

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



João Victor Souza Mendes

**ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE ÓLEOS EM
EFLUENTES PROVENIENTES DO
ESCOAMENTO SUPERFICIAL RESULTANTE DE
SIMULAÇÕES DE CHUVA EM PAVIMENTOS DE
CONCRETO**

Trabalho de Graduação
2017

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

João Victor Souza Mendes

**ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE ÓLEOS EM
EFLUENTES PROVENIENTES DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL RESULTANTE DE SIMULAÇÕES
DE CHUVA EM PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Orientador

Prof. T Cel Roberto Gonçalves de Carvalho MSc (ITA)

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Mendes, João Victor Souza

Análise de concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto / João Victor Souza Mendes
São José dos Campos, 2017.
84f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2017. Orientador: Prof. TCEl Roberto Gonçalves de Carvalho MSc

1. Precipitação. 2. Óleos. 3. Aeroportos. 4. Separador de Água/Óleo I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Mendes, João Victor Souza. **Análise de concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto.** 2017. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

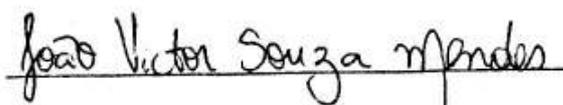
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: João Victor Souza Mendes

TÍTULO DO TRABALHO: Análise de concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) / 2017

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



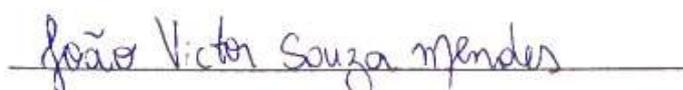
João Victor Souza Mendes

Rua H8A, 125

12228-460, São José dos Campos - SP

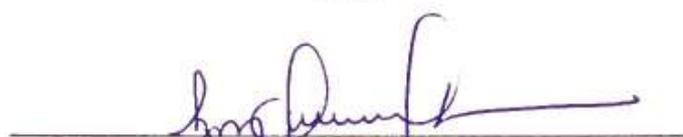
ANÁLISE DE CONCENTRAÇÃO DE ÓLEOS EM EFLUENTES PROVENIENTES DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL RESULTANTE DE SIMULAÇÕES DE CHUVA EM PAVIMENTOS DE CONCRETO

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



João Victor Souza Mendes

Autor



Prof. T Cel Roberto Gonçalves de Carvalho MSc (ITA)

Orientador



Prof. Dr Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 13 de novembro de 2017

Dedico este trabalho a todos que deixaram sinais de alegria na minha vida e ao João Victor do Futuro, espero que ele tome boas decisões.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer inicialmente a minha família por ter me dado amor incondicional e forças durante toda a minha. Obrigado pai e mãe pelo esforço diário de vocês para que fosse possível minha dedicação a projetos pessoais, com certeza o ser humano que eu venho me tornando (do qual me orgulho) é devido a pessoas como vocês na minha vida.

Ao meu irmão e à minha irmã por terem sido meus primeiros amigos da vida e que fazem muita falta no meu dia-a-dia.

À minha vó por ser minha alegria e ao meu vô por ser minha inspiração.

À minha namorada Jacque por todo o apoio e por ser sempre base forte quando eu preciso. Obrigado pelos pratos gordos e gostosos que fazemos e pelas melhores críticas de filme que só você sabe fazer.

Ao meu amigo e irmão José Ailton, o famoso Jusy, pela companhia durante toda a vida.

Ao meu professor e orientador Roberto pelos conselhos durante o trabalho de graduação e pela empolgação pela área de drenagem/hidrologia que desenvolvi durante as aulas em 2016.

À minha conselheira Nilda por toda a ajuda nos períodos difíceis e pelo acompanhamento até nas horas de tocar em barzinhos. Que você continue fazendo o bem que faz para seus aconselhados, pode ter certeza que faz uma diferença enorme para todos ter um ser humano tão bom em um local que, muitas vezes, é hostil.

Aos excelentes professores que tive durante a graduação, em ordem alfabética: Giovana, Juliana, Nadiane, Roberto e Suely.

À minha psicóloga Karen pelo acompanhamento e ajuda durante a fase mais difícil pela qual passei nesses últimos 6 anos. Que você continue ajudando muitas outras pessoas e que seja muito feliz. Desejo isso de coração para você.

Ao ANGAV, sem vocês não teria tido a mesma graça e a mesma emoção. Que o equilíbrio do sistema não funcione no âmbito financeiro, porque eu e o sanfoneiro estaríamos na pior. Aos amigos do 125 pelas noites viradas falando besteira e pelo companheirismo diário.

A todos meus amigos de verdade. Vocês tornam a vida mais divertida.

A todos meus ex-alunos do Casdinho pelo constante aprendizado que me proporcionaram durante todos esses anos e pelas pessoas maravilhosas que pude conhecer.

Por fim, a todos aqueles que não tem acesso a uma educação de qualidade, que possamos ser melhores para dar condições de igualdade ao mundo.

"Macho, Deus me livre... Deus me livre...".

Oliveira, Gustavo.

Resumo

Este trabalho de graduação tem como objetivo fazer uma análise da concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto.

As análises feitas consistem em descrever o comportamento do óleo através de funções pelo método dos mínimos quadrados, analisar a precipitação mínima necessária à remoção da quantidade de óleo existente no pavimento até o nível de concentração máximo de 20 mg/L definido pela resolução Nº 430 de 2011 do CONAMA e descrever o comportamento de óleos em pavimentos sujeitos a diferentes valores de intensidade de precipitação e quantidade de óleo gotejado na superfície de estudo. Para isso, foram realizados 10 ensaios em laboratório.

Utilizou-se um Simulador de Chuva para realizar precipitações de intensidade de 60 mm/h e 120 mm/h e um método de extração de óleo baseado no Standard Methods para auxiliar no processo de pesagem da quantidade de óleo coletado no escoamento superficial proveniente da precipitação do Simulador de Chuva.

O ajuste em relação a curvas logarítmicas e a curva de polinômios de terceiro grau foram as mais adequadas na descrição do comportamento da concentração de óleos pela quantidade de chuva precipitada. Houve casos, no entanto, em que a função hiperbólica foi a mais adequada na descrição do comportamento.

A quantidade de óleo coletada varia de 30% a 45% da quantidade de óleo gotejada inicialmente na superfície de estudo devido à saturação da placa de concreto.

A quantidade de 20 mg/L definido pelo CONAMA não foi atingida para 30 mm de precipitação para 7 dos 10 casos analisados. Os casos em que a concentração foi atingida foram os que possuíam a menor quantidade de óleo inicial no pavimento, 1.250 mg e 2.500 mg.

O presente trabalho auxilia a determinação da quantidade de precipitação necessária para se atingir padrões definidos por normas, de modo a auxiliar no dimensionamento de separadores de água/óleo.

Palavras-chave: Precipitação; Óleo; Aeroportos; Separador de Água/Óleo.

Abstract

This graduate work intended to evaluate the concentration of oils in effluents from surface runoff resulting from rainfall simulations in concrete pavement.

The analysis made consists in describing the behavior of oils through functions from method of least squares; analyzing the minimum rainfall needed to remove the oil in concrete pavement to the maximum level of 20 mg/L defined by resolution N° 430 from 2011 by CONAMA; and describing the behavior of oils in pavement subject to different values of rainfall intensity and amount of oil dripped in study surface. In order to do it, 10 laboratory tests were made.

A Rainfall Simulator were used to perform rainfall of intensities of 60 mm/h and 120 mm/h. Standard Methods were used to assist in the process of weighing the amount of oil collected in surface runoff from rainfall simulations.

The adjustment in relation to logarithmic and third degree polynomials curves were the most appropriate in the description of behavior of oil concentration by amount of rainfall. There were cases, however, that hyperbolic curves were more appropriate in the description of behavior.

The amount of oil collected varies from 30% to 45% of the initial amount of dropped oil in the study surface, due to concrete plate saturation.

The quantity of 20 mg/L defined by CONAMA was not reached, in the 30 mm of rainfall, for 7 of 10 analyzed cases. The cases that the concentration needed was reached were the ones that had the lowest initial concentration of oils in pavement, 1,250 mg and 2,500 mg.

It is hoped that this work can assist in the determination of amount of rainfall needed to reach the standard of any region to help Water/Oil separators projects.

Palavras-chave: Rainfall; Oils; Airport; Water/Oil Separator.

Lista de Figuras

Figura 1 – Distância de um ponto à reta.....	26
Figura 2 – Base do tanque de gotejamento do Simulador de Chuvas.	30
Figura 3 – Simulador de Chuva.....	31
Figura 4 – Balança eletrônica utilizada no estudo.....	33
Figura 5 – Coleta de amostras.	35
Figura 6 – Aparelhagem utilizada nos ensaios de laboratório.....	37
Figura 7 – Aparato para destilação do solvente.....	39
Figura 8 – Variação da turbidez na coleta de óleo no balão de fundo chato para um mesmo ensaio. Fonte: Acervo do próprio Autor.....	42
Figura 9 – Gráfico de Precipitação (eixo x, em mm) por concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) para uma precipitação de intensidade 60 mm/h.....	50
Figura 10 - Gráfico de Precipitação (eixo x, em mm) por concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) para uma precipitação de intensidade 120 mm/h.....	50
Figura 11 – Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.	58
Figura 12 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.	59
Figura 13 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.	59
Figura 14 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.	60
Figura 15 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.	60

Figura 16 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.	61
Figura 17 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.	62
Figura 18 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.	62
Figura 19 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.	63
Figura 20 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.	63
Figura 21 – Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 1.250 mg na superfície de estudo.	71
Figura 22 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 2.500 mg na superfície de estudo.	71
Figura 23 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 5.000 mg na superfície de estudo.	72
Figura 24 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 10.000 mg na superfície de estudo.	72
Figura 25 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 20.000 mg na superfície de estudo.	73

Figura 26 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 1.250 mg na superfície de estudo.	73
Figura 27 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 2.500 mg na superfície de estudo.	74
Figura 28 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 5.000 mg na superfície de estudo.	74
Figura 29 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 10.000 mg na superfície de estudo.	75
Figura 30 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 20.000 mg na superfície de estudo.	75
Figura 31 – Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	76
Figura 32 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	76
Figura 33 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	77
Figura 34 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	77
Figura 35 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	78

Figura 36 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	78
Figura 37 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	79
Figura 38 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	79
Figura 39 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	80
Figura 40 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	80
Figura 41 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	81
Figura 42 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	81
Figura 43 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	82
Figura 44 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	82
Figura 45 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	83
Figura 46 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	83
Figura 47 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	84

Figura 48 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	84
Figura 49 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	85
Figura 50 - Curva polinomial com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).	85

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo.	43
Tabela 2 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo.	43
Tabela 3 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo.	44
Tabela 4 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo.	44
Tabela 5 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo.	45
Tabela 6 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo.	45
Tabela 7 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo.	46
Tabela 8 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo.	46
Tabela 9 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo.	47
Tabela 10 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo.	47
Tabela 11 – Quantidade total de óleo coletado para precipitação de 60 mm/h.	49
Tabela 12 - Quantidade total de óleo coletado para precipitação de 120 mm/h.	49
Tabela 13 – Quantidade total de óleo coletado em mg.	51
Tabela 14 – Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.	64
Tabela 15 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.	64
Tabela 16 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.	65
Tabela 17 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.	66
Tabela 18 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.	66

Tabela 19 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.	67
Tabela 20 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.	67
Tabela 21 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.	68
Tabela 22 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.	69
Tabela 23 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.	69

Sumário

1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Impacto ambiental.....	23
2.2 Determinação da concentração de óleos e graxas.....	23
2.3 Lei de Stokes	24
2.4 Relações IDF	24
2.4.1 Equações do tipo “ln ln”	25
2.5 Método dos mínimos quadrados	26
2.5.1 Curva exponencial	27
2.5.2 Hipérbole	27
2.5.3 Curva geométrica.....	28
2.5.4 Curva logarítmica	28
2.5.5 Polinômio	28
2.5.6 Qualidade do ajuste	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Superfície de estudo.....	29
3.2 Simulador de chuva	29
3.2.1 Energia cinética das gotas no SC.....	30
3.3 Ensaios de laboratório.....	31
3.3.1 Óleo distribuído na pista.....	33
3.3.2 Precipitações adotadas	33
3.3.3 Coleta de amostras.....	34
3.3.4 Método de partição gravimétrica – 5520 B (APHA, 2012).....	35
3.3.4.1 Aparentagem necessária	36
3.3.4.2 Substâncias e reagentes utilizados.....	37
3.3.4.3 Preparo da mistura padrão	38
3.3.4.4 Procedimento de Ensaio	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Amostras coletadas no simulador de chuva	41
4.2 Curvas de comportamento do óleo no escoamento superficial	42

4.2.1	Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo	42
4.2.2	Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo	43
4.2.3	Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo	43
4.2.4	Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo	44
4.2.5	Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo	44
4.2.6	Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo	45
4.2.7	Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo	45
4.2.8	Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo	46
4.2.9	Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.....	46
4.2.10	Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo	47
4.2.11	Comportamento de curva mais adequado.....	47
4.3	Relação entre quantidade de óleo na pista e comportamento da curva	48
4.4	Relação entre precipitação e comportamento da curva.....	49
5.	CONCLUSÕES.....	52
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	APÊNDICE A – GRÁFICOS COM AS PRECIPITAÇÕES SIMULADAS	58
	APÊNDICE B – TABELAS COM VALORES DE CONCENTRAÇÕES.....	64
	APÊNDICE C – DISPERSÃO DE PONTOS	71
C.1.	Dispersão de pontos para chuvas de 60 mm/h	71
C.2.	Dispersão de pontos para chuvas de 120 mm/h	73
	APÊNDICE D - AJUSTE DE CURVAS	76

1. Introdução

A preocupação com o meio ambiente no mundo está crescendo. Pesquisas são desenvolvidas com o propósito de gerar inovações tecnológicas que buscam mitigar os impactos resultantes do desenvolvimento. A sociedade tem cobrado a adoção de medidas relacionadas à otimização de processos para redução de danos ambientais e a população tem recebido cada vez mais informações acerca do tema.

Um dos principais poluentes despejados na natureza são os óleos minerais. Esses óleos são obtidos a partir da destilação do petróleo e podem ser classificados em duas categorias: os óleos lubrificantes e os não lubrificantes. Os óleos não lubrificantes são predominantemente utilizados em cosméticos, enquanto que os óleos lubrificantes são bastante utilizados em motores e sistemas hidráulicos de veículos de transporte.

