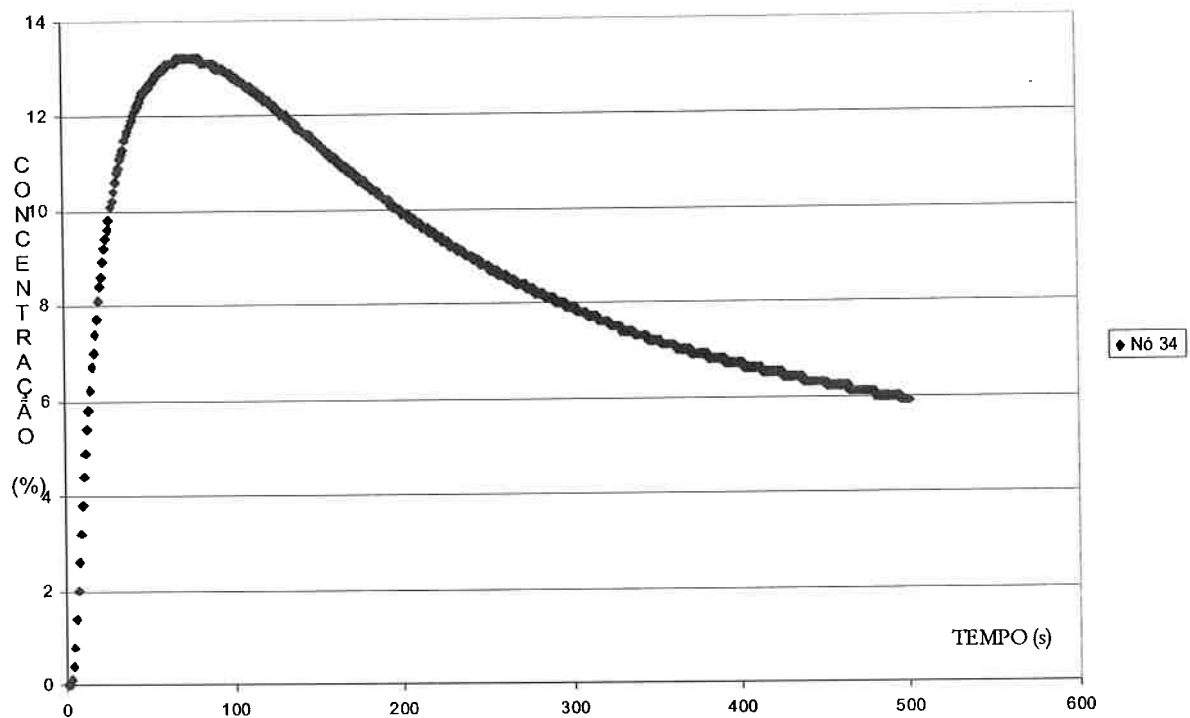


Gráfico F.34, Concentração em função do tempo no nó 34.

Nó 35

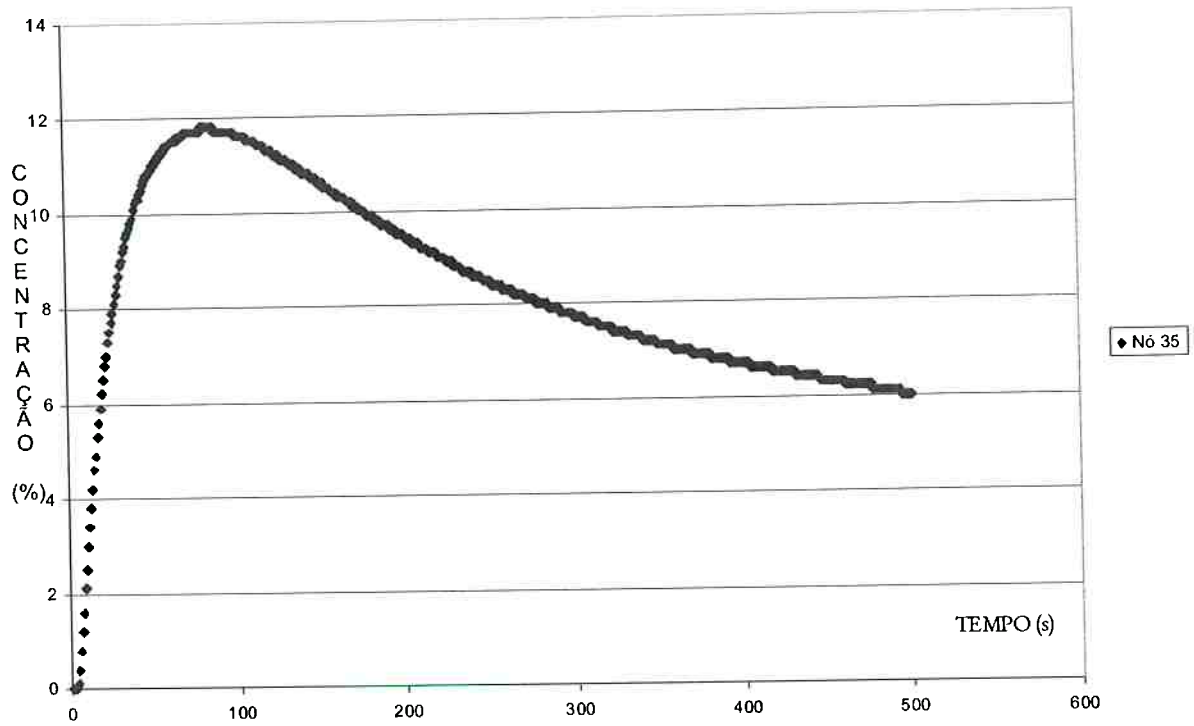


Gráfico F.35, Concentração em função do tempo no nó 35.

Nó 36

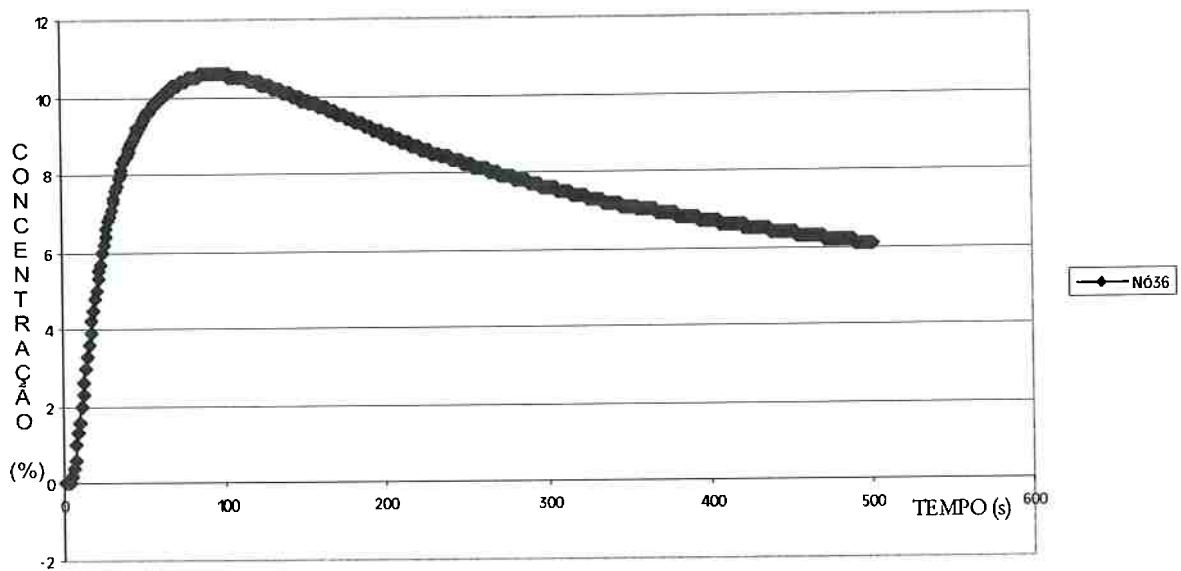
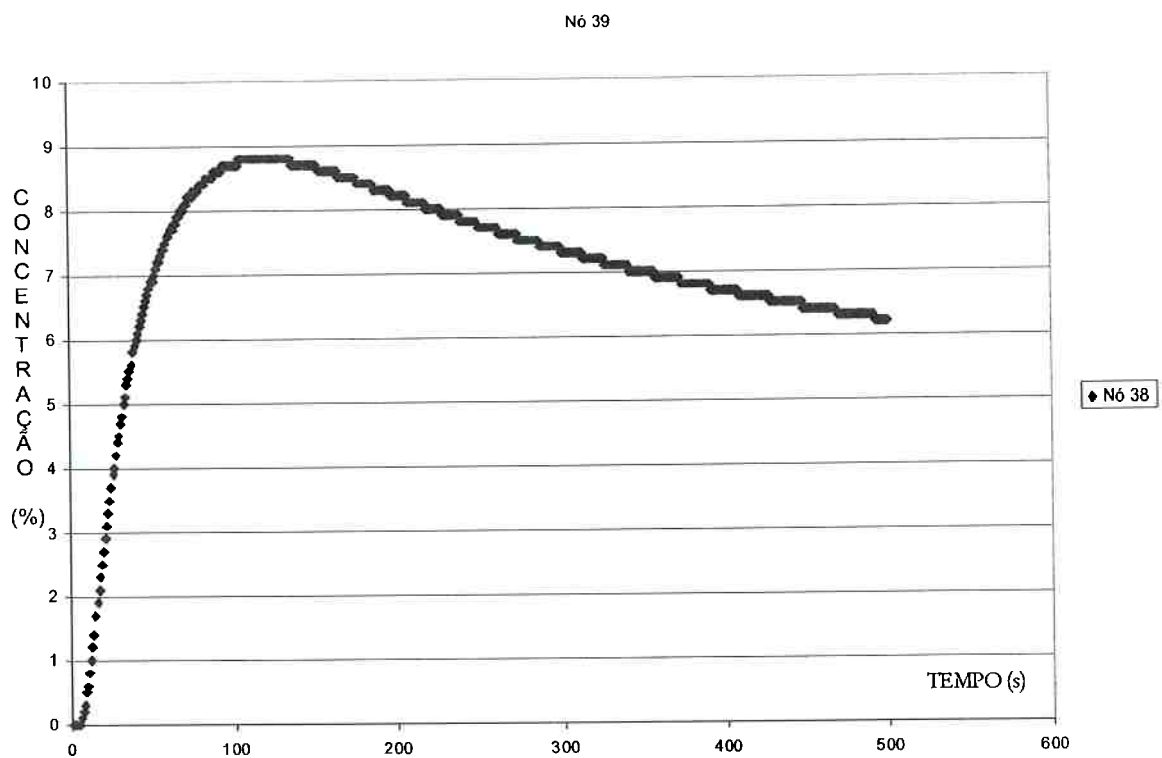
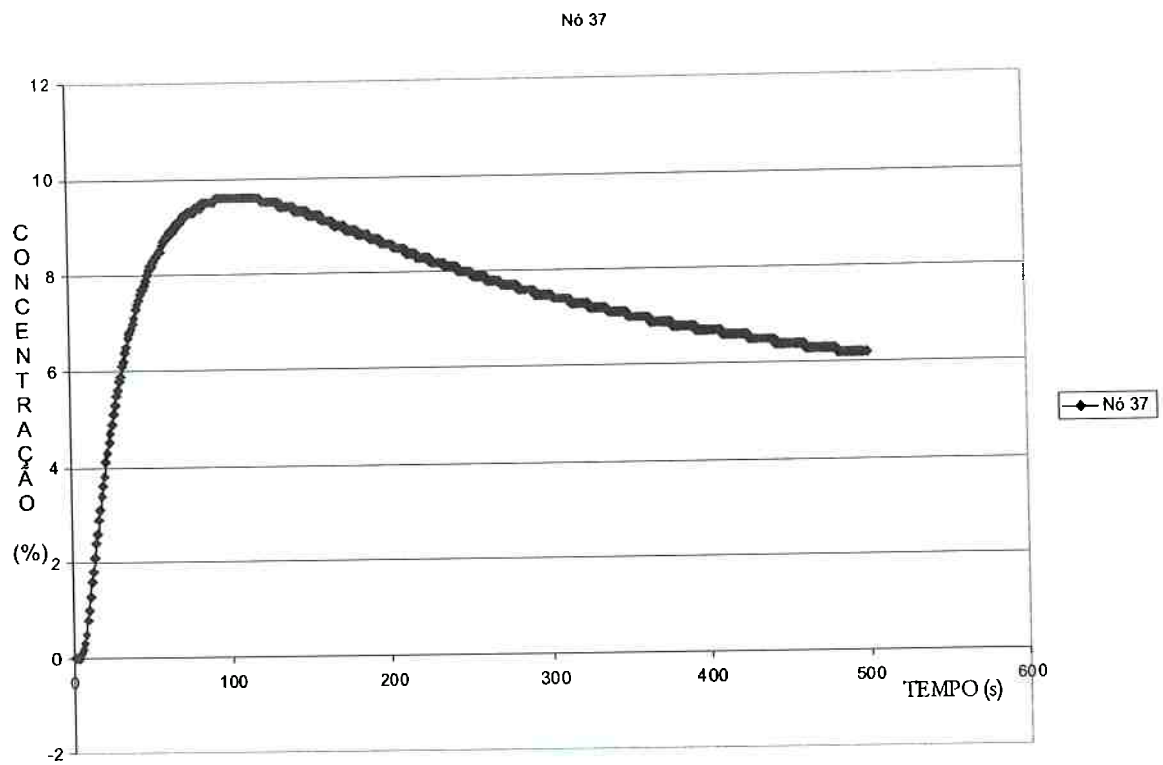


Gráfico F.36, Concentração em função do tempo no nó 36.



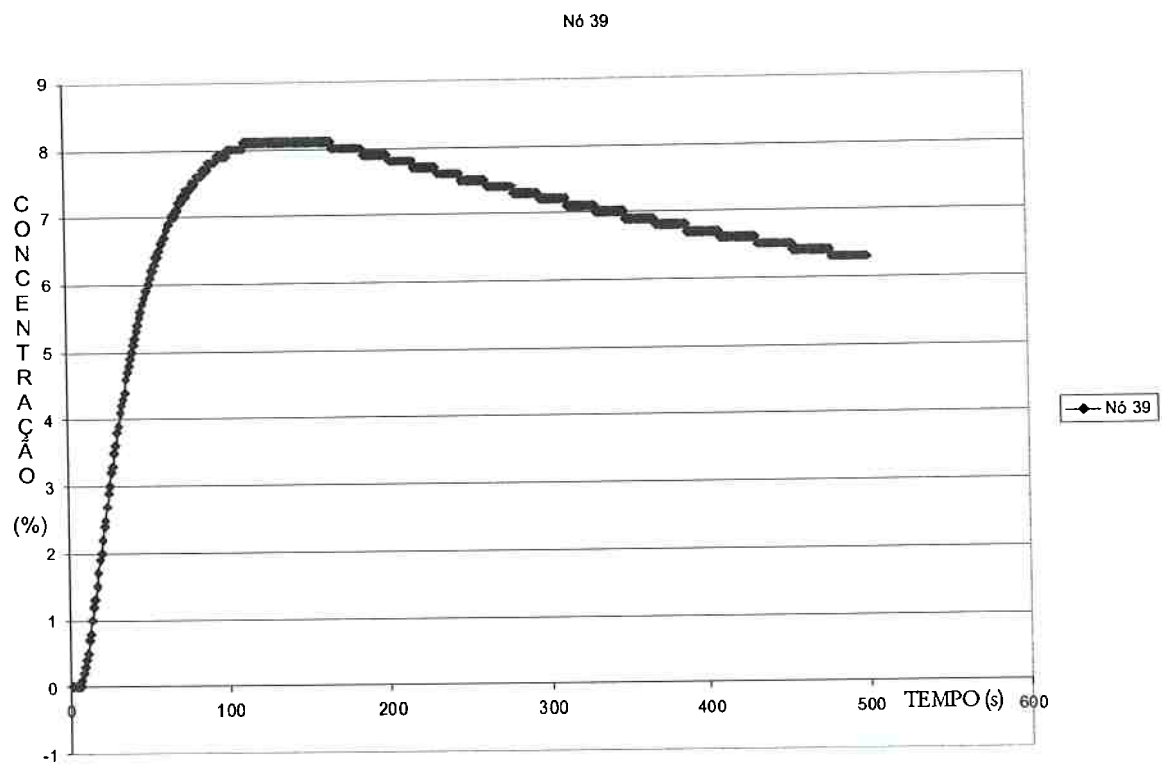


Gráfico F.39, Concentração em função do tempo no nó 39.

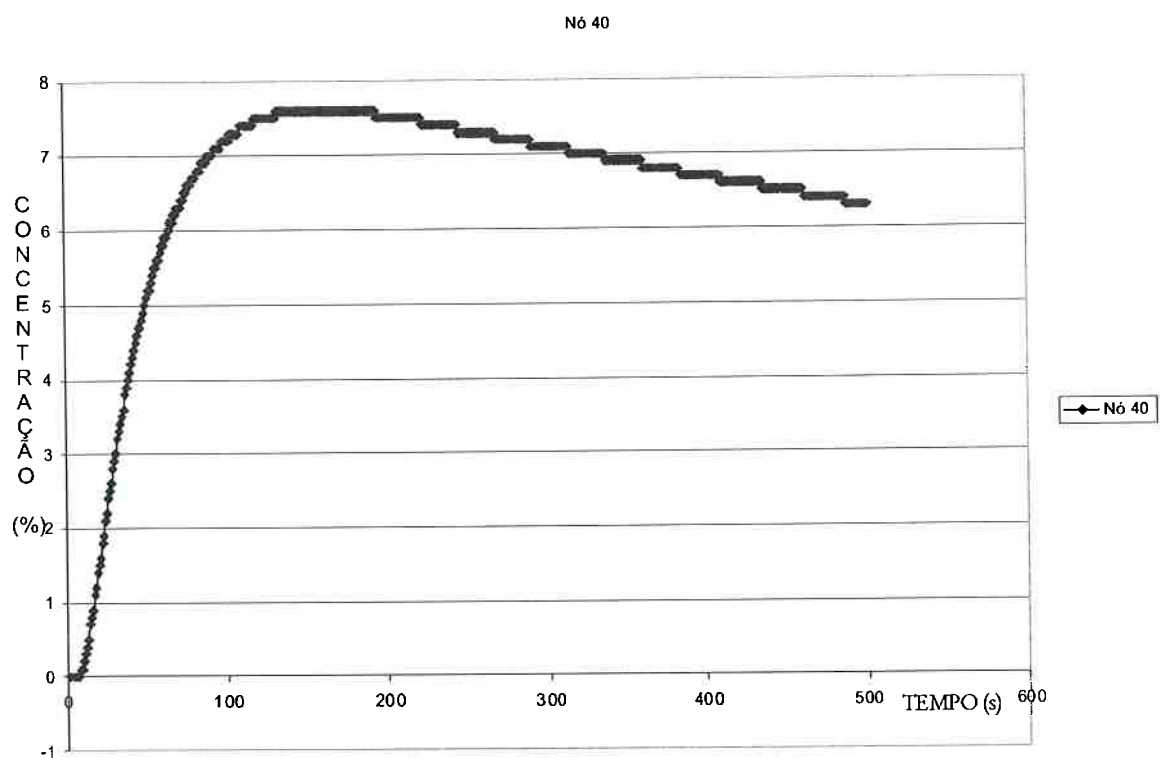
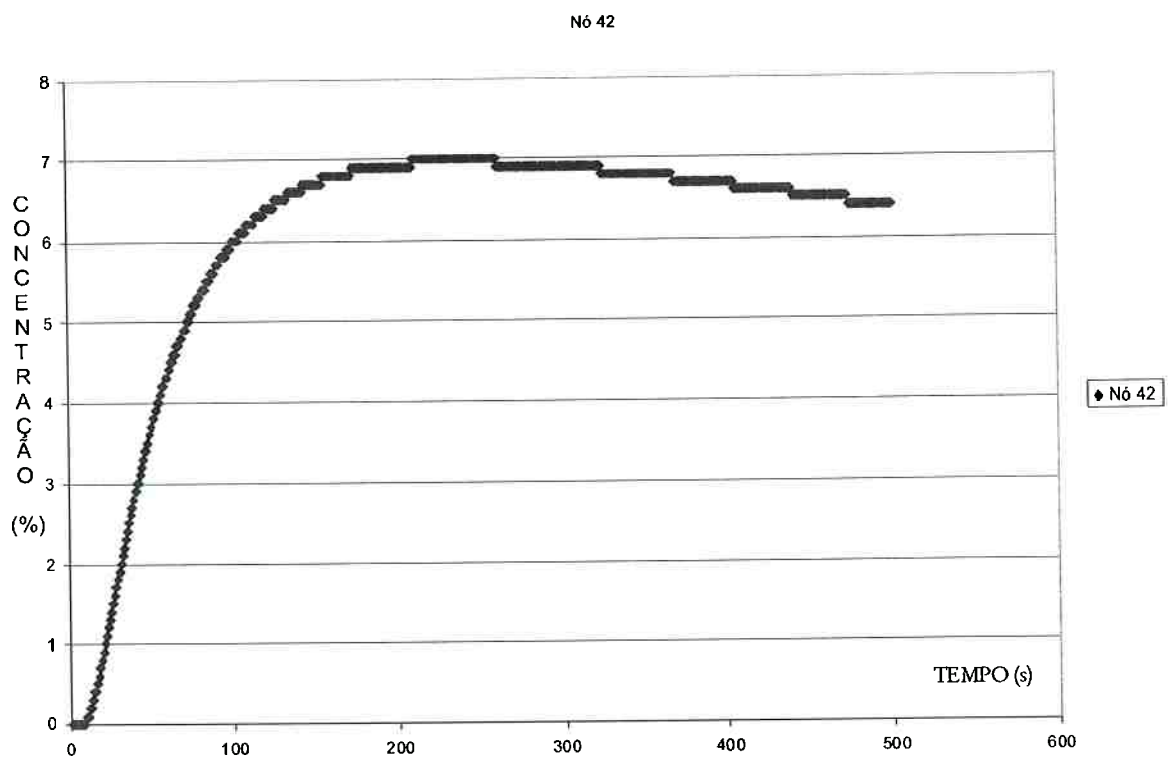
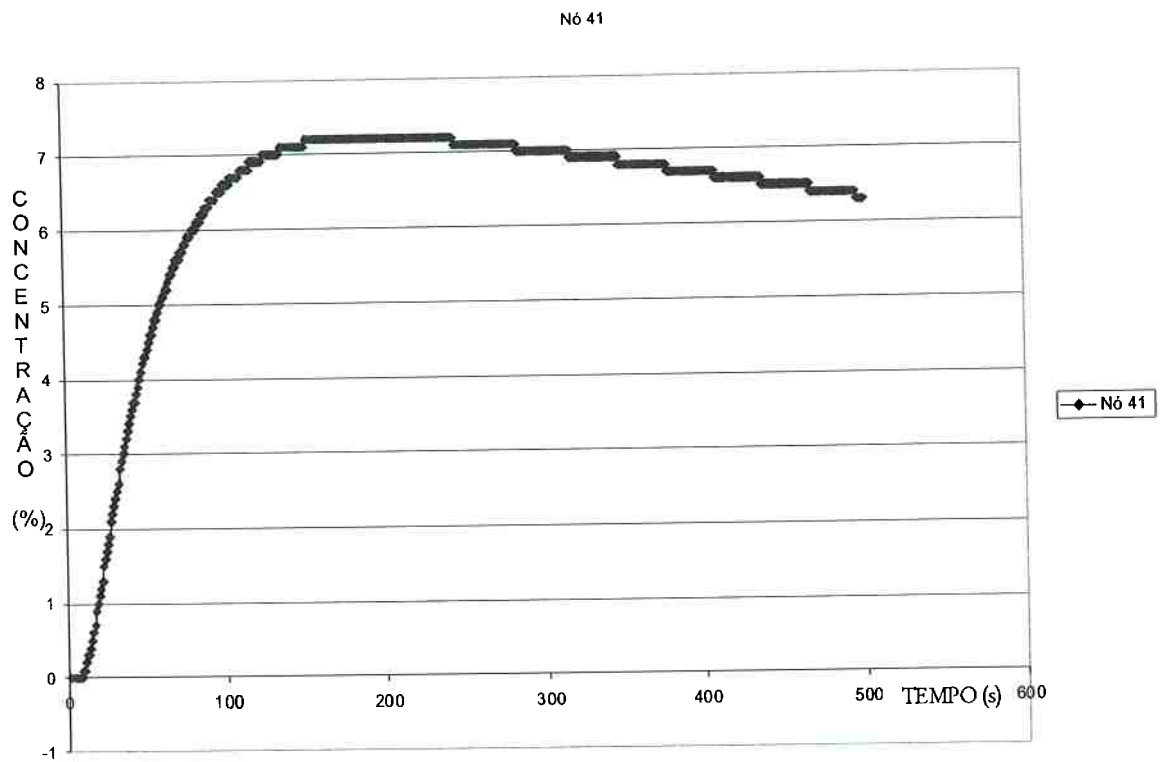
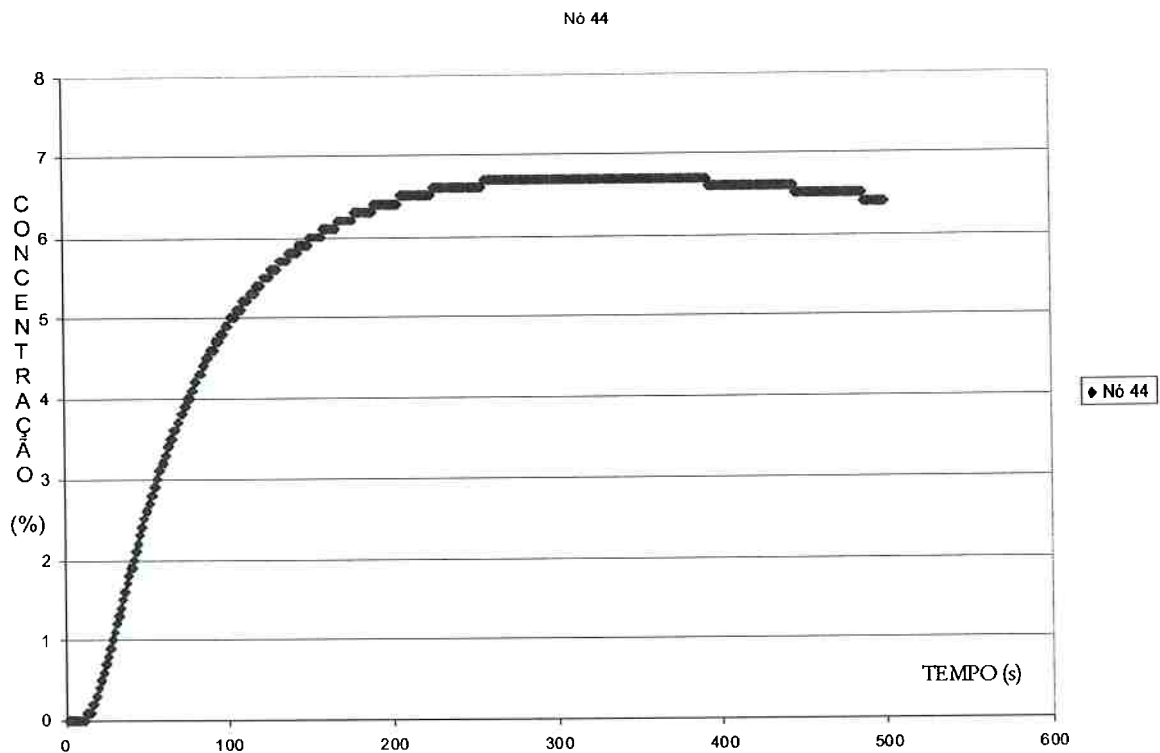
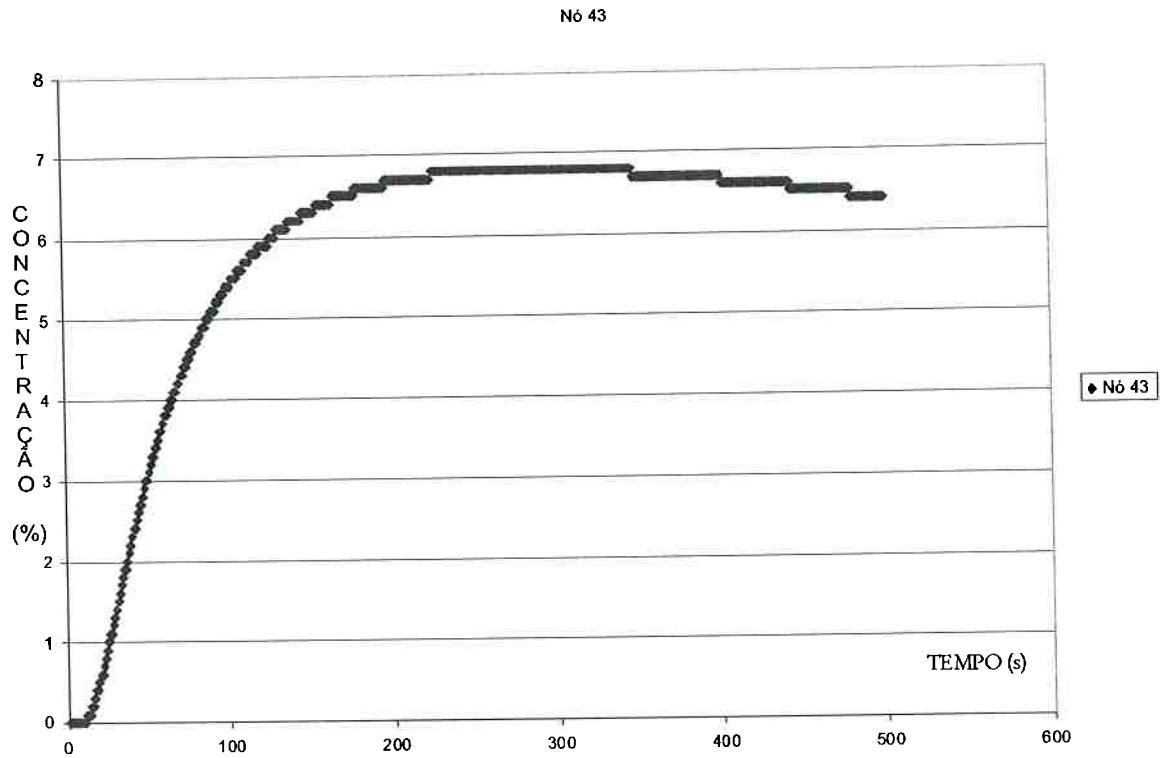
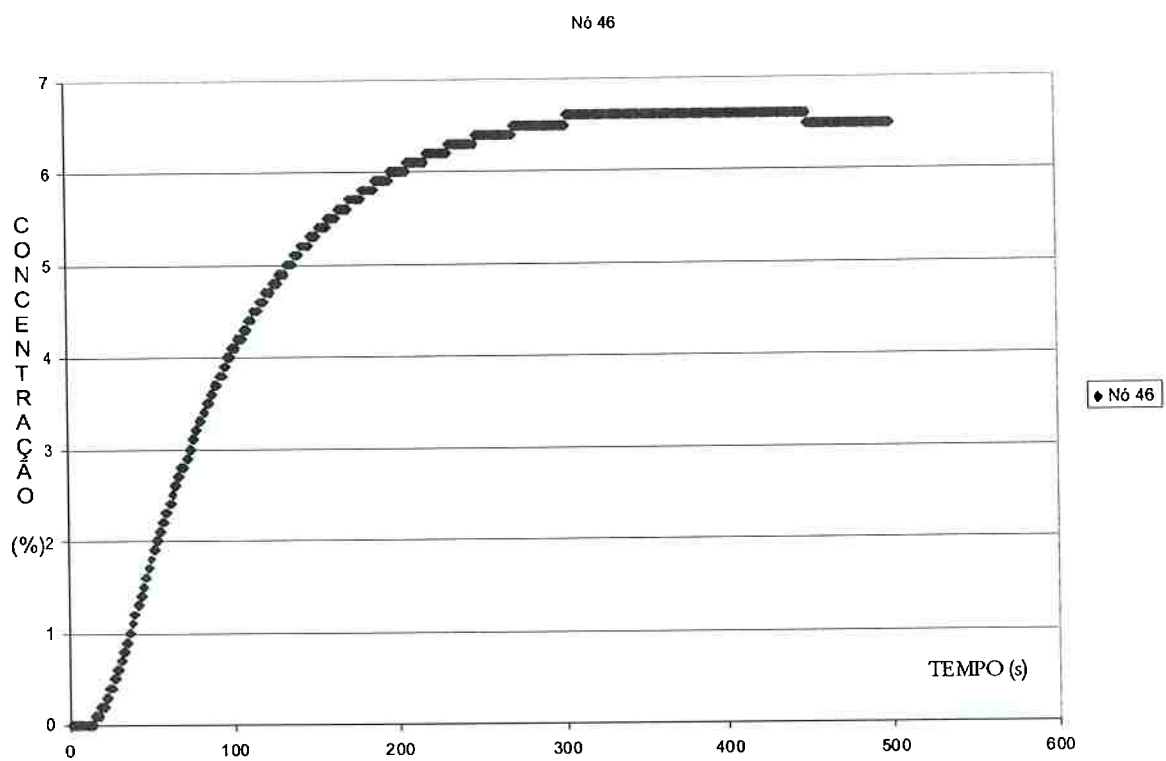
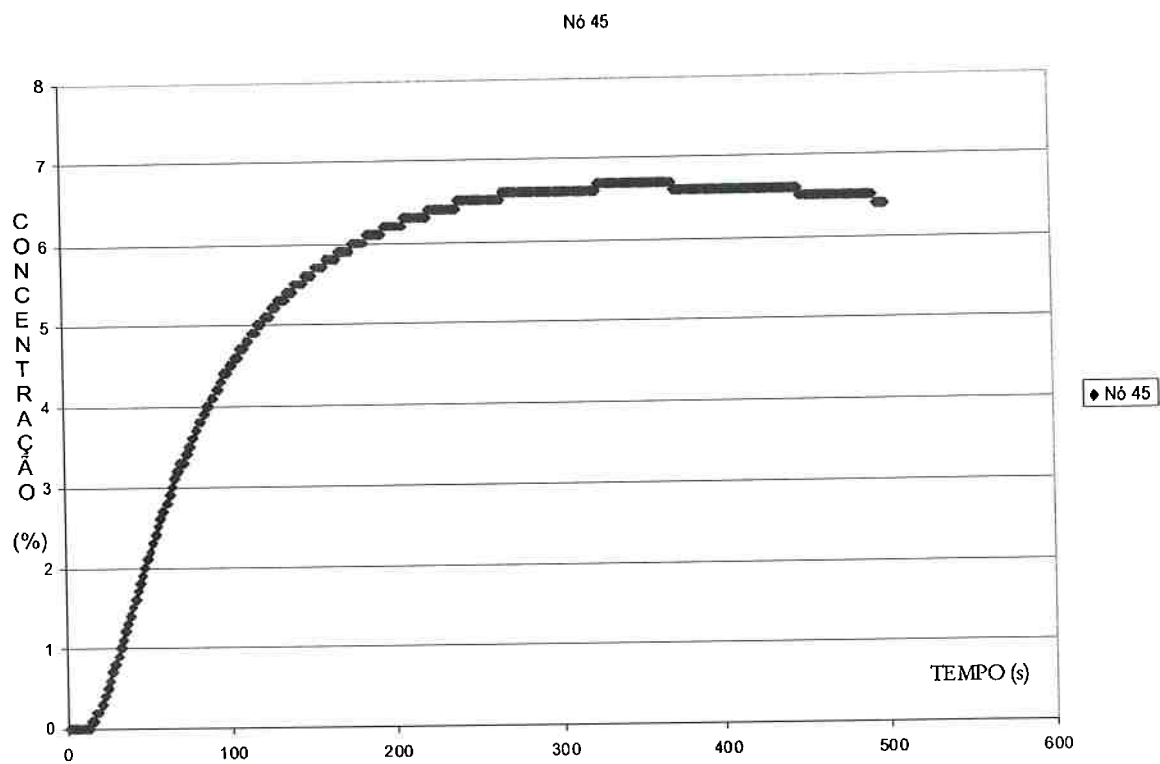
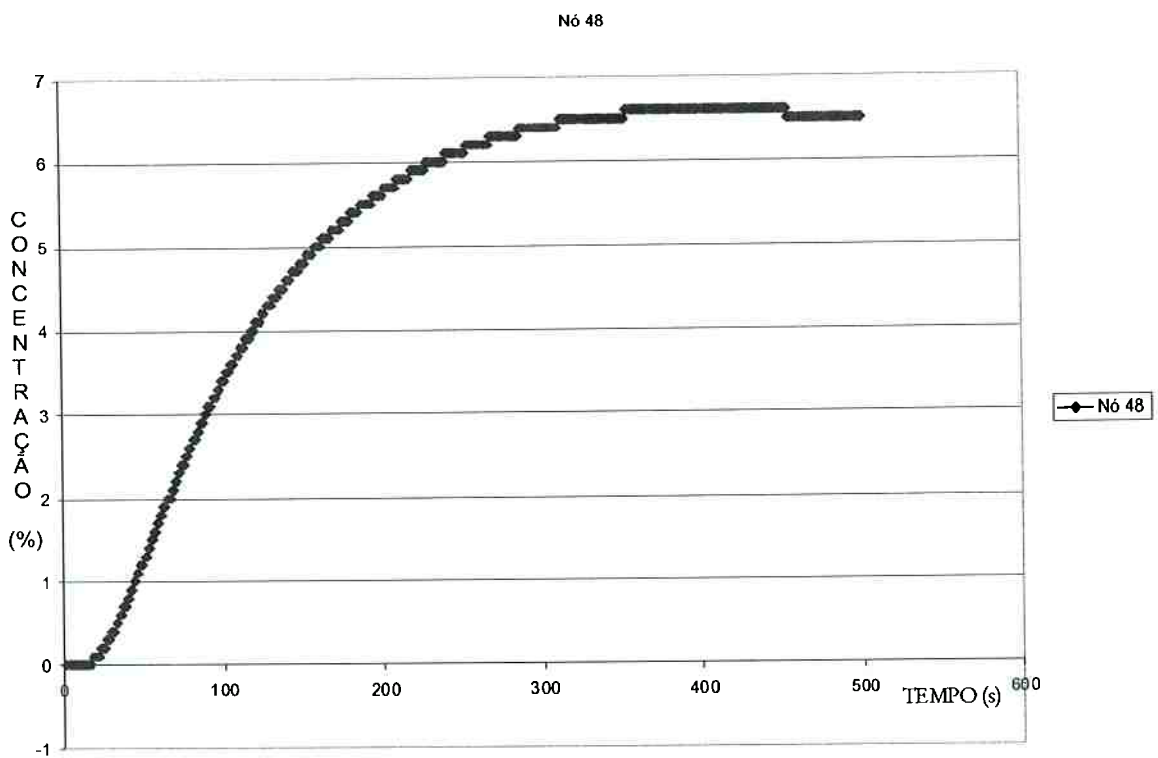
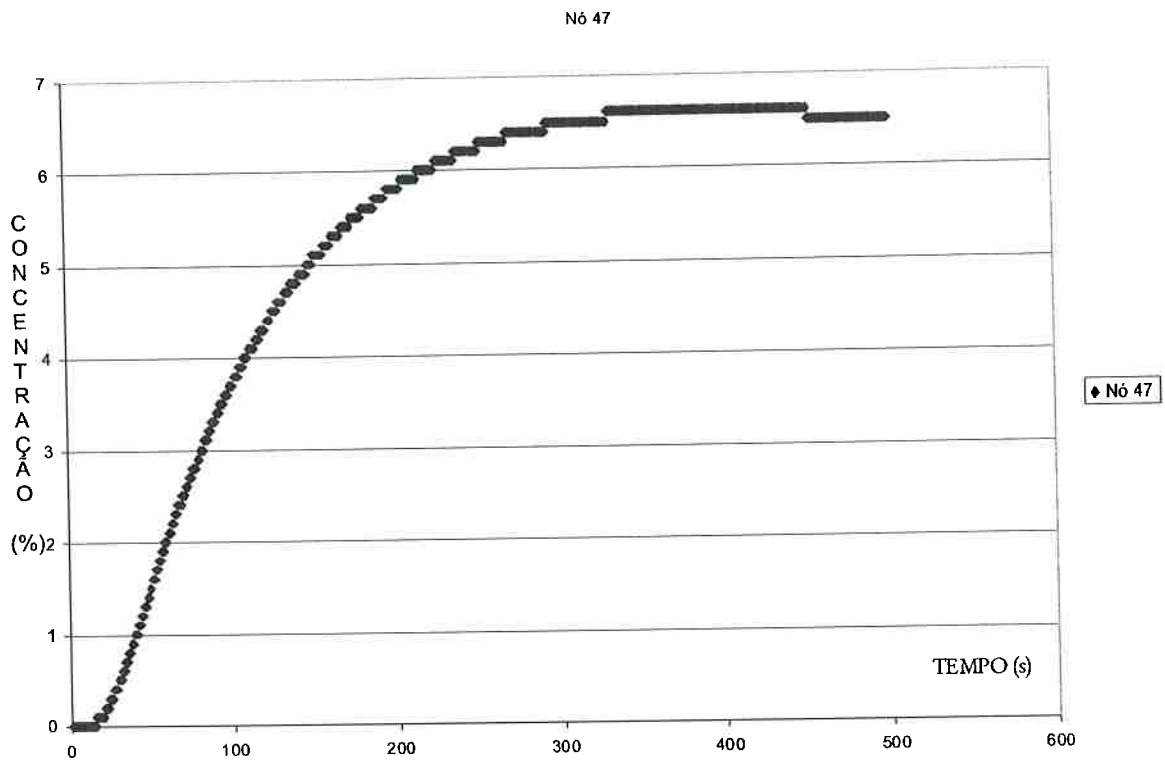


Gráfico F.40, Concentração em função do tempo no nó 40.