Conforme reportagem de Reis (2014), o Brasil possui um automóvel para cada 4,4 habitantes, o que totaliza 45,5 milhões de automóveis. Em 2004, a proporção era de um automóvel para cada 7,4 habitantes. Esse crescente número causa implicações ambientais, como o derramamento de óleo nas pistas.

Segundo Carvalho (2014), devido ao crescente aumento nas operações de aeronaves, ocorrências de vazamentos e derramamentos de hidrocarbonetos derivados do petróleo (óleos minerais) têm se tornado eventos constantes, principalmente em áreas de abastecimento e manobras de aeronaves, como hangares, pátios de estacionamentos, pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi.

O escoamento superficial proveniente da precipitação constitui-se no principal meio de transporte dos óleos presentes nas pistas e nas áreas impermeabilizadas. Os sistemas de drenagem atualmente implantados acabam transportando esses contaminantes ao exutório das bacias hidrográficas de projeto, facilitando a sua introdução ao meio ambiente. Esse processo resulta na contaminação do solo e dos cursos d'água ao redor, causando a morte de espécies da fauna e da flora local, gerando um desequilíbrio ambiental. Além disso, os óleos podem se infiltrar no solo e contaminar a água subterrânea.

Visando minimizar os impactos ambientais no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução Nº 430 de 13 de maio de 2011, estabeleceu que a concentração máxima para efluentes contaminados com óleos e graxas, do tipo óleo mineral, e provenientes de qualquer fonte poluidora é de 20 mg/L.

1.1. Objetivos da pesquisa

Sendo a aviação civil um meio de transporte em crescente taxa de utilização e o escoamento superficial gerado pela precipitação, o principal responsável por transportar os efluentes contaminados com o óleo presente na superfície de pavimentos para o meio ambiente, é de grande importância para o meio científico um estudo que seja capaz de avaliar a quantidade transportada de contaminantes oleosos através do escoamento superficial sobre superfícies de pavimentos de concreto em pátio de aeronaves. Nesse contexto, o conhecimento dos valores mínimos de intensidades e durações de uma precipitação, para que as concentrações de óleo dos efluentes escoados sobre a superfície dos pavimentos estejam abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA, torna-se de fundamental importância para o projeto de estruturas de saneamento constituídas por caixas separadoras de água/óleo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a quantidade de óleo transportada através do escoamento superficial proveniente de chuvas simuladas em laboratório sobre a superfície de uma placa de concreto similar a um pavimento aeroportuário.

Para tanto, foram realizadas simulações com diferentes intensidades e durações de chuva na superfície experimental de pavimento de concreto contaminado com diferentes quantidades de óleo. Para cada simulação, foram coletadas amostras do escoamento superficial sobre a superfície em análise e avaliadas as concentrações de óleo das amostras coletadas para diferentes estágios da precipitação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Impacto ambiental

Segundo Carvalho e Kruk (2014), as precipitações em áreas aeroportuárias que produzem escoamento superficial constituem o principal meio de dispersão de óleos e graxas acumulados nas superfícies dos pavimentos levando à contaminação do solo e cursos d'água existentes no entorno dos aeroportos.

Segundo Carra et al. (2012), o risco de um aeroporto para a comunidade e o meio ambiente, internos e externos aos limites do empreendimento está diretamente ligado às características das substâncias químicas manipuladas, suas quantidades e as características e a vulnerabilidade do local e região onde o aeroporto está localizado. Além dos ruídos e da poluição atmosférica, a população está sujeita a contaminação por hidrocarbonetos. Segundo Sulej et al. (2011), as águas escoadas provenientes de precipitações em aeroportos contêm altas concentrações de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, que são bastante tóxicas e potencialmente carcinogênicas. Essa poluição acontece devido às operações de aeronaves, como manutenção, reabastecimento, carga e descarga.

Em alguns aeroportos do mundo foi comprovada a existência de elevadas concentrações de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, como no Aeroporto Internacional de Nova Delhi (Ray, et al. 2008). Em algumas rodovias, como em Munique na Alemanha, foram identificadas poluições por conta de Níquel e Chumbo por conta da presença de óleos lubrificantes e graxas provenientes dos veículos (HELMREICH, et al. 2010).

2.2 Determinação da concentração de óleos e graxas

A determinação da quantidade de óleos e graxas em águas contaminadas pode ser realizada através de procedimentos descritos pelo Standard Methods – For the Examination of Water and Wastewater publicado pela America Public Health Association (APHA, 2012).

Segundo Standard Methods, há três métodos de separação de amostras líquidas, o método da partição gravimétrica (5520 B), o método da partição infravermelha (5520 C) e o método de Soxhlet (5520 D). O método 5520 C é utilizado para amostras que podem conter hidrocarbonetos voláteis que, caso contrário, seriam perdidas nas operações de remoção de solventes do procedimento gravimétrico. O método 5520 D é o método escolhido quando frações de derivados do petróleo de alta massa molecular e relativamente polares estão presentes, ou quando os níveis de graxas não voláteis forem superiores ao limite de solubilidade do solvente. Para níveis baixos de óleo e graxa (menores que 10 mg/L), o método 5520 C é o método mais adequado, pois o método gravimétrico não fornece a precisão necessária.

Ainda existem os métodos 5520 E, que trabalha com a presença de lodo ou elevadas quantidades de materiais sólidos em suspensão e o 5520 F, que é utilizado para obter a quantidade de hidrocarbonetos, ao invés do total de óleos e graxas. Para a aplicação do método 5520 F, é necessário, no entanto, utilizar sílica gel para separar hidrocarbonetos do total de óleo e graxa nas amostras contaminadas. Tanto o 5520 E, quanto o 5520 F, não são condizem com as condições do problema analisado no trabalho.

Neste trabalho, a concentração de óleo das amostras coletadas foi obtida através de um procedimento desenvolvido no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) por Carvalho (2017), procedimento este, similar ao 5520 B, onde foi substituída a etapa de separação das fases líquidas em funil de separação, pela secagem da fase aquosa da amostra em estufa a 85°C.

2.3 Lei de Stokes

O princípio de separação das gotículas de óleo livre presentes em águas contaminadas e o arraste do óleo no pavimento pela água da precipitação baseiam-se nas diferenças de densidades entre o óleo e a água.

A Lei de Stokes relaciona o tamanho de uma gotícula de óleo com a velocidade de queda dela. Existem três forças que atuam sobre a esfera, a força gravitacional descendente, a força de flutuação ascendente e uma força de arraste de sentido para cima. A força gravitacional é função da gravidade e da massa da partícula, a força de flutuação é uma função da massa do fluido deslocada e a força de arraste é uma função do tamanho da esfera e da viscosidade.

A velocidade de ascensão ou velocidade vertical (V_v), de uma gotícula de óleo pode ser calculada através da Lei de Stokes, representada pela Equação 1 (API, 1990).

$$V_v = \frac{g \cdot D^2 \cdot (\rho_w - \rho_o)}{18 \cdot \mu} \quad (1)$$

Onde g é a aceleração da gravidade, em m/s^2 , D é o diâmetro da gotícula de óleo, em m , ρ_w é a massa específica da água, em kg/m^3 , ρ_o é a massa específica do óleo, em kg/m^3 e μ é a viscosidade absoluta ou viscosidade dinâmica da água, em $kg/m.s$.

2.4 Relações IDF

As precipitações, em projetos, são normalmente determinadas a partir de relações de intensidade-duração-frequência (IDF) da bacia contribuinte. Para poder obter essas equações, devem-se coletar dados de precipitação de chuvas diariamente durante vários anos em postos de coleta.

Existem vários tipos de IDF, neste trabalho, contudo, encontram-se explicadas equações do tipo “ln ln”.

2.4.1 Equações do tipo “ln ln”

De acordo com o DAEE, as equações foram determinadas a partir da Equação 2.

$$i_{t,T} = M_{(i)t} + \sigma_{(i)t} \cdot K_{n,T} \quad (2)$$

Com o valor de $K_{n,T}$ determinado pela Equação 3.

$$K_{n,T} = \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} = - \left(\frac{\bar{y}}{\sigma_y} \right) - \left(\frac{1}{\sigma_y} \right) \cdot \ln \ln \frac{T}{T-1} \quad (3)$$

Onde:

$i_{t,T}$: intensidade da chuva (mm/min), correspondente à duração t (min) e período de retorno T (anos);

$M_{(i)t}$: Média das intensidades médias das chuvas intensas correspondentes à duração t ;

$\sigma_{(i)t}$: Desvio-padrão das intensidades médias das chuvas intensas correspondente à duração t ;

$K_{n,T}$: Fator de frequência para a distribuição de Gumbel, função do número de anos da série de precipitações e do período de retorno T ;

y : Variável reduzida da distribuição de Gumbel;

\bar{y} : Média da variável reduzida da distribuição de Gumbel;

σ_y : Desvio-padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel.

Admite-se a hipótese de que a média e o desvio-padrão das intensidades médias das chuvas variem com a duração, através das Equações 4 e 5.

$$M_{(i)t} = A \cdot (t + B)^C \quad (4)$$

$$\sigma_{(i)t} = D \cdot (t + E)^F \quad (5)$$

Onde A, B, C, D, E, F são parâmetros a serem determinados para cada localidade.

Substituindo-se as três Equações 3, 4 e 5 na Equação 2, tem-se:

$$i_{t,T} = A \cdot (t + B)^C + D \cdot (t + E)^F \cdot \left[G + H \cdot \ln \ln \frac{T}{T-1} \right] \quad (6)$$

2.5 Método dos mínimos quadrados

O método dos mínimos quadrados é uma técnica matemática que visa o melhor ajuste a um conjunto de pontos, tendo, como objetivo, minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor observado e o valor da estimativa.

Segundo Souza (2017), o método dos mínimos quadrados pode ser explicado a partir de um ajuste de um conjunto de n pontos a uma reta $y = a + bx$, onde a e b são parâmetros a serem determinados.

Neste caso, há o interesse em minimizar a distância de cada ponto (x_i, y_i) à cada ponto $(x_i, a + b \cdot x_i)$ da reta, conforme ilustra a Figura 1.

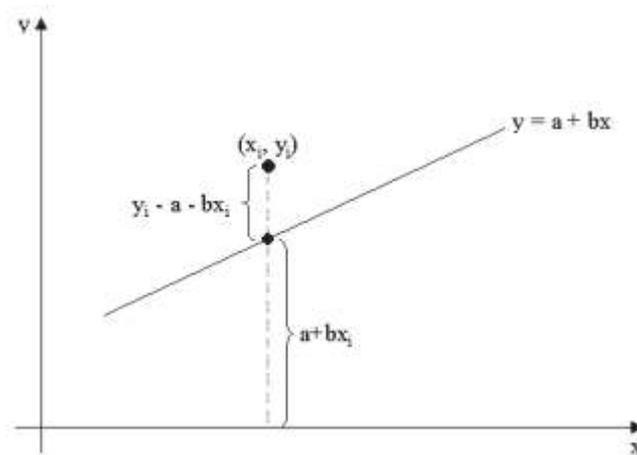


Figura 1 – Distância de um ponto à reta.

Fonte: Souza, 2017.

A distância entre esses pontos é $|y_i - a - b \cdot x_i|$ e a soma dos quadrados dessas distâncias é dada por q , Equação 7.

$$q = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2 \quad (7)$$

Os pontos em que há a minimização das distâncias são aqueles para os quais são nulas as derivadas parciais de q em relação a cada um de seus parâmetros, como pode ser visto nas Equações 8 e 9.

$$\frac{\partial q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_i - a - b \cdot x_i) = 0 \quad (9)$$

Nota-se que:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i) = \sum_{i=1}^n y_i - n \cdot a - b \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_i - a - b \cdot x_i) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - a \cdot \sum_{i=1}^n x_i - b \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (11)$$

Dessa forma, obtém-se o Sistema de Equações 12, denominado “*equações normais*” do problema, cujas incógnitas são os parâmetros a e b da equação $y = a + b \cdot x$.

$$\begin{cases} n \cdot a + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot b = \sum_{i=1}^n y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot a + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \cdot b = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{cases} \quad (12)$$

Pode-se realizar outros tipos de ajustes além do linear para um conjunto de pontos, como ajustar a uma exponencial, a uma hipérbole, a uma curva geométrica, a uma curva logarítmica e a um polinômio.

2.5.1 Curva exponencial

Pode-se ajustar um conjunto de pontos a uma exponencial do tipo:

$$y = \alpha \cdot e^{b \cdot x} \quad (13)$$

Essa função exponencial pode ser ajustada através da transformação mostrada na Equação 14.

$$\ln y = \ln(\alpha \cdot e^{b \cdot x}) = \ln \alpha + b \cdot x \quad (14)$$

Fazendo $y' = \ln y$ e $a = \ln \alpha$, transforma-se o problema, referente a uma exponencial, ao problema de ajuste à equação da reta $y = a + b \cdot x$.

2.5.2 Hipérbole

Para ajustar os pontos a uma curva no formato de hipérbole, tal qual a Equação 15, deve-se realizar a transformação da Equação 16.

$$y = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2 \cdot x} \quad (15)$$

$$z = \frac{1}{y} = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot x \quad (16)$$

2.5.3 Curva geométrica

Para ajustar os pontos a uma curva geométrica, tal qual a Equação 17, deve-se realizar a transformação da Equação 18.

$$y = \alpha_1 \cdot x^{\alpha_2} \quad (17)$$

$$z = \ln y = \ln \alpha_1 + \alpha_2 \ln x \quad (18)$$

2.5.4 Curva logarítmica

Para ajustar os pontos a uma curva logarítmica, utiliza-se a Equação 19.

$$y = a + b \cdot \ln x \quad (19)$$

2.5.5 Polinômio

Para ajustar n pontos a uma função polinomial de grau m , Equação 20, deve-se minimizar a função que representa a soma dos quadrados das distâncias de y_i à $P(x_i)$, Equação 21.

$$P(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m, m \leq n - 1 \quad (20)$$

$$q = \sum (y_i - p(x_i))^2 \quad (21)$$

Para minimizar a função, as $m + 1$ condições, representadas pela Equação 22, devem ser satisfeitas. O que resultará em um sistema mostrado pela Equação 23.

$$\frac{\partial q}{\partial a_i} = 0, \forall i = 0, 1, \dots, m \quad (22)$$

$$\sum_{k=0}^n \alpha_k \sum_{i=1}^m x_i^{j+k} = \sum_{i=1}^m y_i x_i^j, \text{ para cada } j = 0, 1, \dots, n \quad (23)$$

2.5.6 Qualidade do ajuste

A qualidade de um ajuste linear pode ser verificada em função do coeficiente de determinação r^2 , dado pela Equação 24.

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (a + b \cdot x_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (24)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (25)$$

Quanto mais próximo r^2 estiver da unidade, melhor é o ajuste realizado.

3. Material e métodos

Para alcançar o propósito dessa pesquisa, foi realizado um estudo do escoamento superficial para avaliar a quantidade de óleo no escoamento superficial de precipitação em uma área teste que simulará uma área suscetível a derramamentos de óleos e graxas provenientes de aeronaves e veículos de abastecimento e apoio em solo do pátio de estacionamento. Nessa área teste, foi realizado um gotejamento de óleo em diferentes quantidades e foram coletadas amostras provenientes de precipitações simuladas em duas intensidades diferentes. Posteriormente foi realizada uma análise laboratorial com o objetivo de se determinar o comportamento da concentração de óleo na água do escoamento.

3.1 Superfície de estudo

A superfície analisada, Figura 3, é um pavimento de concreto de 1 m², com uma declividade de 1% localizada no laboratório de hidráulica do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Para se obter a área de 1 m², projetou-se o pavimento com 1,25 m de comprimento por 0,8 m de largura.

Segundo Carvalho (2016), a superfície de estudo foi construída em um quadro metálico formado por cantoneiras nas mesmas dimensões da base da caixa de acrílico do Simulador de Chuva (SC) e com espessura de 5 cm. Projetou-se paredes de acrílico com 20 cm de altura nas laterais da superfície pavimentada para evitar respingos.

3.2 Simulador de chuva

Utilizou-se um simulador de chuva projetado e construído para o trabalho de doutorado de Carvalho (2016) no Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Segundo Carvalho (2016), foi projetado um Simulador de Chuva (SC) que simula precipitações com intensidades entre 40 mm/h e 150 mm/h, com distribuição de tamanho de gotas compatíveis com precipitações naturais e distribuição espacial com uniformidade superior a 90%. A energia cinética da precipitação simulada atinge cerca de 75% da energia de uma precipitação natural, que é considerada adequada para aplicação em SCs.

Segundo Carvalho (2016), o SC projetado e construído para a pesquisa consiste de um tanque de gotejamento, construído em uma caixa de acrílico com 1.066 furos de 5,6 mm de diâmetro, perfurados na base da caixa, uniformemente distribuídos a uma distância de 30 mm de centro a centro, dispostos numa malha quadrada de 41 x 26 furos, conforme ilustrado na Figura 2.

Nos furos, instalaram-se agulhas hipotérmicas de diferentes diâmetros para produzirem uma distribuição de tamanhos de gotas similar ao tamanho médio das gotas de uma precipitação natural. O tanque de gotejamento ou a caixa de acrílico foi fixado a uma altura de 2,5 a 3,5 metros.

Para simular a precipitação na superfície de estudo descrita no item 3.1 desse trabalho, projetou-se a base da caixa de acrílico com 1,25 m de comprimento e 0,80 m de largura. Dessa forma, tem-se que cada milímetro de precipitação resultará em 1 litro de efluente proveniente do escoamento superficial sobre a superfície de estudo. A Figura 3 apresenta imagens do SC construído.

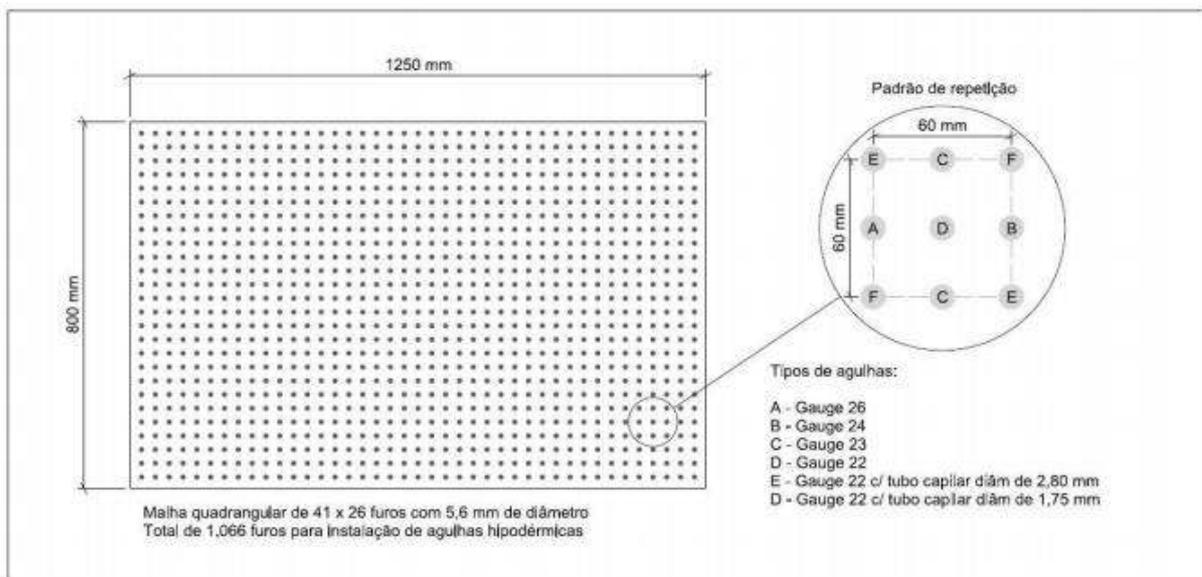


Figura 2 – Base do tanque de gotejamento do Simulador de Chuvas.

Fonte: Carvalho, 2016.

Segundo Carvalho (2016), um sistema de bombeamentos composto por um reservatório de água localizado no nível do solo e uma bomba com potência de 1,0 CV foi projetada para abastecer o tanque de gotejamento em vazão suficiente para a manutenção das intensidades do estudo. A intensidade da chuva depende da vazão de água escoada nas agulhas que, por sua vez, depende da altura do nível da água dentro do tanque (carga hidráulica).

O fluxo de água proveniente do escoamento superficial na superfície de estudo é direcionado a um tubo de saída, onde serão coletadas as amostras para estudo em laboratório.

3.2.1 Energia cinética das gotas no SC

É importante a descrição das gotas no SC, pois a velocidade da gota, seu tamanho, a intensidade da precipitação e a quantidade de classe de tamanho de gotas são fundamentais para

o cálculo da energia cinética da gota, responsável por escoar o óleo que se encontra na superfície de estudo.



Figura 3 – Simulador de Chuva.

Fonte: Acervo do próprio autor.

De acordo com Carvalho (2016), há 6 tipos de gotas de diâmetros diferentes geradas pelo SC. A energia cinética, ou fluxo de energia, foi estimado com base nas velocidades de impacto das gotas sobre a superfície do SC, considerando a altura máxima de 3,50 m, para as diversas classes que compõem o espectro de gotas projetado no SC. A energia cinética calculada para a altura de queda de 3,50 m foi de $21,6 \text{ Jmm}^{-1}\text{m}^{-2}$. Esse valor de energia cinética foi calculado através dos parâmetros: fração em massa de cada gota de chuva, velocidade de impacto da gota, número total de classes de tamanho de gotas existentes no grupo e a intensidade de precipitação. Fazendo a análise dimensional da energia cinética, tem-se que ela depende somente do total de chuva precipitada em milímetros.

3.3 Ensaios de laboratório

Os ensaios de laboratório analisarão como a concentração de óleo presente na pista varia com o escoamento superficial na superfície de estudo através de precipitações simuladas no simulador de chuvas.

Adotar-se-ão 2 valores de precipitação, explicados no item 3.3.2, e 5 valores de concentração de óleo na pista, explicado no item 3.3.1, para analisar se há diferença entre o comportamento do óleo no escoamento superficial gerado por 2 precipitações diferentes com 5 concentrações de óleos diferentes na pista e como é esse comportamento.

Como são 2 precipitações diferentes e, para cada precipitação, haverá um teste para cada uma das 5 concentrações de óleo na pista, ou seja, haverá 10 simulações no total.

Previamente a realização dos ensaios, foi feita a calibração da balança eletrônica da marca Marte, nº série 253793, carga máxima de 200 g e precisão de 0,001 g, utilizada neste estudo (Figura 4), conforme Certificado de Calibração MF-M 030/13, emitido pelo Laboratório de Metrologia Física do Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI), órgão do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), localizado em São José dos Campos/SP.

Outros equipamentos utilizados nesta pesquisa foram:

- Estufa da Marca Blue M Electric, modelo PRO-SET II, 120V/1HP/60Hz, para faixas de temperatura entre 38 °C e 260 °C;
- Bomba de vácuo da marca LC Ind., Com. E Manutenção Ltda., modelo nº 101 e nº de série 188506.

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Divisão de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).



Figura 4 – Balança eletrônica utilizada no estudo.

Fonte: Carvalho, 2014.

3.3.1 Óleo distribuído na pista

Será derramado óleo por gotejamento, uniformemente distribuído na superfície de estudo, em 5 quantidades: 1.250 mg, 2.500 mg, 5.000 mg, 10.000 mg e 20.000 mg.

Segundo Carvalho (2014), o óleo utilizado, nesse estudo, foi o Lubrificante Aeroshell Turbine Oil 560 MIL-PRF-23699F CLASS HTS obtido no Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), órgão do DCTA, para uso em motores de aeronaves.

O Aeroshell Turbine Oil 560 apresenta ponto de ebulição de 280 °C e uma perda de massa de 2,4% quando exposto à temperatura de 204°C por 6,5 horas (SHELL, 2013).

Para avaliar a perda por volatilidade do óleo utilizado no estudo, Carvalho (2014) preparou três amostras contendo 100 mg de óleo em uma lente de vidro relógio previamente pesada e levada à estufa a 85 °C por um período de 48 horas.

Após a permanência na estufa, a perda de óleo máxima foi de (1 ± 2) mg. O seu valor, portanto, está mais associado ao nível de precisão do instrumento de medida que é de ± 1 mg. Dessa forma, não foi considerada perdas de óleo para o nível de temperatura do ensaio.

3.3.2 Precipitações adotadas

Para os ensaios laboratoriais utilizando o SC, foram simulados dois valores de intensidade de precipitação. Foram adotadas precipitações de 60 mm/h, considerada de média para intensa, e de 120 mm/h, considerada intensa.

Utilizou-se a equação IDF fornecidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo para a cidade de São Paulo, Equação 27, obtida a partir de 65 anos de dados coletados de chuva da estação IAG/USP – E3-035 para se ter uma noção da dimensão das precipitações escolhidas.

$$i_{t,T} = 39,3015(t + 20)^{-0,9228} + 10,1767(t + 20)^{-0,8764} \left[-0,4653 - 0,8407 \cdot \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (27)$$

Uma precipitação de intensidade de 60 mm/h é equivalente a uma precipitação, na cidade de São Paulo, com um período de retorno de 10 anos e com o tempo de duração de 60 minutos. A de intensidade de 120 mm/h é equivalente a uma precipitação, na Cidade de São Paulo, com um período de retorno de 10 anos e com o tempo de duração de 17 minutos.

Através das coletas de amostras, explicadas em 3.3.3, anotou-se o tempo de coleta de cada frasco de 1 Litro, o que corresponde a 1 mm de precipitação. Desse modo, foi possível construir o gráfico de precipitação ao longo do tempo. Obtiveram-se, como ajustes dos pontos, retas com fator R^2 de aproximadamente 1, onde o coeficiente angular da equação da reta correspondia ao valor da precipitação em mm/h. Dessa forma foi possível garantir que a precipitação para todos os ensaios estava dentro do previsto a ser adotado, 60 mm/h e 120 mm/h. Os gráficos e os valores dos coeficientes angulares e do fator R^2 estão mostrados no Apêndice A – Gráficos com as precipitações simuladas.

3.3.3 Coleta de amostras

A coleta de amostras do escoamento superficial, proveniente da superfície de estudo, foi realizada de forma contínua e a cada 1 mm de precipitação. Ao todo foram coletadas 30 amostras de 1 litro, o que totalizou 30 mm de precipitação. As amostras foram coletadas em frascos de vidro de 1 litro, conforme mostra a Figura 5, e foram levadas a estufa a uma temperatura constante de 85 °C.

Após a secagem da fase aquosa na estufa, o método da partição gravimétrica (5520 B) estabelece a utilização de um solvente de extração constituído por uma mistura padrão de hexadecano e ácido esteárico com proporção de 1:1 em massa, em acetona, na concentração de 2mg/mL para cada substância.



Figura 5 – Coleta de amostras.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3.3.4 Método de partição gravimétrica – 5520 B (APHA, 2012)

Conforme descrito por Carvalho (2014, 2016), o método da partição gravimétrica utiliza uma mistura padrão de hexadecano/ácido esteárico a 1:1 em massa, na concentração de 2 mg/mL para cada substância em acetona, usada como solvente de extração. Conforme o procedimento estabelecido nesse método, primeiramente, deve-se marcar, no frasco de armazenagem da amostra, o nível do menisco inferior da interface líquido/ar para posterior determinação do seu volume. Em seguida, coloca-se a amostra em um funil de separação e adiciona-se 30 mL da mistura padrão. Mistura-se por 2 minutos e espera-se até que as fases se separem. Após a separação das fases, drena-se a fase aquosa para o frasco original de armazenagem da amostra e a fase contendo a mistura padrão, ou seja, o solvente de extração juntamente com o óleo extraído para um balão de fundo chato, passando-a através de um funil adaptado com papel de filtro e 10 g de sulfato de sódio. Repete-se por mais duas vezes o procedimento de extração do óleo da amostra, adicionando 30 mL da mistura padrão ao funil de separação contendo a amostra, misturando por 2 minutos, aguardando a separação e posterior drenagem das fases. Ao final, adiciona-se mais 10 mL de solvente de extração que foi adicionado ao balão de fundo chato através do funil contendo o papel filtro. O volume total do solvente de extração que foi adicionado ao balão de fundo chato deverá ser de aproximadamente

100 mL. Após esse procedimento, deve-se realizar a destilação do solvente de extração contido no balão de fundo chato por meio da utilização de uma aparelhagem para destilação e recuperação de solventes e auxílio de câmara de vácuo.