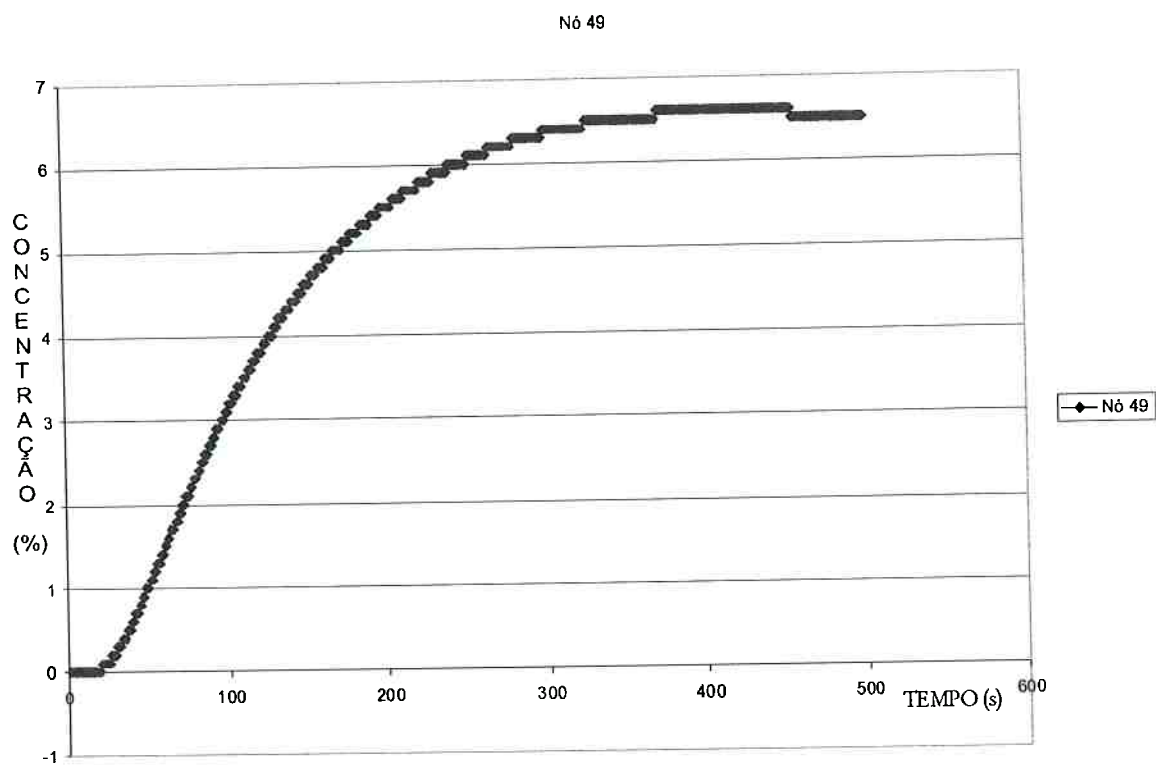


Gráfico F.49, Concentração em função do tempo no nó 49.

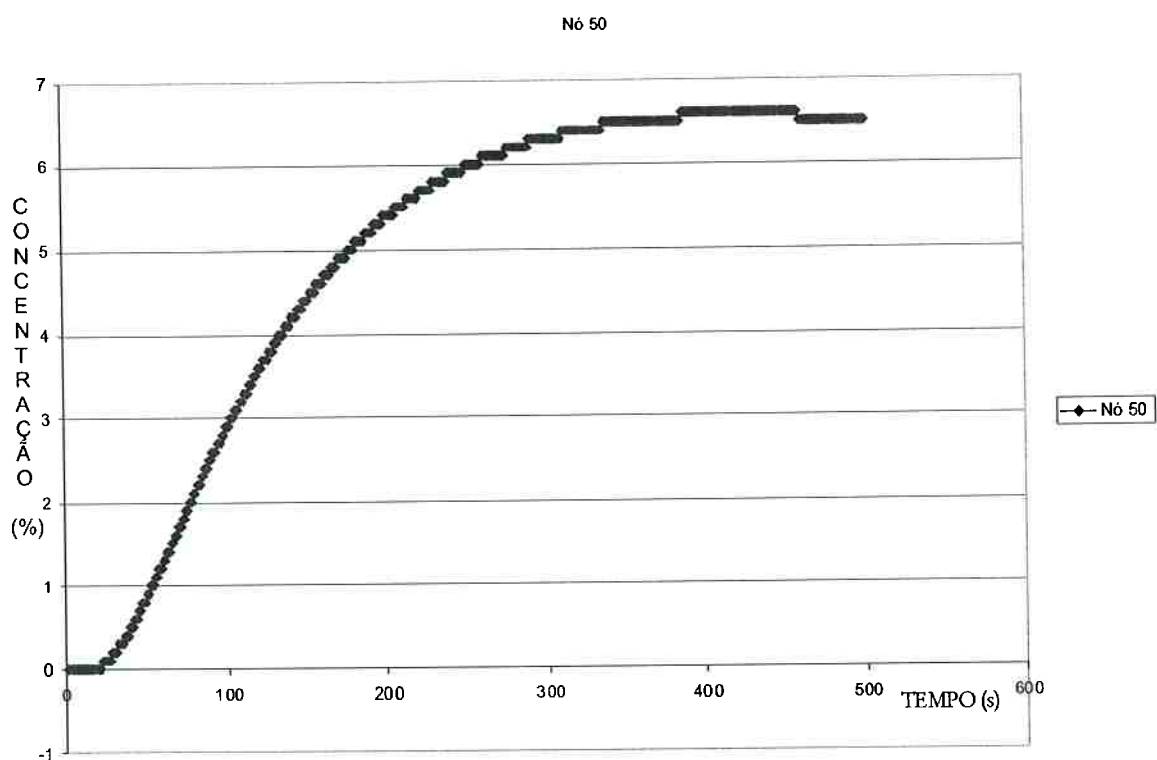


Gráfico F.50, Concentração em função do tempo no nó 50.

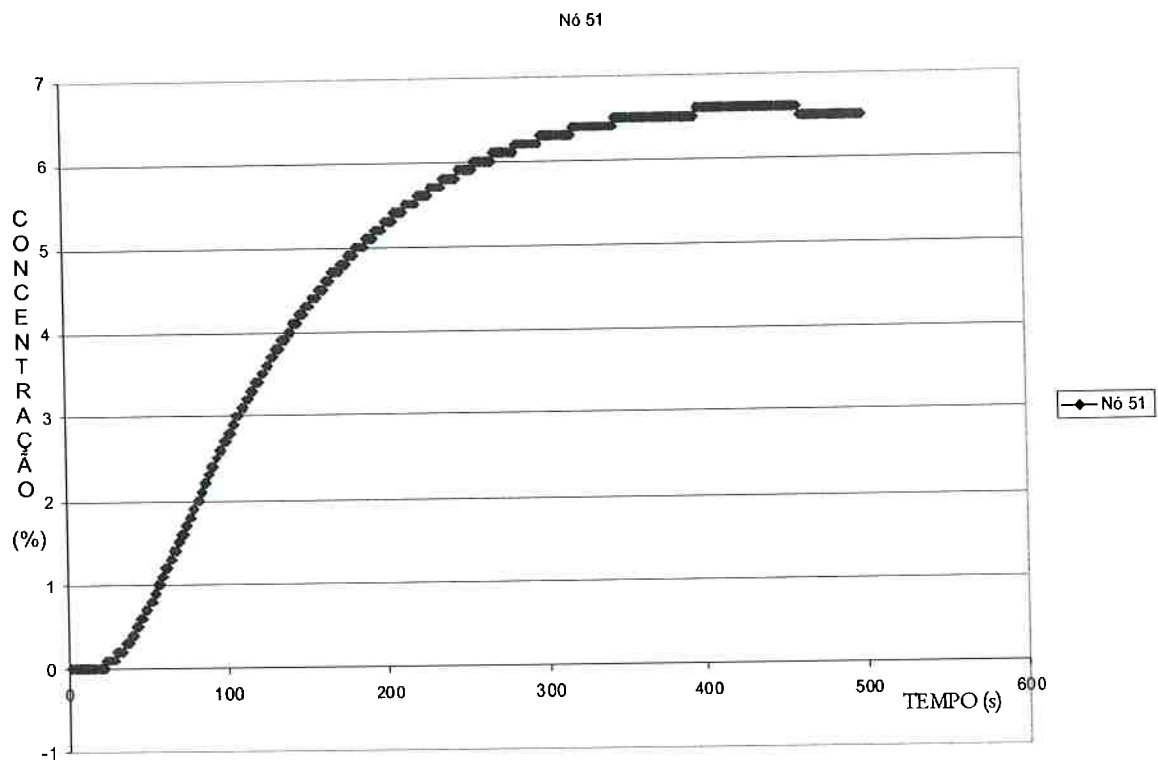


Gráfico F.51, Concentração em função do tempo no nó 51.

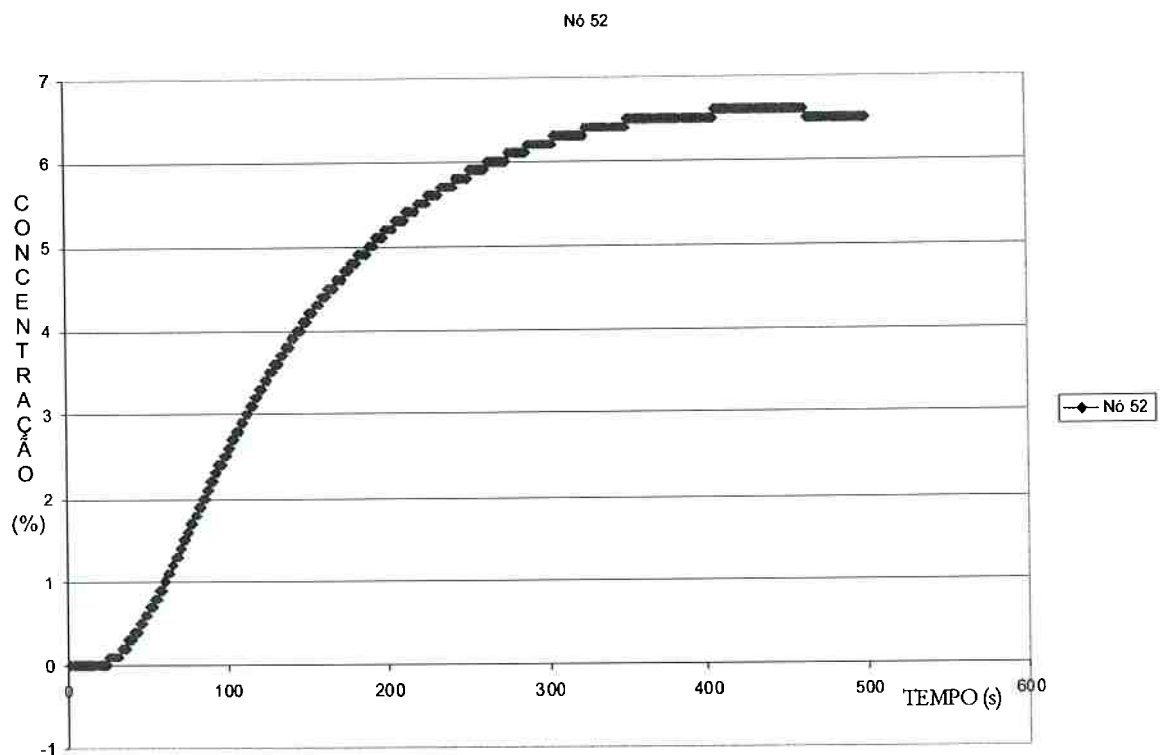


Gráfico F.52, Concentração em função do tempo no nó 52.

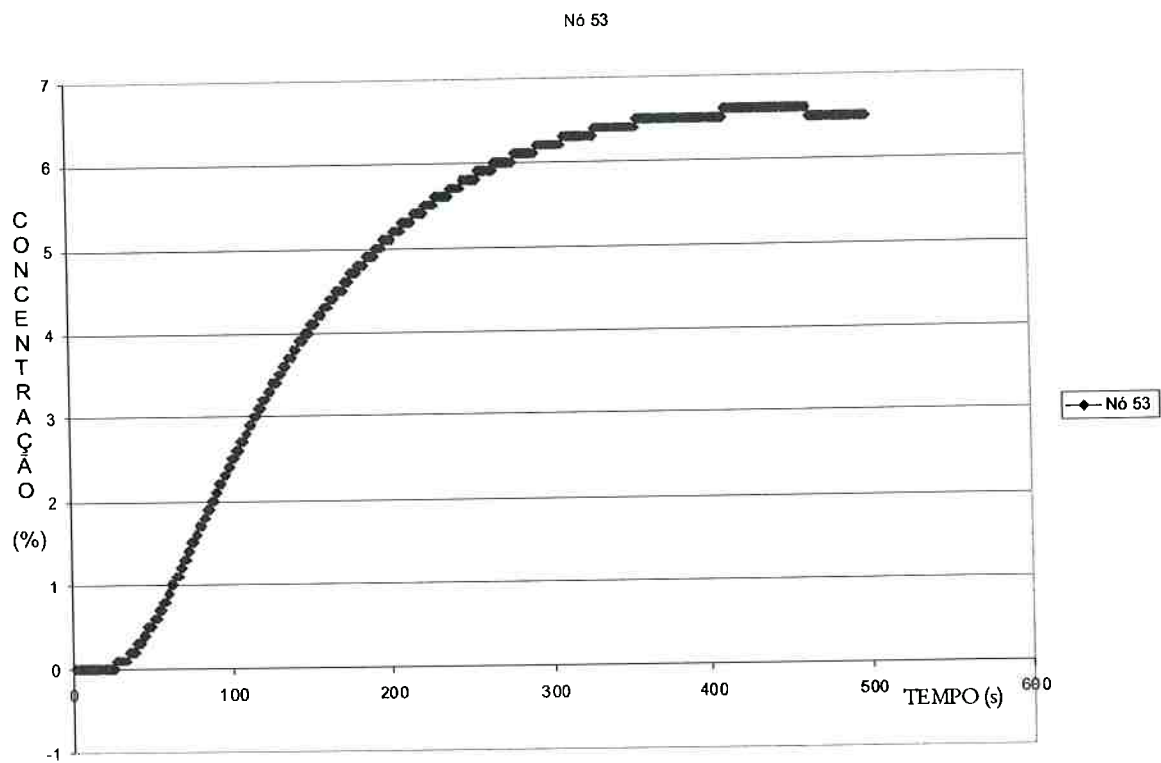


Gráfico F.53, Concentração em função do tempo no nó 53.

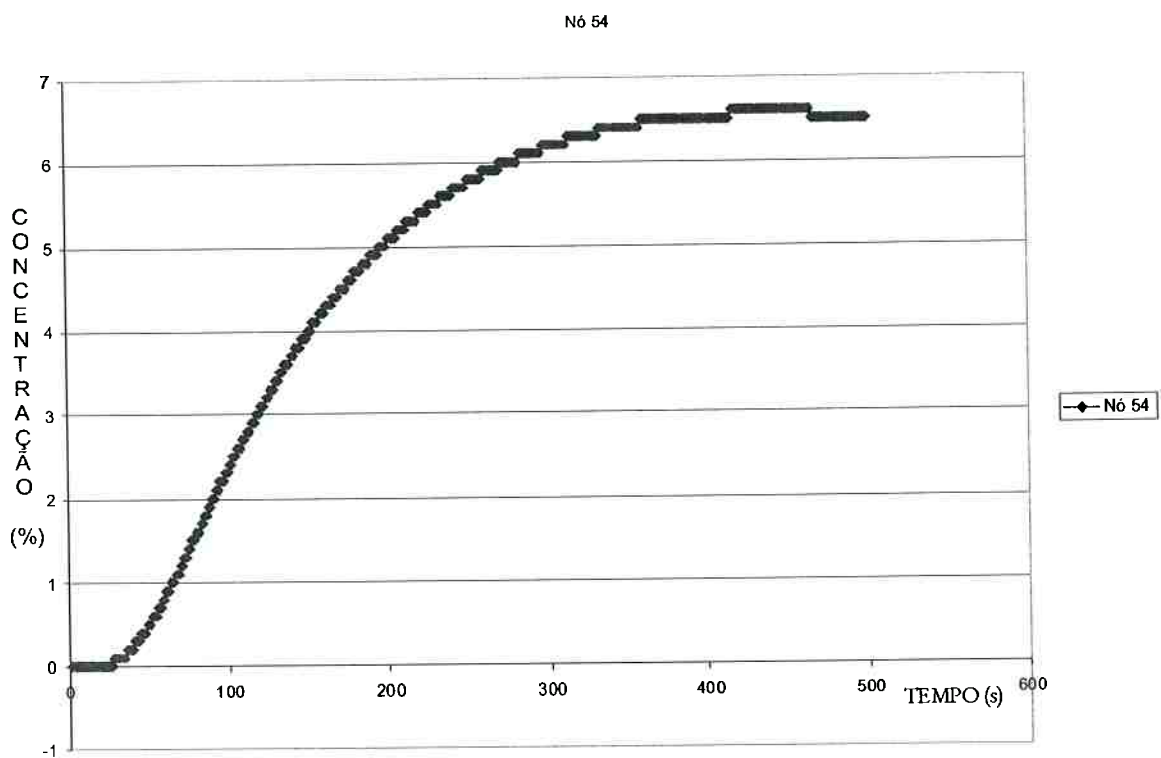
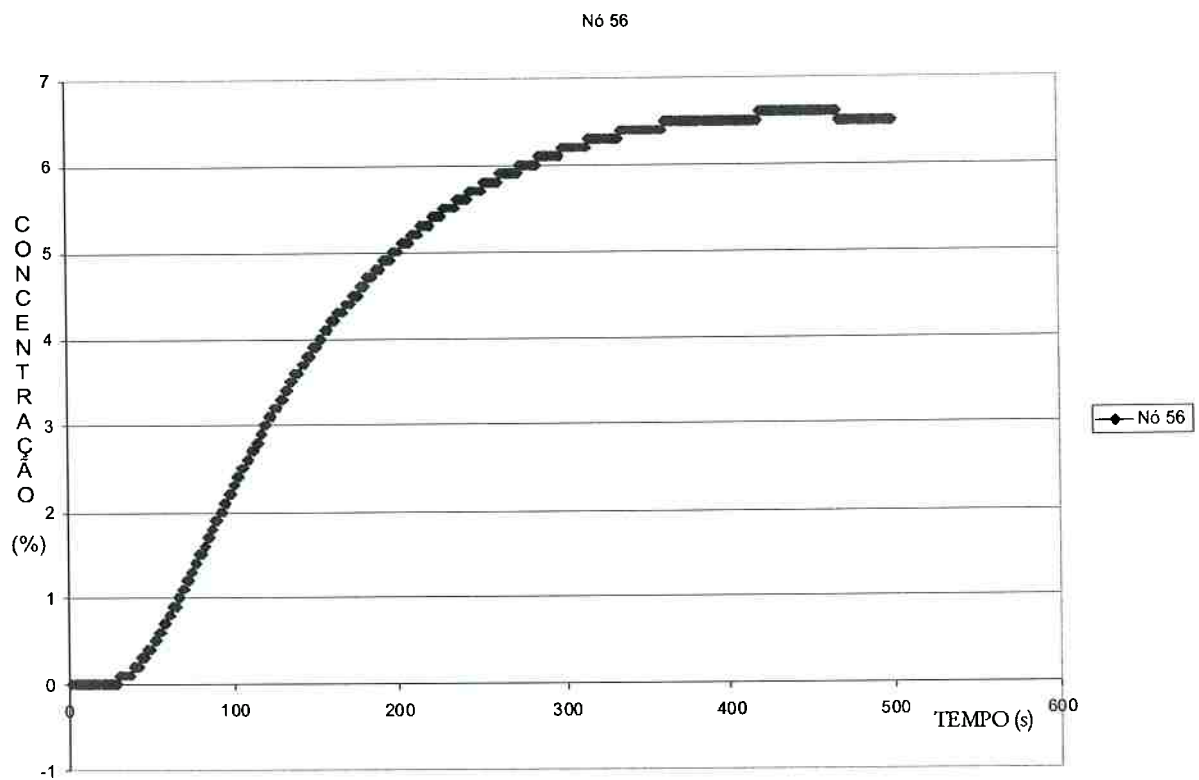
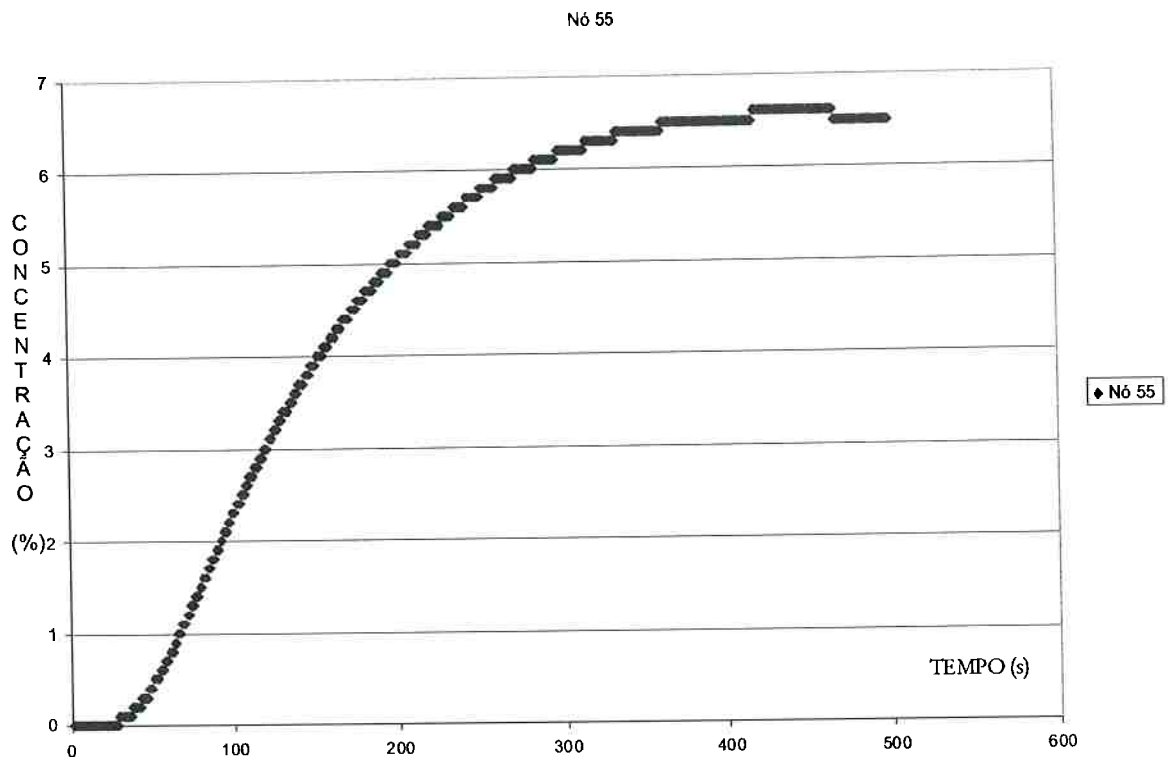


Gráfico F.54, Concentração em função do tempo no nó 54.



Dados Experimentais

Os dados a seguir foram obtidos nos ensaios, objetivando a determinação do raio da mancha de óleo, enfatizando o caráter operacional dos mecanismos de resposta ao derramamento. Tendo sido realizados 106 ensaios, os dados estão representados de acordo com a numeração estabelecida na Tabela 5.1 do capítulo 5. Como o número de resultados é elevado, são representados a seguir alguns ensaios iniciais, ensaios envolvendo volumes diferentes, correnteza superficial, ondas e ventos.

G.1- Ensaio 1

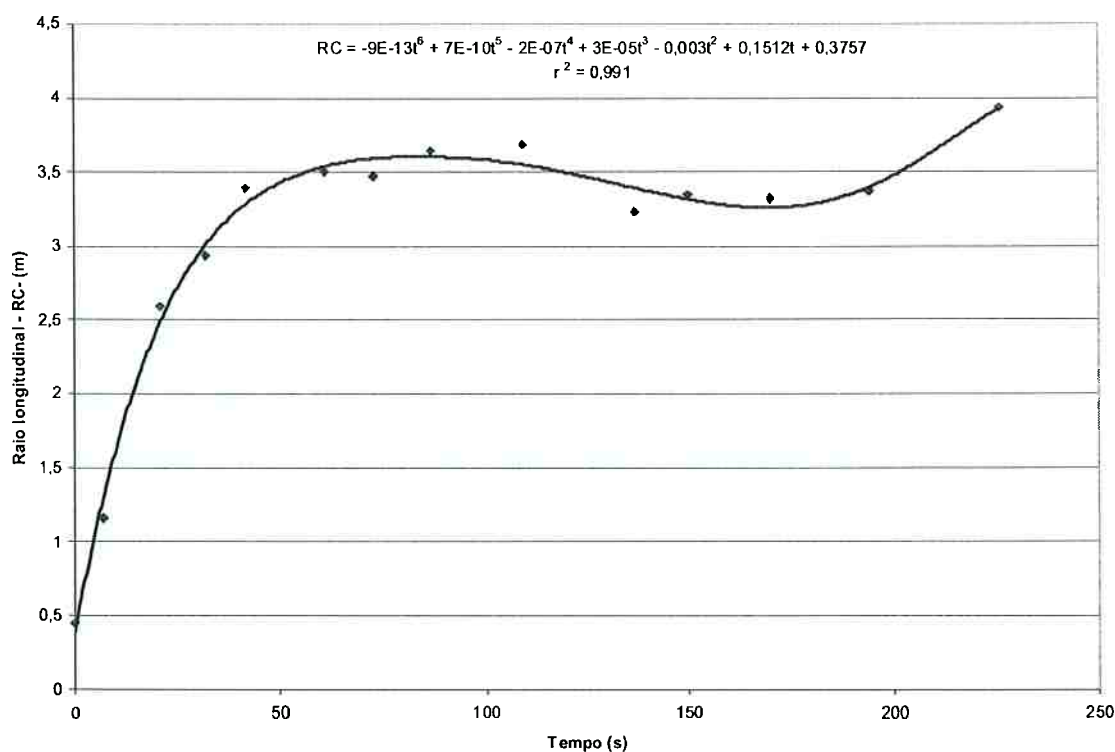


Gráfico G.1, Raio longitudinal no primeiro ensaio.

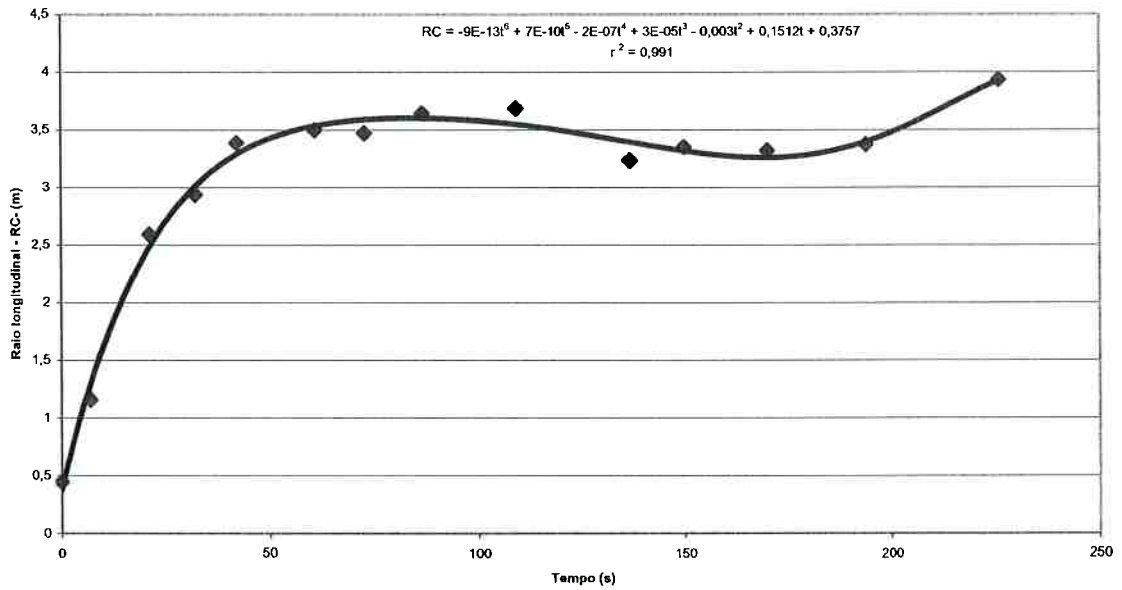


Gráfico G.2, Raio transversal no primeiro ensaio.

G.2- Ensaio 3

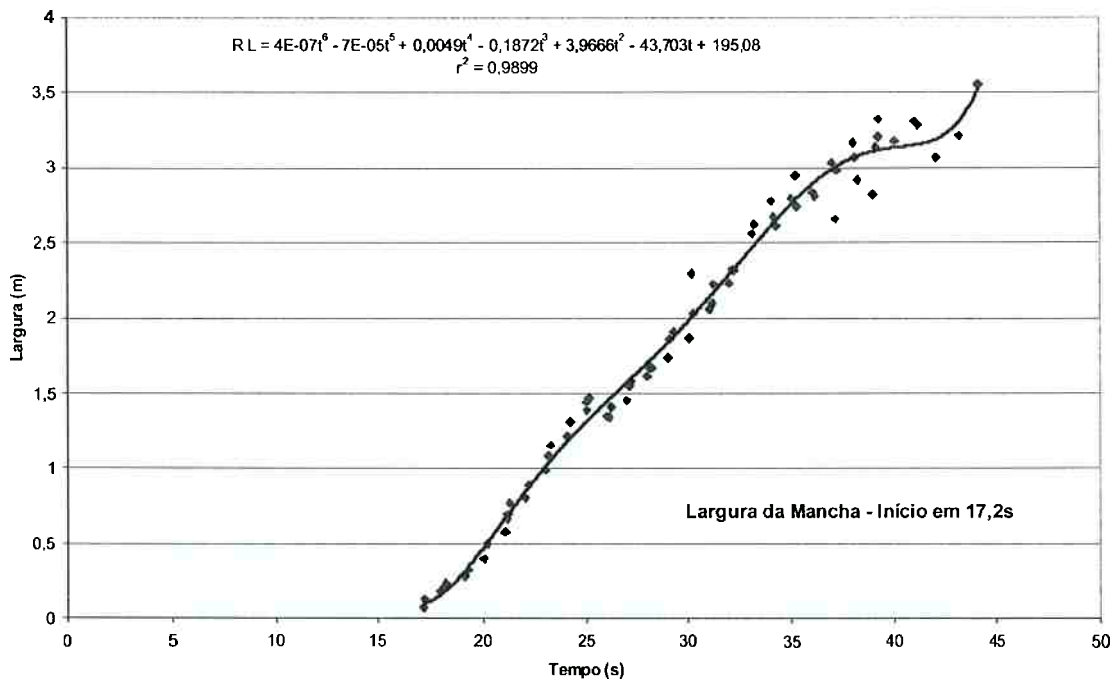


Gráfico G.3, Raio transversal no terceiro ensaio.

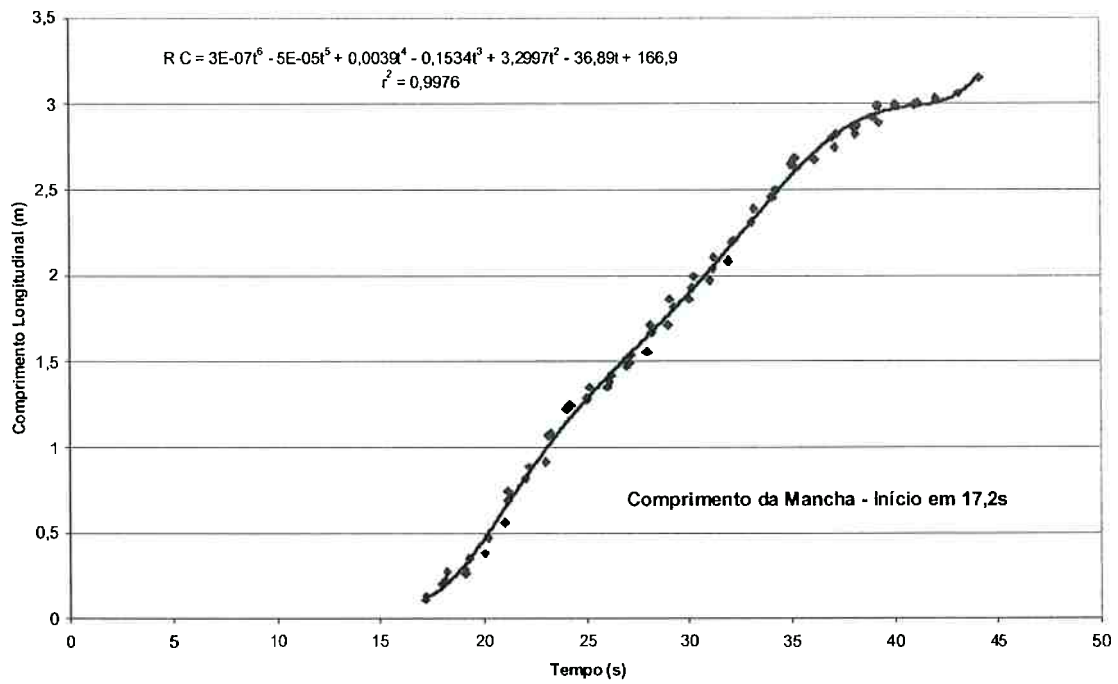


Gráfico G.4, Raio longitudinal no terceiro ensaio.

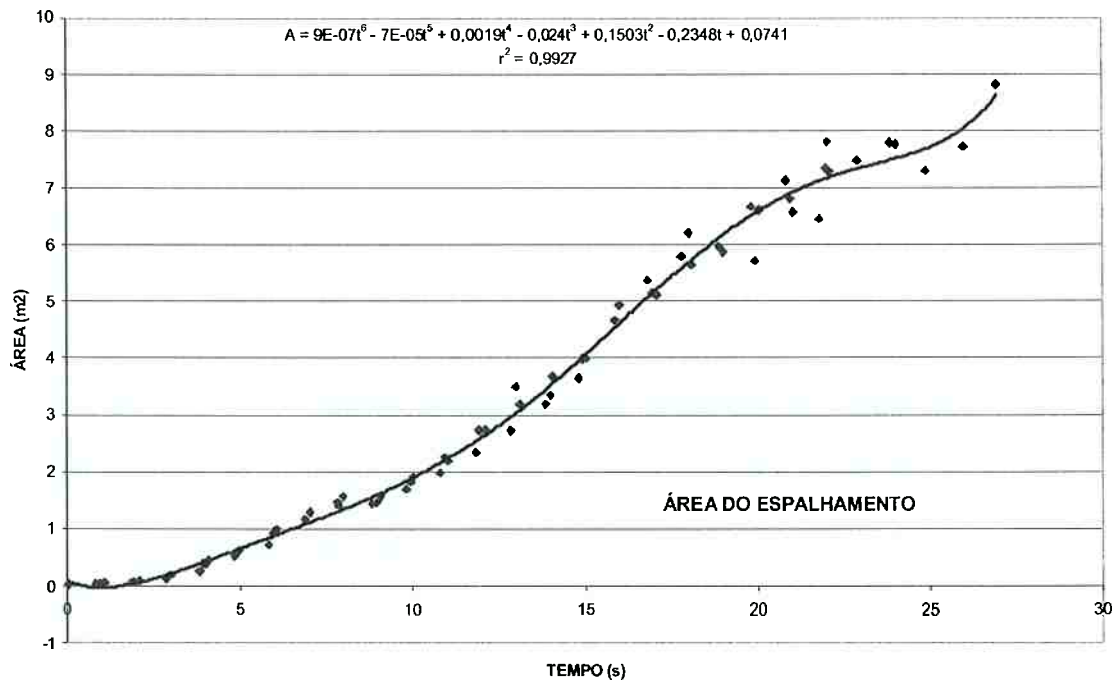


Gráfico G.5, Área do espalhamento no terceiro ensaio.

G.3- Ensaio 4

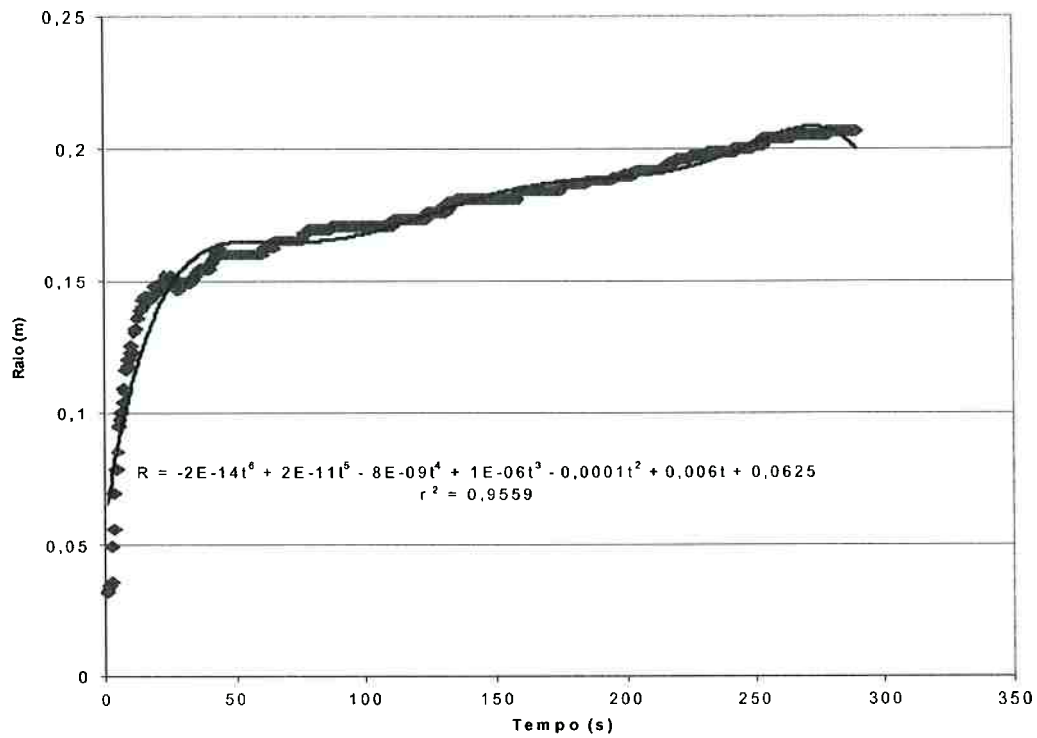


Gráfico G.6, Raio médio no quarto ensaio, ajuste polinomial.

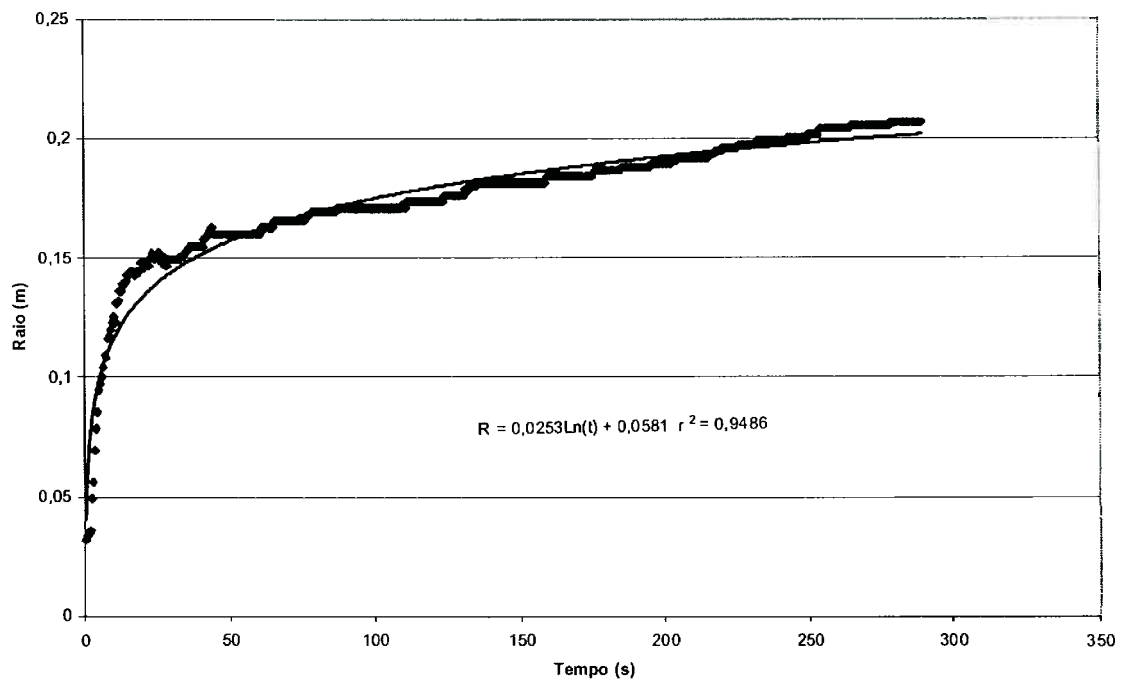


Gráfico G.7, Raio médio no quarto ensaio, ajuste logarítmico.

G.4- Ensaio 18

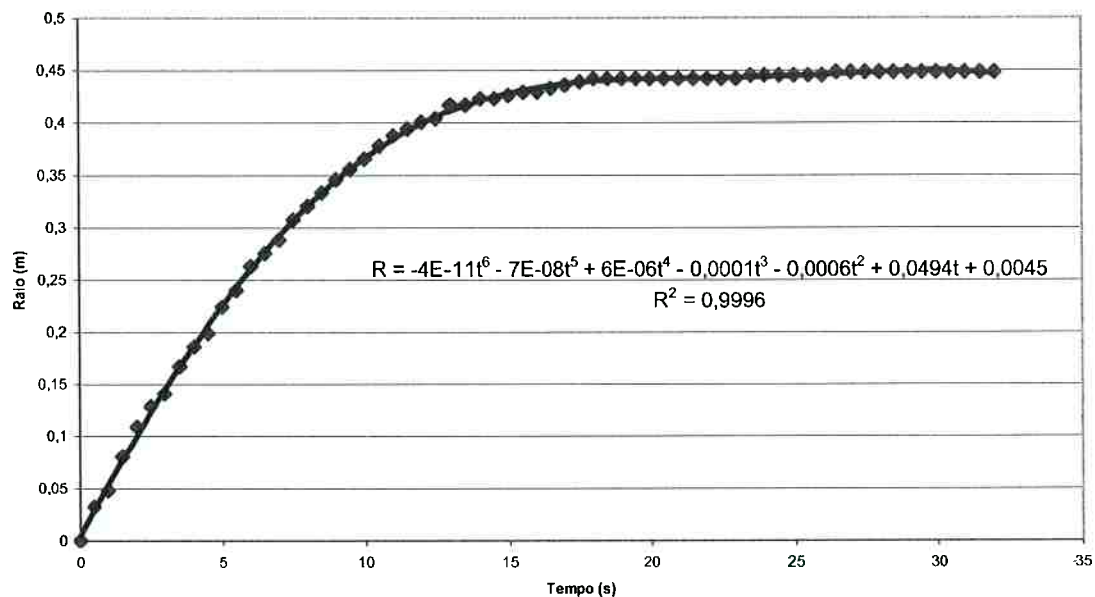


Gráfico G.8, Raio médio no ensaio 18, ajuste polinomial.