Após a destilação de todo o solvente, restará no balão de fundo chato, o óleo contido na amostra e os resíduos conhecidos do solvente de extração. Através da diferença de massa entre o balão de fundo chato vazio no início do ensaio e após a destilação do solvente, pode-se calcular a massa de óleo da amostra. Para se determinar o volume inicial da amostra, deve-se encher o frasco de armazenamento da amostra com água até a posição do menisco inferior da interface líquido/ar, anotada no início do ensaio e com auxílio de uma proveta graduada, determina-se o seu volume. A concentração de óleo pode ser determinada através da relação entre a massa de óleo existente na amostra em mg e o volume calculado em litros.

Para avaliar o procedimento descrito, Carvalho (2016) fez uma simulação de ensaio utilizando uma amostra preparada em laboratório contendo uma quantidade conhecida de óleo de origem mineral, utilizado em motores de aeronaves. Após a adição de 30 mL de solvente de extração à amostra e posterior mistura por 2 minutos no funil de separação, obteve-se uma mistura com elevada turbidez e coloração branca.

Mantendo a mistura em repouso, foi possível, após 14 dias, perceber visualmente uma distinção entre fases com pouca nitidez e precisão, evidenciando que a separação das fases por meio de funil de separação, para esse caso, é um método pouco preciso. Como esse procedimento de separação de fases deve ser realizado três vezes, seriam necessários, portanto, 42 dias, no mínimo, para cada ensaio. Esse fato motivou a adoção de outro procedimento para determinação da concentração de óleo das amostras.

Segundo Carvalho (2016), foi estabelecido um novo procedimento, tendo por base o método de ensaio 5520 B do Standard Methods, onde a etapa de separação das fases com auxílio de funil de separação foi substituída pela evaporação da fase aquosa da amostra em estufa de 85°C.

3.3.4.1 Aparelhagem necessária

Para o método de ensaio proposto, foi estabelecida aparelhagem mostrada na Figura 6 e listada a seguir:

- a) Balão volumétrico de 500 mL;
- b) Balão volumétrico de 100 mL;
- c) Pipeta graduada de 25 mL;
- d) Funil para líquido em vidro;
- e) Frasco de vidro com boca larga e tampa de 1.000 mL;

- f) Balão fundo chato de 125 mL com junta esmerilhada 24/40;
- g) Erlenmeyer 125 mL com junta esmerilhada 24/40;
- h) Conexão com 2 juntas 24/40 a 75°;
- i) Junta conexão 105° com 2 juntas 24/40 com saída para vácuo;
- j) Papel filtro, 11 cm de diâmetro;
- k) Becker 500 mL;
- l) Lente de vidro;
- m) Aquecedor;
- n) Aparato para resfriamento com água gelada;
- o) Câmara de vácuo;
- p) Balança com precisão de 0,001 g;
- q) Estufa com aquecimento 85 °C mínimo.



Figura 6 – Aparelhagem utilizada nos ensaios de laboratório.

Fonte: Acervo do próprio autor.

3.3.4.2 Substâncias e reagentes utilizados

As substâncias e reagentes utilizados são:

- a) Ácido clorídrico, com grau de pureza entre 36,5% e 38,0%, na proporção 1:1 – mistura de iguais volumes de ácido e água;
- b) Acetona, resíduo menor que 1 mg.L⁻¹;
- c) Hexadecano com mínimo de 98% de pureza;
- d) Ácido esteárico com mínimo de 98% de pureza;
- e) Sulfato de sódio, Na₂SO₄, cristal anidro. Seco a 200-250°C por 24 h.

O ácido clorídrico é utilizado para a correção do pH das amostras, conforme estabelecido no APHA/AWWA/WEF (2012) e no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras como procedimento para preservação e armazenagem de amostra (CETESB, 2011).

A acetona é um composto orgânico com fórmula química $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ bastante utilizado como solvente para extração de óleos e gorduras.

O hexadecano é um composto orgânico de origem mineral de fórmula $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$ e solúvel em acetona. Por ser uma substância apolar, possui boa afinidade com hidrocarbonetos derivados do petróleo contribuindo para uma maior eficiência na extração de componentes oleosos de origem mineral presentes na água.

O ácido esteárico é um ácido graxo saturado com 18 carbonos, de fórmula química $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$, obtido do fracionamento do ácido graxo através da hidrólise do sebo de origem animal. Apresenta-se à temperatura ambiente na forma de pó ou grânulos de cor branca a levemente amarelada e possui leve odor característico. É utilizado como agente de consistência, é biodegradável, não é inflamável, tóxico ou poluente. Por ser uma substância polar, possui boa afinidade com óleos e gorduras de origem animal ou vegetal. Carvalho (2016).

O Sulfato de Sódio – Na_2SO_4 como cristal anidro é utilizado na secagem de óleos. Durante a filtragem do solvente de extração, é posto sulfato de sódio no papel filtro, que provoca a sua hidratação retirando qualquer remanescente de água ou umidade contida na solução com óleo e a acetona. O sulfato de sódio não é solúvel em acetona.

3.3.4.3 Preparo da mistura padrão

Conforme estabelecido pelo Método da Partição Gravimétrica – 5520 B (APHA, 2012), a mistura padrão é uma solução de acetona contendo 4 mg/mL de hexadecano e ácido esteárico em igual proporção. A mistura poderá ser preparada em laboratório ou ser adquirida pronta, sendo recomendado o seu preparo em laboratório no mesmo dia da realização dos ensaios, devida à alta volatilidade do solvente acetona.

O procedimento de preparo da solução deve ser feito no laboratório. Inicialmente, colocam-se (1000 ± 2) mg de ácido esteárico e (1000 ± 2) mg de hexadecano em um balão volumétrico de 500 mL e completar com acetona até a sua marca. Para a completa dissolução do ácido esteárico, é necessário um leve aquecimento (cerca de 40 °C) da solução. Para confirmar a concentração de resíduo da solução, transferir com auxílio de uma pipeta volumétrica $(10 \pm 0,1)$ mL da mistura padrão para o aparato de destilação e recuperação do solvente apresentado na Figura 7. A massa final do resíduo deve ser de (40 ± 1) mg. Caso contrário, deve ser preparada uma nova solução (APHA, 2012).

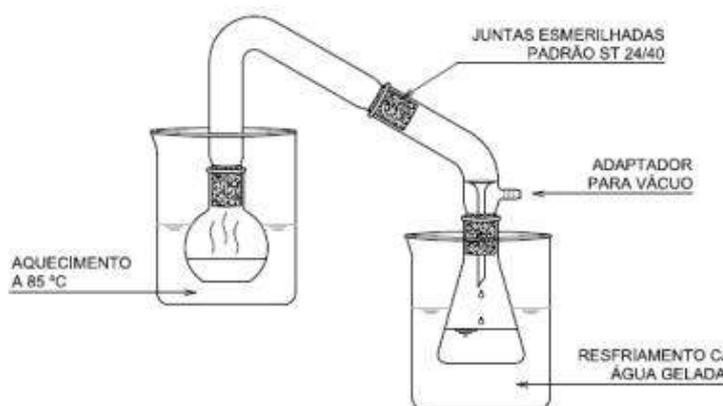


Figura 7 – Aparato para destilação do solvente.

Fonte: Carvalho, 2014.

3.3.4.4 Procedimento de Ensaio

Após a evaporação da fase aquosa em estufa a 85 °C por 96 horas, os frascos foram removidos e mantidos em repouso fora da estufa por cerca de 20 minutos ou até ser atingida a temperatura ambiente.

A extração do óleo contido no interior do frasco de cada amostra foi realizada logo após o frasco atingir o equilíbrio com a temperatura ambiente, conforme o seguinte procedimento.

Inicialmente, adicionou-se 100 mL da mistura padrão, ou solvente de extração, ao resíduo de óleo que restou após a evaporação prévia da fase aquosa das amostras. Com o frasco tampado, agitou-se levemente o conteúdo por 2 minutos, de modo que a solução extraísse todo o óleo. Após os 2 minutos, transferiu-se a mistura solução-óleo do frasco para um balão de fundo chato de 125 mL (previamente pesado) com o auxílio de um funil.

Em seguida, levou-se o balão de fundo chato com a mistura para o aparato para destilação do solvente. Durante a destilação, pôde ser constatado visualmente a evaporação do solvente no balão de fundo chato, bem como sua condensação e seu recolhimento no erlenmeyer. Quando não foi mais visível o fluxo de solvente destilado, transferiu-se o solvente (acetona) que estava no erlenmeyer para um recipiente de acetona (para que a acetona pura fosse reutilizada no preparo de outras soluções). Em seguida, conectou-se o sistema ao dispositivo de vácuo por cerca de 5 minutos até que todo o solvente fosse removido do balão de fundo chato.

Na sequência, removeu-se o balão de fundo chato do banho de água quente e esperou-se por 5 minutos para resfriamento e equilíbrio das condições ambientes para posterior pesagem. Pode-se também, antes da pesagem, colocar o balão de fundo chato por cerca de 25 minutos na estufa para garantir que não haja vestígios de solvente, retirar da estufa e esperar o

balão atingir a temperatura ambiente. Após a pesagem do balão de fundo chato, subtraiu-se a massa do balão vazio, medido antes do ensaio, e a massa de 400 mg relativos aos sólidos, sendo 200 mg relativos ao hexadecano e 200 mg relativos ao ácido esteárico, ambos contidos nos 100 mL de solvente de extração, utilizados no ensaio, para extração do óleo contido na amostra.

A concentração de óleo contido na amostra é determinada através da razão entre a massa do óleo obtido e o volume da fase aquosa medida por meio da quantidade de água necessária para preencher o frasco de armazenagem da amostra até o nível do menisco inferior da interface líquido/ar, anotado previamente à etapa de secagem da fase aquosa na estufa.

Obtém-se, portanto, a concentração de óleo na amostra a partir da Equação 28.

$$C_{\text{óleo}} = \frac{M_{\text{óleo}}}{V_{\text{amostra}}} \quad (28)$$

Em que $C_{\text{óleo}}$ é a concentração de óleo determinada em mg/L, $M_{\text{óleo}}$ é a massa de óleo em mg, obtida da massa total de balão de fundo chato, obtida após a destilação total do solvente de extração, subtraída da massa do balão de fundo chato vazio e de 400 mg referentes ao hexadecano e ácido esteárico e V_{amostra} é o volume inicial da amostra, em L.

4. Resultados e discussão

Os resultados obtidos e discussões pertinentes são derivados dos resultados dos ensaios laboratoriais realizados. Esses ensaios foram baseados nas medições de concentração de óleo no decorrer de uma precipitação contínua. As primeiras amostras coletadas, em geral, tiveram concentrações maiores que as que as sucederam, onde a concentração de óleo ia diminuindo à medida que mais água proveniente da precipitação ia escoando.

Foi possível perceber esse comportamento mesmo antes de realizar a pesagem, pois foi possível visualizar que as amostras iniciais estavam muito turvas no balão volumétrico de fundo chato e a turbidez ia sendo reduzida à medida que eram utilizados frascos que coletaram as amostras subsequentes. A Figura 8 retrata o que foi dito, mostrando amostras coletada desde os frascos 1 e 2 até os frascos 29 e 30.

4.1 Amostras coletadas no simulador de chuva

Foram executados 10 ensaios de laboratórios utilizando a combinação entre 2 intensidades de chuvas, 60 mm/h e 120 mm/h, e 5 quantidades diferentes de óleos na superfície de estudo, 1.250 mg, 2.500 mg, 5.000 mg, 10.000 mg e 20.000 mg. Após a aplicação da solução para retirar todo o óleo dos frascos e a destilação da solução para separar o solvente acetona da mistura óleo-solução, fez-se a pesagem de cada balão de fundo chato para saber a quantidade, em mg, de óleo nos frascos em questão e, conseqüentemente, a concentração de óleo por precipitação.

Os resultados com as concentrações de óleo coletadas em cada amostra nos 10 ensaios estão apresentados no Apêndice B – Tabelas com valores de concentrações.

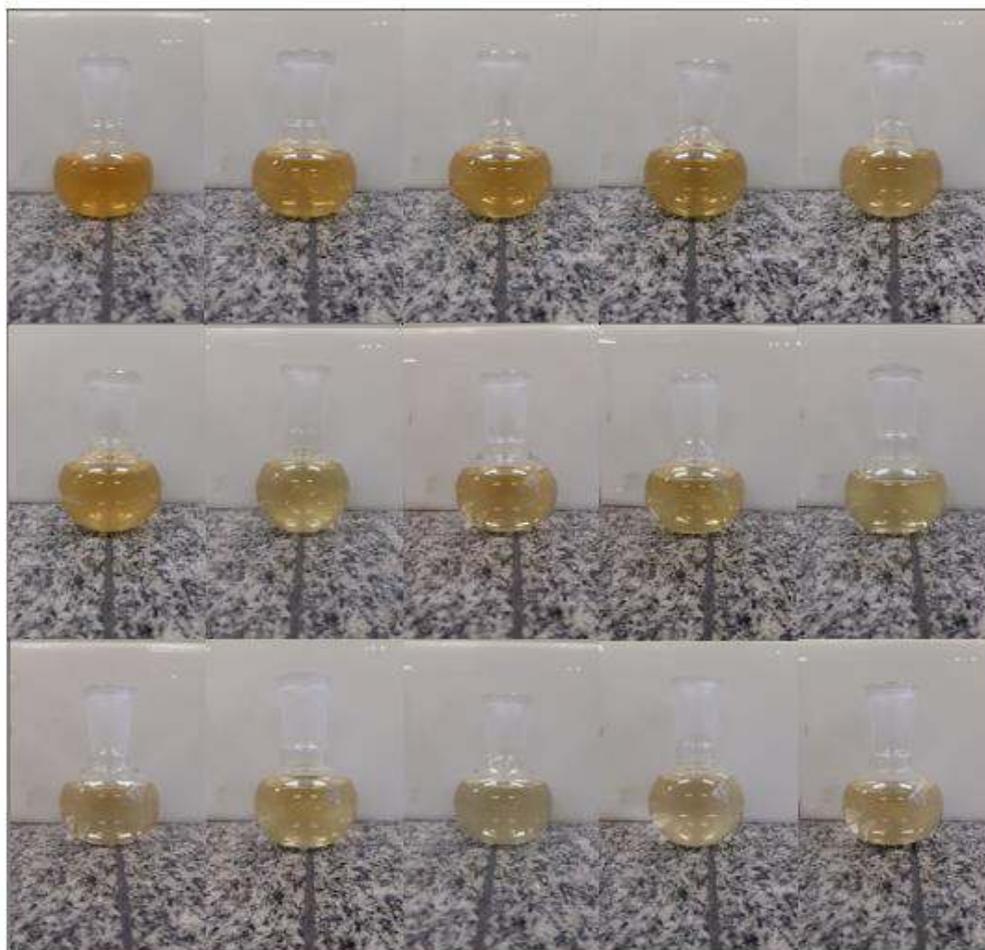


Figura 8 – Variação da turbidez na coleta de óleo no balão de fundo chato para um mesmo ensaio. Fonte: Acervo do próprio Autor.