G.5- Ensaios com Ondas

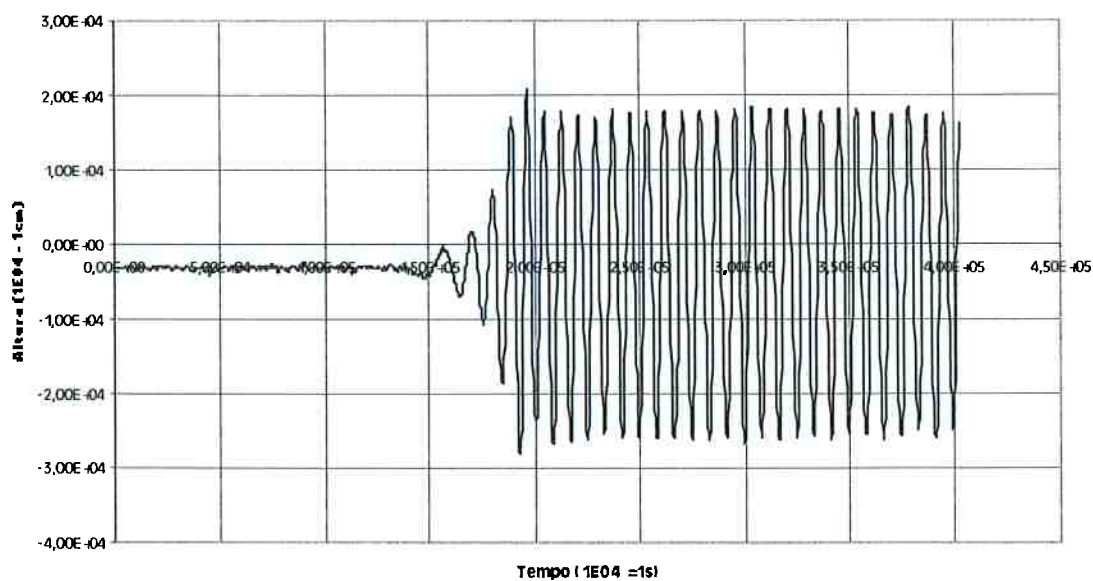


Gráfico G.9, Ondas Geradas no Ensaio 68.

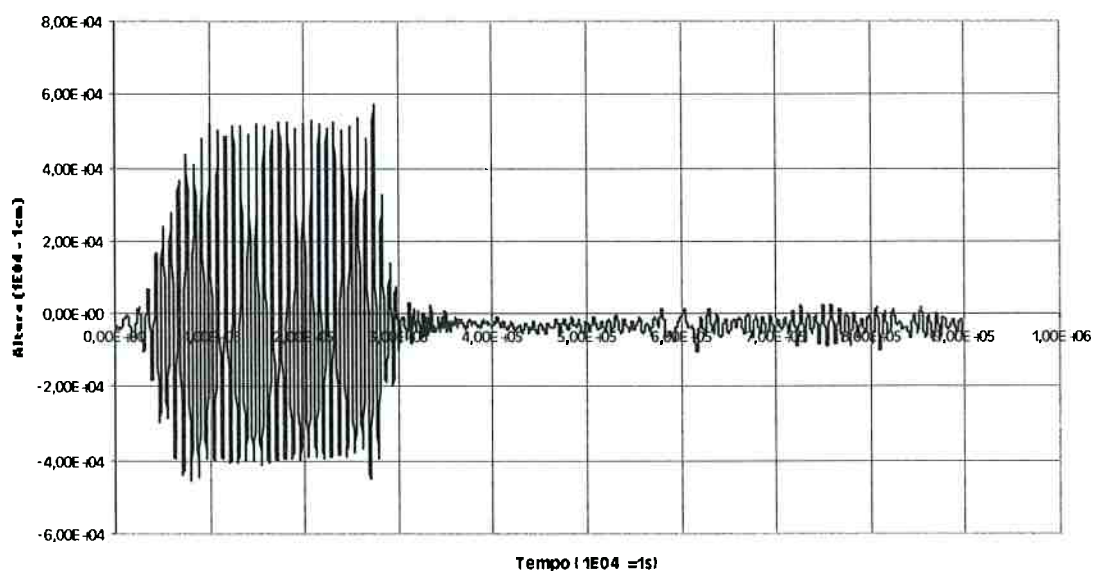


Gráfico G.10. Ondas geradas no ensaio 98.

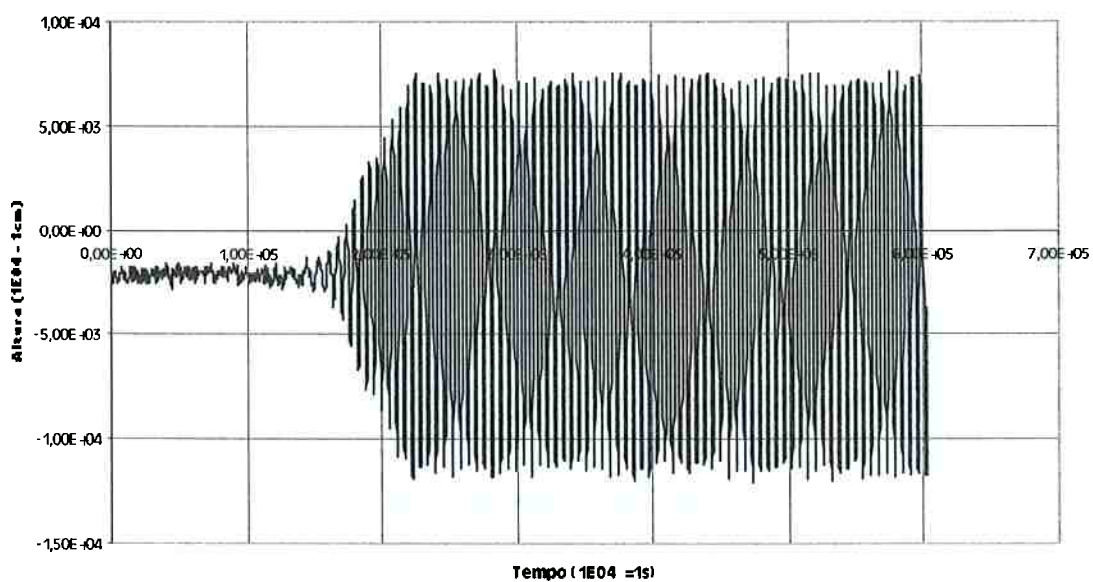


Gráfico G.11, Ondas geradas no ensaio 100.

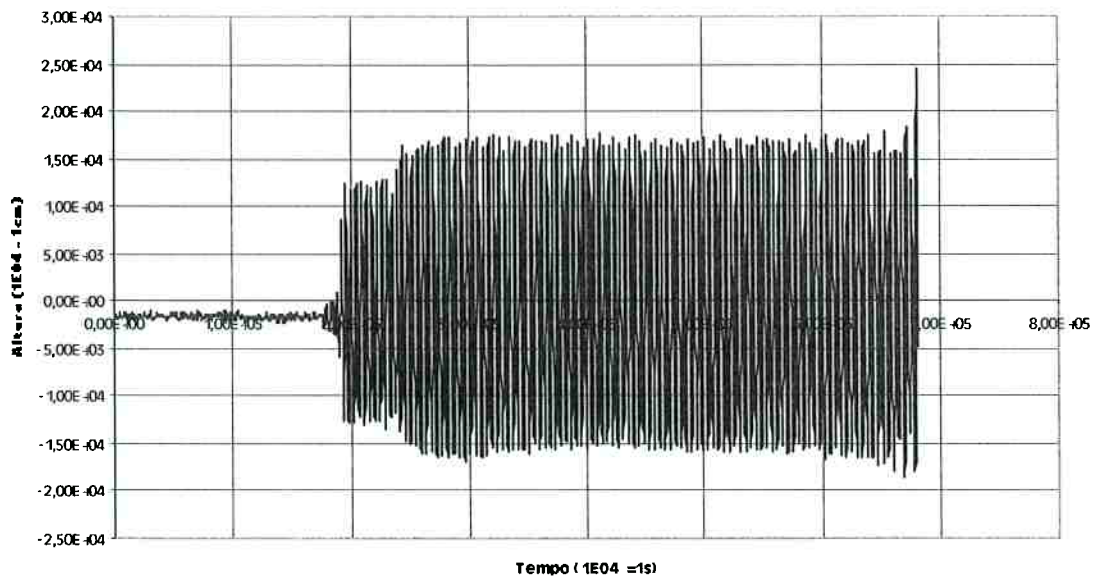


Gráfico G.12, Ondas geradas no ensaio 101.

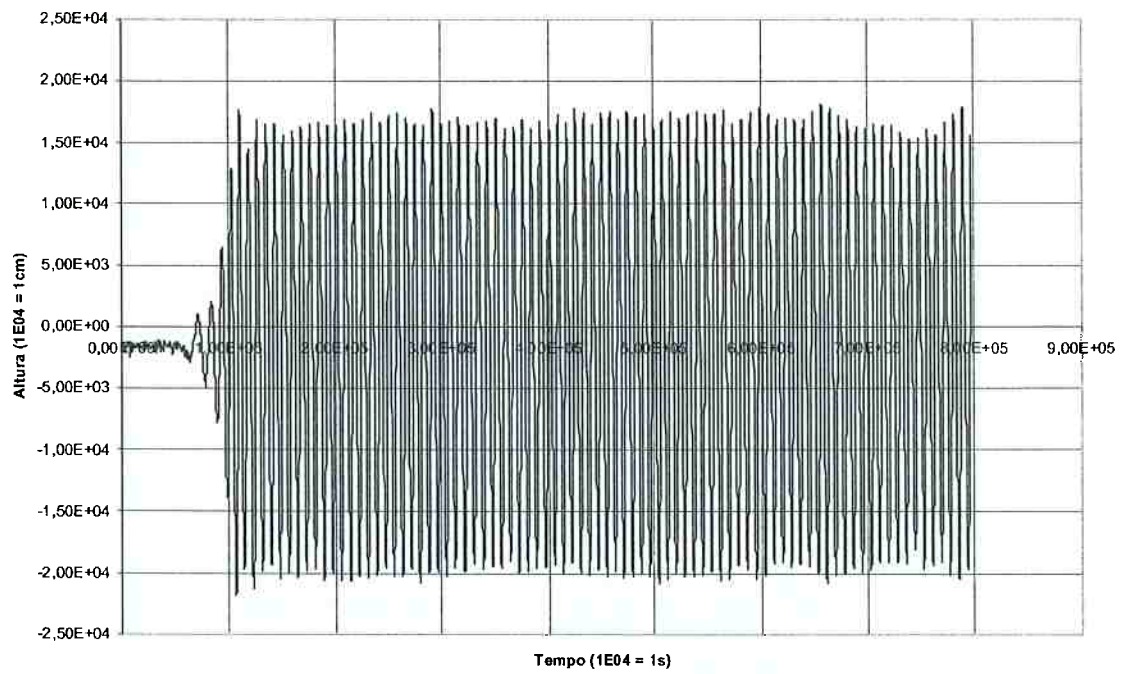


Gráfico G.13, Ondas geradas no ensaio 102.

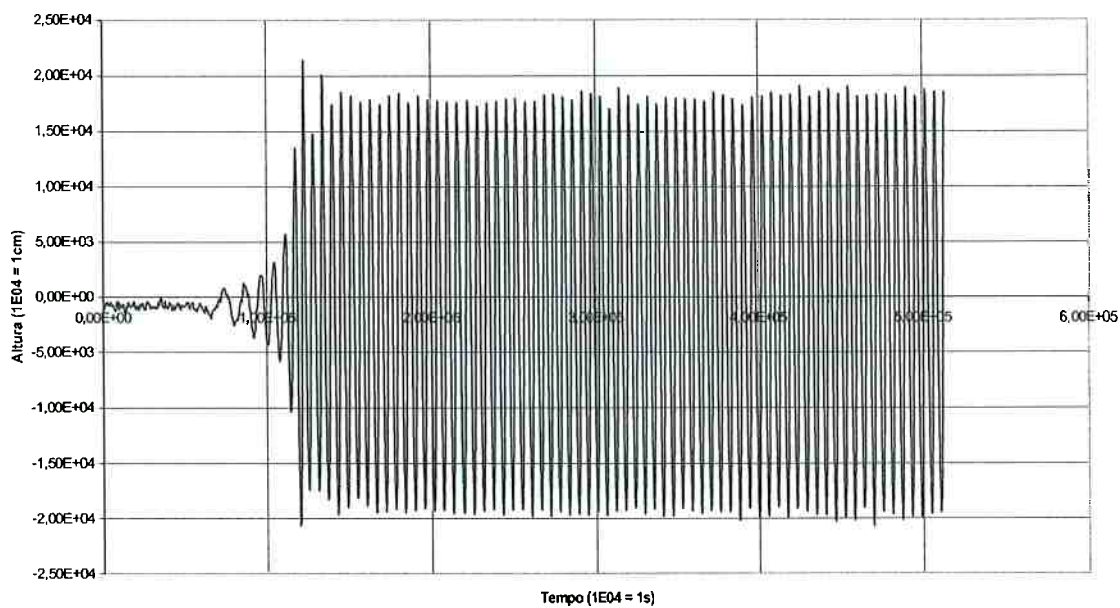


Gráfico G.14, Ondas geradas no ensaio 103.

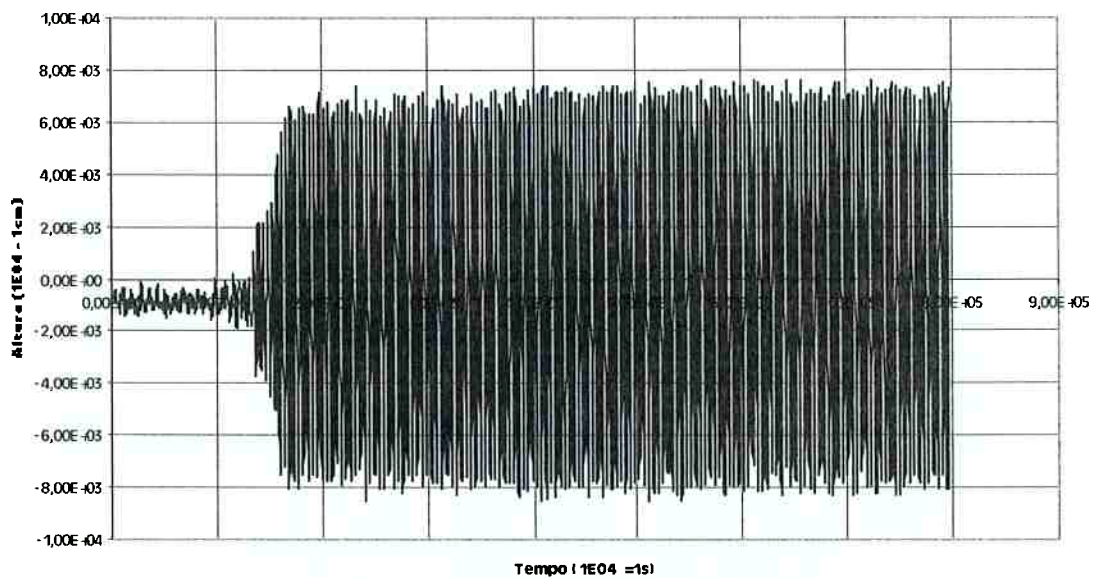


Gráfico G.15, Ondas geradas no ensaio 104.

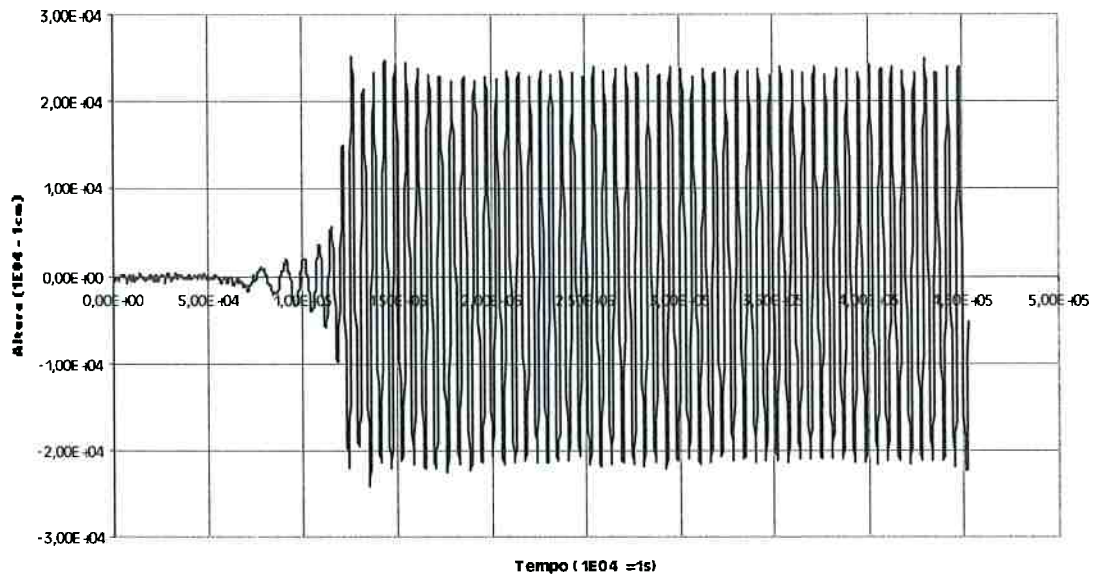


Gráfico G.16, Ondas geradas no ensaio 106.

G.6- Ensaio 46

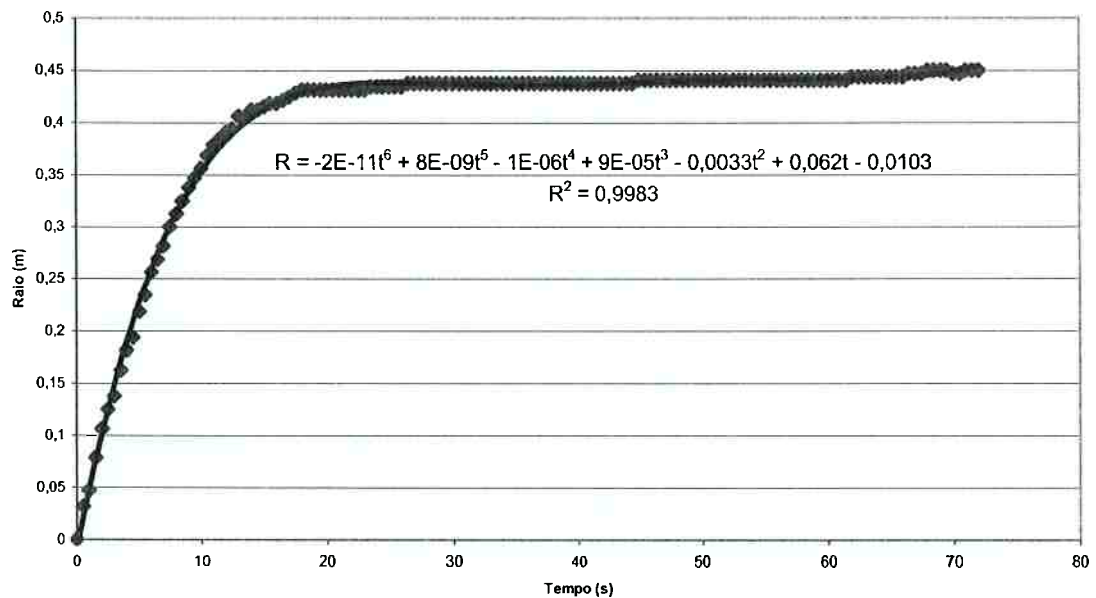


Gráfico G.17, Raio médio no ensaio 46, ajuste polinomial.

G.7- Ensaio 47

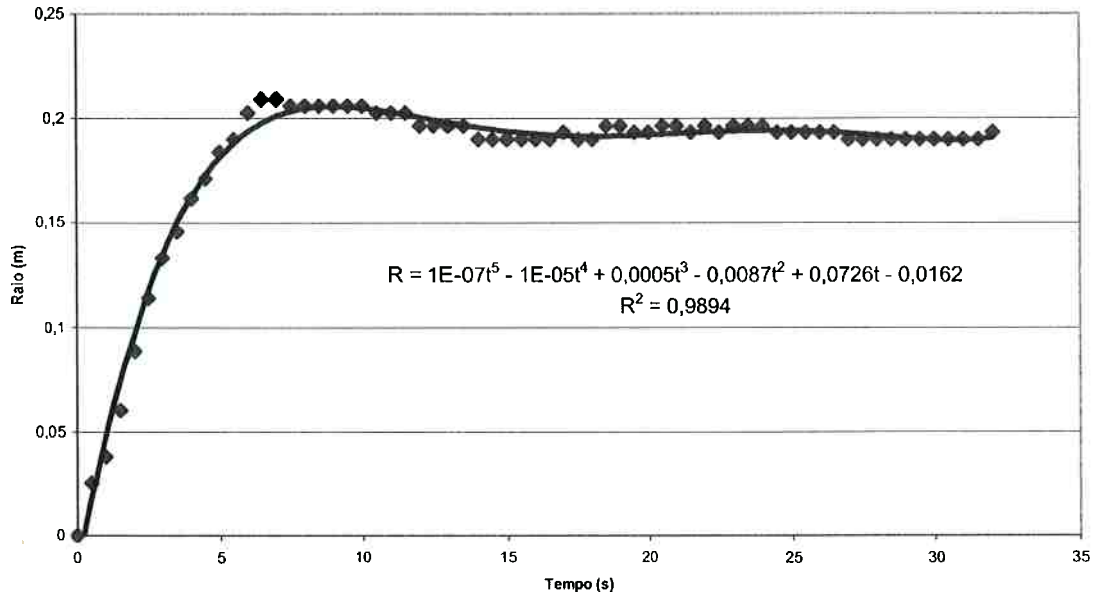


Gráfico G.18, Raio médio no ensaio 47, ajuste polinomial.

G.8- Ensaio 48

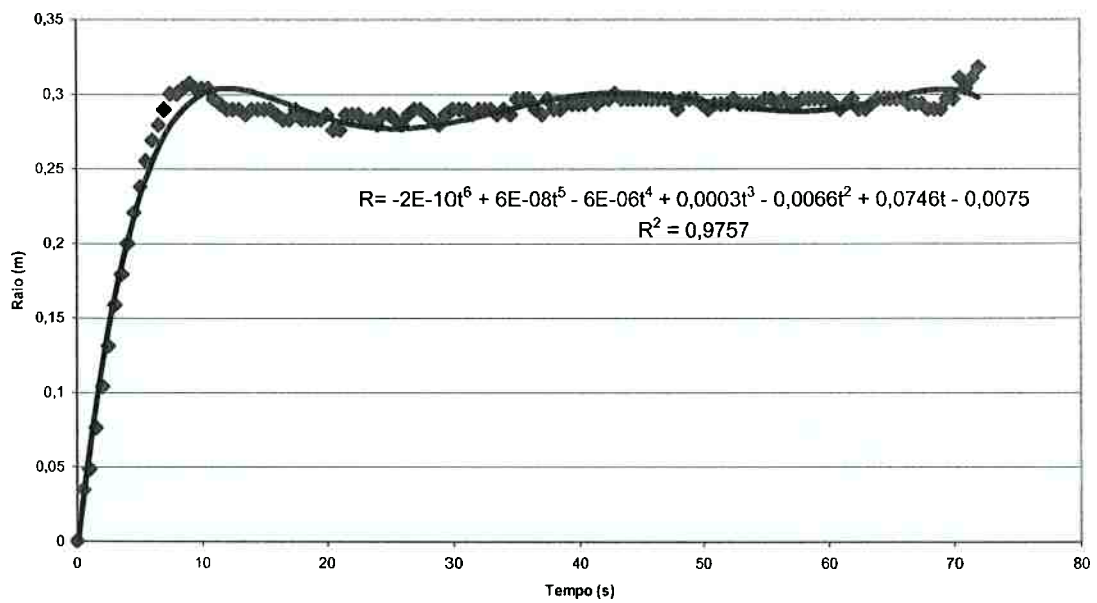


Gráfico G.19, Raio médio no ensaio 48, ajuste polinomial.

G.9- Ensaio 71

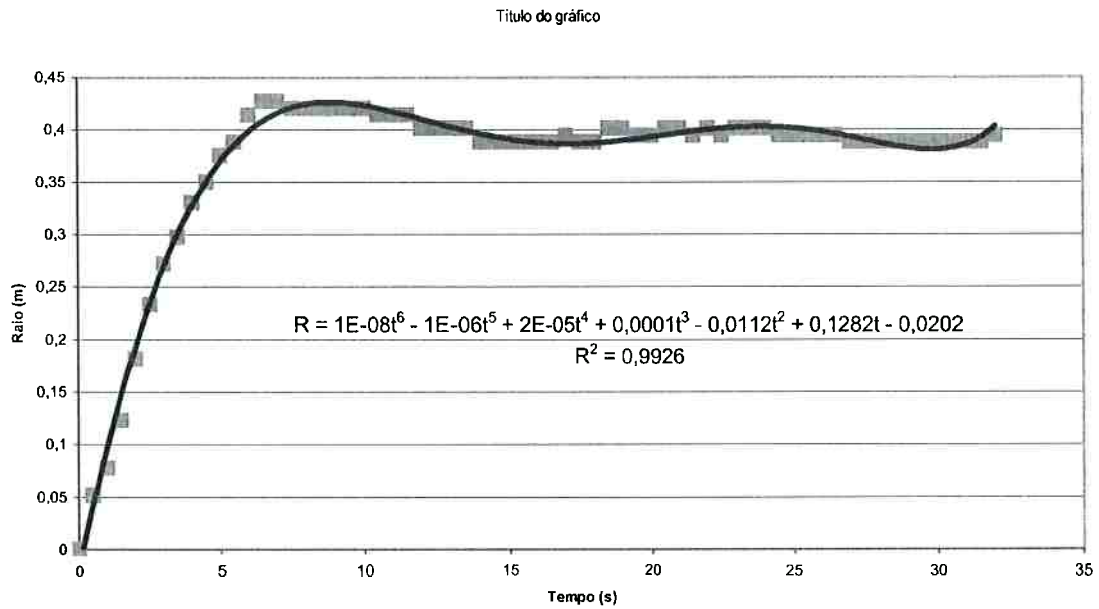


Gráfico G.20- Raio médio no ensaio 71, ajuste polinomial.

G.10- Ensaio 74

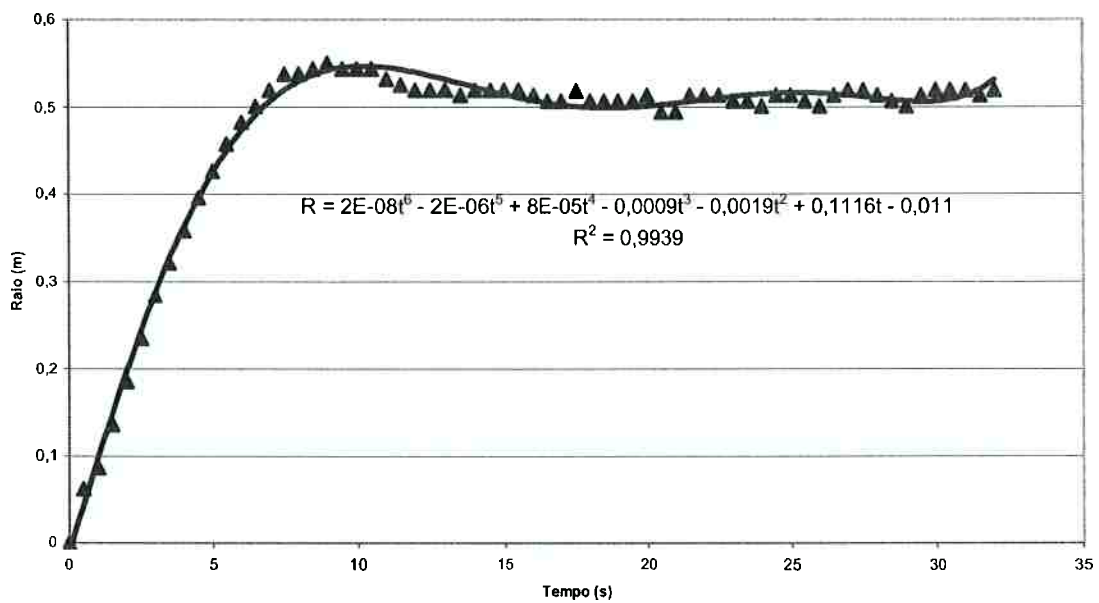


Gráfico G.21, Raio médio no ensaio 74, ajuste polinomial.

G.11- Ensaio 52

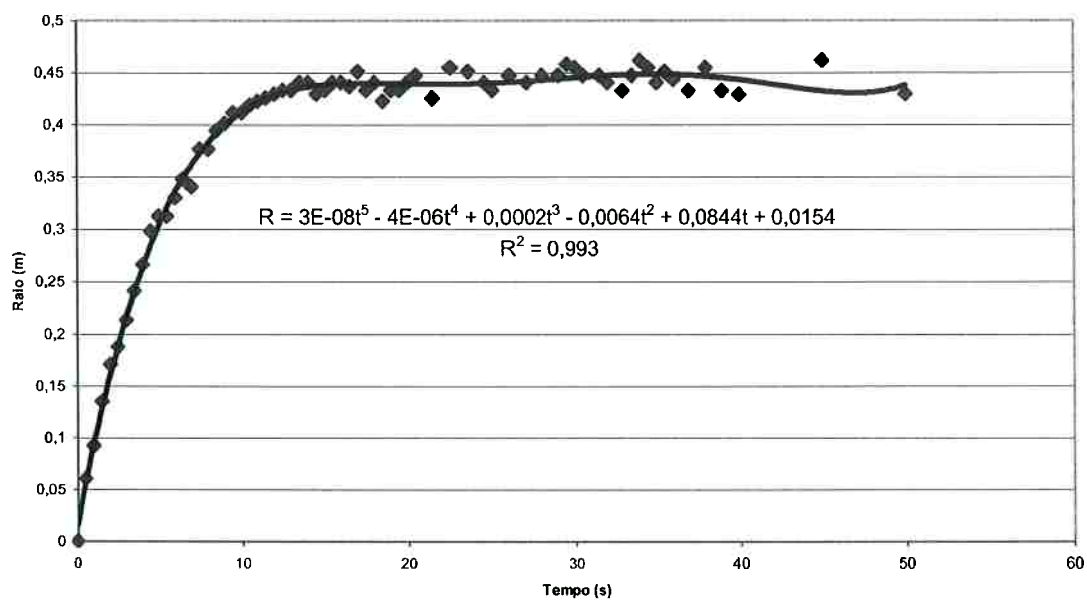


Gráfico G.22, Raio médio no ensaio 52, ajuste polinomial.

G.12- Ensaio 100

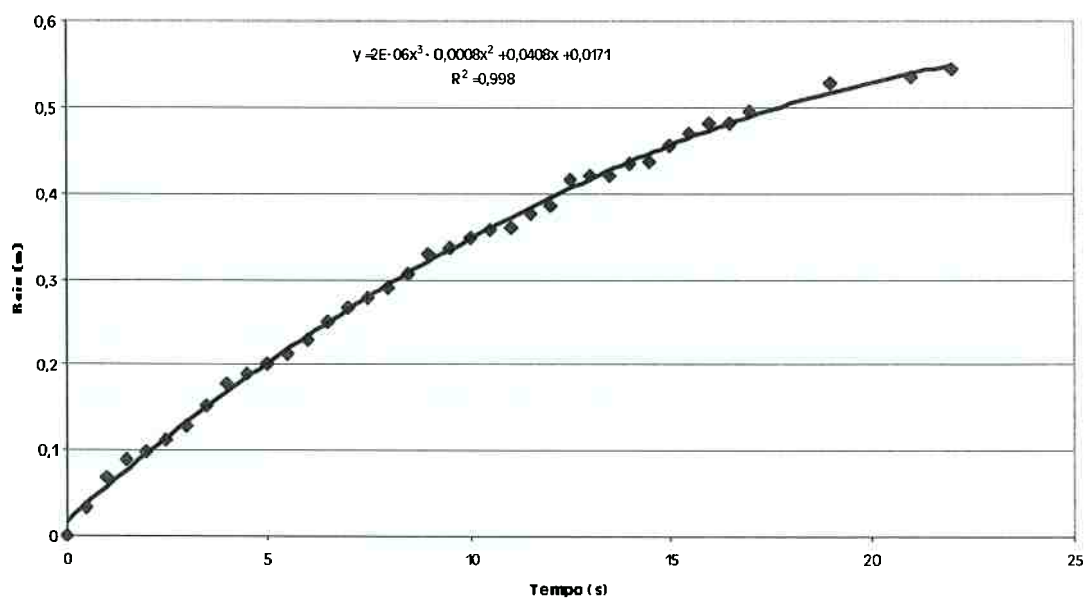


Gráfico G.23, Raio médio no ensaio 100, ajuste polinomial.

G.13- Ensaio 67

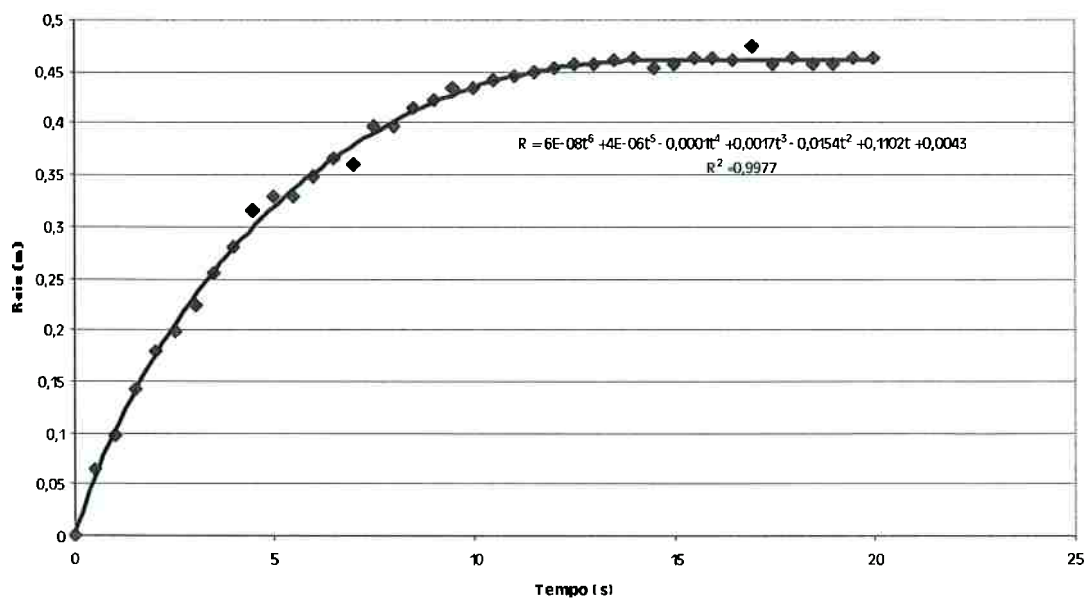


Gráfico G.24, Raio médio no ensaio 67, ajuste polinomial.

Programas

No capítulo quatro foi apresentado o fluxograma do programa de cálculo da concentração, empregando elementos finitos, desenvolvido em FORTRAN95 FOR WINDOWS. O código desse programa é o seguinte:

```

!C
!C          PROGRAMA PRINCIPAL
!C  PROGRAMA DE ELEMENTOS FINITOS COM GRADE RETANGULAR PARA O CÁLCULO DO
!C  ESPALHAMENTO DO OLEO DERRAMADO NO MEIO AQUÁTICO
!C
!C
!C
program CONCENTRAÇÃO
  COMMON/A/COLD,CNEW
  COMMON/A1/G,P
  COMMON/A2/B,X,Y,NODE
  COMMON/A3/NELEM,NNODE
  COMMON/A4/NS,NX,NY
  DIMENSION:: COLD(8160),CNEW(8160)
  DIMENSION:: G(8160,8160),P(8160,8160)
  DIMENSION:: B(8160),X(8160),Y(8160),NODE(8160,4)
  DIMENSION:: NELEM(8160),NNODE(8160)
!C
!C  BLOCO 1 - ENTRADA DE DADOS GEOMÉTRICOS CÁLCULO DE
!C  SEUS ELEMENTOS
!C
!C  ALX = COMPRIMENTO DO LADO X DA REGIAO
!C  ALY = COMPRIMENTO DO LADO Y DA REGIAO
!C  NOSX = NUMERO DE DIVISOES TOMADAS NO EIXO X
!C  NOSY = NUMERO DE DIVISOES TOMADAS NO EIXO Y
!C
!C
  WRITE(*,5)
  5  FORMAT(//////////)
  WRITE(*,10)
  10 FORMAT(/15X,'*** FORNEÇA OS DADOS GEOMÉTRICOS ***',//,10X,'COMPRIMENTO DO LADO X DA REGIÃO
(ALX), NO FORMATO LIVRE, EM (m)')
  READ(*,*) ALX
  WRITE(*,11)
  11 FORMAT(/,10X,'COMPRIMENTO DO LADO Y DA REGIÃO (ALY), NO FORMATO LIVRE, EM (m)')
  READ(*,*) ALY
  WRITE(*,12)
  12 FORMAT(/,10X,'NÚMERO DE NÓS (DIVISÕES + 1) EM X, NO FORMATO INTEIRO, MENOR QUE 91 ')
  READ(*,*) NOSX
  WRITE(*,13)
  13 FORMAT(/,10X,'NÚMERO DE (DIVISÕES + 1) EM Y, NO FORMATO INTEIRO, MENOR QUE 91')
  READ(*,*) NOSY
!C  BLOCO 2 - ENTRADA DOS PARAMETROS INICIAIS
!C
!C  DT = INTERVALO DE TEMPO PARA AS ITERAÇÕES
!C  VX = VELOCIDADE ADVECTIVA DE SUPERFÍCIE NA DIREÇÃO X
!C  VY = VELOCIDADE ADVECTIVA DE SUPERFÍCIE NA DIREÇÃO Y
!C  DX = COEFICIENTE DE DIFUSÃO NA DIREÇÃO X
!C  DY = COEFICIENTE EM DIFUSÃO NA DIREÇÃO Y
!C

```

Anexo H - Programas

```

!C ***** FORNECER OS PARÂMETROS INICIAIS *****
!C
WRITE(*,14)
14 FORMAT(/,15X,**** FORNEÇA OS PARÂMETROS INICIAIS ***,//,10X,'INTERVALO DE TEMPO DAS
ITERAÇÕES (DT), NO FORMATO LIVRE')
READ(*,*) DT
WRITE(*,15)
15 FORMAT(/,10X,'RESULTANTE DA VELOCIDADE ADVECTIVA NA DIREÇÃO X (VX), NO FORMATO LIVRE, EM
(m/s)')
READ(*,*) VX
WRITE(*,16)
16 FORMAT(/,10X,'RESULTANTE DA VELOCIDADE ADVECTIVA NA DIREÇÃO Y (VY), NO FORMATO LIVRE, EM
(m/s)')
READ(*,*) VY
WRITE(*,17)
17 FORMAT(/,10X,'COEFICIENTE DE DIFUSÃO NA DIREÇÃO X (DX), NO FORMATO LIVRE, EM (m^2/s)')
READ(*,*) DX
WRITE(*,18)
18 FORMAT(/,10X,'COEFICIENTE DE DIFUSÃO NA DIREÇÃO Y (DY), NO FORMATO LIVRE, EM (m^2/s)')
READ(*,*) DY
!C
!C ***** FORNECER AS CONDIÇÕES INICIAIS *****
!C
WRITE(*,19)
19 FORMAT(/,15X,**** FORNEÇA AS CONDIÇÕES INICIAIS ***,//,10X,'FORNEÇA O NÚMERO DO NÓ IK, FONTE
DE ÓLEO,INTEIRO,<OU= ALX*ALY')
READ(*,*) IK
WRITE(*,20)
20 FORMAT(/,10X,' FORNEÇA O VALOR INICIAL DA CONCENTRAÇÃO NA FONTE (COLD(IK)), NO FORMATO
LIVRE')
READ(*,*) COLD(IK)
!C
!C ***** FORNECER O NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES *****
!C
WRITE(*,21)
21 FORMAT(/,10X,' FORNEÇA O NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES (MNSTEP), NO FORMATO INTEIRO')
READ(*,*) MNSTEP
!C
!C ***** IMPRESSÃO DOS VALORES FORNECIDOS *****
!C
!C ***** ESCREVER OS DADOS GEOMÉTRICOS *****
!C
WRITE(*,50) ALX
50 FORMAT(25X,**** DADOS GEOMÉTRICOS ***,//,10X,'COMPRIMENTO DO LADO X DA GRADE ==> ALX =
'E14.7)
!C
WRITE(*,51) ALY
51 FORMAT(10X,'COMPRIMENTO DO LADO Y DA GRADE ==> ALY = 'E14.7)
!C
WRITE(*,52) NOSX
52 FORMAT(10X,'NÚMERO DE DIVISÕES EM X ==> NOSX = ',I6)
!C
WRITE(*,53) NOSY
53 FORMAT(10X,'NÚMERO DE DIVISÕES EM Y ==> NOSY = ',I6)
!C
!C ***** ESCREVER OS PARÂMETROS INICIAIS *****
!C
WRITE(*,54) DT
54 FORMAT(/,25X,**** PARÂMETROS INICIAIS FORNECIDOS ***,//,10X,'INTERVALO DE TEMPO DA
ITERAÇÕES ==> DT = ',E14.7)
!C
WRITE(*,55) VX
55 FORMAT(10X,'RESULTANTE DA VELOCIDADE ADVECTIVA NA DIREÇÃO X (m/s) ==> VX = ',E14.7)
!C
WRITE(*,56) VY
56 FORMAT(10X,'RESULTANTE DA VELOCIDADE ADVECTIVA NA DIREÇÃO Y (m/s) ==> VY = ',E14.7)
!C
WRITE(*,57) DX
57 FORMAT(10X,'COEFICIENTE DE DIFUSÃO DO ÓLEO NA ÁGUA - DIREÇÃO X (DX) ==> DX = ',E14.7)
!C
WRITE(*,58) DY
58 FORMAT(10X,'COEFICIENTE DE DIFUSÃO DO ÓLEO NA ÁGUA - DIREÇÃO Y (DY) ==> DY = ',E14.7)
!C