4.2 Curvas de comportamento do óleo no escoamento superficial

Para cada um dos resultados obtidos em 4.1, foi plotado um gráfico de pontos de precipitação (eixo das abcissas) pela concentração de óleo (eixo das ordenadas). Para cada gráfico, foi feito ajuste de curvas, utilizando o método dos mínimos quadrados, do tipo: reta, exponencial, hipérbole, geométrica, logarítmica e polinomial de grau 3. Para cada ajuste, foi avaliado dois aspectos para escolher qual o mais adequado: valor de R^2 mais próximo da unidade no maior número de testes e comportamento da curva em relação a realidade.

As dispersões dos pontos para todos os casos podem ser visualizadas no Apêndice C – Dispersão de pontos.

4.2.1 Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R^2 obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 1.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o ajuste logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R^2 .

Tabela 1 – Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo.

Precipitação de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R^2
Reta	0,798
Exponencial	0,914
Hipérbole	0,859
Geométrica	0,915
Logarítmica	0,955
Polinomial de grau 3	0,978

4.2.2 Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R^2 obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 2.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o ajuste logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R^2 .

Tabela 2 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo.

Precipitação de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R^2
Reta	0,791
Exponencial	0,919
Hipérbole	0,944
Geométrica	0,950
Logarítmica	0,969
Polinomial de grau 3	0,981

4.2.3 Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R^2 obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 3.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o ajuste logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R^2 .

Tabela 3 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo.

Precipitação de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,850
Exponencial	0,752
Hipérbole	0,441
Geométrica	0,698
Logarítmica	0,916
Polinomial de grau 3	0,935

4.2.4 Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 4.

Para esse caso, o ajuste hiperbólico, logarítmico e o polinomial de grau 3, nessa ordem com os dois últimos empatados, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 4 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo.

Precipitação de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,770
Exponencial	0,915
Hipérbole	0,948
Geométrica	0,927
Logarítmica	0,936
Polinomial de grau 3	0,936

4.2.5 Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 5.

Para esse caso, o ajuste hiperbólico e o polinomial de grau 3, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 5 - Ajuste de curvas para precipitação de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo.

Precipitação de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,792
Exponencial	0,936
Hipérbole	0,968
Geométrica	0,935
Logarítmica	0,946
Polinomial de grau 3	0,965

4.2.6 Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 6.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 6 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo.

Precipitação de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,790
Exponencial	0,864
Hipérbole	0,539
Geométrica	0,762
Logarítmica	0,947
Polinomial de grau 3	0,963

4.2.7 Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 7.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 7 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo.

Precipitação de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,794
Exponencial	0,883
Hipérbole	0,816
Geométrica	0,828
Logarítmica	0,901
Polinomial de grau 3	0,902

4.2.8 Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 8.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 8 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo.

Precipitação de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,760
Exponencial	0,888
Hipérbole	0,895
Geométrica	0,931
Logarítmica	0,958
Polinomial de grau 3	0,975

4.2.9 Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 9.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 9 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo.

Precipitação de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,844
Exponencial	0,914
Hipérbole	0,737
Geométrica	0,835
Logarítmica	0,959
Polinomial de grau 3	0,975

4.2.10 Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo

Para a chuva de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo na superfície de estudo, os valores de R² obtidos para cada ajuste através do método dos mínimos quadrados é mostrado na Tabela 10.

Para esse caso, o ajuste polinomial de grau 3 e o logarítmico, nessa ordem, foram os mais adequados em termos de R².

Tabela 10 - Ajuste de curvas para precipitação de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo.

Precipitação de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo	
Tipo de ajuste	R ²
Reta	0,805
Exponencial	0,966
Hipérbole	0,935
Geométrica	0,927
Logarítmica	0,984
Polinomial de grau 3	0,991

4.2.11 Comportamento de curva mais adequado

De acordo com as Tabelas de 1 a 10, pode-se perceber que as curvas polinomiais de grau 3 e as curvas logarítmicas foram as que apresentaram os maiores valores de R² e que eles foram próximos da unidade, o que mostra que há uma boa correlação entre a dispersão dos pontos e o ajuste de curvas. Ambas as curvas, segundo o estudo, mostraram-se adequadas para representar o comportamento da variação da concentração do óleo pela quantidade de água na precipitação. No entanto, a curva polinomial de terceiro grau, apresentou uma tendência em

ultrapassar o eixo das abcissas, resultando em valores negativos para a concentração de óleo, tornando-se inadequada.

A função logarítmica resultou em uma suavização na curva à medida que os valores da abcissa aumentaram. Isso está relacionado com o que ocorre na realidade, pois, à medida que há o escoamento de água com óleo na pista, a quantidade de óleo vai sofrendo variações de modo a diminuir a sua concentração com a precipitação sem valores abaixo de zero na concentração de óleo.

Para o caso da precipitação de 60 mm/h e com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo, o ajuste com o maior R^2 é o da curva hiperbólica. A princípio pode-se imaginar que a hipérbole representaria bem, de maneira geral, as dispersões, pois ela possui assíntotas que limitam as curvas, de modo que há a possibilidade, para o caso de uma assíntota horizontal, de nunca atingir o valor zero para concentração de óleo. No entanto, foi verificado em alguns casos valores menores que 0,8 e até menores que 0,5 para o R^2 .

Dessa forma, adotou-se a função logarítmica para representar o comportamento da concentração de óleo no escoamento devido a precipitação simulada.

O Apêndice D - Ajuste de curvas - contém os ajustes de curva para o comportamento logarítmico e polinomial de terceiro grau.

4.3 Relação entre quantidade de óleo na pista e comportamento da curva

De acordo com as tabelas do Apêndice B – Tabelas com valores de concentrações - e os gráficos de distribuição de pontos do Apêndice C – Dispersão de pontos -, pode ser observada a relação entre a quantidade de óleo na pista e o comportamento da concentração de óleo na água coletada do escoamento superficial quando é adotada a intensidade de precipitação como parâmetro fixo.

O concreto possui porosidade, ou seja, à medida que há gotejamento de óleo na superfície de estudo, os poros vão sendo preenchidos com óleos. À medida que os ensaios foram realizados com diferentes quantidades iniciais de óleo, houve uma tendência de saturação da superfície da placa.

Com a superfície parcialmente saturada, somente uma pequena parte do óleo gotejado é absorvida pela superfície de estudo. Dessa forma, mais óleo gotejado significa maior quantidade de efluente no escoamento superficial. A Figura 9 e a Figura 10 mostram que, para quantidades maiores de óleo, há uma maior quantidade escoada para intensidades de chuva de 60 mm/h e 120 mm/h respectivamente.

Nota-se que, à medida que se dobra a quantidade de óleo no gotejamento, aproximadamente se dobra a quantidade de óleo coletado. A Tabela 11 e a Tabela 12 contêm o total de óleo coletado, em mg, para a precipitação de intensidade de 60 mm/h e 120 mm/h, respectivamente. Isso se deve pela pouca quantidade de óleo absorvida em relação ao óleo gotejado, como o óleo gotejado é aumentado pelo dobro da quantidade anteriormente jogada, a quantidade coletada será o dobro aproximadamente.

Tabela 11 – Quantidade total de óleo coletado para precipitação de 60 mm/h.

Óleo gotejado (mg)	Quantidade total de óleo coletado (mg)	Total coletado (%)
1250	416	33,28%
2500	1432	57,28%
5000	1517	30,34%
10000	3684	36,84%
20000	7095	35,48%

Tabela 12 - Quantidade total de óleo coletado para precipitação de 120 mm/h.

Óleo gotejado (mg)	Quantidade total de óleo coletado (mg)	Total coletado (%)
1250	580	46,40%
2500	1142	45,68%
5000	1557	31,14%
10000	3257	32,57%
20000	7001	35,01%

4.4 Relação entre precipitação e comportamento da curva

Notou-se, pelo Apêndice C – Dispersão de pontos -, que os resultados, obtidos para concentrações iguais de óleo gotejado e diferentes precipitações, não se diferenciavam muito.

A energia cinética das gotas da precipitação auxilia no escoamento do óleo na superfície de estudo. O valor foi, segundo Carvalho (2016), $21,6 \text{ Jmm}^{-1}\text{m}^{-2}$. Esse valor depende somente da quantidade total precipitada. Para as duas intensidades utilizadas, a quantidade precipitada foi igual, 30 mm de chuva, o que diferenciou, para a intensidade de 120 mm/h e 60 mm/h, foi que a duração da precipitação do primeiro foi a metade do segundo. Dessa forma, a energia cinética das gotas, para precipitações diferentes e concentrações de óleo gotejados inicialmente, é igual. Isso implica na mesma quantidade aproximadamente de óleo no escoamento superficial.

A Tabela 13 mostra que a quantidade total de óleo, em mg, coletada, para ambas as intensidades de chuvas, foi próxima.

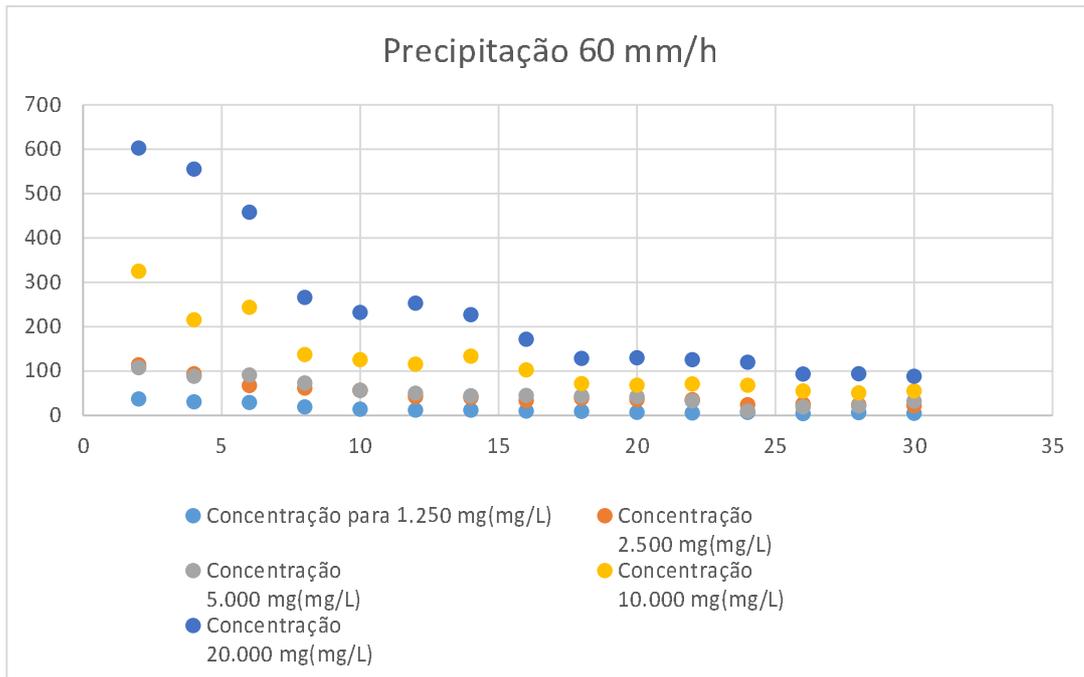


Figura 9 – Gráfico de Precipitação (eixo x, em mm) por concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) para uma precipitação de intensidade 60 mm/h.

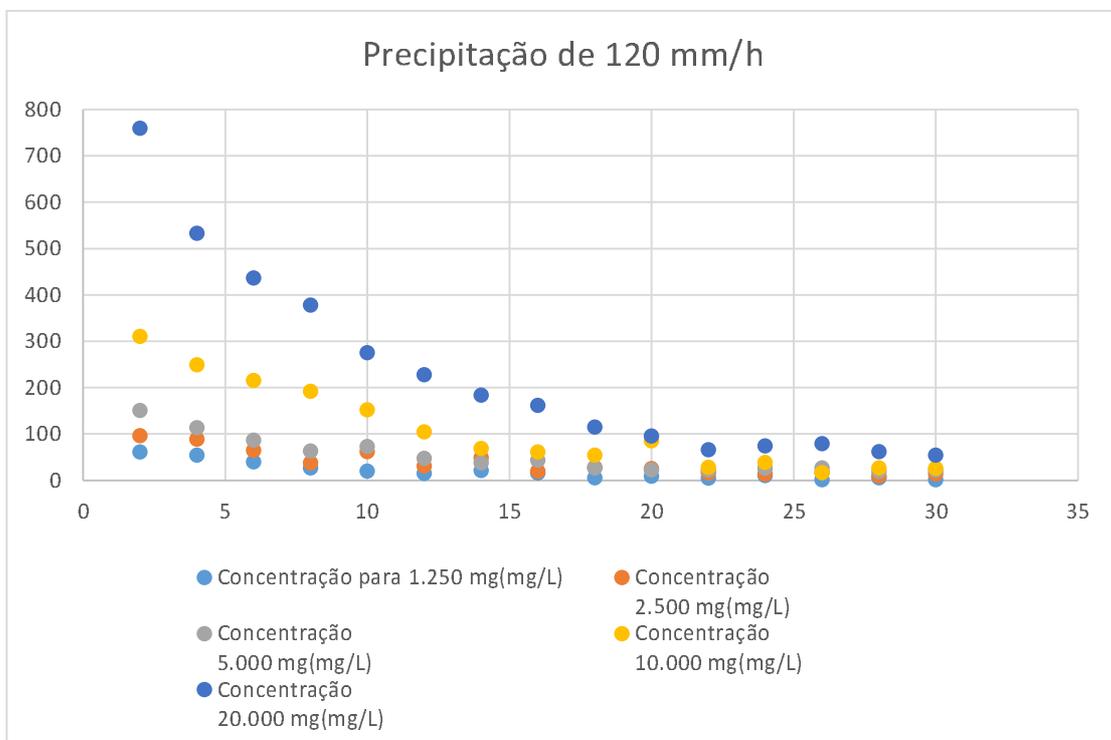


Figura 10 - Gráfico de Precipitação (eixo x, em mm) por concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) para uma precipitação de intensidade 120 mm/h.

Tabela 13 – Quantidade total de óleo coletado em mg.

Óleo gotejado (mg)	Quantidade total de óleo para 60 mm/h (mg)	Quantidade total de óleo para 120 mm/h (mg)
1250	416	580
2500	1432	1142
5000	1517	1557
10000	3684	3257
20000	7095	7001

5. Conclusões

O comportamento da quantidade de óleo escoado por água proveniente de precipitação em pavimentos de concreto pode ser representado, através do método dos mínimos quadrados, por ajustes logarítmicos, polinomiais do terceiro grau e, em alguns casos, ajustes hiperbólicos. Dentre esses três, o ajuste logarítmico e o polinomial foram os que se mostraram mais adequados para o estudo.

Para 8 dos 10 casos analisados, o ajuste logarítmico e o polinomial de terceiro grau foram os mais adequados. Somente nos casos de precipitação de 60 mm/h com 10.000 mg e com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo, o ajuste através de uma hipérbole se mostrou mais adequado que o ajuste através de uma curva logarítmica e polinomial de terceiro grau. Esse comportamento da curva hiperbólica não foi observado nas outras simulações, em casos como o da precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo, em que o R^2 foi de 0,441.

Os ensaios para determinação da concentração de óleo presente nas amostras coletadas mostraram que um total de 30 mm de precipitação não foi suficiente para transportar o óleo inicialmente lançado na sua totalidade. Percebeu-se que a precipitação simulada foi capaz de recuperar entre 30% e 45% da quantidade de óleo projetada. Este fato foi atribuído à absorção de óleo através dos poros existentes na superfície de concreto da placa. À medida que as simulações foram realizadas, notou-se uma tendência de saturação da placa que contribuiu para um aumento dessa quantidade de óleo recuperada. Essa situação também se assemelha a uma situação real caracterizada por um longo período de estiagem, em que a falta de precipitação sobre a superfície de concreto associada ao acúmulo de óleo proveniente do respingo das aeronaves e veículos sobre o pavimento contribui para o aumento da saturação da superfície da placa.

O aumento de saturação da superfície da placa foi observado durante a análise realizada no caso de precipitação de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo gotejado inicialmente, onde foi coletado 57,28% do óleo gotejado inicialmente. Essa simulação foi realizada após duas simulações anteriores com quantidades iniciais de óleo de 20.000 mg e 10.000 mg.

Para pavimentos saturados, a quantidade de óleo gotejado está mais relacionada com a quantidade escoada na precipitação do que a diferença de intensidade de chuva. Isso foi atribuído à saturação dos poros do concreto, que impedem a absorção de mais óleo e também à energia cinética das precipitações que, para uma mesma quantidade total de chuva, mesmo que em durações diferentes, tem o mesmo valor. Os resultados mostraram um comportamento

semelhante no transporte de óleo quando considerado chuvas de diferentes intensidades e a mesma quantidade inicial de óleo lançada no pavimento.

Segundo a resolução do CONAMA, a quantidade máxima de óleo que pode ser lançado ao meio ambiente, em termos de concentração, é de 20 mg/L. Para 7 das 10 análises realizadas, não foi observada a redução da concentração de óleo para valores abaixo de 20 mg/L.

O limite de concentração máxima exigido pela norma foi alcançado nas duas simulações com quantidade inicial de 1.250 mg de óleo na superfície de estudo. Para a chuva de 60 mm/h, atingiu-se o valor para uma precipitação de 8 mm. Para a chuva de 120 mm/h, o limite foi atingido com 10 mm de precipitação. Para precipitação de intensidade de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo, atingiu-se o limite com 22 mm de precipitação. Após ter sido atingido o limite de concentração de óleo exigido, para esses casos, a concentração de óleo sofreu redução com as precipitações, em mm, subsequentes.

Nos outros casos, os valores das concentrações, durante a coleta, não obedeceram ao limite exigido pelo CONAMA. Dessa forma, caso essas quantidades de óleo estejam presentes no pavimento de concreto, há necessidade de uma precipitação maior do que 30 mm para que a quantidade de óleo escoada pela água proveniente da precipitação resulte em concentrações inferiores a 20 mg/L.

Para haver uma complementação desse trabalho de forma a melhorar os resultados científicos obtidos, é sugerido uma verificação *in loco* da quantidade de óleo que as aeronaves normalmente lançam em aeroportos. Essa verificação consistiria em saber a quantidade de óleo gotejado por aeronaves de portes diferentes, de forma a ter uma previsão da quantidade de óleo que estará sobre o pátio de aeronaves. Sabendo disso, será possível entender o comportamento da concentração desse efluente durante a precipitação e avaliar quando o seu valor estará abaixo de 20 mg/L.

Além disso, mais testes parecidos e sob outras condições podem ser realizados de forma a complementar as conclusões do presente trabalho. Também podem ser adotados recursos computacionais, como redes neurais, para poder descrever de maneira mais precisa o comportamento dos efluentes escoados devido à precipitação.

A variação de mais parâmetros, como tempo de permanência de óleo no pavimento, declividade da superfície, intensidade da chuva e saturação da placa, podem ser utilizadas para se obter uma fórmula capaz de descrever a concentração do óleo para cada milímetro de chuva precipitada. Com isso, seria possível prever para diversos aeroportos no mundo a concentração de óleos presentes na água do escoamento superficial e saber em qual precipitação a

concentração de óleo estaria de acordo com as normas ambientais de cada local. Isso auxiliaria no dimensionamento de separadores de água /óleo.

Por fim, também sugere-se realizar o mesmo trabalho para outros tipos de pavimentos, de modo a contemplar outros locais além dos que usam pavimentos de concreto. Pode-se utilizar pavimento de asfalto, de modo a simular rodovias ou pistas de aeronaves.

6. Referências bibliográficas

APHA, American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. Ed. Washington D. C.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.

API, American Petroleum Institute. **API Publication 421: Monographs on Refinery Environmental Control – Management of Water Discharges; Design and Operation of Oil/Water Separators**. 1. Ed. Washington D. C.: American Petroleum Institute, 1990.

CARRA, T. A.; CONCEIÇÃO, F.T.; TEIXEIRA, B.B. Avaliação de riscos ambientais no aeroporto Internacional de Viracopos, Campinas (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, n.42 (Suppl 1): p.57-69, dez. 2012.

CARVALHO, Roberto Gonçalves de. **Proposta de dimensionamento de sistema de separação água/óleo para pátios e pistas de aeroportos**. 2014. 152f. Tese de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP.

CARVALHO, Roberto Gonçalves de. **Avaliação de first flush em pavimentos aeroportuários para dimensionamento de sistemas de separação água/óleo**. 2016. Exame de qualificação para obtenção do título de Doutor em Ciências – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP.

CARVALHO, Roberto Gonçalves de. **Um método de ensaio para determinação da concentração de óleo em amostras de águas contaminadas com óleos e graxas**. 2017.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo, 1979. 476p.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1999, p.5 – 8, p.85, p.97.

HELMREICH, B.; HILLIGES, R.; SCHRIEWER, A.; HORN, H. **Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences.** Chemosphere, 2010, n.80, p.991 – 997.

RAY, S.; KHILLARE, P. S.; AGARWAL, T.; SHRIDHAR, V. **Assessment of PAHs in soil around the International Airport in Delhi, India.** Journal of Hazardous Material, 2008, p. 9 – 16.

REIS, T. Com aumento da frota, país tem 1 automóvel para cada 4 habitantes. **G1**, São Paulo, 10 mar. 2014. Disponível em: <http://g1.globo.com/brasil/noticia/2014/03/com-aumento-da-frota-pais-tem-1-automovel-para-cada-4-habitantes.html>

SULEJ, A.M; POLKOWSKA, Z.; NAMIESNIK, J. **Contamination of runoff water at Gdansk Airport (Poland) by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs).** Journal Sensors, 2011, p. 11901 – 11920.

SULEJ, A.M; POLKOWSKA, Z.; NAMIESNIK, J. **Contaminants in airport runoff water in the vicinities of two international airports in Poland.** Polish Journal of Environmental Studies, 2012, vol. 21, n.3, p.725 – 739.

SOUZA, M. J. F. **Ajuste de Curvas pelo Método dos Quadrados Mínimos.** Departamento de Computação/ICEB/UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Disciplinas/MetodosNumericoseEstatisticos/QuadradosMinimos.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

Apêndice A – Gráficos com as precipitações simuladas

As precipitações foram determinadas através do ajuste dos pontos em formato de reta pelo método dos mínimos quadrados. Os pontos adotados foram provenientes da precipitação de 1 mm, que equivale a cada frasco de 1 litro utilizado para coletar a água do escoamento superficial na superfície de estudo, e do tempo de coleta de cada frasco.

Nota-se que o coeficiente angular da reta ajustada é a precipitação média da simulação.

A.1 Precipitação de 60 mm/h

Foram realizados 5 ensaios com a precipitação de 60 mm/h, cada ensaio foi realizado com uma concentração diferente de óleo na superfície de estudo: 1.250 mg, 2.500 mg, 5.000 mg, 10.000 mg e 20.000 mg. As Figura 11, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15 representam as simulações na ordem crescente da quantidade de óleo na superfície de estudo.

As equações do ajuste de curvas e o respectivo R^2 são:

- Para 1.250 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 60,834 \cdot x + 0,1801 \quad (29)$$

$$R^2 = 1,0000 \quad (30)$$

A precipitação média foi de 60,834 mm/h.

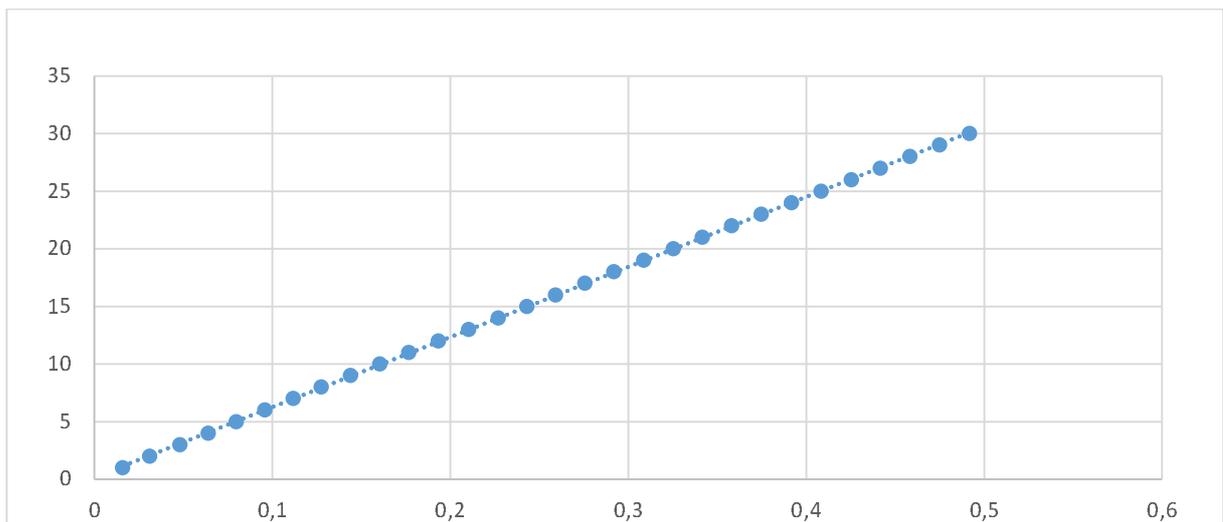


Figura 11 – Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 2.500 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 60,576 \cdot x + 0,1535 \quad (31)$$

$$R^2 = 0,9999 \quad (32)$$

A precipitação média foi de 60,576 mm/h.

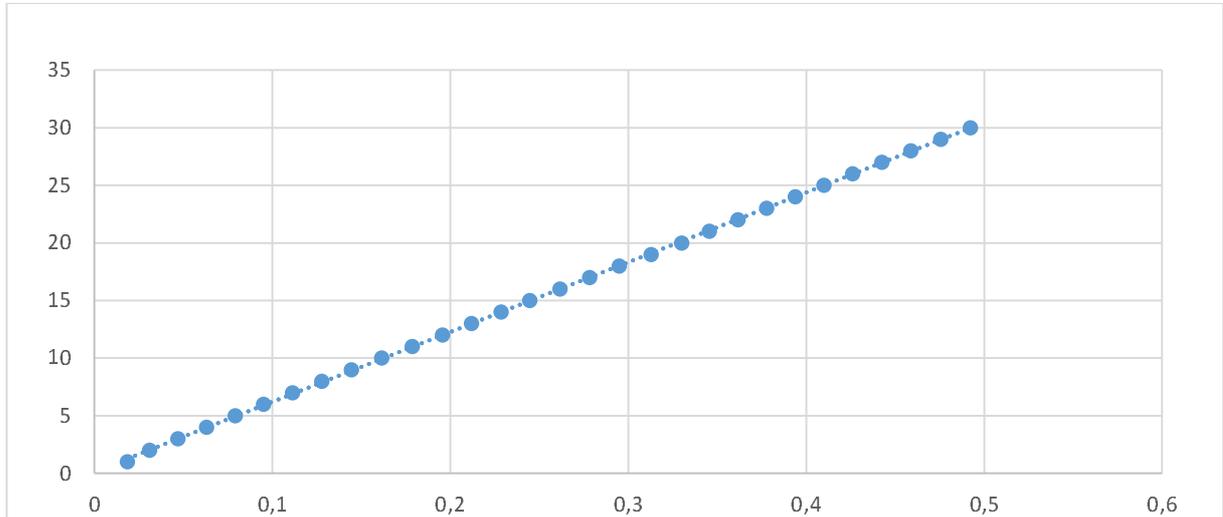


Figura 12 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 5.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 60,048 \cdot x - 0,1291 \quad (33)$$

$$R^2 = 0,9998 \quad (34)$$

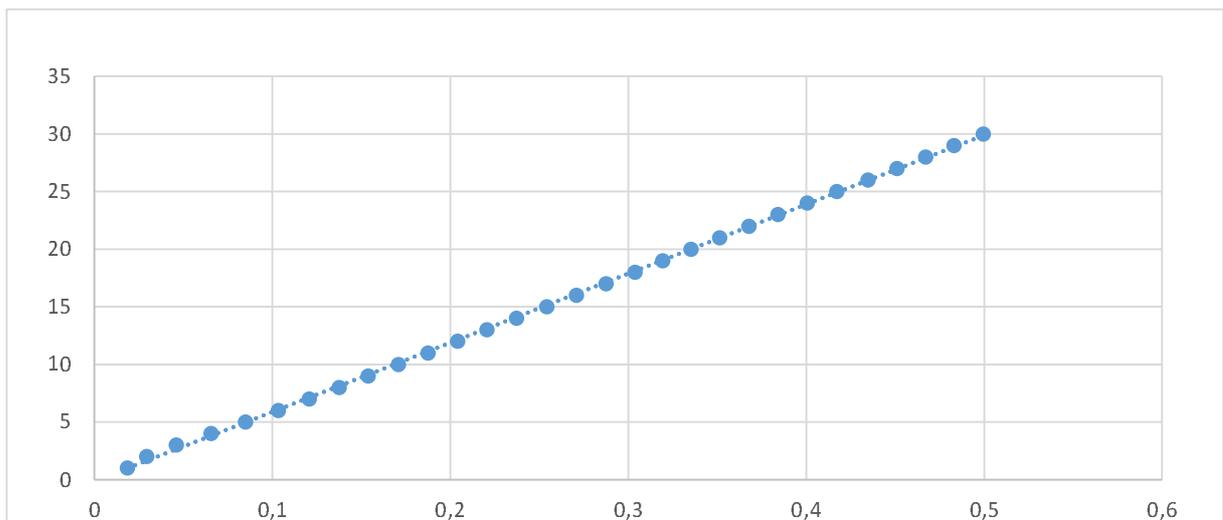


Figura 13 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 10.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 60,250 \cdot x + 0,5135 \quad (35)$$

$$R^2 = 0,9998 \quad (36)$$

A precipitação média foi de 60,250 mm/h.