```

Anexo H - Programas

```

!C ***** ESCREVER AS CONDIÇÕES INICIAIS *****
!C
!C WRITE(*,59) IK
59 FORMAT(/,25X,'*** CONDIÇÕES INICIAIS FORNECIDAS ***',/ ,10X,'NÚMERO DO NÓ DA FONTE ==> IK = ',I6)
!C
!C WRITE(*,60) COLD(IK)
60 FORMAT(10X,'VALOR INICIAL DA CONCENTRAÇÃO NO NÓ IK ==> COLD(IK) = ',E14.7)
!C
!C WRITE(*,61) MNSTEP
61 FORMAT(10X,'NÚMERO MÁXIMO DE ITERAÇÕES ==> MNSTEP = ',I6)
!C
!C
!C OPEN(7,FILE="F2004.txt")
!C WRITE(7,50) ALX
!C WRITE(7,51) ALY
!C WRITE(7,52) NOSX
!C WRITE(7,53) NOSY
!C WRITE(7,54) DT
!C WRITE(7,55) VX
!C WRITE(7,56) VY
!C WRITE(7,57) DX
!C WRITE(7,58) DY
!C WRITE(7,59) IK
!C WRITE(7,60) COLD(IK)
!C WRITE(7,61) MNSTEP
!C
!C NELEM = (NOSX - 1)*(NOSY - 1)
!C NNODE = NOSX*NOSY
!C
!C CALL NOS(NOSX,NOSY,NELEM,NNODE,ALX,ALY,X,Y,NODE)
!C
!C BLOCO 3 - SOLUCAO DO PROBLEMA
!C
!C CALL SOLUCAO(NELEM,NNODE,DT,VX,VY,DX,DY,X,Y,NODE,COLD,CNEW,G,P,B,NOSX,NOSY,IK,MNSTEP)
!C
!C STOP
!C END PROGRAM
!C
!C SUBROUTINE
!C SOLUCAO(NELEM,NNODE,DT,VX,VY,DX,DY,X,Y,NODE,COLD,CNEW,G,P,B,NOSX,NOSY,IK,MNSTEP)
!C
!C REAL:: NS,NX,NY
!C DIMENSION:: COLD(NNODE),CNEW(NNODE),G(NNODE,NNODE)
!C DIMENSION:: P(NNODE,NNODE)
!C DIMENSION:: B(NNODE),X(NNODE),Y(NNODE)
!C DIMENSION:: XSI(4),ETA(4),NS(4),NX(4),NY(4)
!C INTEGER:: NODE(NNODE,4)
!C DATA XSI/-.57735, .57735, .57735, -.57735/
!C DATA ETA/-.57735, -.57735, .57735, .57735/
!C
!C
!C NNODE = NUMERO DE NOS
!C NELEM = NUMERO DE ELEMENTOS
!C
!C ZERAR OS ELEMENTOS
!C
!C DO 15 L = 1,NNODE
!C COLD(L) = 0.
!C CNEW(L) = 0.
!C DO 15 JJ = 1,NNODE
!C G(L,JJ) = 0.
!C P(L,JJ) = 0.
!C
!C
!C VALORES DAS CONDICÕES DE CONTORNO
!C
!C
!C WRITE(*,17)
!C 17 FORMAT(1X,'FORNECA O NUMERO DO NO E O VALOR DA CONCENTRACAO NO FORMATO LIVRE')
!C 18 READ(*,*) IP,COLD(IP)
!C CNEW(IK) = COLD(IK)
!C CNEW(IP) = COLD(IP)
!C WRITE(*,19)
!C 19 FORMAT(1X,'DESEJA ENTRAR COM OUTRO VALOR ?, SIM = 1, NAO = 0')
!C READ(*,*)LS
!C IF( LS.EQ.1 ) GO TO 16
!C
!C

```

```

!C BLOCO 2.CONSTRUÇÃO DOS COEFICIENTES DA MATRIZ GLOBAL.
!C
DO 110 K = 1,NELEM
!C
  I = NODE(K,1)
  J = NODE(K,2)
  M = NODE(K,3)
  N = NODE(K,4)
  AA = ABS( X(J) - X(I) ) / 2.
  BB = ABS( Y(N) - Y(I) ) / 2.
  DO 40 KK = 1,4
  L = NODE(K, KK)
!C
!C QUADRATURA GAUSSIANA
!C
DO 30 IQ = 1,4
!C
!C NS SÃO AS FUNÇÕES DE INTERPOLAÇÃO. NX E NY SÃO AS DERIVADAS ESPACIAIS DE NS
!C
!C
NS(1) = .25*( 1. - XSI(IQ) )*( 1. - ETA(IQ) )
NS(2) = .25*( 1. + XSI(IQ) )*( 1. - ETA(IQ) )
NS(3) = .25*( 1. + XSI(IQ) )*( 1. + ETA(IQ) )
NS(4) = .25*( 1. - XSI(IQ) )*( 1. + ETA(IQ) )
NX(1) = -.25*( 1. - ETA(IQ) ) / AA
NX(2) = .25*( 1. - ETA(IQ) ) / AA
NX(3) = .25*( 1. + ETA(IQ) ) / AA
NX(4) = -.25*( 1. + ETA(IQ) ) / AA
NY(1) = -.25*( 1. - XSI(IQ) ) / BB
NY(2) = -.25*( 1. + XSI(IQ) ) / BB
NY(3) = .25*( 1. + XSI(IQ) ) / BB
NY(4) = .25*( 1. - XSI(IQ) ) / BB
G(L,I) = G(L,I) + ( DX*NX(1)*NX(KK) + DY*NY(1)*NY(KK) + VX*NX(1)*NS(KK) + VY*NY(1)*NS(KK) )*AA*BB
G(L,J) = G(L,J) + ( DX*NX(2)*NX(KK) + DY*NY(2)*NY(KK) + VX*NX(2)*NS(KK) + VY*NY(2)*NS(KK) )*AA*BB
G(L,M) = G(L,M) + ( DX*NX(3)*NX(KK) + DY*NY(3)*NY(KK) + VX*NX(3)*NS(KK) + VY*NY(3)*NS(KK) )*AA*BB
G(L,N) = G(L,N) + ( DX*NX(4)*NX(KK) + DY*NY(4)*NY(KK) + VX*NX(4)*NS(KK) + VY*NY(4)*NS(KK) )*AA*BB
P(L,I) = P(L,I) + NS(1)*NS(KK)*AA*BB
P(L,J) = P(L,J) + NS(2)*NS(KK)*AA*BB
P(L,M) = P(L,M) + NS(3)*NS(KK)*AA*BB
P(L,N) = P(L,N) + NS(4)*NS(KK)*AA*BB
30 CONTINUE
40 CONTINUE
110 CONTINUE
!C
!C BLOCO 3. AVANÇO NO TEMPO.
!C
OPEN(7,FILE="F2004.txt")
WRITE(7,120)
120 FORMAT(1H1,5X,'TEMPO',29X,'CONCENTRAÇÃO',//)
TIME = 0.
WRITE(7,420) TIME, ( CNEW(I), I = NOSY, NNODE, NOSX )
J = 1
DO 130 M = 2, NOSY
KI = NOSY - M + 1
WRITE(7,430) (CNEW(I), I = KI, NNODE - J, NOSX )
J = J + 1
130 CONTINUE
KOUNT = 1
KPRINT = 2
TIME = DT
DO 500 NSTEP = 1, MNSTEP
!C
!C CONSTRUÇÃO DA MATRIZ B PARA CADA AVANÇO NO TEMPO.
!C
DO 150 L = 1, NNODE
B(L) = 0.
DO 150 JJ = 1, NNODE
B(L) = B(L) + P(L, JJ)*COLD(JJ) / DT
150 CONTINUE
!C
!C RESOLVE O SISTEMA DE EQUAÇÕES POR ITERAÇÃO.
!C
200 AMAX = 0.
DO 400 L = 1, NNODE

```

```

!C
!C  EXCLUIR AS CONCENTRAÇÕES FIXAS NO CONTORNO NAS ITERAÇÕES.
!C
  IF( (L.EQ.IK) ) GO TO 350
  OLDVAL = CNEW(L)
  SUM = 0.
  DO 300 JJ = 1,NNODE
  IF( JJ.EQ.L ) GO TO 300
  SUM = SUM + ( G(L,JJ) + P(L,JJ)/DT ) * CNEW(JJ)
300 CONTINUE
  CNEW(L) = ( - SUM + B(L) ) / ( G(L,L) + P(L,L)/DT )
  ERR = ABS( OLDVAL - CNEW(L) )
  IF( ERR.GT.AMAX ) AMAX = ERR
  GO TO 400
!C
!C  CALCULA O DECAIMENTO DA CONCENTRAÇÃO
!C
350 CNEW(IK) = COLD(IK) * (EXP(-.0075*(TIME)**2))
400 CONTINUE
!C  COLOCAR OS VALORES DE CNEW NO CONJUNTO DE VALORES DE COLD PARA CADA AVANÇO NO
TEMPO.
!C
  DO 410 L = 1,NNODE
  410 COLD(L) = CNEW(L)
!C
!C  IMPRIMIR OS RESULTADOS PARA OS DEMAIS AVANÇOS NO TEMPO.
!C
  IF( KOUNT.LT.KPRINT ) GO TO 490
  WRITE(7,420) TIME, (CNEW(I), I = NOSY,NNODE,NOSX)
420 FORMAT(/,F6.0,/,5X,91(1X,F6.1))
  J = 1
  DO 460 M = 2, NOSY
  KI = NOSY - M + 1
  WRITE(7,430) ( CNEW(I), I = KI,NNODE - J,NOSX )
430 FORMAT(12X,91(1X,F6.1))
  J = J + 1
460 CONTINUE
  KOUNT = 0
490 TIME = TIME + DT
  KOUNT = KOUNT + 1
500 CONTINUE
  RETURN
  END SUBROUTINE
!C
SUBROUTINE NOS(NX,NY,NELEM,NNODE,ALX,ALY,X,Y,NODE)
  DIMENSION:: X(NNODE),Y(NNODE)
  INTEGER:: NODE(NNODE,4)
  DO 5 K = 1,NNODE
  X(K) = 0.
  Y(K) = 0.
5 CONTINUE
  OPEN(7,FILE="DadosF2004.txt")
  WRITE(7,10)NX,NY,NELEM,NNODE
10 FORMAT(5X,'NX = ',I4,5X, 'NY = ',I4,5X,'NELEM = ',I4,5X,'NNODE = ',I4)
  NXX = 0
  NTEST = 0
  NL = 0
  DO 30 L = 1, NELEM
  NODE(L,1) = L + NXX
  NODE(L,2) = L + NXX + NY
  NODE(L,3) = L + NXX + NY + 1
  NODE(L,4) = L + NXX + 1
  WRITE(7,20)L,NODE(L,1),NODE(L,2),NODE(L,3),NODE(L,4)
20 FORMAT(5X,5(3X,I4))
  IF( L.LT.NTEST ) GO TO 30
  NXX = NL
  NL = NL + 1
  NTEST = NTEST + (NY - 1)
30 CONTINUE
  DXX = 0.
  DYY = 0.
  IXF = NNODE - (NY - 1)
  ANX = NX - 1
  APY = NY - 1

```



```

DX = ALX/ANX
DY = ALY/APY
DO 50 L = 1, NY
IXF = IXF + L - 1
DO 40 K =L,IXF,NX
X(K) = DXX
DXX = X(K) + DX
40 CONTINUE
DXX = 0.
50 CONTINUE
NTEST = NY
DO 60 K = 1,NNODE
Y(K) = DYY
DYY = DYY + DY
IF ( K.LT.NTEST ) GO TO 60
DYY = 0.
NTEST = NTEST + NY
60 CONTINUE
DO 80 K = 1,NNODE
WRITE(7,70)K,X(K),Y(K)
70 FORMAT(5X,I4,2(3X,F6.2))
80 CONTINUE
RETURN
END SUBROUTINE

```

Conforme mencionado no capítulo quatro, os dados obtidos na simulação numérica efetuada com o programa acima necessitam de ferramentas de interpretação. Dessa maneira foram desenvolvidos os programas a seguir, em VB, cujos códigos são os seguintes:

```

Sub Programa2()
'
' Programa gravado em 19/6/2003 por Luiz Alexandre
' Este programa abre o arquivo C:\Absoft70\F2004.txt, troca ponto por vírgula.
' Altera largura das células
' Aplica cor na grade e na mancha e salva como C:\Absoft70\F2004 P2.xls, atualizando a tela
' Programa revisto em 07/12/2003 e em 10/06/2004
' Atalho do teclado: Ctrl+a
'
  ChDir "C:\Absoft70"
  Workbooks.OpenText Filename:="C:\Absoft70\F2004.txt", Origin:=xlWindows, _
    StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:=xlDoubleQuote, _
    ConsecutiveDelimiter:=True, Tab:=True, Semicolon:=False, Comma:=False, _
    Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), _
    DecimalSeparator=".", ThousandsSeparator=""
  ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\Absoft70\F2004 P2.xls", FileFormat:= _
    xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", ReadOnlyRecommended:=False _
    , CreateBackup:=False
  ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
  Range("A7").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "1"
  Range("A8").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "2"
  Range("A500").Select
  ActiveWindow.ScrollRow = 1
  Range("A7:A8").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("A7:A30000"), Type:=xlFillDefault
  Range("A7:BK30000").Select
  Range("B500").Activate
  With Selection.Interior
    .ColorIndex = 34
  End With
End Sub

```

```

        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
    End With
    Selection.ColumnWidth = 5
    Selection.FormatConditions.Delete
    Selection.FormatConditions.Add Type:=xlCellValue, Operator:=xlBetween, _
        Formula1:="0,1", Formula2:="5"
    Selection.FormatConditions(1).Interior.ColorIndex = 15
    Selection.FormatConditions.Add Type:=xlCellValue, Operator:=xlBetween, _
        Formula1:="5,1", Formula2:="25"
    Selection.FormatConditions(2).Interior.ColorIndex = 16
    Selection.FormatConditions.Add Type:=xlCellValue, Operator:=xlBetween, _
        Formula1:="25,1", Formula2:="100"
    Selection.FormatConditions(3).Interior.ColorIndex = 56
    Range("A1").Select
    ActiveWorkbook.Save
End Sub

```

```

Sub Programa1A()
Application.ScreenUpdating = False
'
' Programa1 gravado em 7/12/2003 por Luiz Alexandre
' Este programa executa o Programa2 que abre o arquivo C:\Absoft70\F2004.txt,
' Troca ponto por vírgula.
' Altera largura das células
' Aplica cor na grade e na mancha
' Copia as colunas A e AD, abre um novo documento.
' Gera gráficos para os nós 15 a 35 e os compara.
' Programa revisto em 07/12/2003 e em 10/06/2004'
' Salva como C:\Absoft70\F2004 P1A.xls, atualizando a tela no final

' Atalho do teclado:
'
Workbooks.Open Filename:="C:\Absoft70\F2004 P2.xls"
Columns("A:A").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Range("A:A,AD:AD").Select
Range("AD1").Activate
Selection.Copy
Workbooks.Add
ActiveSheet.Paste
Columns("A:B").Select
Range("D7").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "22"
Range("D8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "80"
Range("E7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "23"
Range("E8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "81"
Range("D7:E8").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("D7:X8"), Type:=xlFillDefault
Range("D7:X8").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("D7:X507"), Type:=xlFillDefault
Range("X6,W6,V6,U6,T6,S6,R6,Q6,P6,O6,N6,M6,L6,K6,J6,I6,H6,G6,F6,E6,D6").Select
Range("D6").Activate
Selection.EntireColumn.Insert
Range("F7").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-1],R1C1:R30000C2,2,0)"
Selection.AutoFill Destination:=Range("F7:F507"), Type:=xlFillDefault
Range("F7:F507").Select
Selection.Copy
Range("H7,J7,L7,N7,P7,R7,T7,V7,X7,Z7,AB7,AD7,AF7,AH7,AJ7,AL7,AN7,AP7,AR7,AT7"). _

```

```

Select
Range("AT7").Activate
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.ScrollColumn = 1
Application.CutCopyMode = False
Range("F6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 35"
Range("F6").Select
Range("AT6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 15"
Range("AT6").Select
Selection.Copy
Range("AR6,AP6,AN6").Select
Range("AN6").Activate
ActiveWindow.ScrollColumn = 1
Range("AR6,AP6,AN6,H6,J6,L6,N6").Select
Range("N6").Activate
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=7
Range("AR6,AP6,AN6,H6,J6,L6,N6,P6,R6,T6").Select
Range("T6").Activate
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=7
Range("AR6,AP6,AN6,H6,J6,L6,N6,P6,R6,T6,V6,X6,Z6").Select
Range("Z6").Activate
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=8
Range("AR6,AP6,AN6,H6,J6,L6,N6,P6,R6,T6,V6,X6,Z6,AB6,AD6,AF6,AH6,AJ6").Select
Range("AJ6").Activate
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=8
Range("AR6,AP6,AN6,H6,J6,L6,N6,P6,R6,T6,V6,X6,Z6,AB6,AD6,AF6,AH6,AJ6,AL6"). _
Select
Range("AL6").Activate
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.ScrollColumn = 32
Range("AR6").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 16"
Range("AP6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 17"
Range("AN6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 18"
Range("AL6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 19"
Range("AJ6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 20"
Range("AH6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 21"
Range("AF6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 22"
Range("H6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 34"
Range("J6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 33"
Range("L6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 32"
Range("N6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 31"
Range("P6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 30"
Range("R6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 29"
Range("T6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 28"
Range("V6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 27"
Range("X6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 26"
Range("Z6").Select

```

```

ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 25"
Range("AB6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 24"
Range("AD6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 23"
Range("E6:F27,G6:H26").Select
Range("G6").Activate
Selection.End(xlDown).Select
Range("F6:F507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("F6:F507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("H6:H507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("H6:H507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("J6:J507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("J6:J507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("L6:L507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("L6:L507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart

```

```

.HasTitle = False
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("N6").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Nó 31"
Range("N6:N507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("N6:N507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=7
Range("P6:P507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("P6:P507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("R6:R507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("R6:R507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("T6:T507").Select
Charts.Add

```

```

ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("T6:T507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=12
Range("V6:V507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("V6:V507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("X6:X507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("X6:X507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("Z6:Z507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("Z6:Z507"), PlotBy:= _
    xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom

```

```

Sheets("Plan1").Select
Range("AB6:AB507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AB6:AB507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("AD6:AD507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AD6:AD507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlLast
Sheets("Plan1").Select
Range("AF6:AF507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AF6:AF507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("AH6:AH507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AH6:AH507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
    .HasTitle = False
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With

```



```

ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=13
Range("AJ6:AJ507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AJ6:AJ507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
.HasTitle = False
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("AL6:AL507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AL6:AL507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
.HasTitle = False
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("AN6:AN507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AN6:AN507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
.HasTitle = False
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
End With
ActiveChart.HasLegend = True
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
Sheets("Plan1").Select
Range("AP6:AP507").Select
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AP6:AP507"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
With ActiveChart
.HasTitle = False
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"

```



```

        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
    End With
    ActiveChart.HasLegend = True
    ActiveChart.Legend.Select
    Selection.Position = xlBottom
    ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=xlLast
    Sheets("Plan1").Select
    Range("AR6:AR507").Select
    Charts.Add
    ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
    ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AR6:AR507"), PlotBy _
        :=xlColumns
    ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
    With ActiveChart
        .HasTitle = False
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
    End With
    ActiveChart.HasLegend = True
    ActiveChart.Legend.Select
    Selection.Position = xlBottom
    Sheets("Plan1").Select
    Range("AT6:AT507").Select
    Charts.Add
    ActiveChart.ChartType = xlColumnClustered
    ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range("AT6:AT507"), PlotBy _
        :=xlColumns
    ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
    With ActiveChart
        .HasTitle = False
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
    End With
    ActiveChart.HasLegend = True
    ActiveChart.Legend.Select
    Selection.Position = xlBottom
    Sheets("Plan1").Select
    Range( _
"AT6:AT507,AR6:AR507,AP6:AP507,AN6:AN507,AL6:AL507,AJ6:AJ507,AH6:AH507,AF6:AF507,AD6:AD
507,AB6:AB507,Z6:Z507,X6:X507,V6:V507,T6:T507,R6:R507,F6:F507,H6:H507,J6:J507,L6:L507,N6:N50
7,P6:P507" _
    ).Select
    Range("P6").Activate
    Charts.Add
    ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmooth
    ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets("Plan1").Range( _
"AT6:AT507,AR6:AR507,AP6:AP507,AN6:AN507,AL6:AL507,AJ6:AJ507,AH6:AH507,AF6:AF507,AD6:AD
507,AB6:AB507,Z6:Z507,X6:X507,V6:V507,T6:T507,R6:R507,F6:F507,H6:H507,J6:J507,L6:L507,N6:N50
7,P6:P507" _
    ), PlotBy:=xlColumns
    ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
    With ActiveChart
        .HasTitle = False
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Tempo (s)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Concentração %"
    End With
    ActiveChart.HasLegend = True