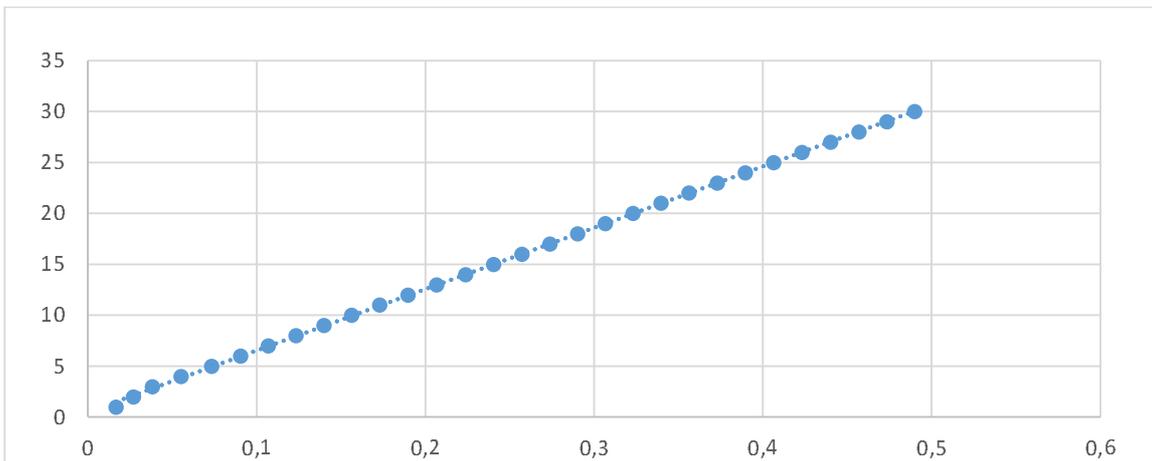


Figura 14 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 20.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 60,366 \cdot x - 0,0599 \quad (37)$$

$$R^2 = 1,0000 \quad (38)$$

A precipitação média foi de 60,3666 mm/h.

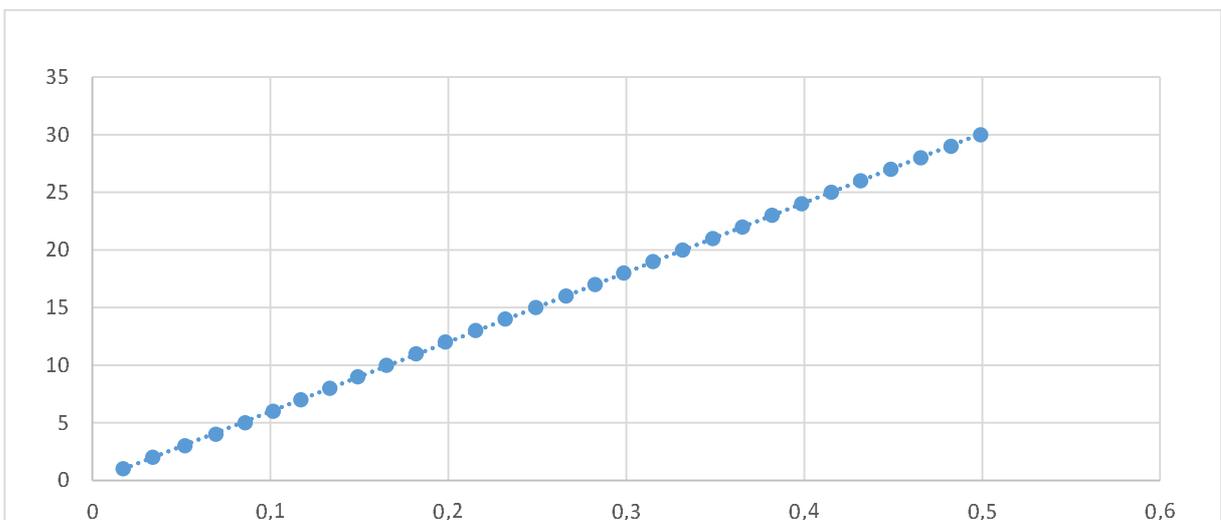


Figura 15 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.

A.2 Precipitação de 120 mm/h

Foram realizados 5 ensaios com a precipitação de 60 mm/h, cada ensaio foi realizado com uma concentração diferente de óleo na superfície de estudo: 1.250 mg, 2.500 mg, 5.000 mg, 10.000 mg e 20.000 mg. A Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20 representam as simulações na ordem crescente da quantidade de óleo na superfície de estudo.

As equações do ajuste de curvas e o respectivo R^2 são:

- Para 1.250 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 119,90 \cdot x - 1,3599 \quad (39)$$

$$R^2 = 0,9999 \quad (40)$$

A precipitação média foi de 119,90 mm/h.

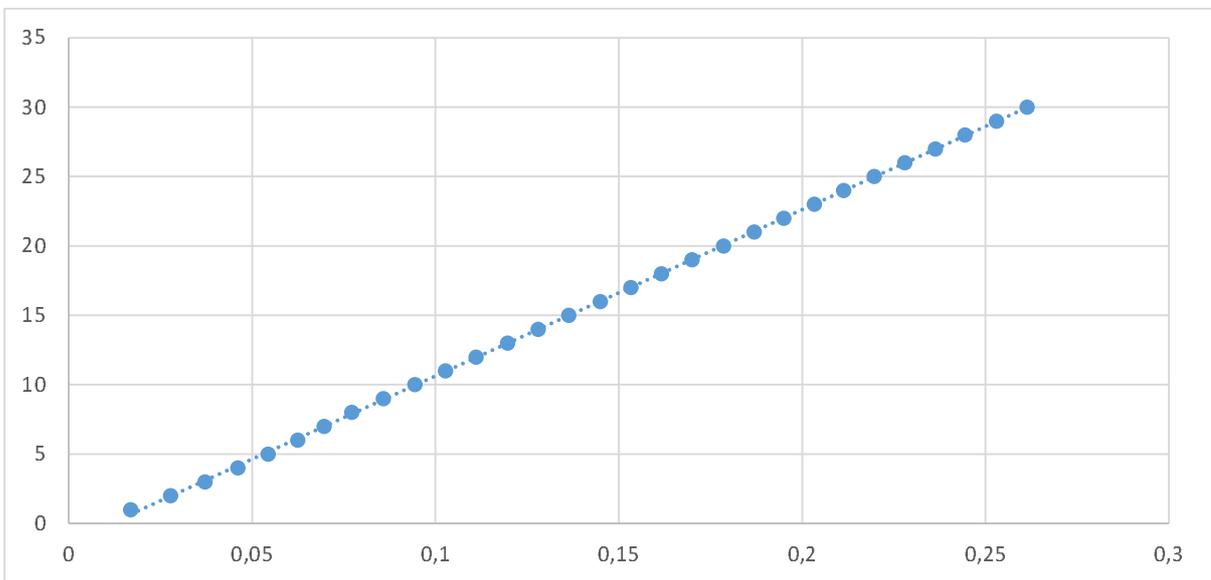


Figura 16 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 2.500 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 117,48 \cdot x - 2,1290 \quad (41)$$

$$R^2 = 0,9989 \quad (42)$$

A precipitação média foi de 117,48 mm/h.

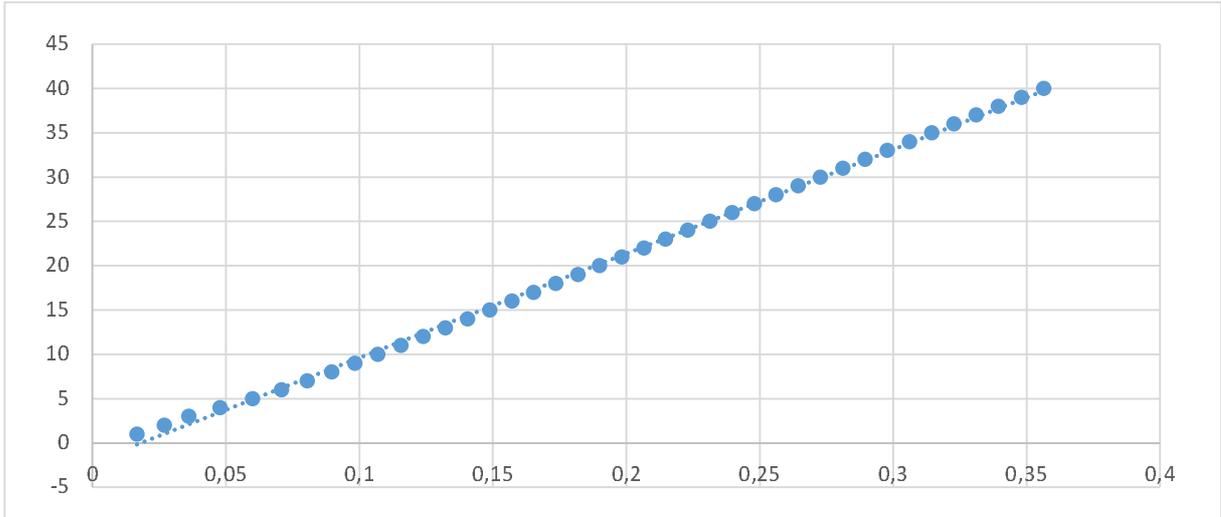


Figura 17 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 5.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 119,88 \cdot x - 1,1681 \quad (43)$$

$$R^2 = 0,9999 \quad (44)$$

A precipitação média foi de 119,88 mm/h.

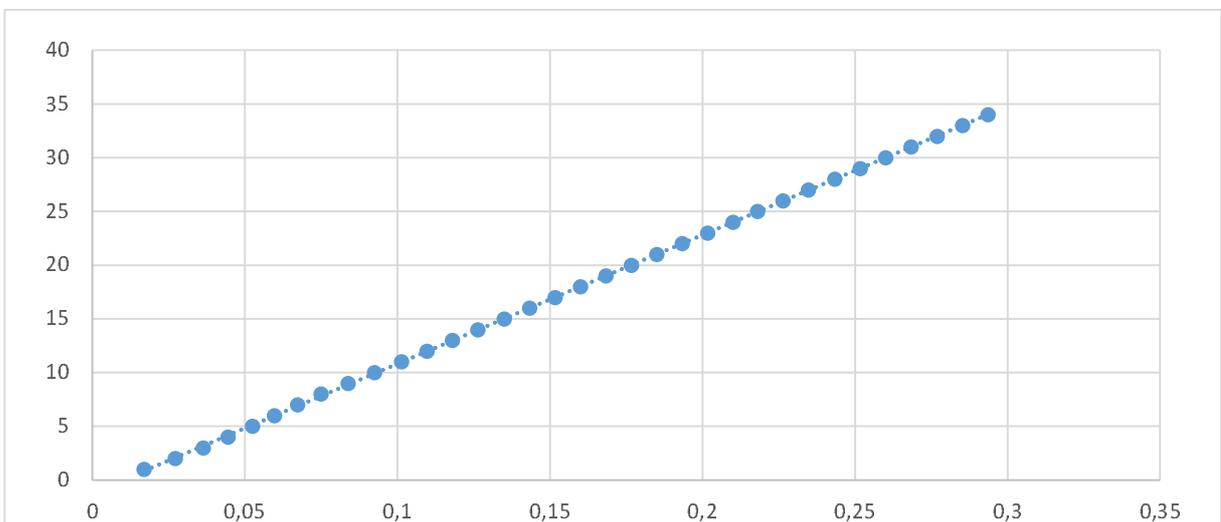


Figura 18 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 10.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 120,38 \cdot x - 1,0414 \quad (45)$$

$$R^2 = 0,9999 \quad (46)$$

A precipitação média foi de 120,38 mm/h.