```

```
ActiveChart.Legend.Select
Selection.Position = xlBottom
ActiveWorkbook.SaveAs Filename:="C:\Absoft70\Pasta P1A.xls", FileFormat:=_
xlNormal, Password:="", WriteResPassword:="", ReadOnlyRecommended:=False _
, CreateBackup:=False
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

Referências Bibliográficas

- ABBEY, T. M.; AMAKIRI, J. O.; BESTMAN, A. R. effect of Pollutant Oscillations on Oil Spreading on the Sea. **International Journal of Energy Research**, v. 21, p. 655-660, 1997.
- ABECASSIS, D. W.; JARASHOW, R. L. **Oil Pollution From Ships**. 2nd ed. London, Stevens & Sons Ltd, 1985. 619p.
- ABRAMOVAY, R. **Construindo a Ciência Ambiental**. São Paulo, Anhablume – FAPESP, 2002. 437p.
- ADEBAJO, M. O.; FROST, R. L.; KLOPROGGE, J. T.; CARMODY, O.; KOKOT, S. Porous Materials for Oil Spill Cleanup: A Review of Synthesis and Absorbing Properties. **Journal of Porous Materials**, n.10, p. 159-170, 2003.
- ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T; Modelo Matemático para o estudo do Derramamento de Óleo no Meio Ambiente Marinho. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES MARÍTIMOS, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 19., Rio de Janeiro, 2002. **Anais**. São Paulo, 2002. In CD-ROM.
- ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T; ALEIXO, L. A. B. Simulação Para Modelagem Matemática do Espalhamento do Óleo Derramado no Meio Ambiente Marinho Utilizando Processamento de Imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO, 3., Santa Catarina, 2003. **Anais**. Itajaí, 2003a. p.1053-1066.

- ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T; ALEIXO, L. A. B. Simulation of the Model Mathematical for the Study of the Spilling and Dispersal of Oil in the Sea Environment. In: PAN-AMERICAN CONGRESS OF NAVAL ENGINEERING, MARITIME TRANSPORT AND PORT ENGINEERING, 17., Havana, 2003. **Proceedings**. Havana, 2003b. In: CD-ROM.
- ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA,T; ALEIXO, L. A. B. Simulação do Vazamento de Óleo em Defensas para Modelagem da Contenção do Espalhamento no Meio Ambiente. In: SEMINÁRIO DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO INTERIOR, 3., Mato Grosso do Sul, 2003. **Anais**. Corumbá, 2003c. In: CD-ROM.
- ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA,T; ALEIXO, R. B. D.; DONATO, M. D.; Modelagem e Simulação do Derramamento de óleo em meio aquático. In: LAPTEC 2002 – Congresso de Lógica Aplicada à Tecnologia, 3., São Paulo, 2002. **Anais**. São Paulo, 2002.
- AL-RABEH, A. H.; CEKIRGE, H. M.; GUNAY, N. Stochastic Simulation Model of Oil SIPI Fate and Transport. **Applied Mathematical Modelling**, v. 13, n. 6, p. 322-329, 1989.
- ANDERSON, M. P.; **Introduction to Groundwater Modeling – Finite Diference and Finite Element Methods**, University of Wisconsin, Madison. 1980.
- ANNIKA,P.;GEORGE,T.; GEORGE,P.; KONSTANTINOS,N.; COSTAS, D.; KOUTITAS,C. The Poseidon Operational Tool for the Prediction of Floating Pollutant transport. **Marine Pollution Bulletin**, v. 43, Nos. 7-12, p. 270-278, 2001.

- ANSARI, Z. A.; INGOLE, B. Effect of an Oil Spill from M V Sea Transporter on Intertidal Meiofauna at Goa, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 396-402, 2002.
- ASCE Task Committee on Modeling of Oil Spills of the Resources Engineering Division. State-of-the-Art Review of Modeling Transport and Fate of Oil Spill. **Journal of Hydraulic Engineering**, p. 594-609, 1996.
- ATLAS, R. M. Petroleum Biodegradation and Oil Spill Bioremediation. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, n.os. 4-12, p. 178-182, 1995.
- BAEHR, H. D.; STEPHAN, K. – **Heat and Mass Transfer**. New York, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 672p.
- BAJPAI, A. C.; MUSTOE, L. R.; WALKER, D. **Matemática Avançada para Engenharia**. Nova York, John Wiley & Sons LTD, 1978. 578p.
- BENKA-COKER, M. O.; EKUNDAYO, J. A. Applicability of Evaluating the Ability of Microbes Isolated from an Oil Spill Site to Degrade Oil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 45, p. 259-272, 1997.
- BEYOND PETROLEUM – BP(2004). <http://www.bp.com/centres/energy>.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. – **Transport Phenomena**, 2nd ed, New York, John Wiley & Sons Inc, 2002. 895p.
- BOCARD, C.; CASTAING, G.; GATELLIER, C. Chemical Oil Dispersion in Trails at Sea and in Laboratory Tests: The Key Role of Dilution Process. In: OIL SPILL CHEMICAL DISPERSANTS: RESEARCH, EXPERIENCE, AND RECOMMENDATIONS, California, 1984. **Proceedings**. Palm Beach, 1984. p. 125-142.

- BOOPATHY, R. Factors limiting bioremediation technologies. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 63-67, 2000.
- BOTTER, R.C.; SMITH, H. D. Control And Prevention Of Marine Oil Pollution. **Open Journal**, n. 14, p 59-67, 1994.
- BOUFADEL, M. C. Mechanistic Study of Nonlinear Solute Transport in a Groundwater-Surface Water System Under Steady State and Transient Hydraulic Conditions. **Water Resources Research**, v. 36, n. 9, p 2549-2565, 2000.
- BOUTON, G. D.; BOUTON, B. M.; KUBICEK, G. **Inside Adobe Photoshop 4**. Indiana , New Riders Publishing. Indianapolis, 1997.
- BOUWMEESTER, R. J. B.; WALLACE, R. B. Oil Entrainment by Breaking Waves. In: ANNUAL ARCTIC AND MARINE OILSPILL PROGRAM-TECHNICAL SEMINAR, Alberta, 1986. **Proceedings**. Edmonton, 1986. p. 39-49.
- BRADDOCK, J. F.; LINDSTROM, J. E.; BROWN, E. J. Distribution of Hydrocarbon-Degrading Microorganisms in Sediments from Prince William Sound, Alaska, Following the Exxon Valdez Oil Spill. **Marine Pollution Bulletin**, v. 30, n. 2, p. 125-132, 1995.
- BUCAS, G.; SALIOT, A. Sea transport of Animal and Vegetable Oils and its Environmental Consequences. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 1388-1396, 2002.

- BURNS, K. A.; CODI, S.; PRATT, C.; DUKE, N. C. Weathering of Hydrocarbons in Mangrove Sediments: Testing the Effects of Using Dispersants to Treat Oil Spill. **Organic Geochemistry**, v. 30, p. 1273-1286, 1999.
- CAPEHART, B. L.; WELSH, L.W. J. A Computer Simulation of Oil Spill. **Simulation**, v. 33, n. 2, p. 49-54, 1979.
- CEKIRGE, H. M.; PALMER, S. L.; CONVERY, K.; ILERI, L. Orimulsion Spill Modelling in Marine Environments. **Mathl. Comput. Modelling**, v. 25, n. 11, p. 95-107, 1997.
- CENTRO DE COMPUTAÇÃO – Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, UniversidaddeChile(2000).<http://cipres.cec.uchile.cl/~jrybertt/t2/Pagina3.html>
- CHAO, X. B.; SHANKAR, N. J.; CHEONG, H. F. Two and Three Dimensional Oil Spill Model for Coastal Waters. **Ocean Engineering**. v. 28, n.12, p. 1557- 1573, 2001.
- CLARK, R. B. **Marine Pollution**. 3rd ed. Oxford University Press, New York, 1992. 172p.
- CLARK, R. B. **Marine Pollution**. 4nd ed. Oxford University Press, New York, 1997. 161p.
- COM CIÊNCIA – **Revista Eletrônica de jornalismo científico**. (2002), <http://www.comciencia.br/reportagens/petroleo/pet09.shtml>
- CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. 2nd ed, Oxford University Press, New York, 1975, 414p.

- CUESTA,I.; GRAU, F. X.; GIRALT,F. Numerical Simulation of Oil Spills in a Generalized Domain. **Oil & Chemical Pollution**, v. 2, n. 7, p. 143-149, 1990.
- DALING, PER S.; INDREBO, GEIR Recent Improvements in Optimizing Use of Dispersants as a Cost-Effective Oil Spill Countermeasure Technique Proceedings of the 1996. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION, 3., Los Angeles, 1996. **Proceedings**. New Orleans,1996. Parte 2, v 2, p. 899-913.
- DANIEL, P.; POITEVIN, J. Numerical study of movements of an oil slick on the sea surface in the Persian Gulf from 25 January 1991 to 1 February 1991. In:THEMATIC CONFERENCE ON REMOTE SENSING FOR MARINE AND COASTAL ENVIRONMENTS, 1., Los Angeles, 1992. **Proceedings**. New Orleans, 1992. v. 1930, n. pt 1, p. 249-260.
- DANIEL, P.; POITEVIN, J.; TIERCELIN, C.; MARCHAND, M. Forecasting Accidental Marine Pollution Drift: The French Operational Plan. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON OIL AND HYDROCARBON SPILLS, MODELLING, ANALYSIS AND CONTROL, OIL SPILL, 1., Southampton, 1998. **Proceedings**. Southampton, 1998, p. 43-52.
- DESMARQUEST, J. P.; CROQUETTE, J.; MERLIN, F.; BOCARD,C.; GATELLIER,C. field Test and Assessment of Oil Dispersant Efficiency. In: 1983 OIL SPILL CONFERENCE (PREVENTION, BEHAVIOR, CONTROL, CLEANUP), Texas, 1983. **Proceedings**. San Antonio, 1983, p. 574.

- DILLARD, L. A.; ESSAID, H. I.; HERKELRATH, W. N. Multiphase Flow Modeling of a Crude Oil Spill Site With a Bimodal Permeability Distribution. **Water Resources Research**. v. 33, n. 7, p. 1617-1632, 1997.
- DOERFFER, J. W. **Oil Spill Response in the Marine Environment**, Oxford, Ship Research Institute, Technical University of Gdansk, Poland, Pergamon Press, 1992. 391p.
- DONATO, M. D.; ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T; An Evaluation of the Speedup of a Preliminary Distributed MPI-Implementation for Groundwater Simulation Dispersion System. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON HIGH PERFORMANCE SCIENTIFIC AND ENGINEERING COMPUTING WITH APPLICATIONS (HPSECA – 2002) IN CONJUNCTION WITH THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROCESSING (ICPP-2002), 4., British Columbia, 2002. **Proceedings**. Vancouver, 2002a. p. 18-21.
- DONATO, M. D.; ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA,, T; DGWSDS: A Distributed Groundwater Simulator Dispersion System. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL AND DISTRIBUTED PROCESSING TECHNIQUES AND APPLICATIONS - PDPTA 2002, Nevada, 2002. **Proceedings**. Las Vegas, 2002b. P. 24-27.
- DUKE, N. C.; BURNS, K. A.; SWANNELL, R. P. J.; DALHAUS, O.; RUPP, R. J. Dispersant Use and a Bioremediation Strategy as Alternate Means of Reducing Impacts of Large Oil Spills on Mangroves: The Gladstone Field Trials. **Marine Pollution Bulletin**, v. 41, n.os. 7-12, p. 403-412, 2000.

- EDGAR, G. J.; KERRISON, L.; SHEPHERD, S. A.; TORAL-GRANDA, M. V.
Impacts of the Jessica Oil Spill on Intertidal and Shallow Subtidal Plants and
Animals. **Marine Pollution Bulletin**, v. 47, p. 276-283, 2003.
- ELLIOTT, A. J.; JONES, B. Need for Operational Forecasting During Oil Spill
Response **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 2, p. 110-121, 2000.
- EMERY, B. D.; CUDDEBACK, J. Development of Advanced Oil Spill Dispersant
Application System for Fokker F27 Aircraft. In: 1983 OIL SPILL
CONFERENCE (PREVENTION, BEHAVIOR, CONTROL, CLEANUP),
Texas, 1983. **Proceedings**. San Antonio, 1983, p. 583.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) – **Understanding Oil
Spills And Oil Spill Response**, (1999), <http://www.epa.gov>
- ERTEKIN, R. C.; SUNDARARAGHAVAN, H. The Calculation of the Instability
Criterion for a Uniform Viscous-Flow Past an Oil Boom. **Journal of Offshore
Mechanics and Arctic Engineering-Transactions of the ASME**, v. 117,
n.1, p.24-29, 1995.
- EVANS, D. D.; MULHOLLAND, G. W.; BAUM, H. R.; WALTON, W. D.;
MCGRATTAN, K. B. In Situ Burning of Oil Spills. **Journal of Research of
the National Institute of Standards and Technology**, v.106, n.1, p. 231-
278, jan-fev, 2001.
- FAY, J. A. **Oil on the Sea**. Plenum Press, New York-London, 1969. 114p.
- FAY, J. A. Model of Spills and Fires from LNG and Oil Tankers. **Journal of
Hazardous Materials**, p. 171-188, 2003.

- FINGAS, M. F. A Literature Review of the Physics and Predictive Modeling of Oil Spill Evaporation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 42, p. 157-175, 1995.
- FINGAS, M. F. Modeling Evaporation Using Models that are not Boundary-Layer Regulated. **Journal of Hazardous Materials**, v. 107, p. 27-36, 2004.
- FINGAS, M. F.; FIELDHOUSE, B. Formation of Water-in-Oil Emulsions and Application to Oil Spill Modeling. **Journal of Hazardous Materials**, v. 107, p. 37-50, 2004.
- FORRESTER, J. W. **World Dynamics**. Cambridge, Wright-Allen Press Inc, 1971. 142p.
- FOX, R.W.; MCDONALD, A. T., **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 4^a ed, Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1998. 504p.
- FRANCESCHETTI, G; IODICE, A; RICCIO, D; RUELLO, G; SIVIERO, R. S. Raw Signal Simulation of Oil Slicks in Ocean Environments **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 9, p. 1935-1949, 2002.
- FRATE, D. F.; PETROCCHI, A.; LICHTENEGGER, CALABRESI, G. Neural Networks for Oil Spill Detection Using ERS-SAR Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n.5, p. 2282-2287, 2000.
- FUNDAÇÃO DARWIN (2003) <http://www.darwinfoundation.org/news/news07040201.html>

- GARCIA, F. C. V. - **Fabricação de Propulsores Navais Plásticos Auxiliada por Computador**. São Paulo, 1999. 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- GELIN, A.; GRAVEZ, V.; EDGAR, G. J. Assessment of Jessica Oil Spill Impacts on Intertidal Invertebrate Communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46. p.1377-1384, 2003.
- GESTEIRA, J. L. G.; DAUVIN, J. C.; FRAGA, M. S. Taxonomic Lever for Assessing Oil Spill Effects on Soft-Bottom Sublittoral Benthic Communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46. p.562-572, 2003.
- GIARRUSSO, C.C.; PUGLIESE CARRATELLI, E.; SPULSI, G. On the Effects of Wave Drift on The Dispersion of Floating Pollutants. **Ocean Engineering**, v. 28, n. 10, p. 1339-1348, 2001.
- GILBERT, T. (2000) <http://www.amsa.gov.au/index.htm>
- GIN, K. Y. H; HUDA, K; LIM, W. K; TKALICH, P. An Oil Spill-food Chain Interaction Model For Coastal Waters. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42. n.7, p.590-597, 2001.
- GLOBAL MARINE OIL POLLUTION INFORMATION GATEWAY (2003) http://oils.gpa.unep.org/photo/photos_accidentlist.htm (2003)
- GOGOI, B. K.; DUTTA, N. N.; GOSWAMIP.; MOHAN, T. R. K. **Advances in Environmental Research**, V. 7, p. 767-782, 2003.
- GREENPEACE(2003)http://www.greenpeace.org.br/toxicos/toxicosphp?Conteudo_id=816&sub_campanha

- GREENPEACE.(2003),<http://www.greenpeace.org.br/toxicos/toxicosphp?conteudo id=429&content=1>
- GUILLEN, G.; RAINEY, G.; MORIN, M. A Simple Rapid Approach Using Coupled Multivariate Statistical Methods, GIS and Trajectory Models to Delineate Areas of Common Oil Spill Risk. **Journal of Marine Systems**, v. 45, p. 221-235, 2004.
- HAN, M. W.; CHANG, K. I.; PARK, Y. C. Distribution and Hydrodynamic Model of the Keumdong Oil Spill in Kwangyang Bay, Korea. **Environment International**, v. 26, n.7-8, p.457-463, 2001.
- HIBBS, D. E.; GULLIVER, J. S. Processes Controlling Aqueous Concentrations for Riverine Spills. **Journal of Hazardous Materials**, v. 64, p. 57-73, 1999.
- HIBBS, D. E.; GULLIVER, J. S.; VOLLER, V. R.; CHENG, Y. F. An Aqueous Concentrations Model for Riverine Spills. **Journal of Hazardous Materials**, v. 64, p. 37-53, 1999.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 4^a ed. Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1998. 494p.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO -. **MARPOL 73/78 Consolidated Edition**. London, Imo Publication, 1997. 419p.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO -. **SOLAS Consolidated Edition**. London, Imo Publication, 1997. 542p.
- INTERNATIONAL OIL POLLUTION COMPENSATION FUNDS – IOPC (2003)
www.iopcfund.org

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LTD
(ITOPF). **Response to marine oil spills**. London, Witherby & Co. Ltd. 1997.

116p.

ITOPF (2003a) <http://www.itopf.com/cleanuptechniquess.htm>

ITOPF (2003b) <http://www.itopf.com/fate&efect.html>

ITOPF (2003c) <http://www.itopf.com/stats.html>

ITTC - International Towing Tank Conference, 23rd, Veneza, Itália, 2002.

Proceedings ITTC, 2002. CD-ROM.

JAMES, I. D. Modelling Pollution Dispersion, The Ecosystem and Water Quality in Coastal Waters: a Review. **Environmental Modelling & Software**. n. 17, p. 363-385, 2002.

JOHANNESSEN, J.; HAY, S. J.; MILNE, J. K.; JEBSEN, C.; GENNESDAL, S. C.; VAYSSAIRE, A. 3D Oil Migration Modelling of the Jurassic Petroleum System of the Staffjord Area, Norwegian North Sea. **Petroleum Geoscience**. v. 8, n. 1, p. 37-50, 2002.

JOHN, L.; CAMPANILI, M. (2004) A matriz energética brasileira pede reformas. <http://www.estadao.com.br/cienciaemeioambiente>.

KAI, O. **Aplicação das Técnicas de Processamento de Imagens na Análise da Corrosão de Casco Pintado de Navio**. São Paulo, 1997, 104p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KARMAN, C.C.; REERINK, H.G. Dynamic Assessment of the Ecological Risk of the Discharge of Produced Water From Oil and Gas Producing Platforms. **Journal of Hazardous Materials**, v.61, p. 43-51, 1998.

- KATAYAMA, Y.; OURA, T.; IIZUKA, M.; ORITA, I.; CHO, K.J.; CHUNG, I.Y.; OKADA, M. Effects of Spilled Oil on Microbial Communities in a Tidal Flat. **Marine Pollution Bulletin**, v. 47. p.85-90, 2003.
- KOSE, T.; MUKAI, T.; TAKIMOTO, K.; OKADA, M. Effect of Non-Aqueous Phase Liquid on Biodegradation of PAHs in Spilled Oil on Tidal Flat. **Water Research**, v. 37, p. 1729-1736, 2003.
- KOZAI, K. Satellite-Derived Sea Surface height and Sea Surface Wind Data Fusion for Spilled Oil Tracking. **Adv. Space Res.**, v. 32, n. 11, p. 2287-2293, 2003.
- LARDNER, R. W.; LEHR, W. J.; FRAGA, R. J.; SARHAN, M. A. model of Residual Currents and Pollutant Transport in the Arabian Gulf. **Applied Mathematical Modeling**, v. 12, n. 4, p. 379-390, 1988.
- LI, J. A GIS Planning Model for Urban Oil Spill Management. **Water Science and Technology**, v. 43, n.5, p. 239-244, 2001.
- LO, J. M. Laboratory Investigation of Single Floating Booms and a Series of Booms in the Prevention of Oil Slick and Jellyfish Movement. **Ocean Engineering**, v. 23, n. 6, p. 519-531, 1996.
- LONIN, S. A. Lagrangian Model for Oil Spill Diffusion at Sea. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 5, n. 5-6, p. 331-336, 1999.
- LUPORINI, G. **Um Sistema de Vigilância Marítima Aplicado à Poluição Marinha por Petróleo no Brasil**. São Paulo, 1996, 216 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- LYNAGH, N. environmental Factors Affecting the Movement and dispersal of Oil Spills With Particular Reference to the Gulf. In: MIDDLE EAST OIL SHOW, 4., Bahrain, 1985. **Proceedings**. Manama, 1985. p. 95-102.
- MANZELLA, G. M. R.; ELLIOTT, A. J. Eurospill; Mediterranean Tidal and Residual Circulation Databases. **Marine Pollution Bulletin**, v. 22, n. 11, p. 553-558, 1991.
- MARINE POLLUTION BULLETIN AND SAFER SHIPS. **Implications For the Tanker Industry**, London, Drewry Shipping Consultants LTD, 1992. 171p.
- MARTINS, J. A. A. **Análise de Ondas em Tanque de Dimensões Reduzidas com Vistas à Engenharia Oceânica**. São Paulo, 2003. 188p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- MARTINS, J. A. de A.; SOUZA, C. A. G. F. Características do tanque de ensaios em ondas da USP. In: SOBENA, 14., Rio de Janeiro, 1992. **Anais**. Rio de Janeiro, 1992. v.2. p.195-210.
- MARTINS, J. A. de A.; SOUZA, C. A. G. F. Um Tanque de Ensaio em Ondas para Ensino e Pesquisa Exploratória. In: AN AMERICAN CONGRESS OF NAVAL ENGINEERING, 13., Caracas, 1993. **Anais**. Caracas, 1993.
- MASSOUD, M. S.; AL-ABDALI, F.; AL-GHADBAN, A. N. The Status of Oil Pollution in the Arabian Gulf by the End of 1993. **Environment International**, v. 24, n. 1/ 2, p. 11-22, 1998.
- MAURE, A.; CERROLAZA, M.; BERRÍOS, R. Modelling The Behavior of Crude Oil Spill in Shallow Bodies of Water. **Environmental Software**, v. 10, n. 4, p. 241-249, 1995.

- McFARLANE, K.; NGUYEN, V.T. Deposition of drill cuttings on the seabed In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION PART 2, 1., Hague, 1991. **Proceedings**. Hague, 1991. p. 455-464.
- MERRICK, J. R. W.; DORP JR, V.; MAZZUCHI, T.; HARRALD, JR.; SPAHN JE.; GRABOWSKI, M. The Prince Willian Sound Risk Assessment. **Interfaces**, v. 32, n. 6, p.25-40, Nov-Dec 2002.
- MEYER, J.F.C.A.; CANTAO, R.F.; POFFO, I.R.F. Oil spill movement in coastal seas: Modelling and numerical simulations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OIL AND HYDROCARBON SPILLS, MODELLING, ANALYSIS AND CONTROL, OIL SPILL, 1., Southampton, 1998. **Proceedings**. Southampton, 1998. p. 23-32.
- MICHEL, J.; HENRY, C. B. Jr; THUMM, S. Shoreline Assessment and Environmental Impacts from the MIT Westchester Oil Spill in the Mississippi River. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 7, n.3/ 4, p. 155-161, 2002.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2003) <http://www.mme.gov.br/paginas/Internas.asp?url=../ben/>
- MOLDAN, A. G. S.; JACKSON, L. F.; McGIBBON, S.; Van Der WESTHUIZEN, J. Some Aspects of the Castillo De Bellver oil Spill. **Marine Pollution**, v. 16, n. 3, p. 97-102, 1985.
- MORRIS, P. R. Use of Net Boom for Oil Recovery. **Petroleum Review**, v. 40, n. 473, p. 32-33,35-36, 1986.

- NAKATA, K.; SUGIOKA, S.; HOSAKA, T. Hindcast of a Japan Sea Oil Spill. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 4, n.4, p. 219-229, 1997.
- NORDVICK, A. B. The Technology Windows-of-Opportunity for Marine Oil Spill Response As Related to Oil Weathering and Operations. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 2, n.1, p. 17-46, 1995.
- OKPOKWASILI, G. C.; NNUBIA, C. Effects of Oil Spill Dispersants and Drilling Fluids on Substrate Specificity of Marine Bacteria. **Waste Management**, v. 15, n. 7, p. 515-520, 1995.
- ORAN, S. E.; BORIS, J. P. **Numerical Simulation of Reactive Flow**. Nova York, Elsevier, 1987. 601p.
- OTREMBA, Z. Modeling of Visibility of Oil in the Sea SENSORS, SYSTEMS, AND NEXT-GENERATION SATELLITES,4., Creta, 2002. **Proceedings**. Agia Pelagia, 2002. v. 4881, p. 484-492.
- PAGE, C. A.; BONNER, J. S.; McDONALD, T. J.; AUTENRIETH, R. L. Behavior of a Chemically Dispersed Oil in a Wetland Environmental. **Water Research**, v. 36, p. 3821-3833, 2002.
- PALITTAPONGARNPIM, M.; POKETHITIYOOK, P.; UPATHAM, E. S.; TANGBANLUEKAL, L. Biodegradation of Crude Oil by Microorganisms in the Tropic. **Biodegradation**, v. 9, p. 83-90, 1998.
- PEREIRA, M. G.; MUDGE, S. M.; LATCHFORD, J. Consequences of Linseed Oil Spills in Salt Marsh Sediments. **Marine Pollution Bulletin**. v. 44, p. 520-533, 2002.

- PETERSON, C.H.; RICE,S.D.;SHORT, J. W.; ESLER, D.; BODKIN, J. L.; BALLACHEY, B.E.; IRONS, D. B. Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. **Science**, v.302, p. 2082-2086, 2003.
- PETROBRAS(2003)<http://www.petrobrasenergia.com/TSS/Introduction/0,2551,aiLinkInterno%252Atrue%257Cai%255FIdnLanguage%252A203,00.html>
- PETROBRAS – GERÊNCIA DE IMPRENSA. (2004) Petrobrás apresenta o plano de escoamento da bacia de campos ao governo do Rio. http://www2.petrobras.com.br/publicacao/pubnot/noticia_port.asp?id=1789
- POGGIALE, J. C.; DAUVIN, J. C. Long-Term Dynamics of Three Benthic Ampelisca Populations From the Bay of Morlaix Related to Their Disappearance After the Amoco Cadiz Oil Spill. **Marine Ecology-Progress Series**, v. 214, p. 201-209, 2001.
- PRINCE, R. C. Bioremediation of Marine Oil Spills. **Tibtech**, v. 15, p. 158-160, 1997.
- PROCTOR, R.; ELLIOT, A. J.; FLATHER, R. A. – Forecast and Hindcast Simulations of the Braer Oil Spill. **Marine Pollution Bulletin**. v. 28, n.4, p. 219-229, 1994.
- RADETIC, M.M.; JOCIC, D. M.; JOVANCIC, P. M.; PETROVIC, Z. L.; THOMAS, H. F. Recycled Wool-Based Nonwoven Materials as an Oil Sorbent. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 5, p. 1008-1012, 2003.

- RAGHAVAN, P.U.M.; VIVEKANANDAN, M. Bioremediation of Oil-Spilled Sites Through Seeding of Naturally Adapted *Pseudomonas putida*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 44, p. 29-32, 1999.
- REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M. K.; BRORS, B.; CLARCK, J.; AURAND, D. Modelling of Dispersant Application to Oil Spills in Shallow Coastal Waters. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, p. 681-690, 2004.
- REED, M.; JOHANSEN, O.; BRANDVIK, P. J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. Oil Spill Modelling Towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. **Spill Science & Technology Bulletin**. v.5, n. 1, p. 3-16, 1999.
- REED, M.; TURNER, C.; ODULO, A. - The Role of Wind and Emulsification in Modeling Oil-Spill and Surface Drifter Trajectories. **Spill Science & Technology Bulletin**. v.1, n. 2, p. 143-157, 1994.
- RIAZI, M. R.; AL-ENEZI, G. A. Modelling of the Rate of Oil SIPI Disappearance from Seawater for Kuwaiti Crude and its Products. **Chemical Engineering Journal**, v. 73, p. 161-172, 1999.
- ROHSENOW, W. M.; CHOI, H. Y. – **Heat, Mass and Momentum Transfer**. Prentice – Hall Inc, Englewoods Cliffs, N. J., 1961, 537p.
- SANTOS, A. H. P. - **Simulação Composicional Para Transporte de Hidrocarbonetos em Aquíferos**. Campinas. 1998. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

- SEBASTIÃO, P.; SOARES, C. G. Modeling The Fate of Oil Spill at Sea. **Spill Science & Technology Bulletin**. v. 2, n. 2-3, p. 121-131, Jun-Sep, 1995.
- SIGNORINI, S.; LASCH, W. Simulation Studies Help Predict Oil Impact in Alaska Offshore Areas. **Sea Technology**, v. 31, n. 10, p. 41-44, 1990.
- SHARMA, V. K.; HICKS, S. D.; RIVERA, W.; VAZQUEZ, F. G. Characterization and Degradation of Petroleum Hydrocarbons Following an Oil Spill into a Coastal Environmental of South Texas, U. S. A. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 134, p. 111-127, 2002.
- SKINNER, B.J.; TUREKIAN, K.K. **O homem e o oceano**. Editora Edgard Blücher LTDA. 1977. p.155.
- SMITH, J.P.; TYLER, A.O.; RYMELL, M.C.; AMPERANTO, H.; ADISAPOETRA, O.S. Environmental effects of produced formation waters in the West Java Sea, Indonesia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION, 3., Los Angeles, 1996. **Proceedings**. New Orleans, 1996. Part 1, v 1. p. 683-689.
- SMITH, W. A. M. N.; THORPE, S. A.; GRAHAM, A. Surface Effects os Bottom-Generated Turbulence in a Shallow Tidal Sea. **Nature**, v. 400, p. 251-254, 1999.
- SOUZA, C. A. G. F. **Implantação e análise de desempenho de um gerador de ondas tipo placa basculante**. São Paulo, 2002. 117p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- SOUZA, C. A. G. F.; MARTINS, J. A. de A. Desenvolvimento de um Sistema Controlado por Micro Computador para Geração de Ondas Hidráulicas. In: COBEM, 12., Distrito Federal, 1993. **Anais**. Brasília, 1993. p.305-307.
- SPAULDING, M. L. State of the Art Review of Oil Spill Trajectory and Fate Modeling. **Oil & Chemical Pollution**, v. 4, n.1, p. 39-55, 1988.
- SPAULDING, M. L.; ANDERSON, E. L.; ISAJI, T.; HOWLETT, E. Simulation of the Oil Trajectory and Fate in the Arabian Gulf From the Mina-Al-Ahmadi Spill. **Marine Environmental Research**, v. 36, n. 2, p. 79-115, 1993.
- SPAULDING, M. L.; ANDERSON, E. L.; JAYKO, K. OILMAP: a Global Approach to Spill Modeling. In: ANNUAL ARCTIC AND MARINE OILSPILL PROGRAM- TECHNICAL SEMINAR, 15, Alberta, 1986. **Proceedings**. Edmonton, 1986. p. 39-49.
- SPAULDING, M. L.; OPISHINSKI, T.; HAYNES, S. COASTMAP. An Integrated Monitoring and Modelling System to Support Oil Spill Response. **Spill Science & Technology Bulletin**. v. 3, n. 3, p. 149-169, 1996.
- STREETER, V. L.; WYLIE, E. B.; BEDFORD, K. W. **Fluid Mechanics**. New York, 9. ed. WCB McGraw-Hill. 1998. 740p.
- SUGIOKA, S.; KOJIMA, T. NAKATA, K. HORIGUCHI, F. A Numerical Simulation of an Oil Spill in Tokyo Bay. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 5, n.1, p.51-61, 1999.
- TACHIBANA, T.; ALEIXO, L. A. G. Instrumentação para ensaio em escala reduzida, no modelo de simulação dinâmica para análise do derramamento de óleo no mar. **Revista Integração**, n. 26 p. 185-187, 2001.

- TACHIBANA,T; ALEIXO, L. A. G.; SHINODA, T; FUKUCHI, N. Proposta de Modelagem Matemática para Estudo do Espalhamento do Óleo Derramado no Meio Ambiente Marinho. In: LAPTEC – CONGRESSO DE LÓGICA APLICADA À TECNOLOGIA, 1., São Paulo, 2000. **Anais**. São. Paulo,2000. p. 243-258.
- TACHIBANA,T; ALEIXO, L. A. G.; SHINODA,T; FUKUCHI, N. Ensaio em escala reduzida, para modelagem e simulação dinâmica do derramamento de óleo mar. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES MARÍTIMOS, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 18., Rio de Janeiro, 2000. **Anais**. Rio de Janeiro, 2000. . In CD-ROM
- TEAS, C.; KALLIGEROS, S.; ZANIKOS, F.; STOURNAS, S.; LOIS, E.; ANASTOPOULOS, G. Investigation of the Effectiveness of Absorbent Materials in Oil Spills Clean Up. **Desalination**, v. 140, p. 259-264, 2001.
- TKALICH, P.; CHAN, E. S. Vertical Mixing of Oil Droplets by Breaking Waves. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, p. 1219-1229, 2002.
- TKALICH, P.; CHAN, E. S. A High Resolution Oil Spill Model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PORT AND MARITIME R&D AND TECHNOLOGY, Singapore, 2001. **Proceedings**. Singapore, 2001. v.2, p. 647-652.
- TKALICH, P.; GIN, K. Y. H.; CHAN, E. S. Numerical Simulation of Oil Spill Combating Techniques. In: APEC WORKSHOP ON OCEAN MODELS, 2, China, 1999. **Proceedings**. Beijing, 1999. p. 1-9.
- TKALICH, P.; HUDA, M. K.; GIN, K. Y. H. A Multiphase Oil Spill Model. **Journal of Hydraulic Research**. v.41, n.2, p. 115-125, 2003.

- TSUTSUMI, H.; HIROTA, Y.; HIRASHIMA, A. Bioremediation on the Shore after an Oil Spill from the Nakhodka in the Sea of Japan. II. Toxicity of a Bio remediation Agent with Microbiological cultures in Aquatic Organisms. **Marine Pollution Bulletin**. v. 40, n. 4, p. 315-319, 2000.
- TURREL, W. R. Modelling the BraER Oil Spill – A Retrospective View. **Marine Pollution Bulletin**, v. 28, n. 4, p.211-218, 1994.
- ÜNLÜ, K.; DEMIREKLER, E. Modeling Water Quality Impacts of Petroleum Contaminated Soils in a Reservoir Catchment. **Water Air and Soil Pollution**, v.120, n. 1-2, p.169-193, 2000.
- VENTIKOS, N. P.; VERGETIS, E.; PSARAFTIS, H. N.; TRIANTAFYLLOU, G. A High-Level Synthesis of Oil Spill Responce Equipment and Countermeasures. **Journal of Hazardous Materials**, v.107, p. 51-58, 2004.
- VEPSAE, H.; ALASAARELA, E.; SARKKULA, J. Model development for operational use to help spill combating and sea rescue. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ESTUARINE AND COASTAL MODELING, 2., Florida, 1992. **Proceedings**. Tampa, 1992. p. 149-156.
- WALAVALKAR, A. Y.; KULKARNI, A. K. Combustion of Water-in- Oil Emulsion Layers Supported on Water. **Combustion and Flame**, v. 125, p. 1001-1011, 2001.
- WANG, F. H.; ANDERSON, M. P. **Introduction to Groundwater Modeling**. San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1982. 236p.

- WEI, Q. F.; MATHER, R. R.; FOTHERINGHAM, A. F.; YANG, R. D. Evaluation of Nonwoven Polypropylene Oil Sorbents in Marine Oil-Spill Recovery. **Marine Pollution Bulletin**. v. 46, p. 780-783, 2003.
- YAKOVLEVA, E.; HOPKE, P. K. Receptor modeling assessment of particle total exposure assessment methodology data. **Environmental Science and Technology**, v. 33, n. 20, p. 3645-3652, 1999.
- YOON, B.S.; RHO, J.H.; SONG, J.U. Prediction technology of near shore oil spreading. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING, 16., Yokohama, 1997. **Proceedings**. Yokohama, 1997. Part 1-B – OMAE, v. 1, p. 81-88.
- ZANARDI, E.; BICEGO, M. C.; WEBER, R. R. Dissolved Dispersed Petroleum Aromatic Hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**. v. 38, n. 5, p. 410-413, 1999.
- ZHENG, Q.; YAN, X. H; LIU, T.; KLEMAS, V.; SUN, D. Space Shuttle Observations of Open Ocean Oil Slicks. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, p. 49-56, 2001.
- ZHU, S. P.; STRUNIN, D. A Numerical Model for the Confinement of Oil Spill With Floating Booms. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 7, n. 5-6, p. 249-255, 2002.
- ZHU, S. P.; STRUNIN, D. Modelling the Confinement of Spilled with Floating Booms. **Applied Mathematical Modeling**, v. 25, p. 713-729, 2001.

Apêndices

Dados sobre derramamentos de óleo.

Tabela I.1. Principais acidentes envolvendo navios.

Óleo Derramado (t)	Data	Navio	Localização	Causa
287.000	19 Julho 1979	<i>Atlantic Empress</i>	Costa de Tobago	Colisão
260.000	28 Maio 1991	<i>ATB Summer</i>	700 m.n. Costa de Angola.	Fogo/Explosão
257.000	06 Ago. 1983	<i>Castillo de Bellver</i>	70 m.n. Costa de Cape Town, África do Sul.	Ruptura do Casco
223.000	16 Mar. 1978	<i>Amoco Cadiz</i>	Brittany, França	Encalhe
144.000	11 Mar. 1991	<i>Haven</i>	Genoa, Itália	Fogo/Explosão
132.000	10 Nov. 1988	<i>Odyssey</i>	700 m.n. Costa da Nova Escócia	Ruptura do Casco
119.000	18 Mar. 1967	<i>Torrey Canyon</i>	Ilhas de Scilly, U. K.	Encalhe
115.000	19 Dez. 1972	<i>SeaStar</i>	Golfo de Omã	Colisão
100.000	12 Maio 1976	<i>Urquiola</i>	La Coruna, Espanha	Encalhe
95.000	23 Fev. 1977	<i>Hawaiian Patriot</i>	320 m.n. oeste do Havaí	Ruptura do Casco
95.000	15 Nov. 1979	<i>Independenta</i>	Istambul, Turquia	Colisão
88.000	29 Jan. 1975	<i>Jakob Maersk</i>	Leixoes, Portugal	Encalhe
85.000	03 Jan. 1993	<i>Braer</i>	Ilhas Shetland, U.K.	Encalhe
80.000	19 Dez. 1989	<i>Khark 5</i>	120 m.n. Costa do Marrocos, Atlântico	Ruptura do Casco
77.000	10 Nov. 2002	<i>Prestige</i>	Costa da Espanha	Ruptura do Casco
73.000	03 Dez. 1992	<i>Aegean Sea</i>	La Coruna, Espanha,	Encalhe
72.000	15 Fev. 1996	<i>Sea Empress</i>	Porto de Milford, U.K.	Encalhe
72.000	16 Abril 1992	<i>Katina P</i>	Costa de Maputo. Moçambique	Ruptura do Casco
70.000	06 Dez. 1985	<i>Nova</i>	75 m.n. Costa da Ilha de Kharg, Golfo	Colisão
60.000	06 Dez. 1960	<i>Sinclair Petrolore</i>	Costa do Brasil	Fogo/Explosão
60.000	01 Maio 1975	<i>Epic Colocotronis</i>	60 m.n. noroeste de Porto Rico	Fogo/Explosão
53.000	31 Jan. 1975	<i>Corinthos</i>	Marcus Hook, Filadélfia, U.S.A.	Colisão
52.000	07 Jan. 1983	<i>Assimi</i>	60 m.n. Costa de Muscat	Fogo/Explosão
50.000	09 Ago. 1974	<i>Metula</i>	Strait de Magellan. Chile	Encalhe
50.000	31 Dez. 1978	<i>Andros Pátria</i>	Costa de Capa Finisterre. Espanha	Ruptura do Casco

Tabela I.1 – (Continuação) Principais acidentes envolvendo navios

Óleo Derramado	Data	Navio	Localização	Causa
48.000	13 Jun. 1968	<i>World Glory</i>	90 m.n. Costa de Durban, África do Sul	Ruptura do Casco
46.000	09 Dez. 1983	<i>Pericles G. C.</i>	200 m.n. Costa de Doha, Qatar	Fogo/Explosão
44.000	13 Jan. 1975	<i>British Ambassador</i>	Oceano Pacífico	Ruptura do Casco
41.000	01 Jun. 1970	<i>Ennerdale</i>	Costa de Porto Victoria, Seychelles	Encalhe
40.000	29 Fev. 1968	<i>Mendoil II</i>	340 m.n. Costa do Estado de Washington E.U.A.	Colisão
40.000	27 Fev. 1971	<i>Wafra</i>	Costa de Cape Agulhas, África do Sul,	Encalhe
40.000	28 Dez. 1980	<i>Juan A. Lavalleja</i>	Arzew, Argélia	Encalhe
37.000	11 Jun. 1972	<i>Trader</i>	Costa sudoeste da Grécia	Ruptura do Casco
37.000	24 Mar. 1989	<i>Exxon Valdez</i>	Príncipe William Sound, Alasca	Encalhe
37.000	21 Out. 1994	<i>Thanassis A</i>	200 m.n.. Costa de Manila, Filipinas	Ruptura do Casco
36.000	01 Nov. 1979	<i>Burmah Agate</i>	Galveston, Texas, E.U.A.	Colisão
35.000	09 Jun. 1973	<i>Napier</i>	Costa da Ilha de Guamblin, Chile	Encalhe
34.000	18 Jan. 1977	<i>Irenes Challenge</i>	200 m.n.off Midway Ilha, Pacífico	Ruptura do Casco
33.000	26 Dez. 1970	<i>Chryssi</i>	250 m.n. sudoeste das Ilhas Bermudas	Ruptura do Casco
33.000	06 Fev. 1976	<i>Saint Peter</i>	Costa de Esmeraldas, Equador	Fogo/Explosão
32.000	28 Jan. 1972	<i>Golden Drake</i>	1200 m.n. leste de Ilhas Bermudas	Fogo/Explosão
32.000	28 Abril 1979	<i>Gino</i>	40 m.n. Costa Brittany, França	Colisão
32.000	16 Ago. 1979	<i>Ionnis Angelicoussis</i>	Cabinda, Angola	Fogo/Explosão
31.000	05 Nov. 1969	<i>Keo</i>	120 m.n. sudeste de Nantucket, U. S.A.	Ruptura do Casco
28.000	25 Maio 1976	<i>Caribbean Sea</i>	Costa de El Salvador	Ruptura do Casco

Fonte: Adaptado de: ITOPF (1997)

Apêndice I – Dados Sobre Derramamentos de Óleo

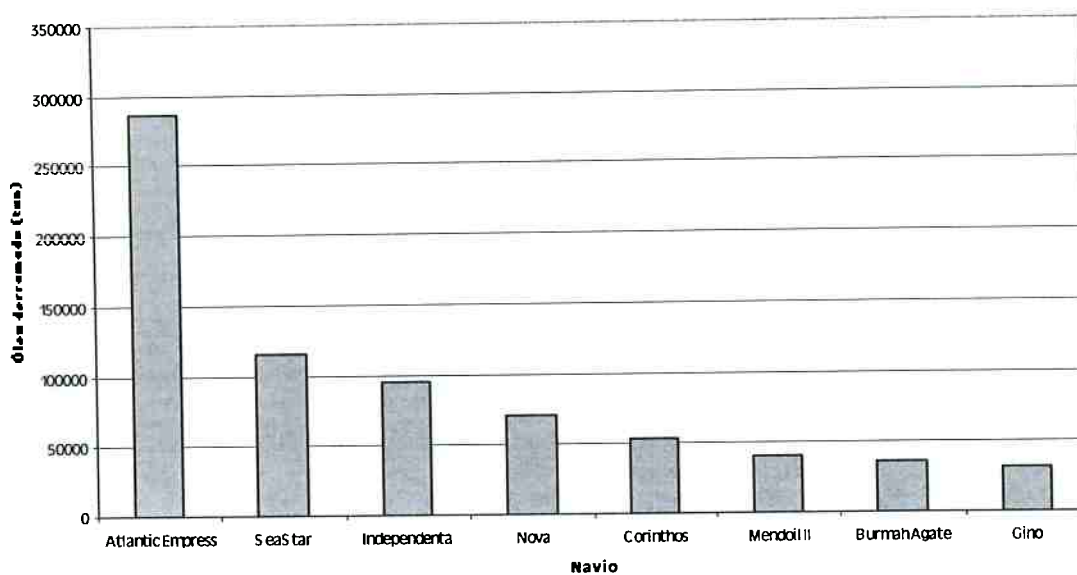


Gráfico I.1 - Acidentes envolvendo Colisões.
Fonte: Adaptado de ITOPF (2004c)

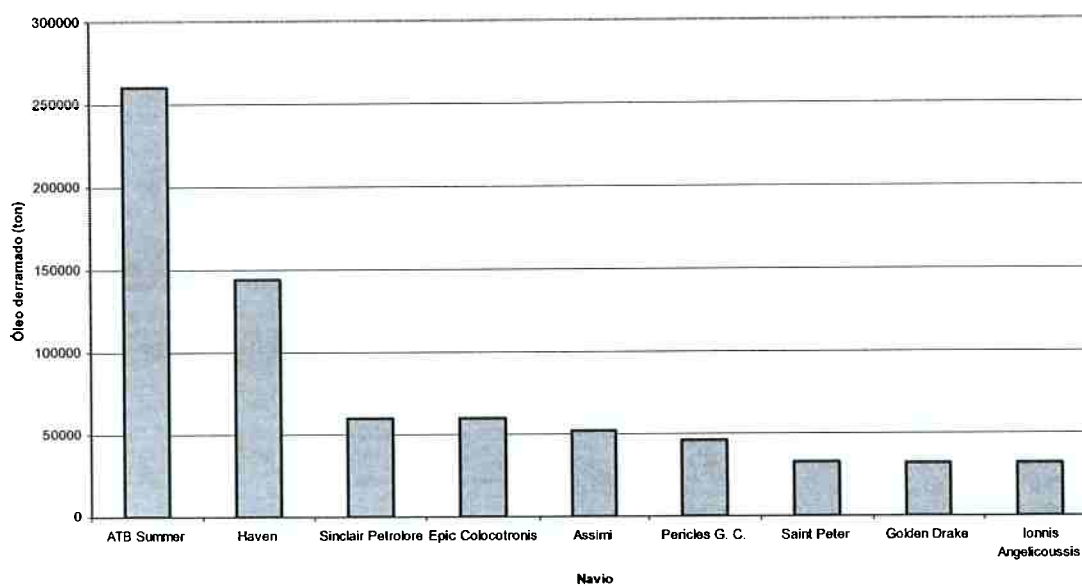


Gráfico I.2 - Acidentes envolvendo Fogo/Explosão
Fonte: Adaptado de ITOPF (2004c)

Apêndice I – Dados Sobre Derramamentos de Óleo

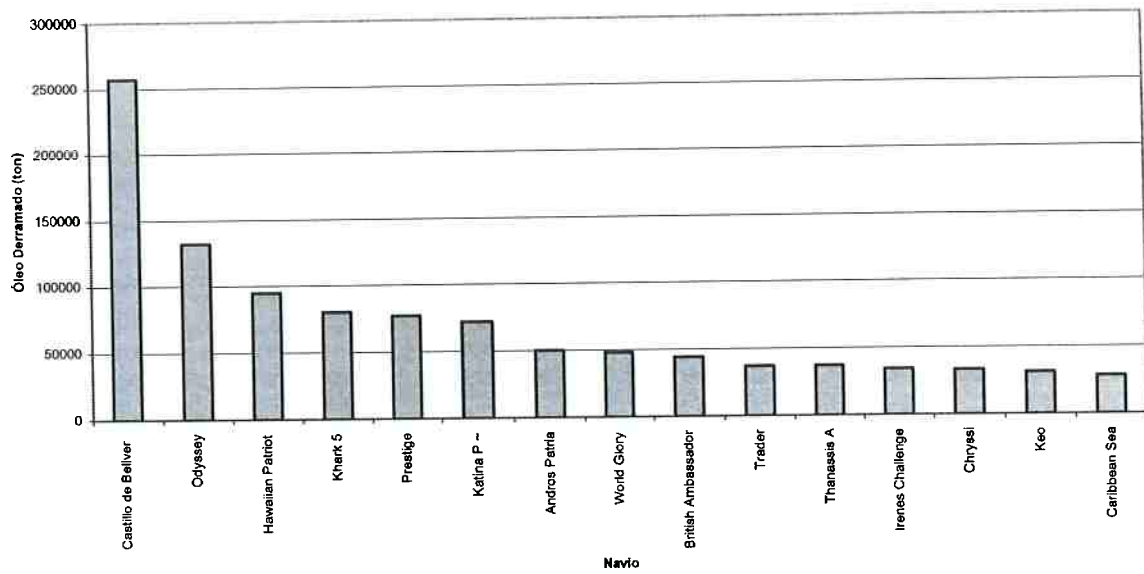


Gráfico I.3 - Acidentes Envolvendo Ruptura do Casco
Fonte: Adaptado de ITOPF (2004c)

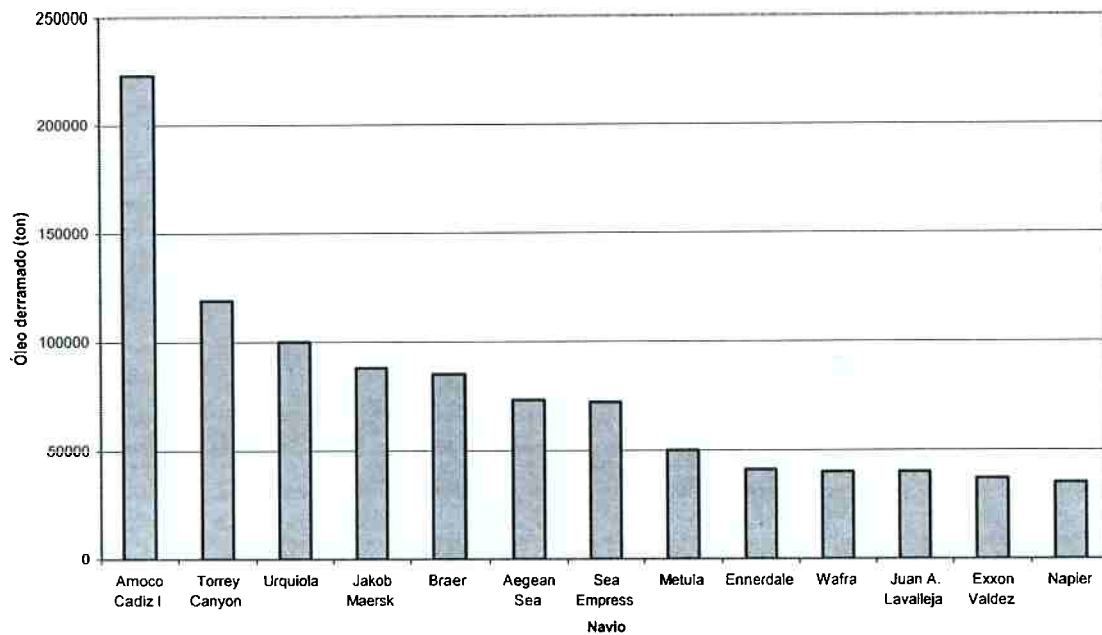


Gráfico I.4 - Acidentes Envolvendo Encalhes
Fonte: Adaptado de ITOPF (2004c)

Tabela I.2. Número de acidentes por volume de óleo derramado.

Ano	7-700 ton	>700 ton
1970	6	29
1971	18	14
1972	49	24
1973	25	32
1974	91	26
1975	97	19
1976	67	25
1977	65	16
1978	54	23
1979	59	34
1980	51	13
1981	49	6
1982	44	3
1983	52	11
1984	25	8
1985	29	8
1986	25	7
1987	27	10
1988	11	10
1989	32	13
1990	50	13
1991	27	8
1992	31	9
1993	30	11
1994	27	7
1995	20	3
1996	20	3
1997	27	10
1998	22	4
1999	19	5
2000	18	3
2001	16	3
2002	12	3
2003	15	4

Fonte: Adaptado de: ITOPF (2004c)

Tabela I.3. Volume de óleo derramado.

Ano	Quantidade (1000 ton)
1970	301
1971	167
1972	311
1973	166
1974	169
1975	342
1976	369
1977	298
1978	395
1979	608
1980	103
1981	44
1982	11
1983	384
1984	28
1985	88
1986	19
1987	30
1988	198
1989	178
1990	61
1991	435
1992	162
1993	144
1994	105
1995	9
1996	79
1997	67
1998	10
1999	29
2000	12
2001	8
2002	81
2003	42

Fonte: Adaptado de: ITOPF (2004c)

Tabela I.4. Acidentes com Grandes Volumes Derramados.

Óleo Derramado (ton)	Navio	Ano	Localização
287.000	Atlantic Empress	1979	Tobago, West Indies
260.000	ABT Summer	1991	700 milhas da costa de Angola
252.000	Castillo de Bellver	1983	Baia Saldanha, África do Sul
223.000	Amoco Cadiz	1978	Brittany, France
144.000	Haven	1991	Genoa, Italy
132.000	Odyssey	1988	700 milhas da costa da Nova Escócia, Canadá
119.000	Torrey Canyon	1967	Ilhas Scilly, UK
115.000	Sea Star	1972	Golfo de Oman
100.000	Irenes Serenade	1980	Navarino Bay, Grécia
100.000	Urquiola	1976	La Coruna, Espanha
95.000	Hawaiian Patriot	1977	300 milhas da costa de Honolulu
95.000	Independenta	1979	Bosphorus, Turquia
88.000	Jakob Maersk	1975	Porto, Portugal
85.000	Braer	1993	Ilhas Shetland, UK
80.000	Khark 5	1989	120 milhas náuticas da costa Atlântica do Morocos
77.000	Prestige	2002	Costa Espanhola
74.000	Aegean Sea	1992	La Coruna, Espanha
72.000	Sea Empress	1996	Milford Haven, UK
72.000	Katina P.	1992	Saída de Maputo, Moçambique
37.000	Exxon Valdez	1989	Prince William Sound, Alaska, USA

Fonte: Adaptado de: ITOPF (1997)

Tabela I.5. Acidentes com Derramamento por Causa, 1974-2003

	< 7 ton	7-700 ton	> 700 ton	Total
OPERAÇÕES				
Carga/descarga	2812	326	30	3168
'Bunkering'	548	26	0	574
Outras operações	1177	55	0	1232
ACIDENTES				
Colisões	167	274	95	536
Encalhes	228	212	114	554
Ruptura do casco	572	88	43	703
Fogo/ explosão	85	11	29	125
Outras/Desconhecidas	2175	143	24	2342
TOTAL	7764	1135	335	9234

Fonte: Adaptado de: ITOPF (2004c)

Tabela I.6. Acidentes em instalações com Derramamento, 1974-1992

Óleo (ton)	Derramado	Instalação	Ano	Localização
1.419.636		Ixtoc Well	1989	México
264.442		Norwruz Oil Field	1983	Golfo Pérsico
139.180		D-103 Libya	1981	Libya
103.410		Kuwait Nat. Petroleum	1981	Golfo de Oman
92.833		Well 128	1978	Iran
79.193		BP Storage Tank	1985	Nigéria
66.250		BP/Shell Fuel Depot	1978	Zimbabue
49.687		Tohoku Storage Tanks	1978	Japão
46.346		Ranger, Tx Well	1985	Texas
35.578		Mizushima Refinery	1974	Japão
35.490		Turkish Petroleum Corp	1978	Turquia
27.836		Storage Tank	1989	Nova Jersey
27.140		Ekofisk Bravo	1977	Mar do Norte
22.268		Humble Oil Pipeline	1967	Louisiana
13.918		Oleoduto	1970	Baia Tarut, Arábia Saudita
13.918		Oil Well SW Of Laben	1971	Golfo da Arábia
12.526		Ashland Storage Tank	1988	Penn. USA
11.134		Santa Barbara Chan. WE	1969	Califórnia
9.046		Offshore Platform	1970	Louisiana

Fonte: MARINE POLLUTION AND SAFER SHIPS (1992)

Tabela I.7. Fontes de introdução de óleo no mar

Estimativa [10⁶ton]	Fontes	Variação [10⁶ton]	Provável
1,44	Transporte	0,98 – 2,74	
1,21	Despejos Industriais e Urbanos	0,58 – 3,10	
0,90	Efluentes Municipais e Industriais	0,50 – 1,80	
0,70	Águas de Lastro	0.40 -1.50	
0,39	Acidentes com Petroleiros e não petroleiros	0.32 – 0.41	
0,30	Deposição Atmosférica	0.05 – 0.50	
0,30	Efluentes da Casa de Máquinas	0.20 – 0.60	
0,23	Naturais	0,025 – 2,50	
0,20	Despejos em Rios e Urbanos	0,02 – 0,70	
0,16	Erosão sedimentar	0,005 – 0,50	
0,11	Refinarias	0,06 – 0,60	
0,07	Produção Off-Shore	0,04 – 0,06	
0,07	Escapes Marinhos	0,02 – 2,00	
0,03	Docagem p/ reparos	0,05 – 0,20	
0,02	Operações em Terminais	0.01 – 0.03	

Fonte: Adaptado de DOERFFER (1992)

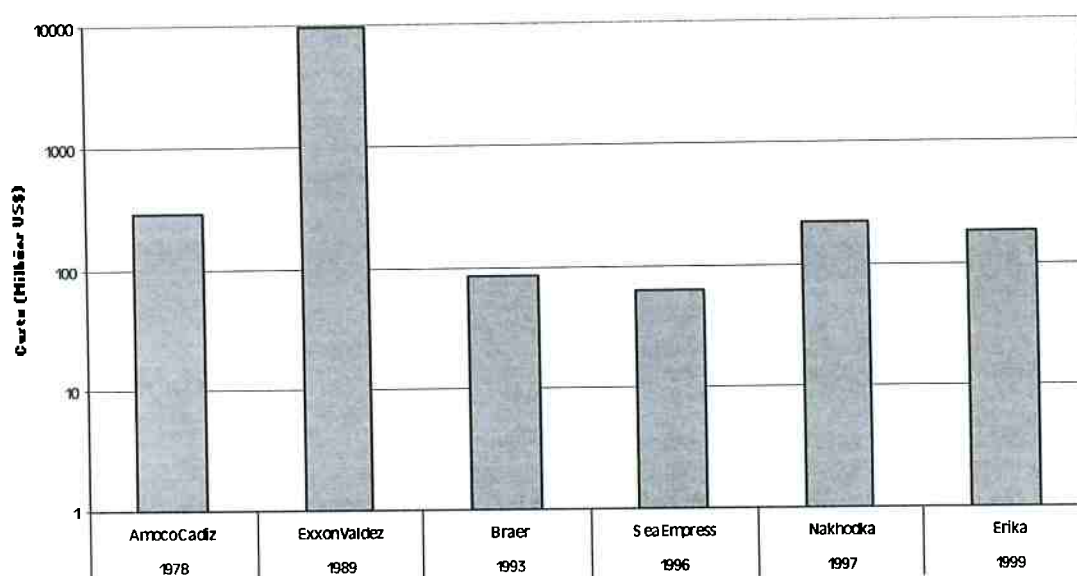


Gráfico I.5- Custo estimado de alguns acidentes envolvendo navios. Fonte: THE INTERNATIONAL OIL POLLUTION COMPENSATION FUNDS (2003)

Tabela I.8. Custo estimado de alguns acidentes

Ano	Navio/Instalação	Volume Derramado (ton)	Custo Estimado em Milhões (US\$)
1979	Antonio Gramsci	5.500	34,9
1980	Tanio	13.500	77,3
1982	Ondina	300	11,5
1986	Thuntank 5	200	4,9
1987	Antonio Gramsci	700	8,9
1988	Amazzone	2.000	4,1
1988	Kasuga Maru	1.100	4,2
1990	Rio Orinoco	185	13,2
1991	Haven	144.000	96
1992	Aegean Sea	73.500	60
1993	Braer	84.000	60
1993	Taiko Maru	520	10,8
1994	Toyotaka Maru	560	8,3
1997	Nakhodka	17.500	180

Fonte: THE INTERNATIONAL OIL POLLUTION COMPENSATION FUNDS (2003)

Processo de Captura e Edição de Imagens. A Interface do Studio

A criação de filmes ou clipes com o Studio é um processo em três etapas:

Capturar: Importar o material de vídeo da fonte para o disco rígido do PC.

Editar: Organizar o material como desejado, reordenando cenas e descartando partes não desejadas. Acrescentar recursos visuais, como transições, títulos e gráficos, e áudio suplementar, como efeitos sonoros e música de fundo.

Criar filme: Gerar o filme acabado em seu formato e meio de armazenamento escolhidos.

II.1- Configuração de opções

A maioria das opções no Studio é configurada usando duas caixas de diálogo com guias.

A primeira permite controlar opções relacionadas ao modo *Capturar* e ao modo *Editar*. Tendo quatro guias: *Fonte de captura*, *Formato de captura*, *Editar* e *CD e voz*.

A outra traz opções referentes ao modo *Criar Filme*. Ela tem seis guias, uma para cada um dos seis tipos de produção de filme:

Cada painel de ambas as caixas de diálogo pode ser acessado individualmente com um comando correspondente no menu *Configuração*. Quando uma caixa de diálogo é aberta, porém, todos os seus painéis ficam disponíveis por meio das guias.

A Figura II.1, a seguir, ilustra o **painel Captura** com Boa qualidade.

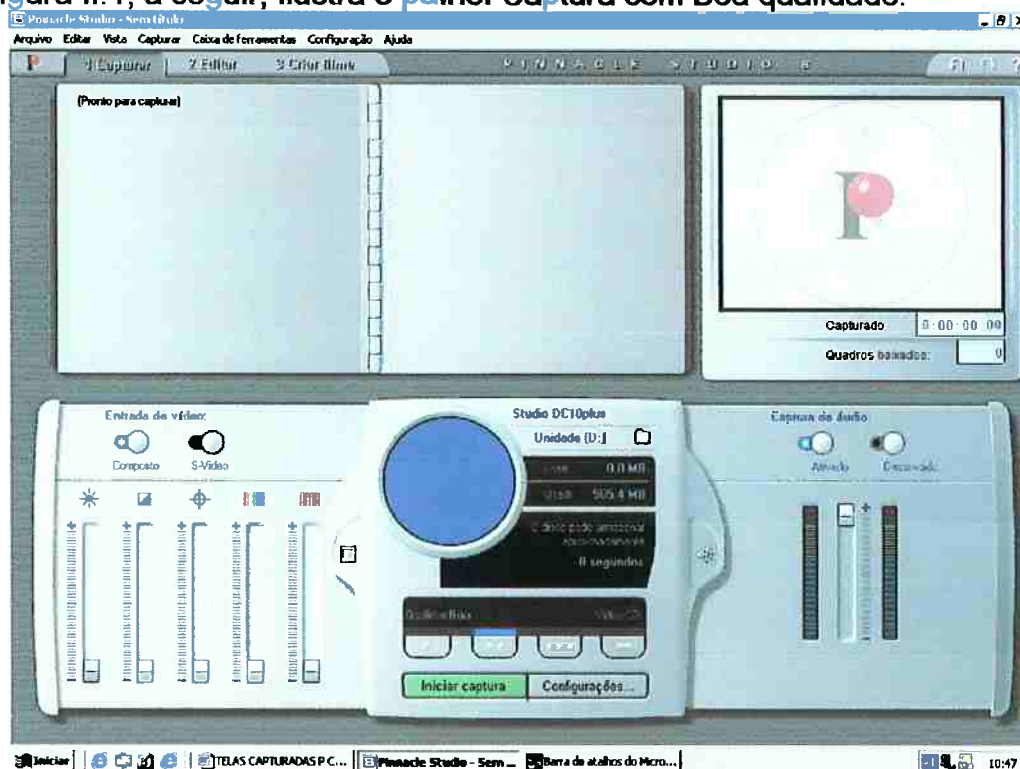


Figura II.1. Painel Captura com Boa qualidade

No processo de captura há opções para o modo como os dados de vídeo são codificados e comprimidos quanto à qualidade.

Capturas MPEG geralmente são lentas dependendo das configurações de qualidade escolhidas e da velocidade do computador.

Devido à qualidade, a captura pode ocupar muito espaço em disco, portanto é preferível escolher segmentos pequenos para capturar em vez de capturar a fita inteira.

A Figura II.2, a seguir, ilustra o painel *Formato de captura*

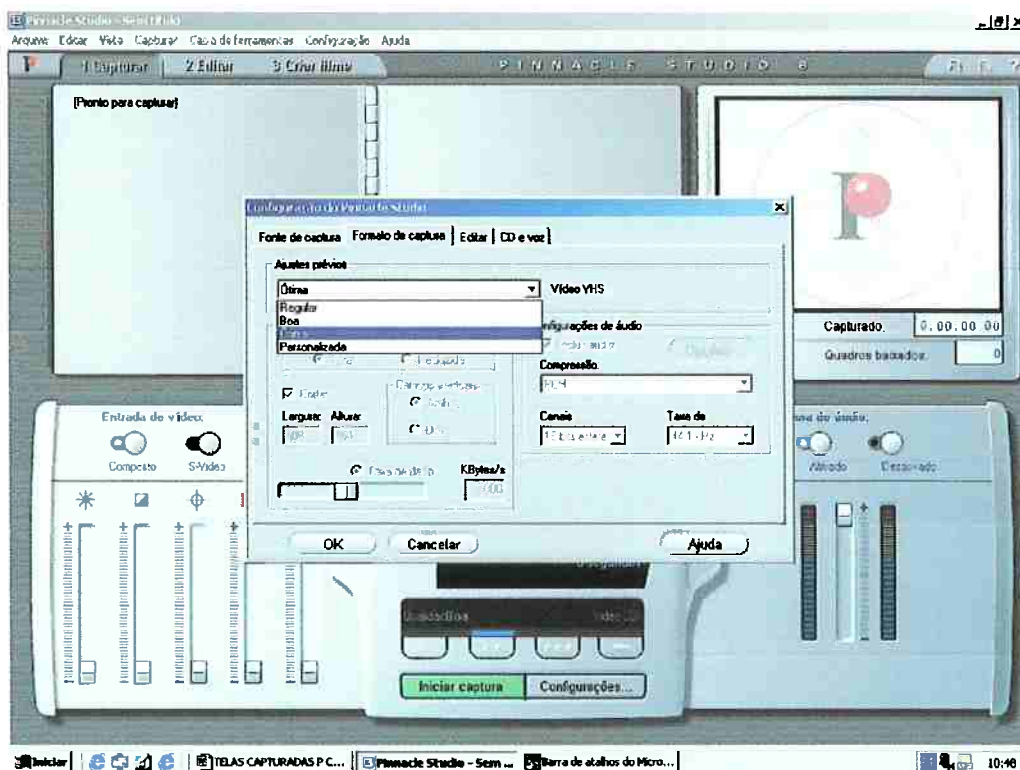


Figura II.2. O painel *Formato de captura*

Para calcular a quantidade de espaço em disco, necessária, basta multiplicar a duração do vídeo em segundos por 3,6 MB/s. Assim, um vídeo de duas horas utiliza aproximadamente 26 GB de espaço de armazenamento. O que, dependendo da configuração da máquina, pode ser inviável.

Para capturar com qualidade total, o disco rígido deve ser capaz de leitura e gravação sustentadas de 4 MB/s. Todas as unidades SCSI e a maioria das unidades UDMA são capazes disso. De qualquer forma, antes de capturar convém testar a unidade para se certificar de que ela seja suficientemente rápida.

O painel *Formato de captura* (*Configuração > Formato de captura*) inclui várias opções para controlar a qualidade de capturas MPEG, conforme ilustrou a Figura II.2.

II.2- Configurações *Criar Arquivo AVI*

As opções *Criar Arquivo AVI* permitem ajustar as configurações de compressão.

II.3- Configurações de compressão de vídeo

Compressão: Visa escolher o compressor (codec) mais adequado para o uso pretendido na criação de um arquivo AVI.

Largura, Altura: A largura e a altura são medidas em pixels. A configuração padrão de 720 x 576 pixels é a resolução em que o programa captura. A redução da largura e da altura diminui muito o tamanho do arquivo. Quando se ajusta a largura, a altura também é modificada para manter uma relação padrão de 4:3 para os quadros de vídeo.

Qualidade, taxa de dados: Dependendo do codec em uso, será possível ajustar a porcentagem de qualidade ou de taxa de dados com o controle deslizante. Quanto mais alta a porcentagem escolhida, maior o arquivo resultante.

Taxa de quadros: O padrão é 29,97 quadros por segundo, que é o padrão para vídeo NTSC (o padrão PAL é de 25 quadros por segundo). É possível definir uma taxa de quadros mais baixa para outros aplicativos.

Não serão tratadas aqui as configurações de compressão de áudio, porém o programa permite especificá-las.

Dispondo de opções de salvamento, o programa permite criar arquivos AVI, conforme a Figura II.3, a seguir:

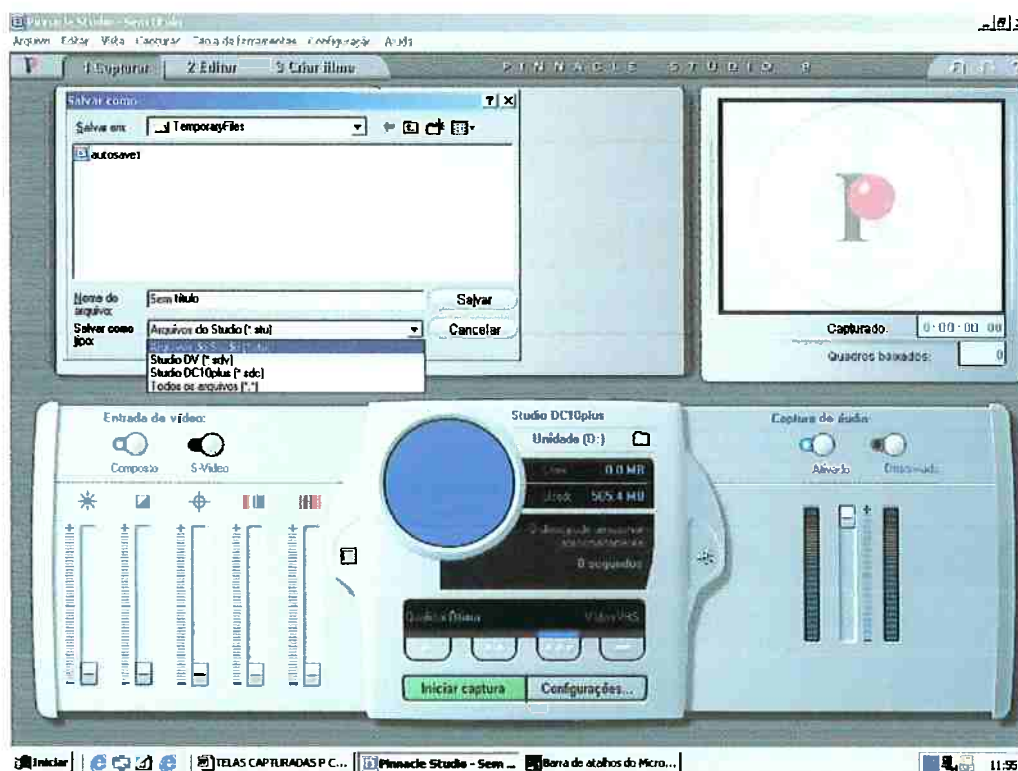


Figura II.3. Opções de salvamento.

Uma vez que o Videoclipe tenha sido criado, na etapa seguinte procede-se a edição do mesmo. Os painéis a seguir, Figura II.4, Figura II.5 e Figura II.6 ilustram o seqüencial inicial de abertura para edição do Videoclipe capturado.

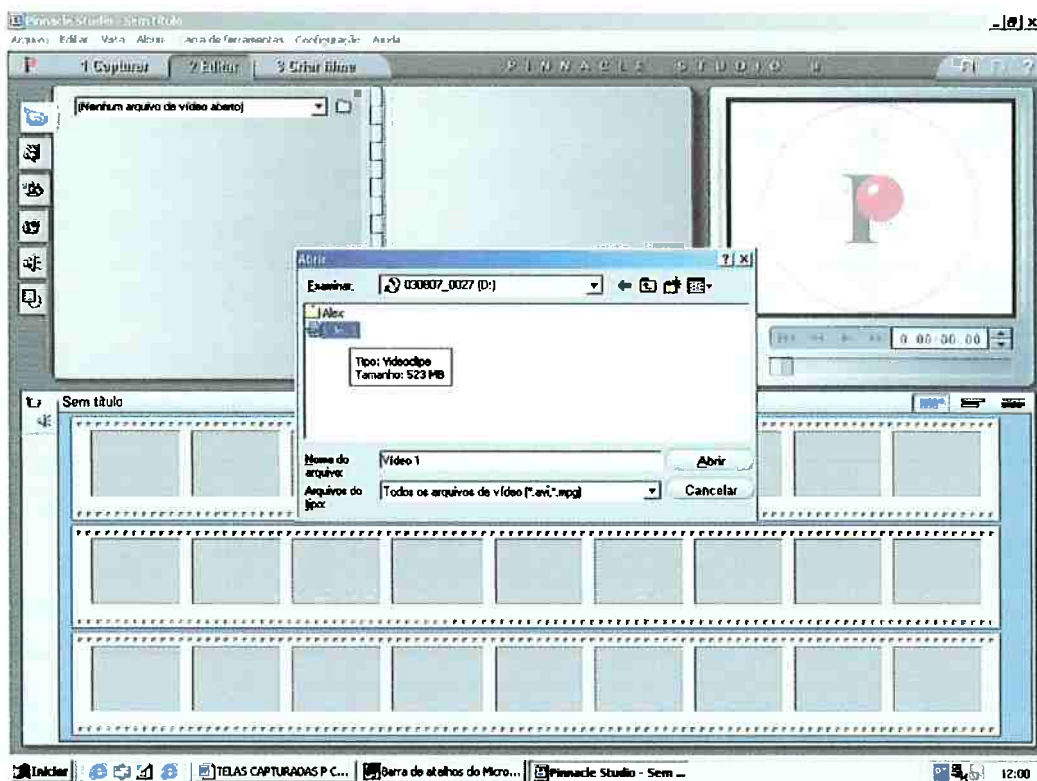


Figura II.4. Abertura de Videoclipe.

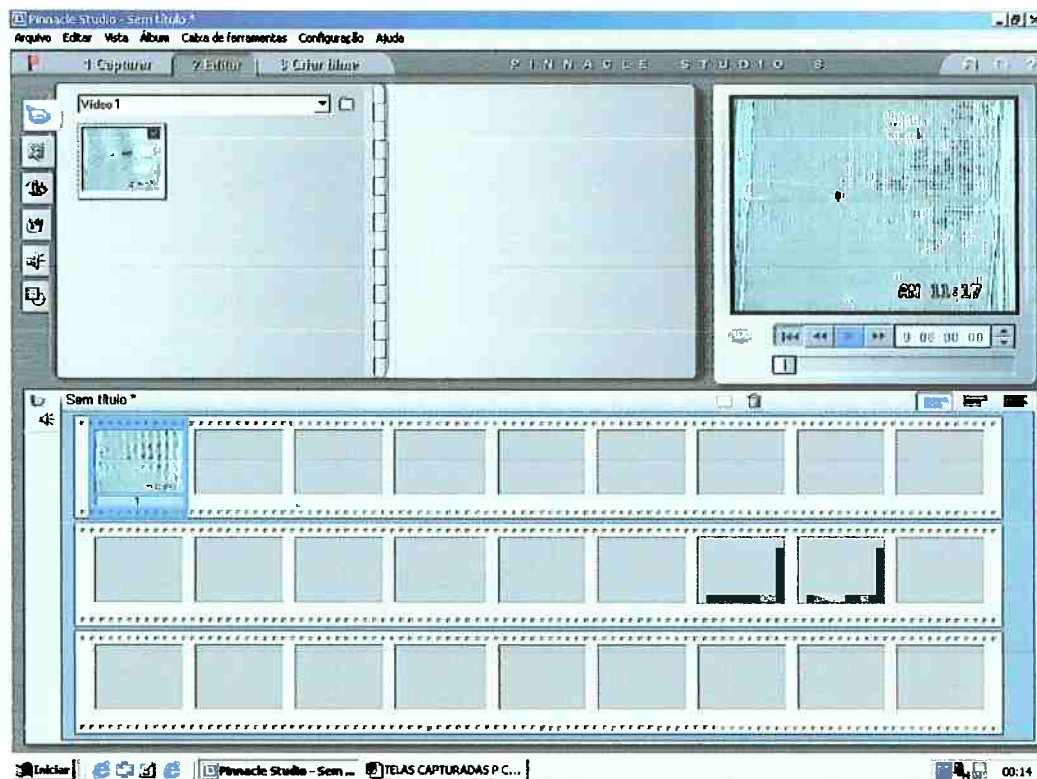


Figura II.5. Tela de edição de Videoclipe.

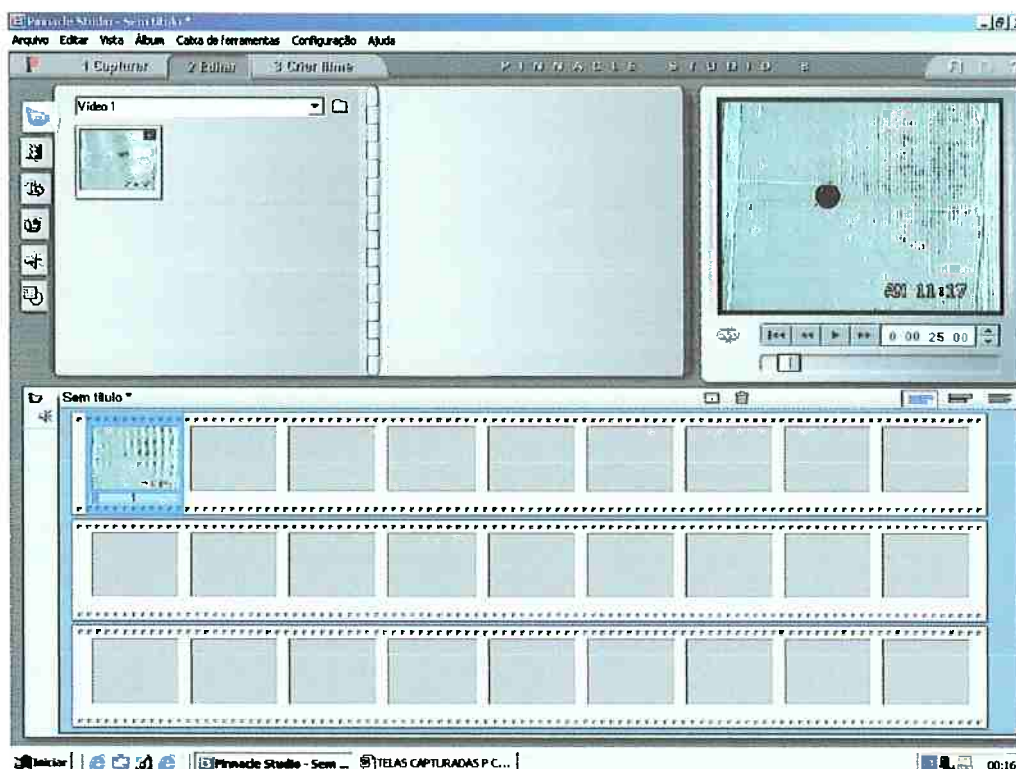


Figura II.6. Seqüencial de edição de Videoclipe.

II.4- Ajuste de profundidade de cor

Utiliza-se a profundidade de cor de 16 bits, por recomendação constante na tela de ajuda. Assim: *Propriedades > Configurações > High Color (16 bits)*. Quanto às configurações de sobreposição, estas afetam somente a exibição na tela do computador, enquanto as seqüências de vídeo gravadas sempre serão mostradas com cor e resolução totais na saída de vídeo.

II.5- Cortes

Para diminuir o tamanho do arquivo editado e conseqüentemente tornar o processo mais rápido, o Videoclipe deve ser "aparado" buscando remover cenas desnecessárias. A Figura II.7 ilustra o painel de corte.

II.6- O isolador de quadros

O isolador de quadros permite isolar um quadro de qualquer fonte de captura de vídeo, ou extrair um quadro isolado de qualquer videoclipe de um projeto, sendo possível adicionar o quadro isolado diretamente ao filme, ou salvá-lo no disco em um dos formatos de arquivos de imagem. Uma vez salvo o quadro no disco rígido, será possível utilizá-lo em outros aplicativos ou modificá-lo usando um programa de edição de imagens.

A Figura II.8, a seguir, ilustra o painel de captura de quadro.

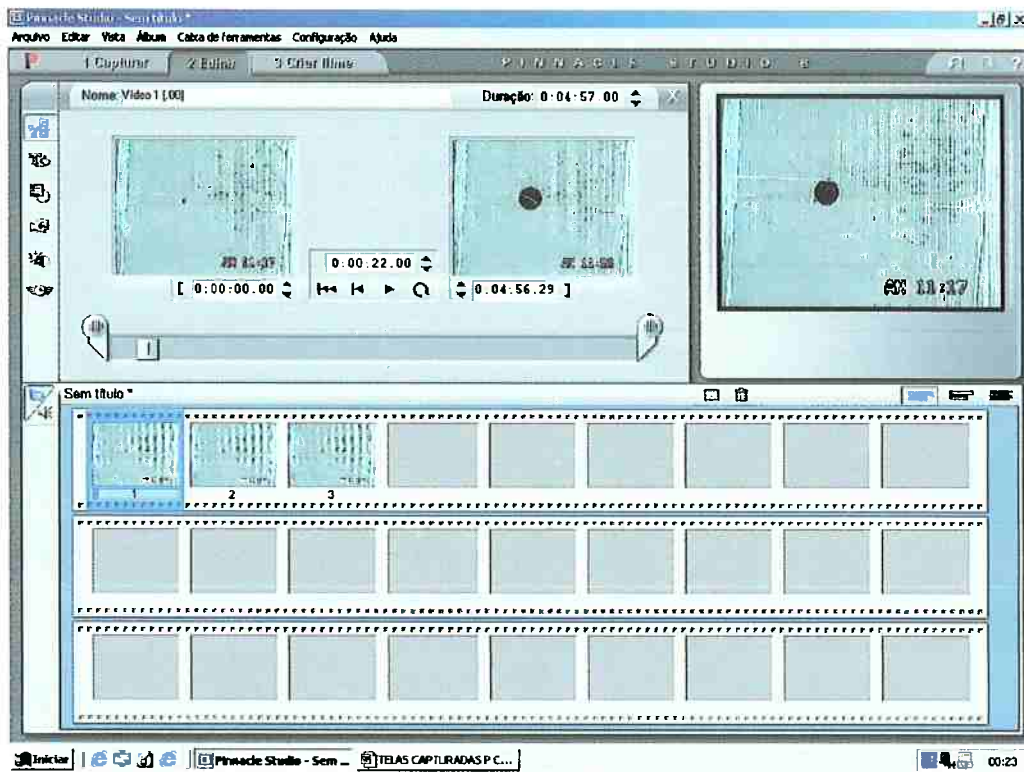
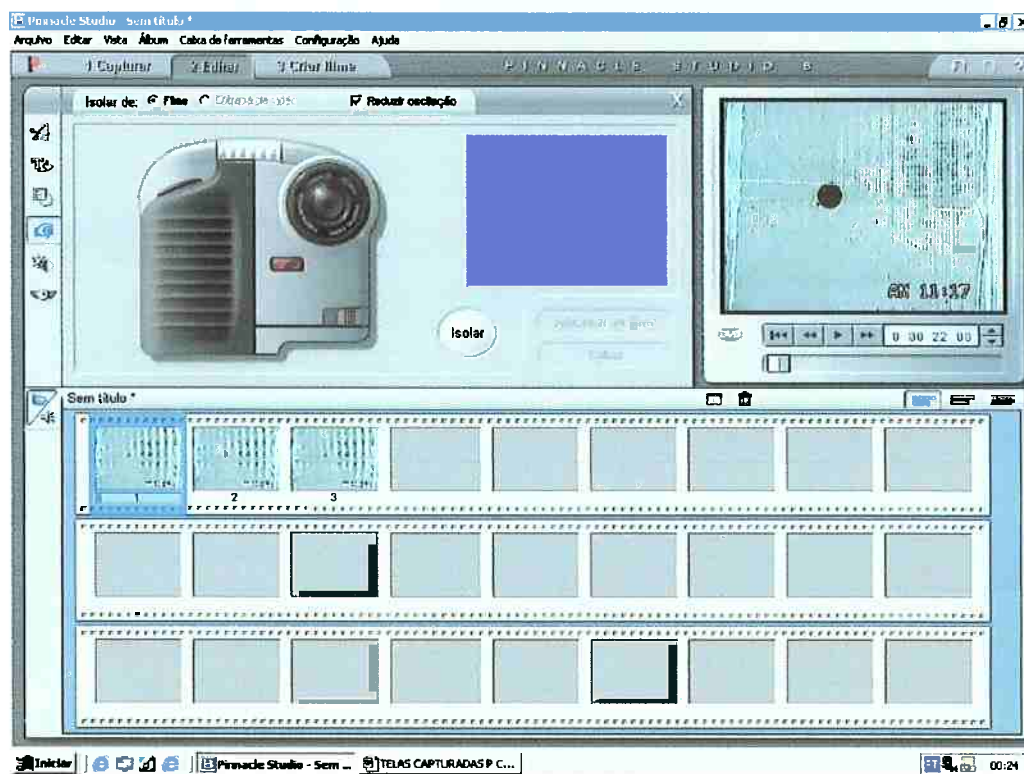


Figura II.7. Painel de corte



A Figura II.8. O painel de captura de quadros.

II.7- A ferramenta *Isolador de quadros*

A utilização da ferramenta *Isolador de quadros* se faz em conjunto com o "Player". Localizando no filme o quadro desejado, aciona-se *Isolar* e então o quadro isolado é exibido na área de visualização prévia da ferramenta, Figura II.9, pronto para ser salvo como um arquivo no disco, Figura II.10. Nesta etapa é possível definir a resolução da imagem: com o tamanho original do quadro isolado ou um tamanho personalizado.

Se a "taxa de definição" do tamanho selecionada for diferente da do quadro isolado, a imagem será esticada. Isso poderá provocar distorção na imagem, assim, deve-se preferencialmente manter o tamanho original do quadro.

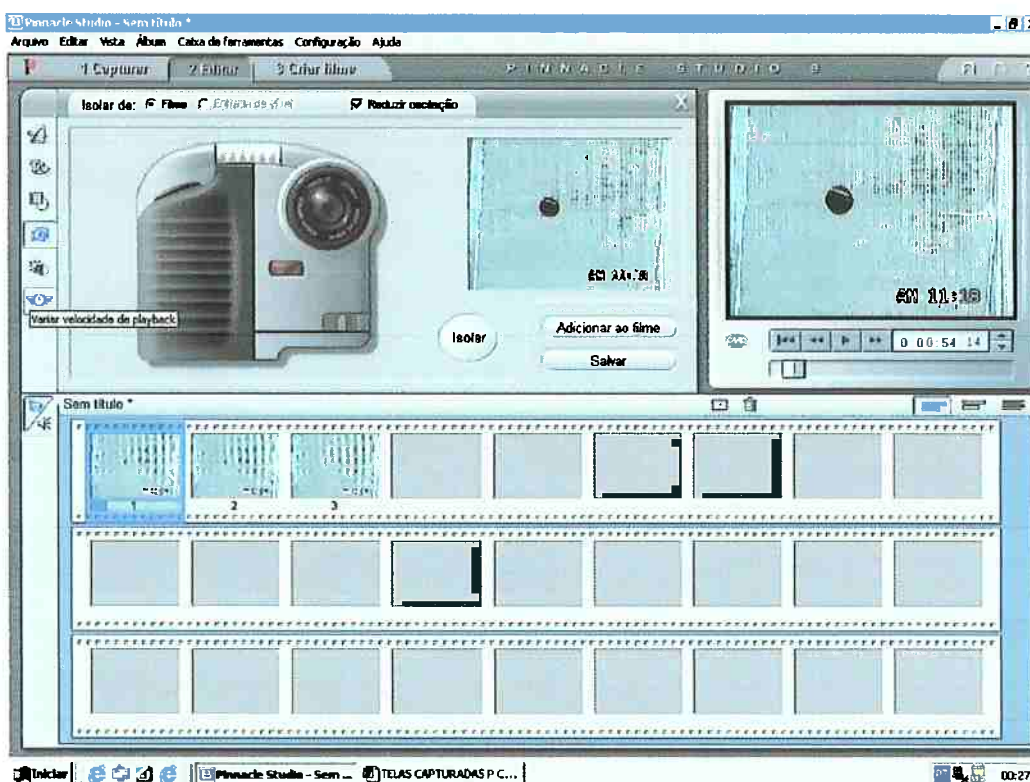


Figura II.9. Isolador de quadros

A figura seguinte, Figura II.10, ilustra o processo de captura de quadros e salvamento dos mesmos.

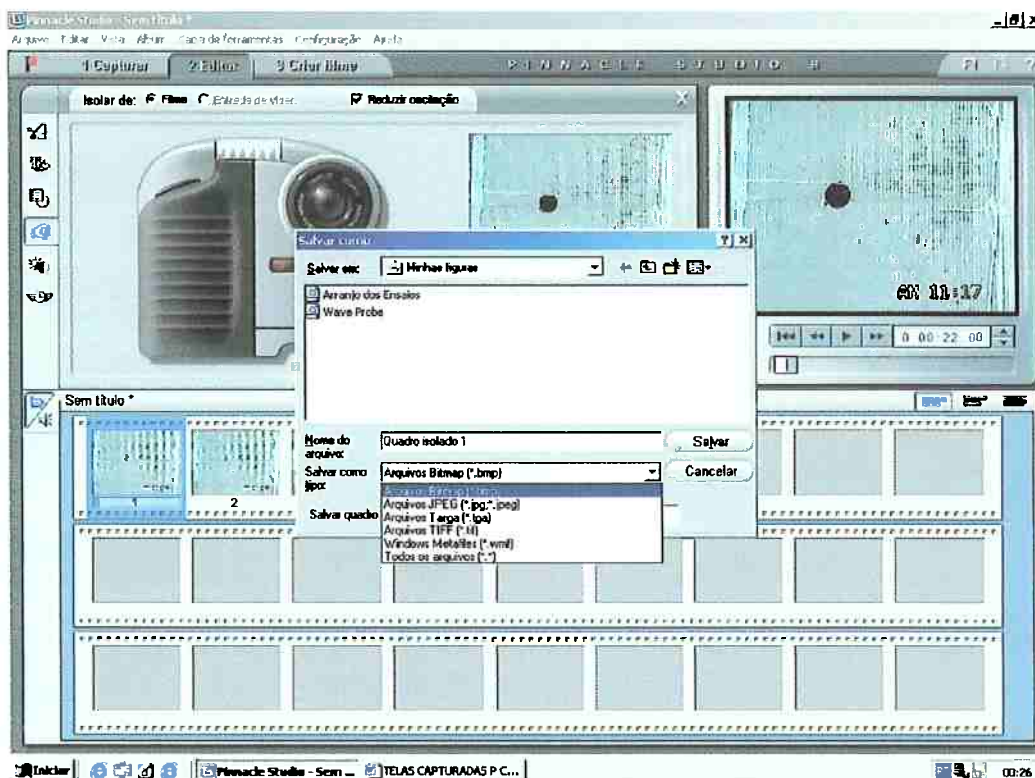


Figura II.10. Salvamento de quadros isolados

Para tomar preciso o instante de captura do quadro, emprega-se o método de visualização da linha do tempo. Este procedimento permite capturar facilmente o quadro de um determinado instante, sem que se tenha de avançar quadro a quadro no Player. As Figuras seguintes ilustram as etapas da captura de quadro empregando a linha do tempo.

II.8- Corte na Linha de Tempo usando alças

A maneira mais rápida de cortar é arrastando as bordas dos cliques diretamente na Linha de Tempo. Observando o Player enquanto se faz os ajustes para encontrar o quadro em que se deseja começar ou terminar o corte. Figura II.11. No processo de corte ou na busca de um quadro para captura, a expansão da escala de tempo é feita para facilitar os ajustes finos. Posicionando o ponteiro do mouse em qualquer lugar na Linha de Tempo, Figura II.12, exceto diretamente sobre a linha de edição, o ponteiro adquire a forma de um símbolo de relógio. Clicando e arrastando-o para a direita, a escala de tempo é expandida, Figura II.13 e Figura II.14.

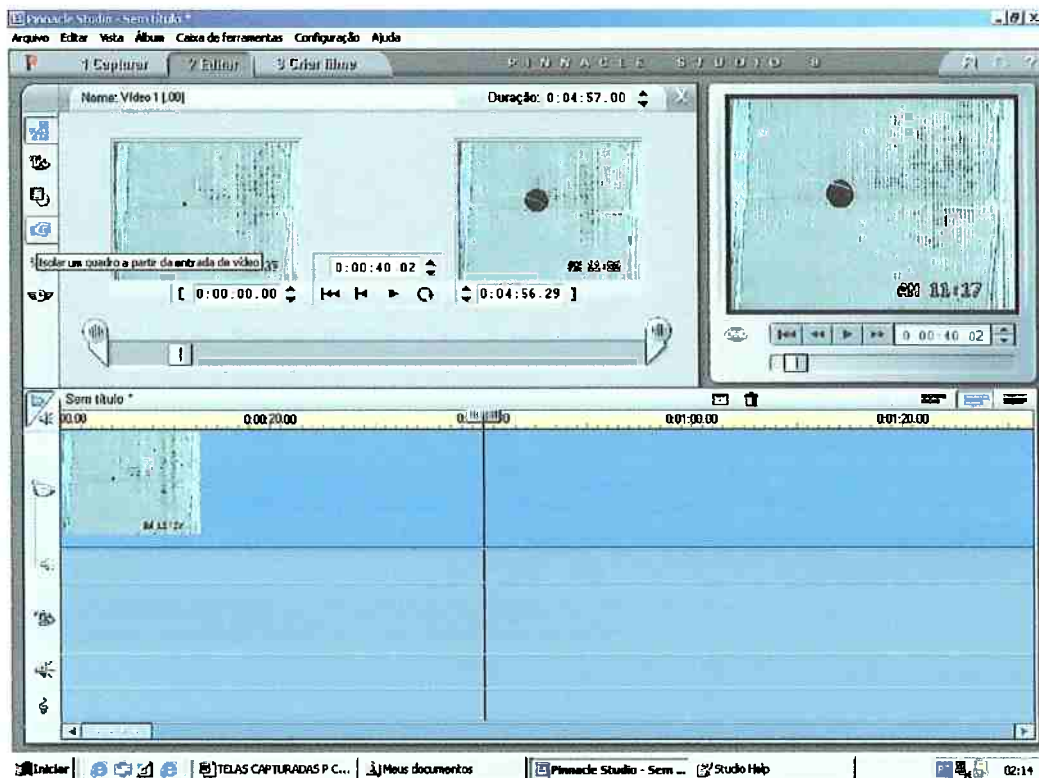


Figura II.11. Corte na Linha de Tempo usando alças

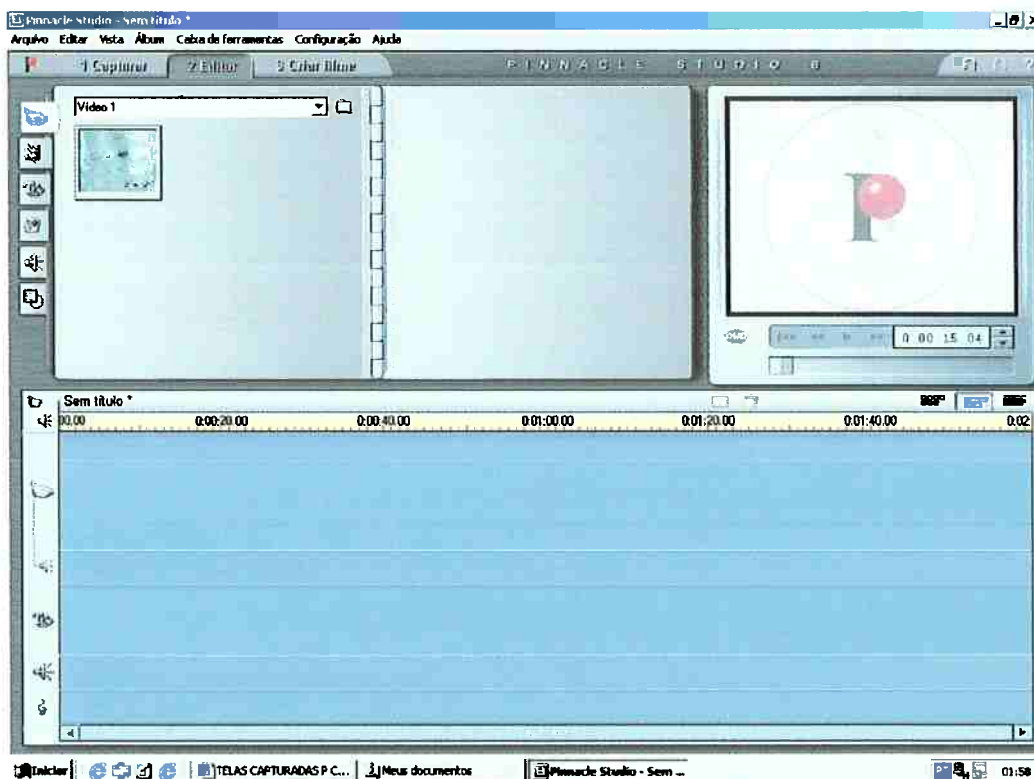


Figura II.12. Painel de visualização da linha do tempo

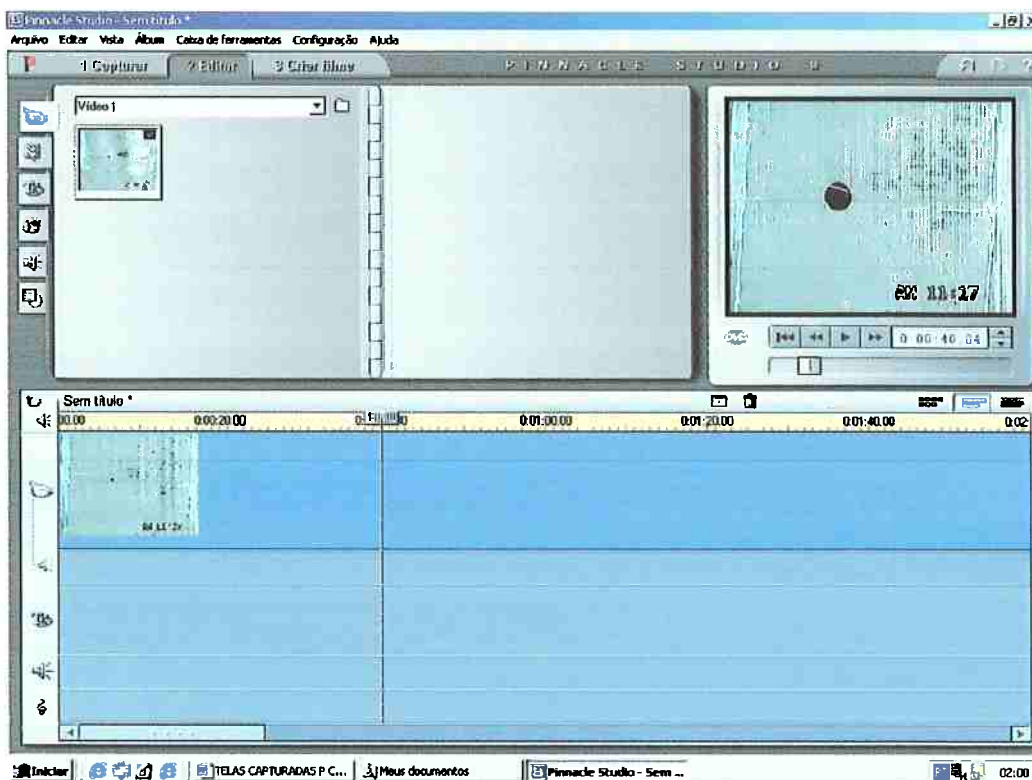


Figura II.13. Painel de edição incluindo a linha do tempo

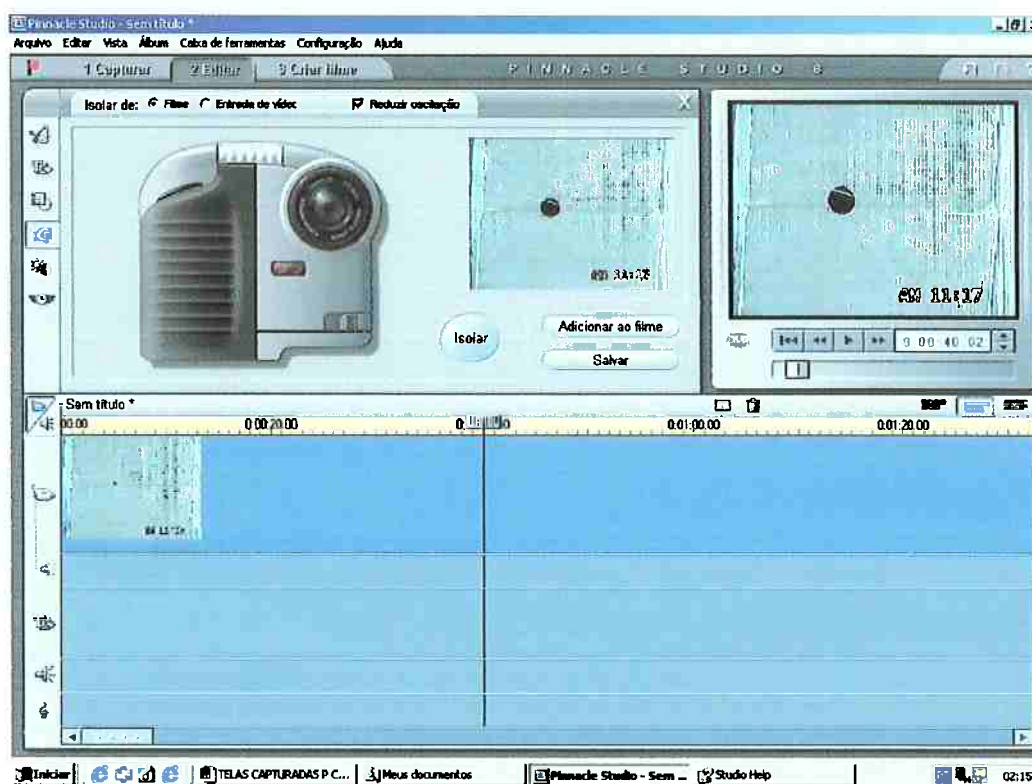


Figura II.14. Quadro isolado empregando a linha do tempo expandida.

Processos de Análise de Imagens

No Apêndice II foram tratados os mecanismos de captura e edição de filmes e Videoclipes. Ao final, foram abordados os procedimentos para captura de quadros (Frames). Todavia, os quadros isolados, como fotos, necessitam de análise pormenorizada, para obtenção dos dados que alimentarão o processo de simulação. Por conveniência, os quadros foram salvos com nomes que identificam o instante de captura e o clipe foi cortado de modo que o instante inicial coincidia com $t = 0$ (momento do lançamento do óleo), desta maneira, o arquivo a ser aberto já traz esta importante informação, Figura III.1. Desta forma, utilizando o programa Photoshop e o programa ImageRead, cada uma das fotos obtidas pode ser analisada. As figuras a seguir ilustram as etapas do processo de análise.

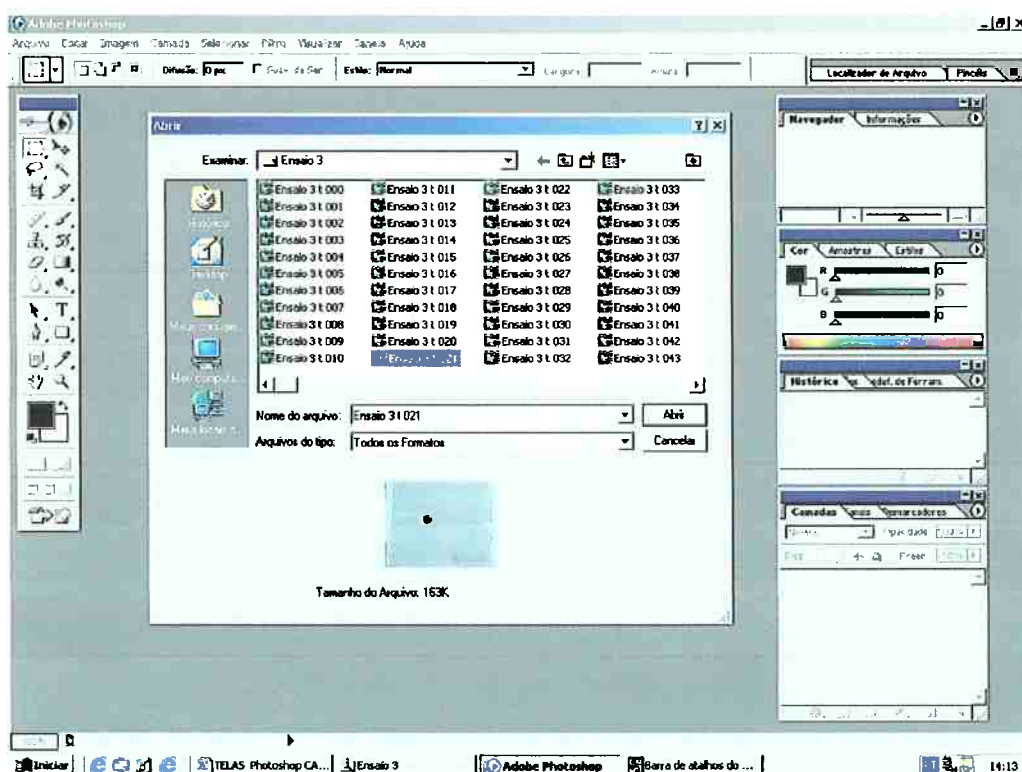


Figura III.1. Painel de escolha do quadro isolado no Photoshop

Na primeira etapa do procedimento de análise dos quadros, os mesmos são divididos em fatias para poder interpretar cada elemento da grade, conforme descrito no Capítulo 5. A criação de fatias se faz no programa ImageRead, e desta forma, é necessário intercambiar entre o Photoshop e este para criar, selecionar, salvar e efetuar medidas. A ilustração a seguir, Figura III.2, mostra a etapa de mudança para o AdobeReady.

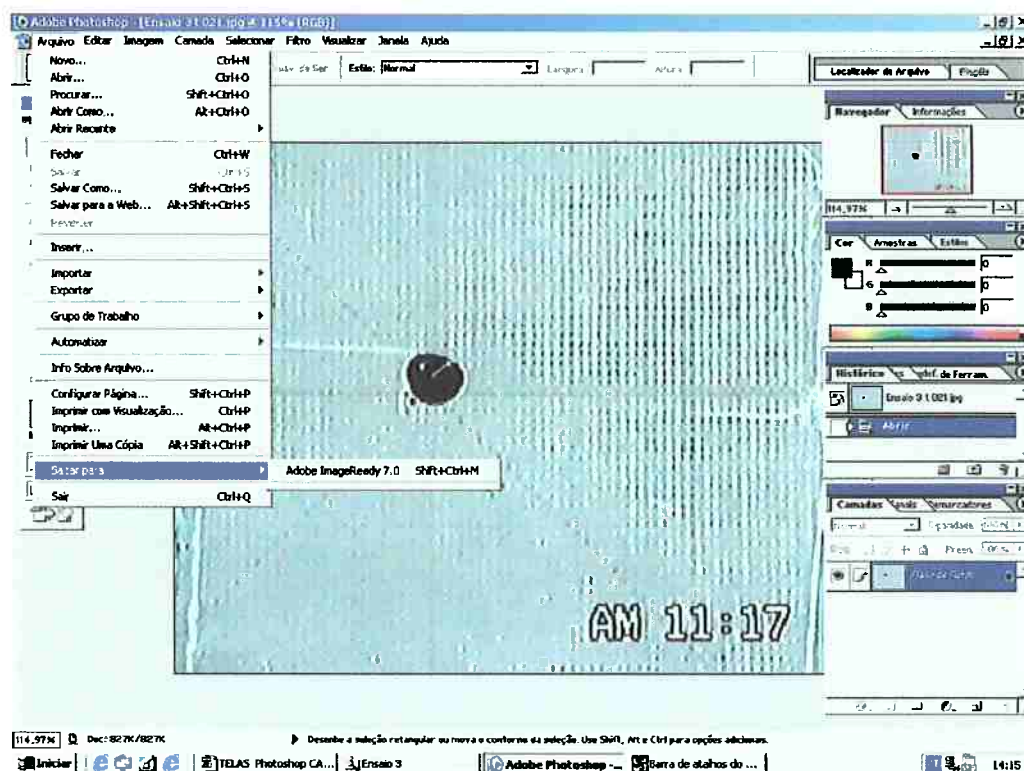


Figura III.2. Painel de mudança para o AdobeReady.

Uma vez no ImageRead, procede-se a criação das fatias. O início deste mecanismo é ilustrado na Figura III.3.

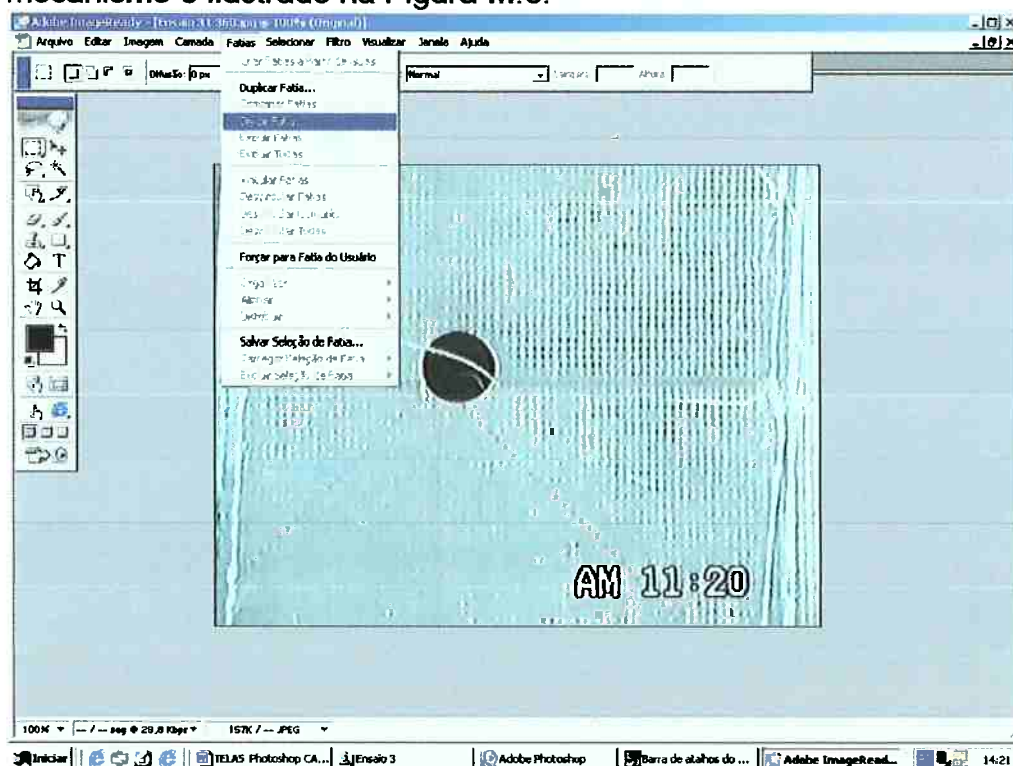


Figura III.3. Painel do aplicativo fatiar do ImageRead.

As figuras: III.1, III.2 e III.3 ilustraram o procedimento de abertura do Photoshop, escolha do quadro salvo, mudança para o ImageRead e do aplicativo fatiar. No que segue, serão mostrados os painéis envolvendo fatias.

III.1- Criação de fatias

Uma fatia é uma área retangular de uma imagem que pode ser utilizada para analisar um trecho específico de um quadro. Dividir uma imagem em fatias permite otimizá-la de maneira seletiva para interpretação.

III.2- Visualização de fatias

É possível visualizar fatias no Photoshop e no ImageReady. Deste ponto em diante, serão indicados os procedimentos no ImageReady visto que a criação de fatias se dá no mesmo.

As características a seguir permitem identificar e diferenciar fatias:

Linhas de fatias: Definem os limites da fatia. Linhas sólidas indicam que a fatia é uma fatia do usuário ou uma fatia baseada em camadas, enquanto que linhas pontilhadas indicam que a fatia é automática.

Cores de fatias: Servem para Diferenciar as fatias do usuário das fatias baseadas em camadas. Por padrão, as fatias do usuário e as fatias baseadas em camadas possuem símbolos azuis, enquanto as fatias automáticas possuem símbolos de cor cinza. Além disso, é possível utilizar ajustes de cor para reduzir o brilho das fatias não selecionadas. Esses ajustes são apenas para fins de exibição e não afetam as cores da imagem final. O ajuste inicial de cores para fatias automáticas é duas vezes o valor do ajuste para fatias do usuário.

Números de fatias: As fatias são numeradas da esquerda para a direita e de cima para baixo, começando no canto superior esquerdo da imagem. Se a organização ou o número total de fatias for alterado, os números das fatias serão atualizados para refletir a nova ordem, Figura APII.4.

Símbolos de fatias: Indicam se uma fatia do usuário é uma fatia com ou sem Imagem, se a fatia é baseada em camadas, se é vinculada ou se inclui um efeito de rolagem.

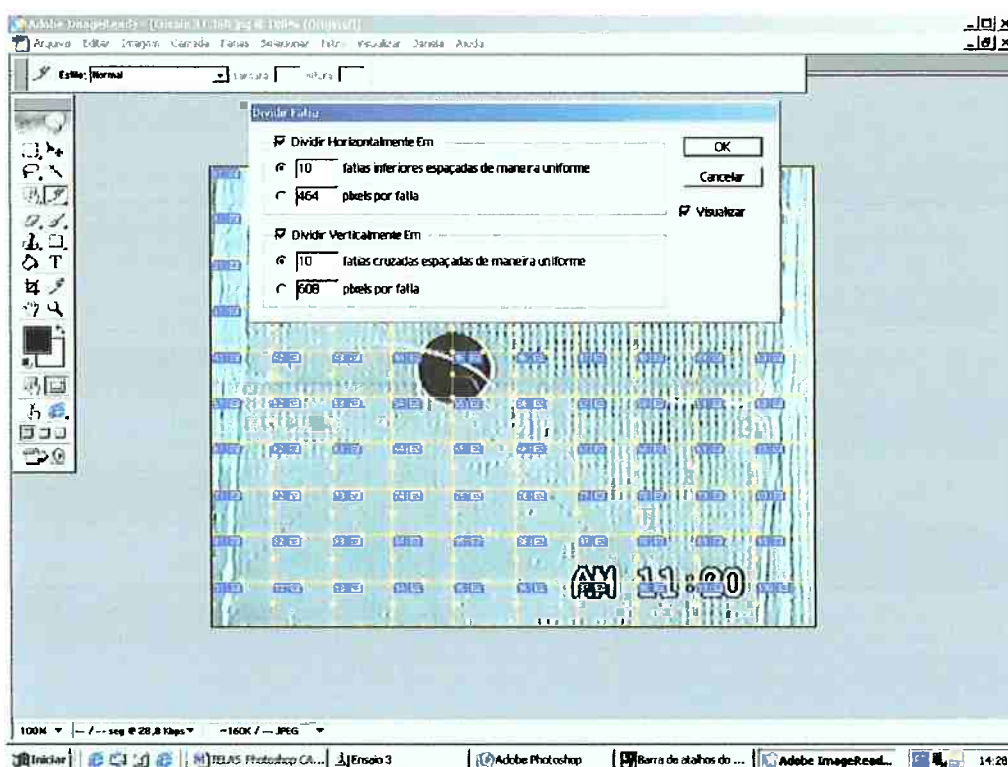


Figura III.4. Painel de definição da quantidade de fatias (10 x 10).

Os comandos seguintes são bastante úteis no procedimento.

Para mostrar ou ocultar fatias: Alternar Visibilidade de Fatias.

Para mostrar ou ocultar fatias automáticas: Visualizar > Mostrar > Fatias Automáticas.

Para mostrar ou ocultar números de fatias e símbolos de fatias: Editar > Preferências > Fatias.

Em Números e Símbolos, pode-se selecionar um tamanho para exibição dos símbolos.

Em Opacidade, escolhe-se um valor para alterar a opacidade dos números e dos símbolos exibidos.

Para exibir somente linhas de fatias: Editar > Preferências > Fatias > Linhas de Fatias > Mostrar Somente Linhas.

Para alterar os ajustes de cor de fatias: Editar > Preferências > Fatias.

III.3- Tipos de fatias

As fatias criadas utilizando a ferramenta fatia são chamadas de fatias do usuário, Figura III.5, enquanto as fatias criadas a partir de uma camada são chamadas de fatias baseadas em camadas. Ao criar uma nova fatia do usuário ou uma nova fatia baseada em camadas, fatias automáticas adicionais são geradas para as demais áreas da imagem. Em outras palavras, as fatias automáticas preenchem o espaço da imagem que não está definido por fatias do usuário ou fatias baseadas em camadas. As fatias automáticas são

regeneradas sempre que fatias do usuário ou fatias baseadas em camadas são adicionadas ou editadas.

Fatias do usuário, fatias baseadas em camadas e fatias automáticas possuem aparências diferentes. As duas primeiras são definidas por uma linha sólida, enquanto as últimas são definidas por uma linha pontilhada. Além disso, cada tipo de fatia é exibido em um ícone diferente. É possível optar por mostrar ou ocultar camadas automáticas, a fim de facilitar a visualização ao trabalhar com fatias do usuário ou baseadas em camadas.

Uma fatia secundária é um tipo de fatia automática gerada ao criar fatias sobrepostas. As fatias secundárias indicam como a imagem será dividida quando o arquivo otimizado for salvo. Embora as fatias secundárias sejam numeradas e exibam um símbolo de fatia, não é possível selecioná-las nem editá-las separadamente da fatia subjacente. As fatias secundárias são regeneradas sempre que a ordem de empilhamento das fatias for organizada.

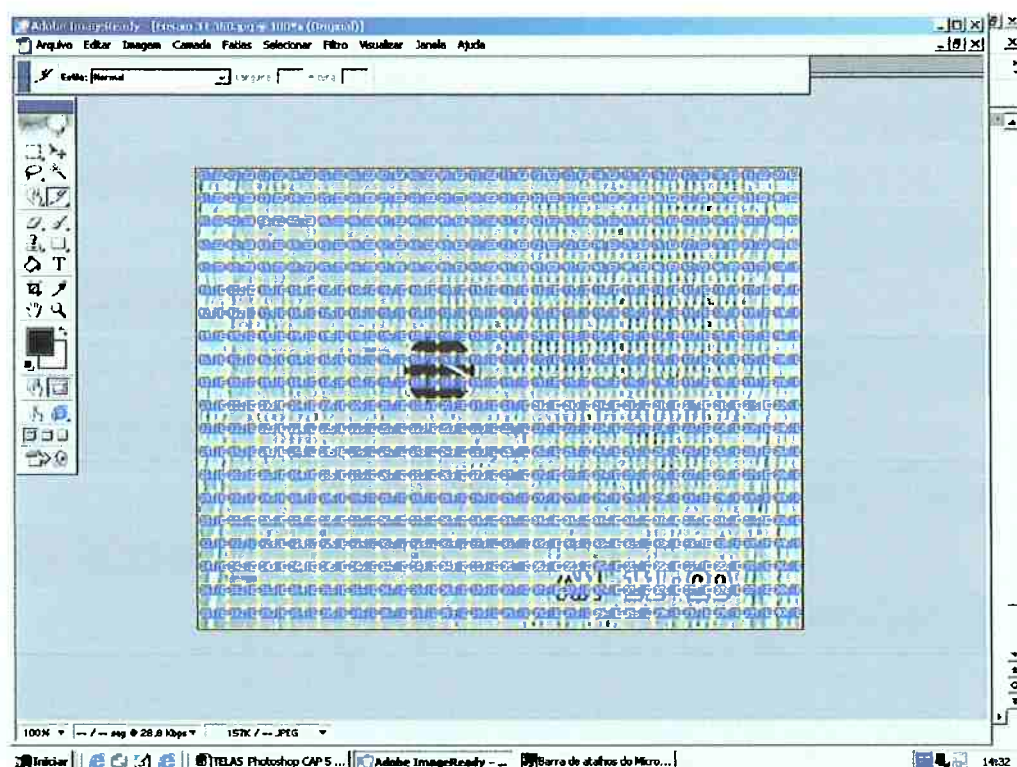


Figura III.5. Painel de definição da quantidade de fatias (20 x 20).

III.4- Especificando opções de fatias

Definir opções de fatias permite especificar como os dados da fatia irão aparecer. As opções disponíveis variam de acordo com o aplicativo e com o tipo de fatia selecionado. É possível definir opções apenas para uma fatia de cada vez. Ao definir opções para uma fatia automática, este procedimento muda essa fatia para uma fatia do usuário.

III.5- Selecionando fatias

Seleciona-se uma fatia para que esta possa ser alterada. Para selecionar uma fatia emprega-se a ferramenta seleção de fatia, acionando-se com a mesma uma fatia da imagem. Ao trabalhar com fatias sobrepostas, aciona-se na parte visível de uma fatia subjacente para selecioná-la. O programa também permite selecionar várias fatias simultaneamente, bem como salvá-las.

Para salvar uma seleção: Fatias > Salvar Seleção de Fatia, Figura III.6.

Para carregar uma seleção: Fatias > Carregar Seleção de Fatia.

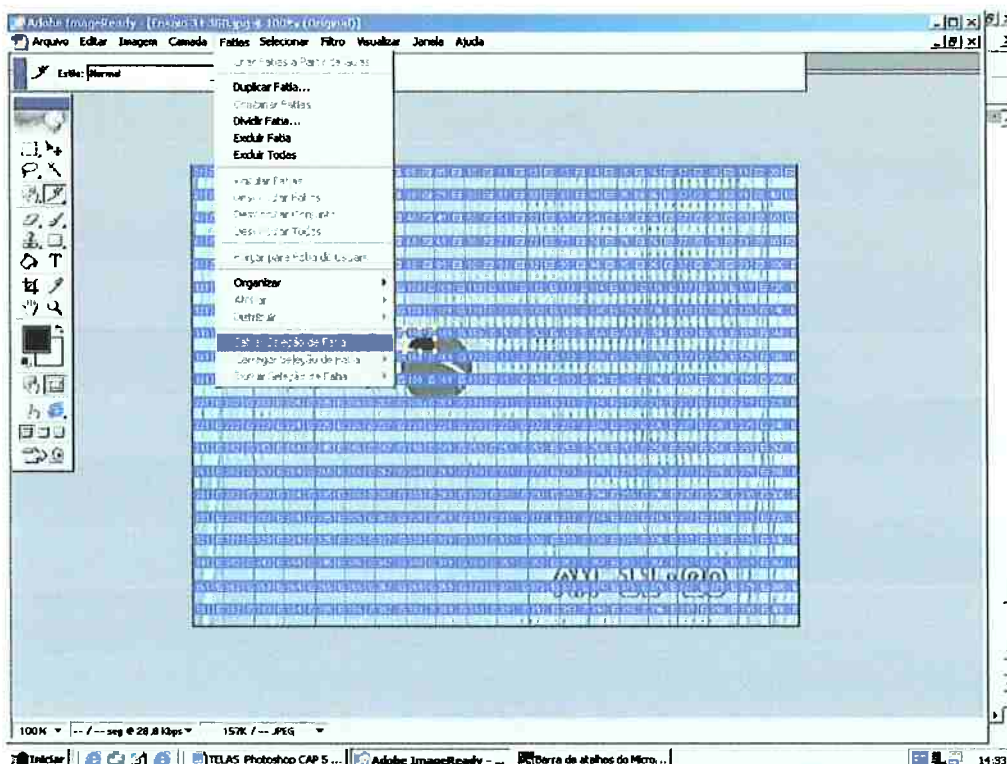


Figura III.6. Painel de seleção e salvamento da fatia.

III.6- Criar seleções a partir de fatias

Ao criar uma fatia, esta poderá ser convertida em uma seleção.

Para criar uma seleção a partir de uma fatia: Selecionar > Criar Seleção a Partir da Fatia, Figura III.7. Este processo é sempre necessário quando se tem por objetivo copiar a fatia.

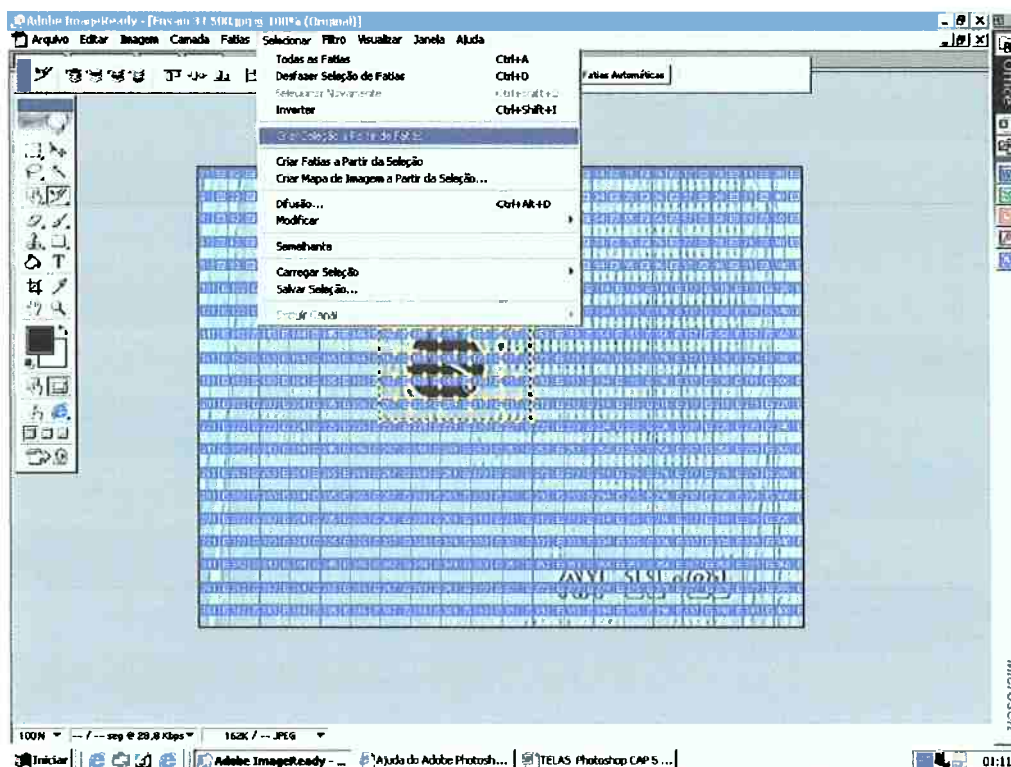


Figura III.7. Painel de seleção a partir de fatias.

III.7- Fatias do usuário

Fatias do usuário são geradas com a ferramenta fatia, ou a partir de uma seleção. Ao selecionar a ferramenta fatia, qualquer fatia existente será exibida automaticamente na janela do documento, sendo possível, assim, escolher uma configuração de estilo.

Na barra de opções. As alternativas são as seguintes:

- Tamanho Fixo: especifica a altura e a largura da fatia, inserindo valores inteiros de pixels e arrastando sobre a área em que se deseja criar uma fatia. Com a tecla Shift pressionada, restringe-se a fatia a um quadrado, com a tecla Alt pressionada, desenha-se a partir do centro. O ajuste é utilizado para alinhar uma nova fatia a uma guia ou a qualquer outra fatia na imagem.
- Índice do Aspecto Ajustado: define uma proporção entre altura e largura
- Normal: define as proporções da fatia ao arrastar.

Para criar fatias a partir de guias adicionam-se guias à imagem: **Fatias > Criar Fatias a Partir de Guias**. Ao criar fatias a partir de guias, qualquer fatia existente será excluída.

III.8- Convertendo fatias automáticas em fatias do usuário

O programa permite mover, duplicar, combinar, dividir, redimensionar, excluir, organizar, alinhar e distribuir fatias do usuário. Também é possível aplicar diferentes configurações de otimização para fatias do usuário. Entretanto, todas as fatias automáticas em uma imagem estão vinculadas e compartilham as

mesmas configurações de otimização. Isso ocorre porque as fatias automáticas são regeneradas sempre que fatias do usuário ou fatias baseadas em camadas são criadas ou editadas.

Converter uma fatia automática em uma fatia do usuário evita alterações no momento da regeneração. Dividir, combinar, vincular (Figura III 8) e definir opções para fatias automáticas fazem com que elas sejam convertidas automaticamente em fatias do usuário.

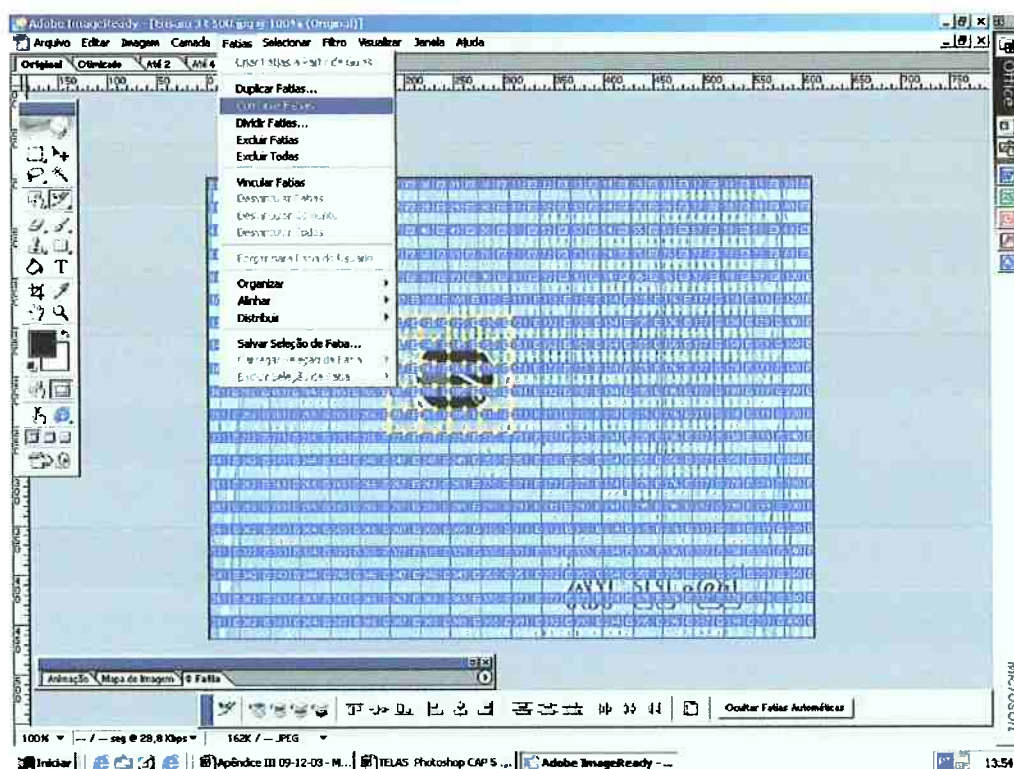


Figura III.8. Painel Combinar, Dividir, Vincular Fatias.

III.9- Criando e visualizando mapas de imagens

Os mapas de imagens permitem vincular a área de uma imagem a um URL. Embora este texto não tenha esse objetivo, com tal procedimento é possível definir várias áreas vinculadas de uma imagem – chamadas áreas de mapas de imagens – com links para arquivos de texto, outras imagens, arquivos de vídeo ou de multimídia.

A diferença principal entre utilizar mapas de imagens (Figura III.9) e fatias para criar links é a forma como a imagem de origem é exportada (uma página da Web). Utilizar mapas de imagens mantém a imagem exportada intacta como um único arquivo, enquanto utilizar fatias faz com que a imagem seja exportada como um arquivo separado. Outra diferença entre mapas de imagens e fatias é que os mapas permitem vincular áreas circulares, poligonais ou retangulares de uma imagem, enquanto as fatias permitem vincular apenas áreas retangulares. Se for necessário vincular apenas áreas retangulares, será melhor utilizar fatias a utilizar um mapa de imagem.

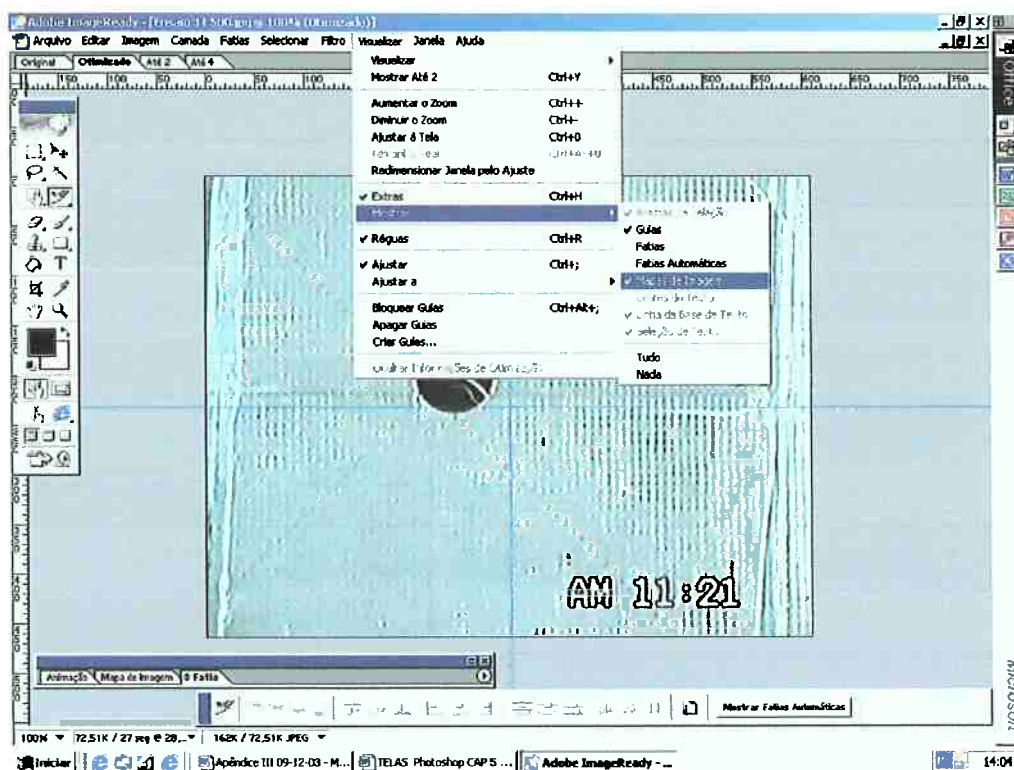


Figura III.9. Painel Mapas de Imagens.

III.10- Inserindo configurações de otimização para fatias selecionadas

Quando uma etapa da ação Salvar Otimizado é gravada, o programa inclui configurações de otimização em toda a imagem. Para inserir configurações de otimização em uma ação: seleciona-se a fatia para a qual se deseja gravar configurações de otimização (Figura III.10).

As configurações de otimização podem ser salvas (Arquivo > Salvar otimizado como), e desta forma estarão disponíveis para outras imagens.

No que segue, serão identificados os dados em cada fatia (elemento da grade) de cada quadro, para todos os instantes gravados.

Para melhor visualização, será reduzida a grade para 10 x 10 elementos, conforme Figura III.11, assim, foi isolada a fatia de interesse.

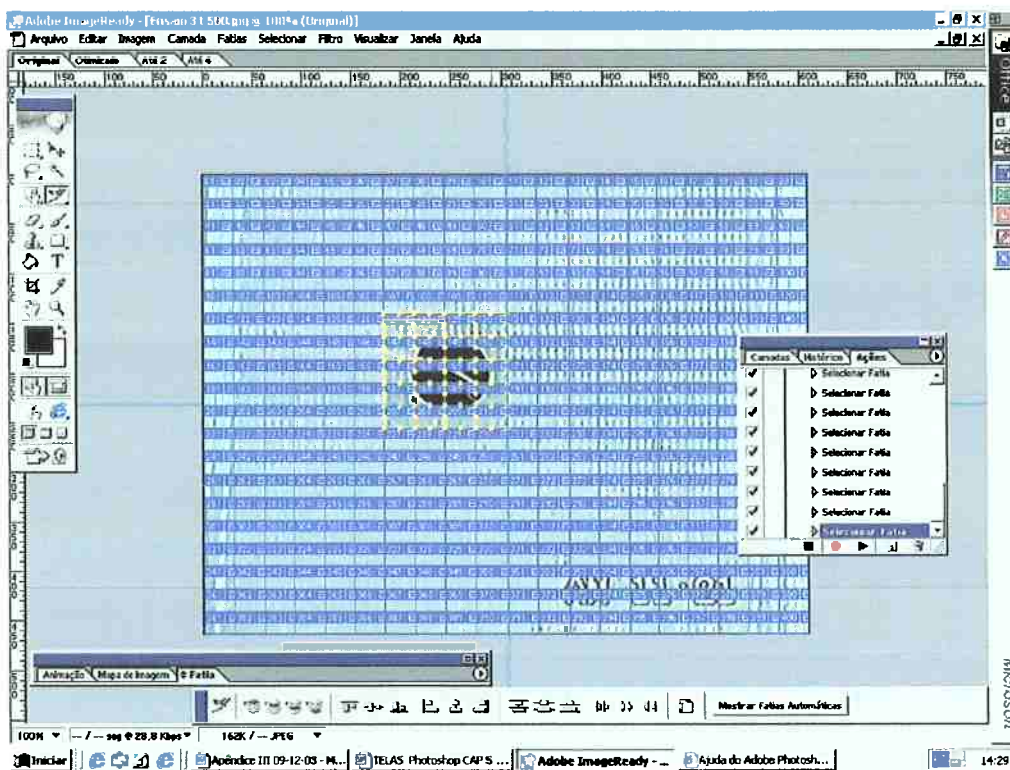


Figura III.10. Painel configurações de otimização para fatias seleccionadas

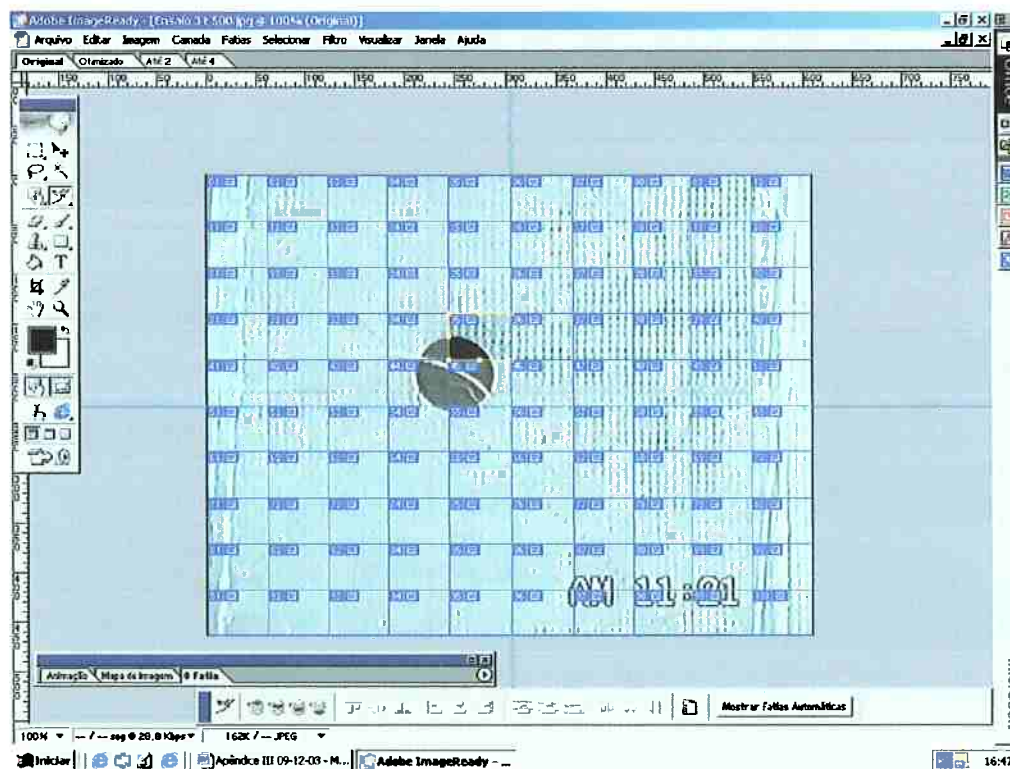



Figura III.11. Grade 10 x 10 com fatia seleccionada e copiada.

Os comandos necessários à seleção da fatia, cópia e colagem da mesma em outro documento são os seguintes: ferramenta seleção de fatia  > Selecionar > Criar seleção a partir da fatia > Editar > Copiar > Arquivo > Novo > Editar > Colar.

Dispondo do arquivo relativo à fatia, finalmente é possível efetuar a avaliação das características da fatia da imagem. A figura III.12, mostra a fatia em destaque.

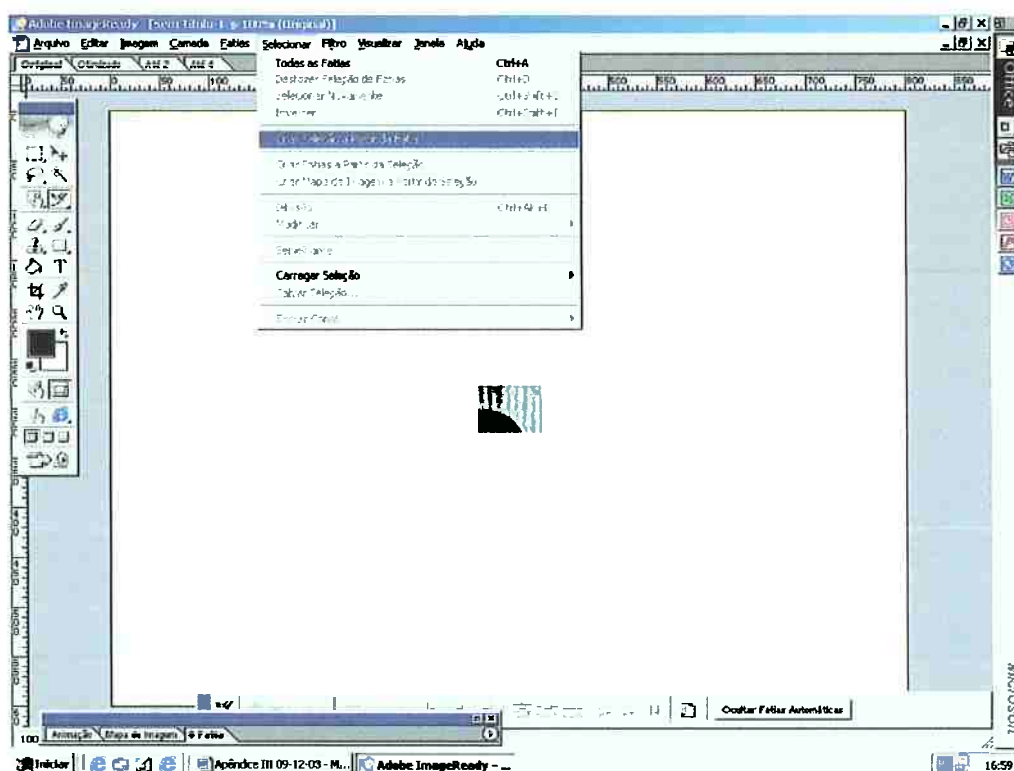


Figura III.12. Painel do ImageReady mostrando uma fatia em destaque.

Doravante, para analisar a imagem será utilizado o programa Photoshop, dado que este permite melhor avaliação do que o ImageReady (para os objetivos deste trabalho). Desta maneira, voltando para o Photoshop, como primeira providência, a imagem será convertida em cores CMYK, conforme Figura III.13 a seguir:

A conversão para o modo CMYK será necessária visto que o objetivo neste momento é buscar a representatividade do canal preto(K). Na conversão a imagem deverá ser achatada (Achatar uma imagem descarta todas as camadas ocultas e preenche as áreas transparentes restantes com branco) para então analisar o canal preto. O embasamento deste procedimento é relatado em KAI (1997) e BOUTON et al (1997).

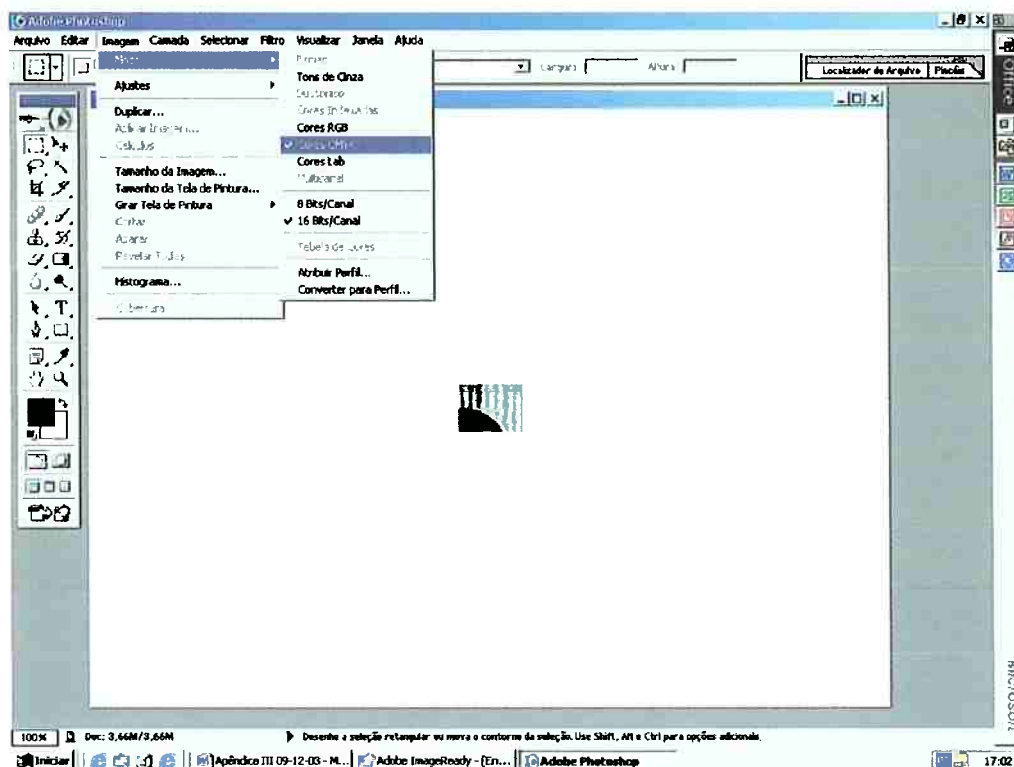


Figura III.13. Painel do Photoshop para mudança do padrão de cores.

Uma imagem no modo **CMYK** possui pelo menos quatro canais de cores, um para cada informação: ciano, magenta, amarelo e preto. O número de canais de cores padrão em uma imagem depende de seu modo de cores. Cada canal é equivalente a uma chapa num processo de impressão, onde cada camada de cor é aplicada por uma chapa separada.

Feita a conversão para as cores **CMYK**, deve-se definir o limiar de brilho para o canal de interesse, e para esse fim, é conveniente redimensionar a visualização da fatia que será convertida para tamanho da tela, conforme Figura III.14.

III.11- Níveis para definir realces, sombras e tons médios.

Como se nota na Figura III.14, a imagem não está bem definida. O intuito é avaliar a mancha de óleo no quadro determinando a concentração superficial de óleo no mesmo. O programa possibilita definir os realces e as sombras na imagem ajustando as extremidades do histograma Níveis. Isso mapeia esses pixels (os mais escuros e os mais claros de cada canal) para preto e branco, aumentando a escala de tons da imagem, Figura III.15. Os pixels correspondentes nos outros canais são ajustados proporcionalmente para evitar alteração no equilíbrio de cores. Também é possível alterar os valores de intensidade da escala média de tons de cinza sem alterar exageradamente os realces e as sombras.

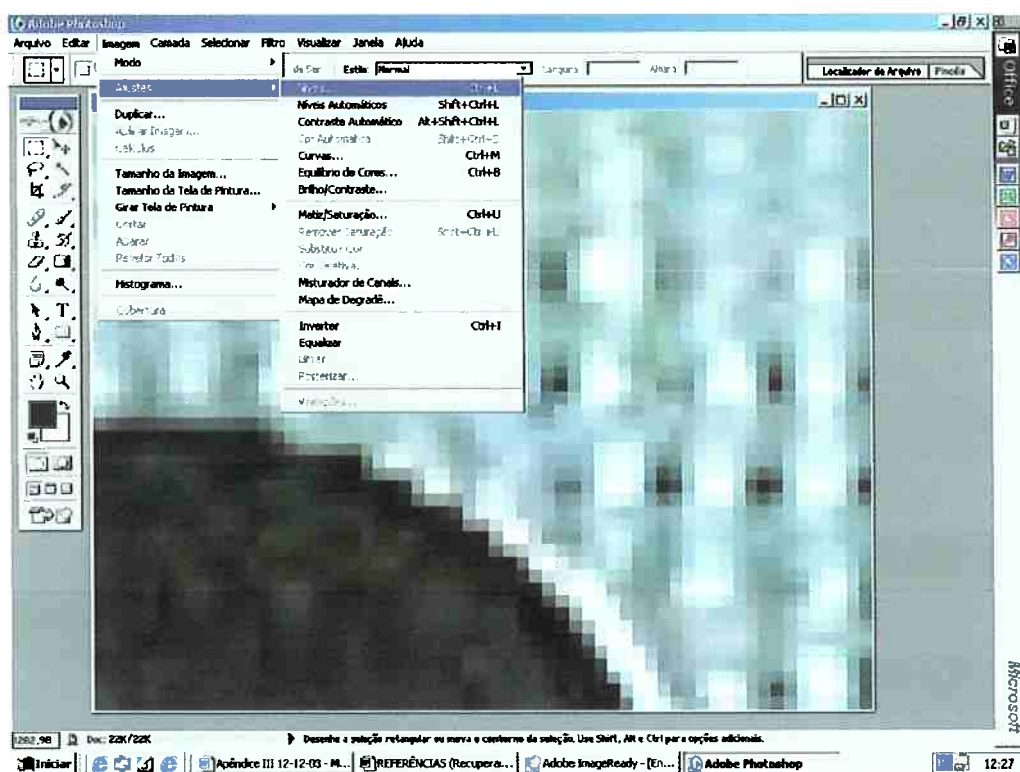


Figura III.14. Painel de definição de Ajustes.

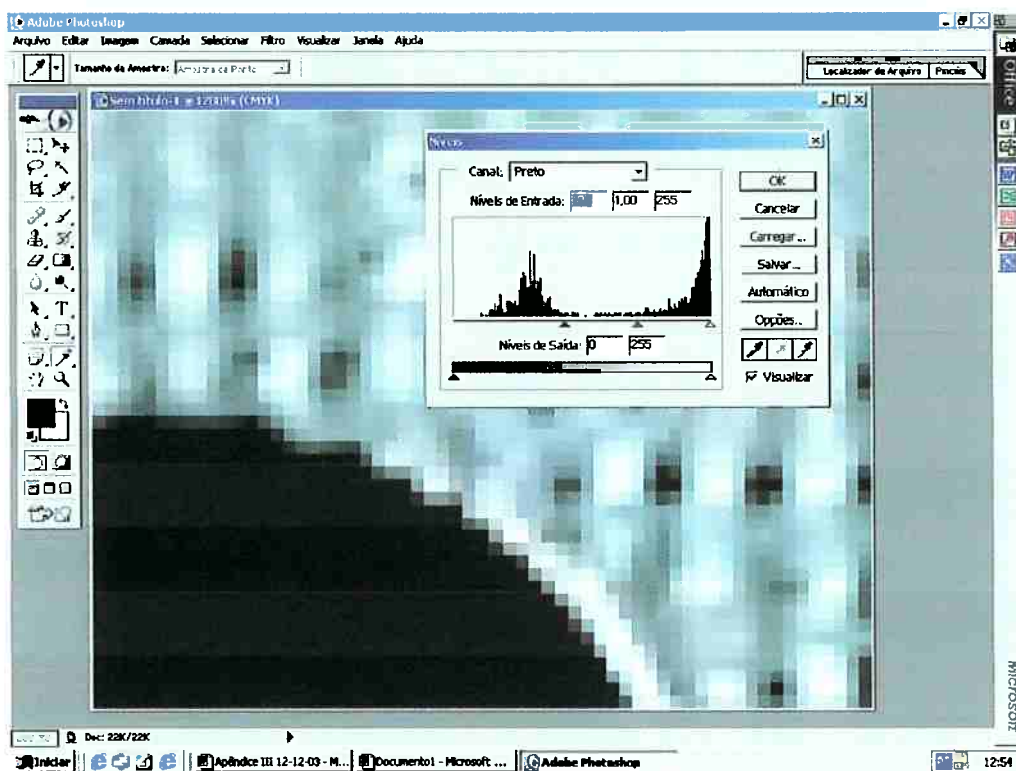
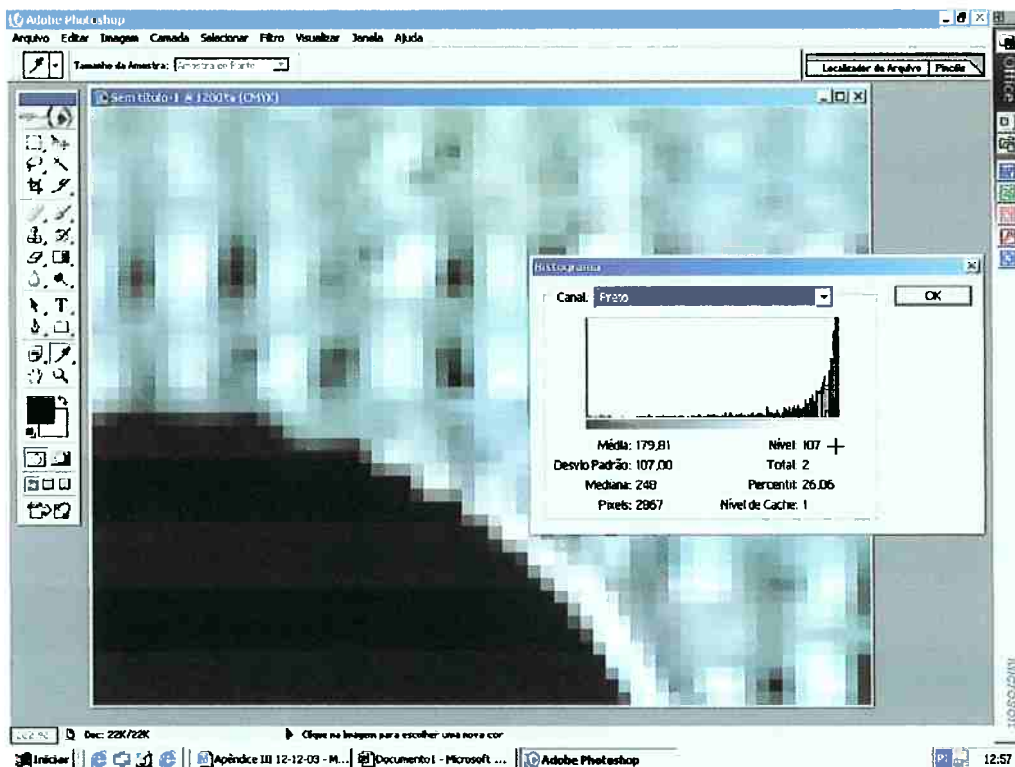


Figura III.15. Ajuste para realçar pixels pretos.

Assim, foram realçados os pixels pretos da mancha para poder determinar a porcentagem destes na imagem. O nível de entrada do canal preto foi ajustado para 107 porque neste nível a mancha de óleo apresenta-se somente com pixels pretos. Restando por fim avaliar a concentração de óleo, foram utilizados os comandos: Shift + Imagem > Histograma, e então deslocada a mira, no histograma, para a posição 107, posição ajustada no nível de entrada, o que informou o percentil do canal preto (26,06). A Figura III.16, a seguir, ilustra a determinação da participação dos pixels pretos e, por consequência, a concentração superficial de óleo na figura.



A Figura III.16. Histograma do canal preto.

Método dos Elementos Finitos com Elementos Retangulares

Basicamente, os métodos numéricos consistem numa transformação de um processo físico, contínuo, num problema discreto, com um número finito de incógnitas.

No método dos elementos finitos, a região de interesse (ou domínio) é representada por um conjunto de pontos ou nós, aos quais são atribuídos, à priori, valores correspondentes ao problema proposto (valores nodais), sendo a relação entre esses valores nodais obtida por meio de “funções de interpolação”, escolhidas convenientemente.

A *discretização* do domínio contínuo, num conjunto de nós, é feita com auxílio de elementos que podem ter formas geométricas diversas, o que permite uma melhor representação do problema. Desta forma, tem-se maior flexibilidade no método. Em contrapartida, a formulação matemática a utilizar será mais complexa. O erro cometido pela aproximação, em cada elemento, deverá ser minimizado, utilizando-se o método variacional ou de resíduos ponderados.

IV.1- Método dos resíduos ponderados

Considera-se, de maneira genérica, um problema descrito pela equação diferencial:

$$L(u) = 0 \quad (IV.1)$$

Com condições de contorno:

$$S(u_0) = g \quad (IV.2)$$

Sendo L e S operadores diferenciais e u_0 a solução do problema no contorno, equação IV.2.

Não encontrando uma solução analítica para IV.1, é necessário, então, utilizar processos aproximados. Dos vários métodos disponíveis, destacam-se aqueles obtidos por meio de funções de aproximação, caracterizados por uma seqüência de funções, do tipo:

$$u = \beta + \alpha_1\phi_1 + \alpha_2\phi_2 + \dots + \alpha_n\phi_n \quad (IV.3)$$

Na equação IV.3, β é uma função conhecida, incluída para satisfazer as condições de contorno não homogêneo, α_i ($i = 1, 2, \dots, n$) são parâmetros a determinar e ϕ_i são funções linearmente independentes, identicamente nulas no contorno, correspondentes à aproximação adotada.

A substituição da função IV.3 em IV.1 e IV.2 produz um resíduo ε e um resíduo ε_c no contorno, isto é,

$$\varepsilon = L(u) \quad (IV.4)$$

e

$$\varepsilon_c = S(u) - g \quad (IV.5)$$

Se $\varepsilon^2 + \varepsilon_c^2 \neq 0$, então o objetivo é tornar os resíduos iguais a zero e os erros, distribuídos dentro da região de definição do problema, minimizados. A maneira como essa escolha é feita fornece os diversos métodos dos resíduos ponderados

V.2- Método de Galerkin

O método requer que a função de aproximação satisfaça todas as condições de contorno do problema, isto é, $\varepsilon_c = 0$, e tenha o grau de continuidade necessário para tornar o lado esquerdo da equação IV.1 identicamente nulo. Para isto, exige-se que o resíduo multiplicado por uma função peso ou ponderação w_i , em média, satisfaça a equação.

$$\langle \varepsilon, w_i \rangle = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (IV.6)$$

No método de Galerkin, escolhem-se como funções de ponderação w_i as próprias funções de aproximação ϕ_i , sendo o resíduo expresso na forma

$$\langle \varepsilon, \phi_i \rangle = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (IV.7)$$

Uma vantagem desse método é que o sistema de equações gerado é, geralmente, simétrico.

IV.3- Método de separação das variáveis

Desta maneira, consideremos a seguinte "função teste h^* " que faz a separação das variáveis espaciais e temporal, expressa por:

$$h^*(x, y, t) = \sum_{u=1}^n H_u(t) \cdot \Phi_u(x, y) \quad (IV.8)$$

Sendo H_u uma função dependente do tempo e C^∞ para todo u e Φ uma função, associada aos nós, dependente das variáveis espaciais x e y , formada pela interpolação das funções bilineares do tipo

$$\Phi(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot x + \alpha_3 \cdot y + \alpha_4 \cdot xy \quad (IV.9)$$

Ao considerar um *elemento*, conforme apresentado no Capítulo 4, de nós (i, j, m, n) de lados paralelos aos eixos coordenados x e y , como indicado na figura IV.1. Se o lado $(i j)$ mede $2a$, o lado $(j m)$ mede $2b$ e $Q = (\bar{x}, \bar{y})$ é o centro do

retângulo, tomando no seu plano o sistema de coordenadas de origem Q e

eixos paralelos aos eixos $O\bar{x}$ e $O\bar{y}$, então, neste sistema:
$$\begin{cases} -a \leq x \leq a \\ e \\ -b \leq y \leq b \end{cases}$$

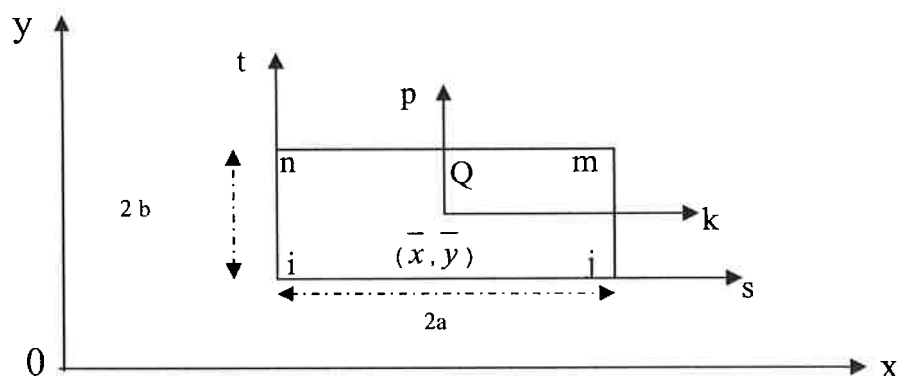


Figura IV.1 – Representação de um elemento retangular

No elemento retangular (e), formado pelos nós i, j, m e n, a função $\Phi^{(e)}$, conforme WANG; ANDERSON (1982), associada será dada por:

$$\Phi^{(e)}(x, y) = \Phi_i^{(e)}(x, y) \cdot H_i + \Phi_j^{(e)}(x, y) \cdot H_j + \Phi_m^{(e)}(x, y) \cdot H_m + \Phi_n^{(e)}(x, y) \cdot H_n \quad (\text{IV.10})$$

Com as funções de interpolação, denominadas Funções de forma, dadas por:

$$\Phi_i^{(e)}(x, y) = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{x}{a} \right) \cdot \left(1 - \frac{y}{b} \right) = \frac{1}{4} (1 - k) \cdot (1 - p) \quad (\text{IV.11})$$

$$\Phi_j^{(e)}(x, y) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{x}{a} \right) \cdot \left(1 - \frac{y}{b} \right) = \frac{1}{4} (1 + k) \cdot (1 - p) \quad (\text{IV.12})$$

$$\Phi_m^{(e)}(x, y) = \frac{1}{4} \left(1 + \frac{x}{a} \right) \cdot \left(1 + \frac{y}{b} \right) = \frac{1}{4} (1 + k) \cdot (1 + p) \quad (\text{IV.13})$$

$$\Phi_n^{(e)}(x, y) = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{x}{a} \right) \cdot \left(1 + \frac{y}{b} \right) = \frac{1}{4} (1 - k) \cdot (1 + p) \quad (\text{IV.14})$$

Nas equações IV.11, IV.12, IV.13 e IV.14:

$$2a = x_j - x_i = x_m - x_n \quad (\text{IV.15})$$

e

$$2b = y_n - y_i = y_m - y_j \quad (\text{IV.16})$$

As funções de forma $\Phi_i^{(e)}(x, y)$ devem satisfazer as seguintes condições:

P₁) Sejam r e s índices, que podem valer i, j, m e n , tais que:

$$\Phi_s^{(e)}(x_r, y_r) = \begin{cases} 1, & s = r; \\ 0, & s \neq r; \end{cases} \quad (\text{IV.17})$$

P₂) $\Phi_i^{(e)}(x, y)$ varia linearmente nos lados ij e in do elemento (e) e $\Phi_i^{(e)}(x, y) = 0$ nos lados jm e mn . O mesmo ocorre para as outras funções de interpolação;

$$P_3) \Phi_i^{(e)}(x, y) + \Phi_j^{(e)}(x, y) + \Phi_m^{(e)}(x, y) + \Phi_n^{(e)}(x, y) = 1; \quad (\text{IV.18})$$

P₄) A função $\Phi(x, y)$ associada ao nó i_k (por exemplo), isto é, $\Phi_{i_k}(x, y)$, é formada pela soma (contribuição) de todas as funções $\Phi^{(e)}(x, y)$ relativa aos elementos que possuem o nó i_k como seu componente. Por intermédio destas propriedades, pode-se representar a função $\Phi(x, y)$ da seguinte maneira:

$$\Phi(x, y) = \Phi_1(x, y) + \Phi_2(x, y) + \dots + \Phi_{n-1}(x, y) + \Phi_n(x, y) = \sum_{n=1}^n \Phi_n(x, y) \quad (\text{IV.19})$$

Ensaio em Tanques de Provas

O texto a seguir é baseado em MARTINS (2003)

V.1- Tanque de Provas

O tanque de ensaios com ondas do Laboratório de Engenharia Naval e Oceânica (LENO) é resultado de adaptações feitas num tanque existente, desde a década de 60, construído para experimentos de Hidrostática, nas dependências físicas do Edifício Mecânica e Naval, da Escola Politécnica, no campus da Universidade de São Paulo.

A adaptação consistiu basicamente na instalação de equipamentos eletromecânicos que possibilitam a geração de ondas hidráulicas, com amplitude e frequências controladas, por meio de uma placa basculante. Um absorvedor de ondas passivo foi construído e instalado na extremidade oposta ao gerador. Um detalhamento dessa instalação é relatado por Souza et al. (1998).

O tanque em questão é considerado de dimensões reduzidas, em parte pelo seu comprimento. Medindo pouco mais de 21 m, o tanque empregado neste estudo, ilustrado nas figuras V.1 e V.2, tem largura e profundidade comparáveis a outros tanques no mundo.

Na configuração original, o tanque tinha um absorvedor do tipo potencial, constituído por uma rampa com dupla inclinação, feita com prancha de madeira e sarrafos. O ângulo da parte inferior era 27,8 graus e na parte superior o ângulo era 16,8 graus, com a superfície considerada rugosa devido aos sarrafos. O absorvedor ocupava uma distância horizontal de 4 m e na vertical 1,85 m, iniciando no fundo e terminando pouco acima da parede, ocupando toda a largura do tanque.

O comprimento do tanque e o absorvedor com inclinação acentuada impõem uma limitação no espectro de ondas a ser gerado, por causar reflexões de ondas de baixa frequência antes que seja possível obter-se de 5 a 10 ciclos com alturas constantes, no ponto de ensaios.

Uma forma de minimizar o problema da reflexão é o emprego de gerador de ondas com controle de segunda ordem e absorvedor de ondas ativo. O gerador de segunda ordem permite a correção da amplitude da onda medida no atuador enquanto o absorvedor ativo é um gerador de ondas trabalhando ao contrário.

Para definir o espectro de ondas realmente utilizável no tanque do LENO, deve-se programar uma série de ensaios para verificar a qualidade da onda medida em diversos pontos, ao longo do tanque. Outras variáveis do sistema de geração de ondas como as ondas transversais geradas, a dissipação e etc, também podem ser medidas para permitir análises posteriores mais

abrangentes. As figuras a seguir V.1 e V.2 representam esquematicamente o tanque LENO e os sistemas de controle e de acionamento do atuador.

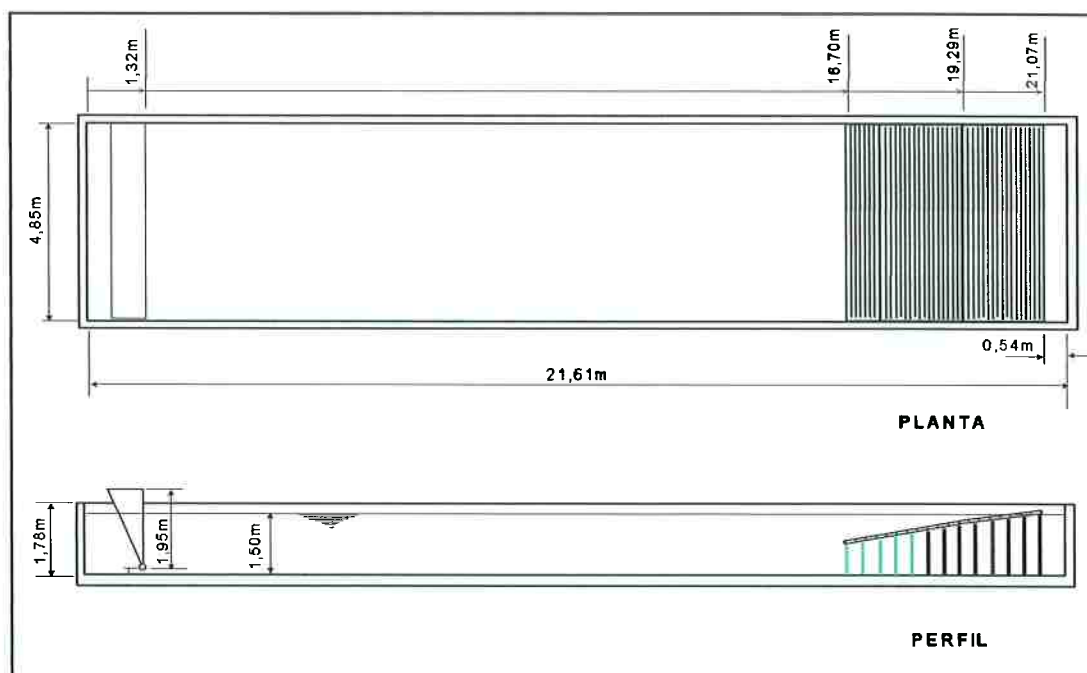


Figura V.1 - Esquema simplificado do tanque de ensaios do LENO.



Figura V.2 - Vista geral do tanque, de montante para jusante. Em primeiro plano os sistemas de controle e de acionamento do atuador.

V.2- Metodologia de Geração e Medição de Ondas

A técnica empregada nos ensaios é basicamente experimentalista e os experimentos são programados de forma a gerar um conjunto de dados para cada condição do tanque. O esquema julgado mais adequado é o de excitação/resposta, controlando-se a frequência e amplitude das ondas geradas, por intermédio de um gerador de sinais.

Para cada um dos pares de frequências e amplitudes e para uma varredura do sinal de excitação em cada situação deve-se obter a resposta do tanque para tais condições. As frequências usadas não devem coincidir com as frequências naturais do tanque, nem do sistema de geração. Para isso, é necessário estimar os autovalores do sistema e então uma definição prévia determinará as frequências a gerar.

Uma vez definidas as frequências, as amplitudes são estabelecidas de modo que as ondas produzidas tenham declividades dentro das faixas consideradas linear e também não linear, para a mesma situação. As varreduras devem abranger as frequências mínima e máxima, com a menor amplitude possível.

Antes de cada medição os instrumentos devem ser calibrados e adequadamente ajustados para o fenômeno a ser investigado, em especial o ondômetro. Uma série de medidas deverá ser feita na situação denominada original, e outras séries serão feitas à medida que modificações geradas pelo experimento sejam introduzidas no tanque. Este procedimento permite gerar um conjunto de dados do tipo antes e depois, onde a cada etapa é determinada a relação excitação/resposta do tanque.

A análise dos dados obtidos com esta técnica permitirá fornecer indicações de causa e efeito entre os ajustes feitos e a qualidade da onda, ou o desempenho do tanque. Para tanto, os sinais das variáveis físicas medidas devem ser analisados nos domínios do tempo e da frequência.

V.2.1- Configurações dos Ensaios

Os instrumentos selecionados para as medições são instalados tanto no sistema de geração, para determinação das variáveis de excitação, quanto ao longo do tanque, para caracterizar a resposta. As posições dos sensores podem ser visualizadas na figura V.3, para o gerador, e na figura V.4, para o tanque. As posições são mantidas em todas as configurações e para todas as medições.

Na configuração *original* do tanque, na qual o absorvedor era constituído por rampa de dupla inclinação, do fundo até o topo da parede, existiam duas frestas de 45 mm entre o atuador e as paredes laterais do tanque, em toda a vertical. Estes espaços permitiam um fluxo da água da parte traseira do atuador para a região de geração de ondas, e vice-versa, conforme o movimento do atuador, o que motivou modificações na configuração visando

minimizar estes efeitos. Assim, foram idealizadas e implementadas alterações, conforme relata MARTINS (2003).

Após as modificações, principalmente no absorvedor, que continuou a ser uma rampa com dupla inclinação, mas com ângulos menores e elevada em relação ao fundo do tanque recebeu telas plásticas verticais, esticadas no sentido transversal do tanque, ortogonais à propagação da onda, distantes 0,35 m entre cada uma. Uma visualização das duas configurações pode ser feita na figura V.5.

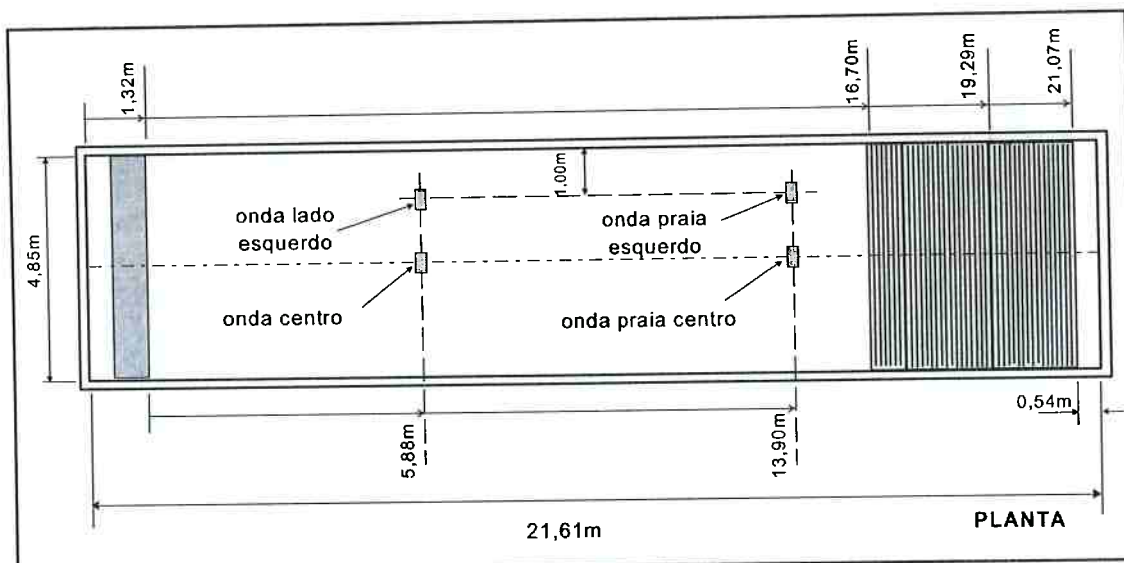


Figura V.3 - Croquis do tanque com a localização dos ondômetros.

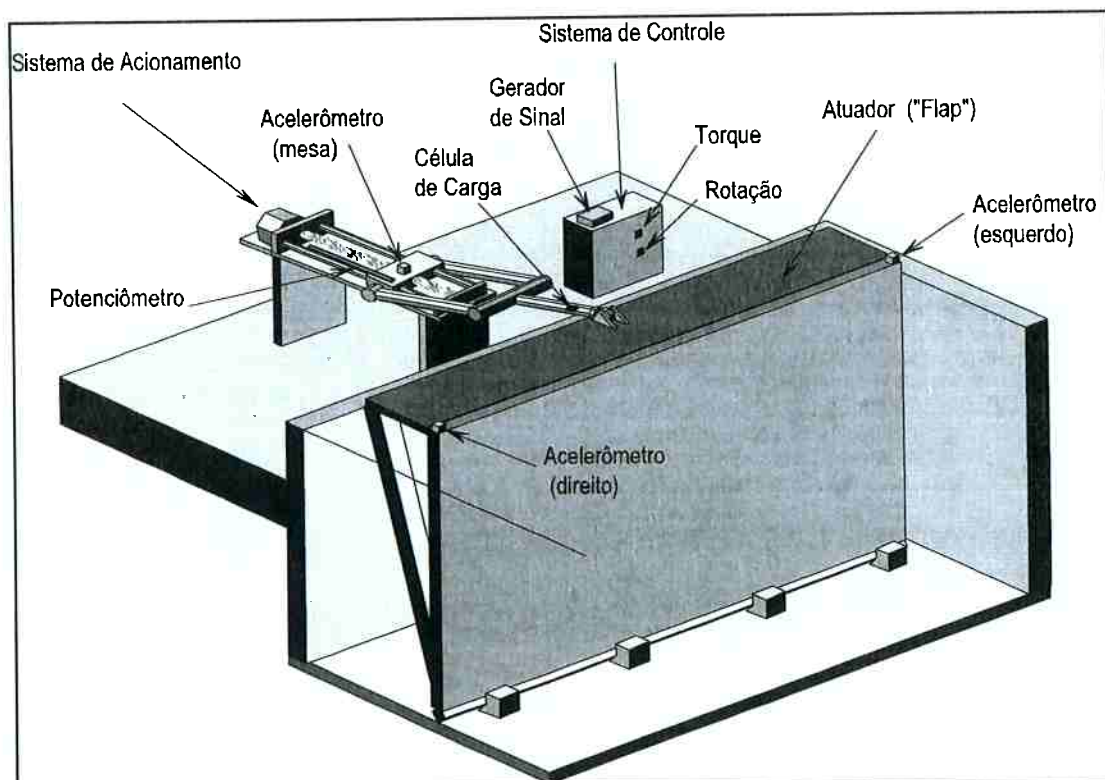


Figura V.4 - Ilustração da posição dos sensores no sistema de geração de ondas.

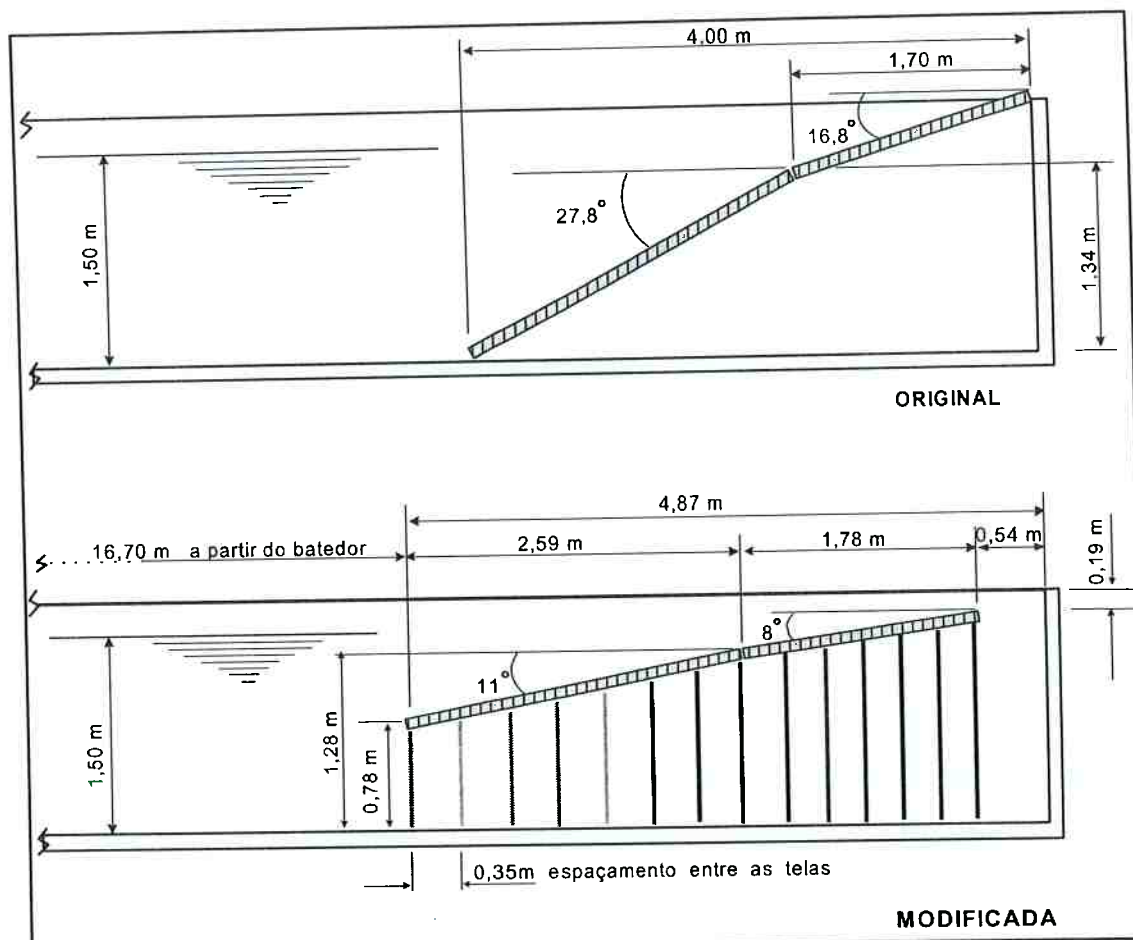


Figura V.5 - Configuração do absorvedor na situação original e na situação modificada.

Os ensaios foram feitos na configuração modificada, na qual estava presente o absorvedor modificado com uma tela esticada transversalmente, do fundo até 0,30 m acima do nível de água estático de 1,5 m, na posição do início do absorvedor. Outra modificação foi executada com duas camadas de tela plástica nas paredes laterais, ao longo de 6 m a partir do atuador.

Outras modificações na configuração original são apresentadas por MARTINS (2003), como o preenchimento das frestas laterais do atuador, com poliuretano e o reforço estrutural de partes do sistema de acionamento e do atuador, com o intuito de diminuir vibrações próprias. Também, o espaço atrás do atuador deve receber telas plásticas em camadas horizontais, numa tentativa para diminuir a onda gerada na parte traseira.

V.3- Equipamentos e Instrumentos

Existem cerca de 400 tanques de ondas e instalações experimentais no mundo, dos mais diversos tipos. Isso retrata o quanto o mercado para instrumentação nessa área é restrito e bastante específico, impondo que, na maioria das vezes, sejam empregados instrumentos de outras áreas.

Isto requer adaptações, de graus variados de dificuldade conforme o caso, que podem modificar o desempenho original do equipamento. Assim, é muito importante que cada componente de um tanque de ensaios seja testado na função a que se destina, para que seja garantido o seu desempenho, e no caso específico de instrumentos de medidas, a sua curva de resposta.

Para atender aos requisitos dos ensaios, são utilizados os seguintes equipamentos, ilustrados nas figuras V.6, V.7 e V.8.

- Gerador de Ondas; com sistema de controle Moog, composto de módulos eletrônicos de potência e servo motor de corrente alternada, fuso de esferas recirculantes e braço mecânico acoplado ao atuador;
- Gerador de sinais, amplitude e frequência variáveis, onda senoidal, triangular e quadrada, saída direta, modulada e varredura, HP-3312A;
- Osciloscópio digital, 2 canais, com memória, Tektronix TD-220;
- Amplificador Condicionador de Sinais Dinâmicos para extensômetros, Kyowa DPM-6K, resposta 0 a 10 kHz;
- Sistema de Aquisição de Dados Lynx AC2120 e módulo AI2160, com 16 canais, conversor A/D 12 bits, 60 kHz de amostragem;
- Computador tipo PC, Pentium 233 MHz, 32 Mb de RAM; disco rígido de 6 Gb, com programa AQDADOS-Lynx;
- Acelerômetros Kyowa AS2GA, +/- 2 G, resposta 0 a 60 Hz;
- Potenciômetro Gefran LTM-275-S, 80 cm;
- Ondômetro IPT, resposta 0 a 5Hz, 40 cm de altura; e
- Sensor de força extensométrico, montado no braço de ligação entre o sistema de acionamento e o atuador.

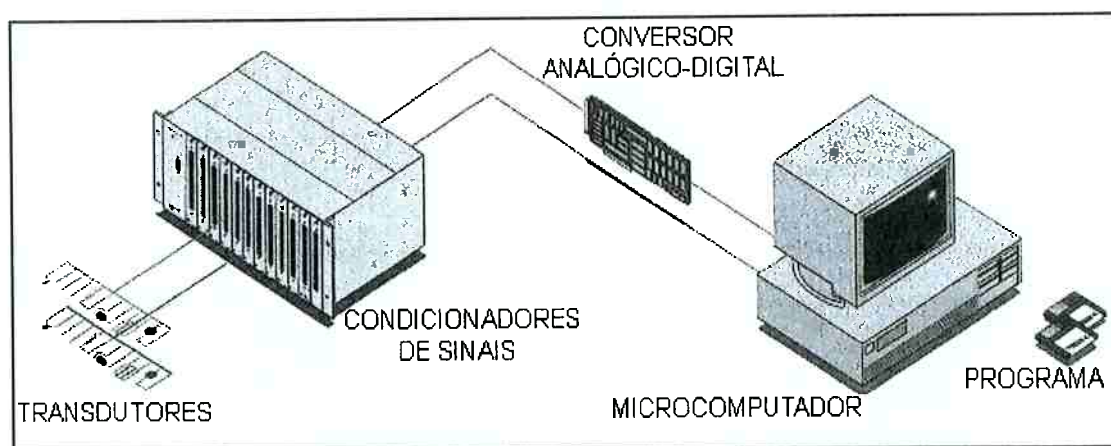


Figura V.6 - Esquema de interligação dos instrumentos e equipamentos ilustrados na figura V.7.



Figura V.7 - Vista geral da bancada de instrumentação



Figura V.8 - Detalhe do sistema de controle eletrônico.

V.3.1- Sensor de Ondas

O único instrumento de medida específico da área é o ondômetro ("wave probe"), que pode ter diversas configurações e utilizar diferentes princípios físicos. Os tipos mais comuns são o resistivo e o capacitivo, sendo o resistivo um pouco mais utilizado nas instituições europeias ITTC (2002).

O funcionamento deste tipo de sensor se dá pela variação de resistência entre dois elementos metálicos resistivos isolados, quando a água fecha o circuito elétrico entre os elementos. Um circuito elétrico do tipo potenciométrico mede a variação de resistência que, dentro de uma certa faixa, é linear com o ponto onde o circuito foi fechado e, portanto, linear com a altura relativa do nível d'água.

Algumas das vantagens deste tipo de sensor são o baixo custo, a facilidade de construção e manutenção e resolução infinita, devido ao princípio físico de medição. A desvantagem é que a água do tanque interage com o circuito de medida e faz variar a proporcionalidade e o ponto de zero, além da formação de menisco, que pode introduzir dispersões nas medidas.

Deve-se destacar que, o modo de calibração estática convencional do ondômetro é baseado na comparação dos deslocamentos estáticos do sensor em relação a uma referência métrica, usualmente calibrada em milímetros. Quanto à aferição dinâmica não foram encontradas referências sobre o assunto.

V.4- Medidas Experimentais

As medidas foram definidas a partir dos objetivos, lançando-se mão da instrumentação descrita. Para investigar a qualidade das ondas geradas considerou-se que as variáveis físicas de maior relevância são:

- força de acionamento do atuador
- posição da mesa do sistema de acionamento
- sinal de controle
- altura de onda na região próxima do gerador de ondas (montante)
- altura de onda na região próxima do absorvedor (jusante)

sendo estas duas últimas em dois eixos, um eixo central e outro a 1 m da parede lateral esquerda.

Para caracterizar o desempenho do ondômetro, realizaram-se calibrações estáticas, ao longo de todas as séries de medidas, e sempre que o ondômetro era usado fazia-se, inicialmente, uma aferição com 10 pontos de medidas, sendo quatro positivos e quatro negativos, dois deles no fundo de escala, e dois na referência zero.

As aferições estáticas foram executadas movendo-se o sensor na vertical, para baixo e para cima, guiado por uma haste metálica perfurada, registrando-se o

deslocamento referenciado a uma escala e o correspondente sinal elétrico de saída.

Além disso, efetuou-se uma aferição especial, com variação da frequência do deslocamento de excitação, permitindo assim uma observação detalhada da resposta dinâmica do sensor. Para tanto, empregou-se um sistema excitador, que usualmente é o gerador de ondas de um canal de ondas, cujo desempenho dinâmico foi estudado em detalhes por MARTINS; SOUZA (1993).

Após o sensor convenientemente instalado, de modo que apenas o filamento metálico tocava a água, ilustrado na figura V.9, aplicou-se pares de amplitude de deslocamento e frequência variáveis ao gerador e, concomitantemente, mediu-se a resposta do ondômetro. Também, aplicou-se um sinal de varredura entre 0,05 Hz e 4 Hz, em três amplitudes diferentes, para determinar a resposta global do instrumento.

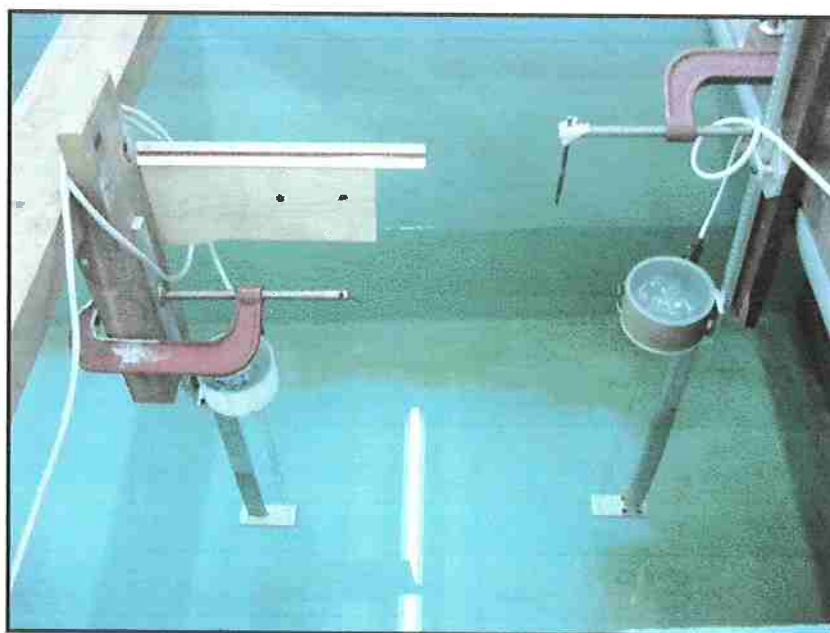


Figura V.9 - Ilustração do arranjo para aferição dinâmica do ondômetro (direita) e o ondômetro testemunha (esquerda).

V.5- Definição das Faixas de Utilização

A definição do intervalo de frequências úteis para os ensaios no tanque é feita a partir da análise dos resultados obtidos. Considerando-se que, já na frequência de 0,5 Hz ocorrem reflexões e um máximo de três ciclos podem ser conseguidos, conclui-se que esta é a menor frequência útil para ensaios no tanque.

No outro extremo, devido à ocorrência de ondas capilares, o limite máximo está nas vizinhanças de 3 Hz. Mas, examinando-se os registros gráficos, evidencia-se que acima de 2,5 Hz ocorrem várias dispersões dos valores experimentais

em relação à teoria, ocasionadas por ressonâncias transversais. Desta forma, é prudente adotar que, o limite superior das frequências úteis para ensaios no tanque, na forma testada, é de 2,5 Hz.

Teoricamente, a faixa de utilização do tanque, atendo-se rigorosamente às recomendações de ensaio da ITTC (2002) fica definida por:

- A onda deve ser medida por cerca de 10 ciclos, sem nenhuma interferência durante o tempo de aquisição de sinais;
- E um máximo de 40 ciclos deve ser gerado, após os quais a onda sofre instabilidades;
- O ondômetro mais próximo do atuador deve estar a no mínimo 3 vezes a profundidade do tanque.

Calculando-se a partir dessa recomendação, para o tanque do LENO a menor frequência é 0,75 Hz e a maior é 3 Hz. Na prática encontrou-se que essa faixa de atuação é de 0,5 Hz a 2,5 Hz, empregando-se a metodologia desenvolvida, com a configuração atual do tanque.