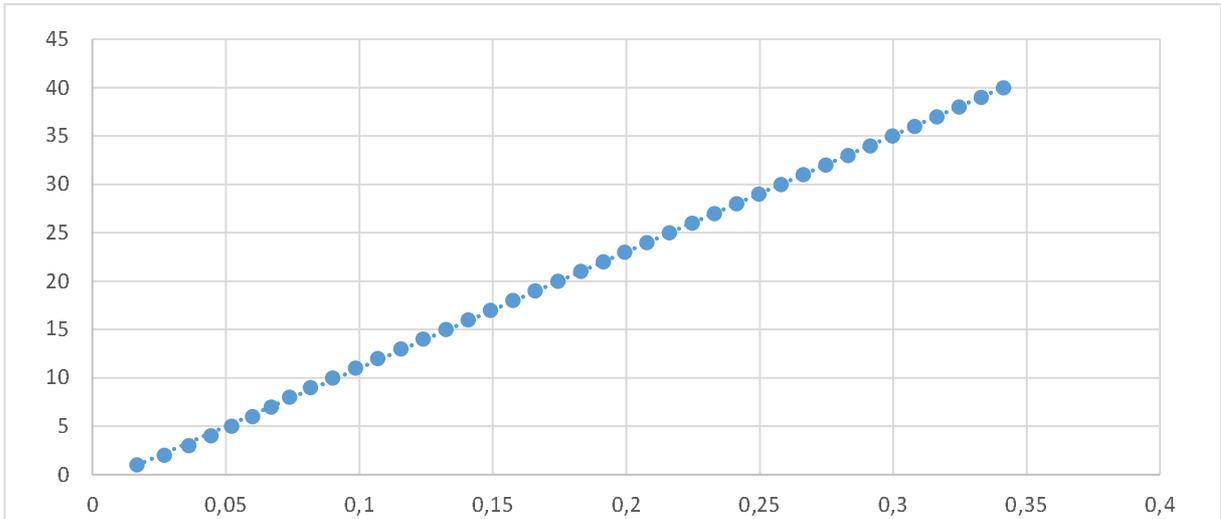


Figura 19 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.

- Para 20.000 mg de óleo na superfície de estudo

$$y = 121,34 \cdot x - 1,2136 \quad (47)$$

$$R^2 = 0,9998 \quad (48)$$

A precipitação média foi de 121,24 mm/h.

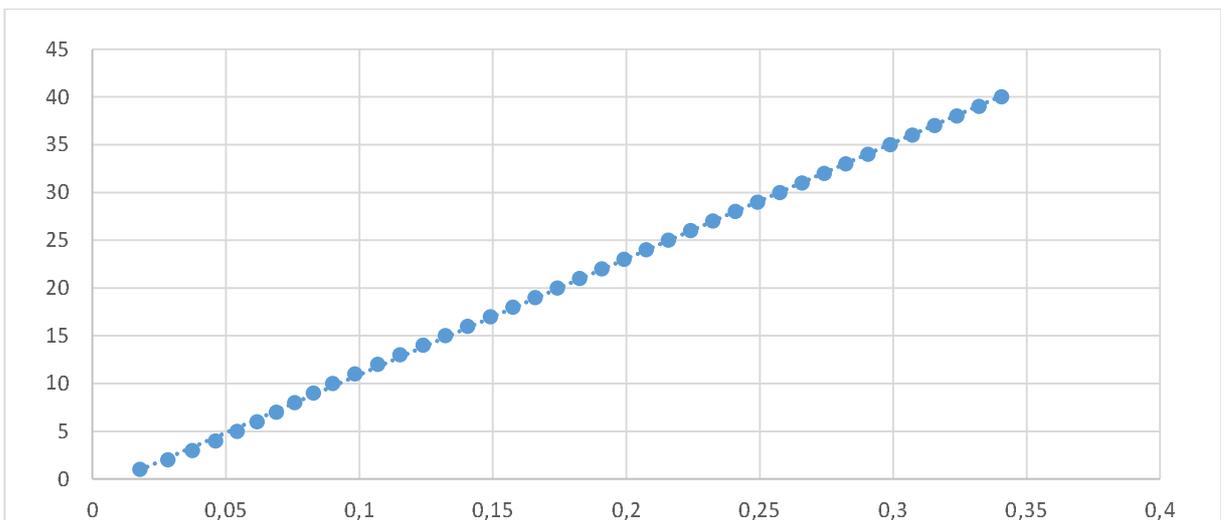


Figura 20 - Gráfico da quantidade de chuva coletada (eixo y, em mm) pelo tempo (eixo x, em horas) para chuva de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.

Apêndice B – Tabelas com valores de concentrações

Para cada ensaio laboratorial realizado, foram anotados os dados de peso vazio do balão volumétrico de fundo chato vazio e com o óleo e resíduos, o peso dos resíduos e a concentração de óleo obtida para 2 frascos de 1 litro cada.

As tabelas desse apêndice contêm os resultados obtidos.

B.1. Precipitação de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo na pista

A Tabela 14 contém os resultados obtidos.

Tabela 14 – Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	73750	74224	400	74	37
4	74536	74997	400	61	31
6	64770	65228	400	58	29
8	63340	63777	398	39	20
10	59227	59655	400	28	14
12	59225	59649	400	24	12
14	70062	70486	400	24	12
16	64334	64754	400	20	10
18	72431	72849	400	18	9
20	74535	74949	400	14	7
22	72431	72842	400	11	6
24	63338	63752	400	14	7
26	64770	65178	400	8	4
28	70062	70475	400	13	7
30	62982	63392	400	10	5

B.2. Precipitação de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo na pista

A Tabela 15 contém os resultados obtidos.

Tabela 15 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	73754	74370	388	228	114
4	67494	68082	400	188	94
6	63345	63880	400	135	68

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
8	59233	59752	396	123	62
10	69510	70023	400	113	57
12	64774	65258	400	84	42
14	62328	62808	400	80	40
16	64337	64804	400	67	34
18	62985	63462	400	77	39
20	73754	74226	400	72	36
22	67495	67967	400	72	36
24	63343	63790	398	49	25
26	64774	65226	400	52	26
28	69510	69958	400	48	24
30	59233	59677	400	44	22

B.3. Precipitação de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo na pista

A Tabela 16 contém os resultados obtidos.

Tabela 16 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	59228	59843	400	215	108
4	63342	63918	400	176	88
6	62984	63567	400	183	92
8	64335	64881	400	146	73
10	73753	74267	400	114	57
12	63343	63844	400	101	51
14	59227	59716	400	89	45
16	62328	62818	400	90	45
18	64772	65260	400	88	44
20	73755	74239	400	84	42
22	62330	62796	400	66	33
24	64772	65192	400	20	10
26	67493	67931	400	38	19
28	62985	63428	400	43	22
30	64335	64799	400	64	32

B.4. Precipitação de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo na pista

A Tabela 17 contém os resultados obtidos.

Tabela 17 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	59227	60278	400	651	326
4	62985	63817	400	432	216
6	62330	63218	400	488	244
8	63341	64015	400	274	137
10	73752	74404	400	252	126
12	64772	65404	400	232	116
14	64334	65002	400	268	134
16	67493	68099	400	206	103
18	59225	59768	400	143	72
20	62331	62868	400	137	69
22	73751	74293	400	142	71
24	59226	59760	398	136	68
26	62983	63493	400	110	55
28	67493	67995	400	102	51
30	63342	63853	400	111	56

B.5. Precipitação de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo na pista

A Tabela 18 contém os resultados obtidos.

Tabela 18 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 60 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	63340	64946	400	1206	603
4	63341	64852	400	1111	556
6	73753	75070	400	917	459
8	62328	63260	400	532	266
10	72430	73294	400	464	232
12	64771	65677	400	506	253
14	64332	65187	400	455	228
16	64771	65515	400	344	172
18	70063	70721	400	258	129
20	62328	62988	400	260	130
22	74535	75186	400	251	126

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
24	62982	63622	400	240	120
26	59228	59815	400	187	94
28	67492	68080	400	188	94
30	64332	64908	400	176	88

B.6. Precipitação de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo na pista

A Tabela 19 contém os resultados obtidos.

Tabela 19 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 1.250 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	62332	62854	400	122	61
4	63347	63856	400	109	55
6	67499	67979	400	80	40
8	59233	59686	400	53	27
10	64339	64778	400	39	20
12	64778	65208	400	30	15
14	73755	74197	400	42	21
16	64679	65110	400	31	16
18	59233	59644	400	11	6
20	64777	65195	400	18	9
22	64679	65088	400	9	5
24	69513	69931	398	20	10
26	62332	62735	400	3	2
28	62989	63399	400	10	5
30	73755	74158	400	3	2

B.7. Precipitação de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo na pista

A Tabela 20 contém os resultados obtidos.

Tabela 20 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 2.500 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	62987	63580	400	193	97
4	69510	70087	400	177	89
6	73754	74283	400	129	65

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
8	62329	62805	400	76	38
10	69510	70033	400	123	62
12	62986	63448	400	62	31
14	65138	65635	400	97	49
16	62985	63424	400	39	20
18	69510	69966	400	56	28
20	62329	62780	400	51	26
22	73754	74186	400	32	16
24	62985	63410	398	27	14
26	62329	62763	400	34	17
28	69510	69929	400	19	10
30	73754	74181	400	27	14

B.8. Precipitação de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo na pista

A Tabela 21 contém os resultados obtidos.

Tabela 21 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 5.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	67496	68197	400	301	151
4	64775	65388	386	227	114
6	64775	65348	400	173	87
8	62986	63512	400	126	63
10	64775	65320	400	145	73
12	73754	74249	400	95	48
14	62986	63461	400	75	38
16	73754	74240	400	86	43
18	69514	69967	400	53	27
20	62331	62776	400	45	23
22	67498	67942	400	44	22
24	69510	69960	398	52	26
26	73754	74207	400	53	27
28	62333	62771	400	38	19
30	64680	65124	400	44	22

B.9. Precipitação de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo na pista

A Tabela 22 contém os resultados obtidos.

Tabela 22 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 10.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	64775	65795	400	620	310
4	67495	68374	380,4	498,6	249
6	64774	65603	398,8	430,2	215
8	62984	63768	400	384	192
10	64776	65476	395,6	304,4	152
12	63347	63956	400	209	105
14	62332	62869	400	137	69
16	67498	68020	400	122	61
18	73754	74263	400	109	55
20	73754	74325	400	171	86
22	69510	69966	400	56	28
24	62329	62804	398	77	39
26	67499	67932	400	33	17
28	59235	59689	400	54	27
30	64679	65131	400	52	26

B.10. Precipitação de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo na pista

A Tabela 23 contém os resultados obtidos.

Tabela 23 - Tabela de concentração de óleo obtida para uma precipitação de 120 mm/h com 20.000 mg de óleo na superfície de estudo.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
2	63346	65265	400	1519	760
4	67496	68962	400	1066	533
6	62988	64260	400	872	436
8	62332	63487	400	755	378
10	73756	74707	400	551	276
12	64341	65197	400	456	228
14	69510	70277	400	367	184
16	64776	65490	390,4	323,6	162
18	62986	63615	400	229	115
20	59233	59820	395,6	191,4	96

PRECIPITAÇÃO TOTAL (mm)	PESO DO BALÃO VAZIO (mg)	PESO DO BALÃO COM ÓLEO E RESÍDUOS (mg)	PESO DOS RESÍDUOS (mg)	PESO DE ÓLEO MEDIDO (mg)	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
22	63345	63877	400	132	66
24	64680	65229	400	149	75
26	62332	62890	400	158	79
28	69510	70034	400	124	62
30	67500	68008	400	108	54

Apêndice C – Dispersão de pontos

A dispersão de pontos, que será utilizada para fazer a análise de ajuste de curvas, representa a variação da concentração de óleo (eixo das ordenadas, em mg/L) pela precipitação, em mm, de chuva na superfície de estudo (eixo das abscissas, em mm).

C.1. Dispersão de pontos para chuvas de 60 mm/h

As figuras a seguir contêm a dispersão de pontos.

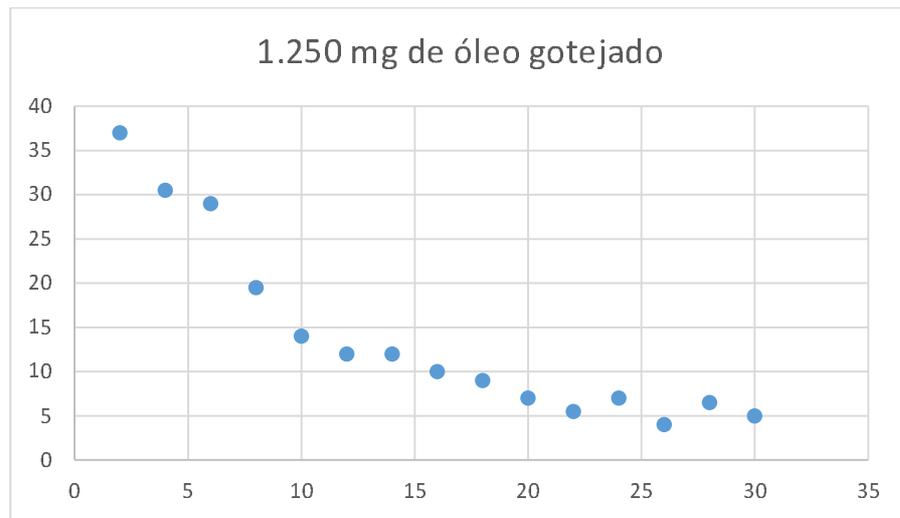


Figura 21 – Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 1.250 mg na superfície de estudo.

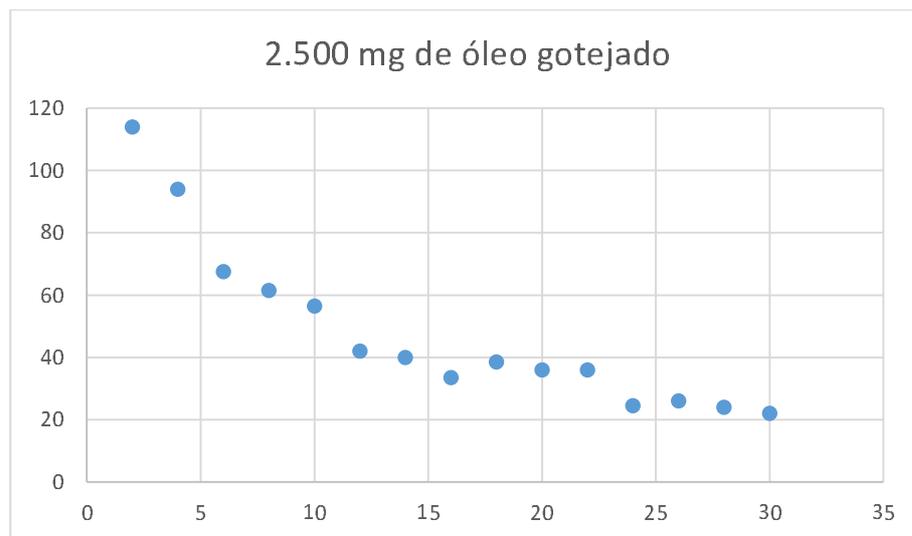


Figura 22 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 2.500 mg na superfície de estudo.

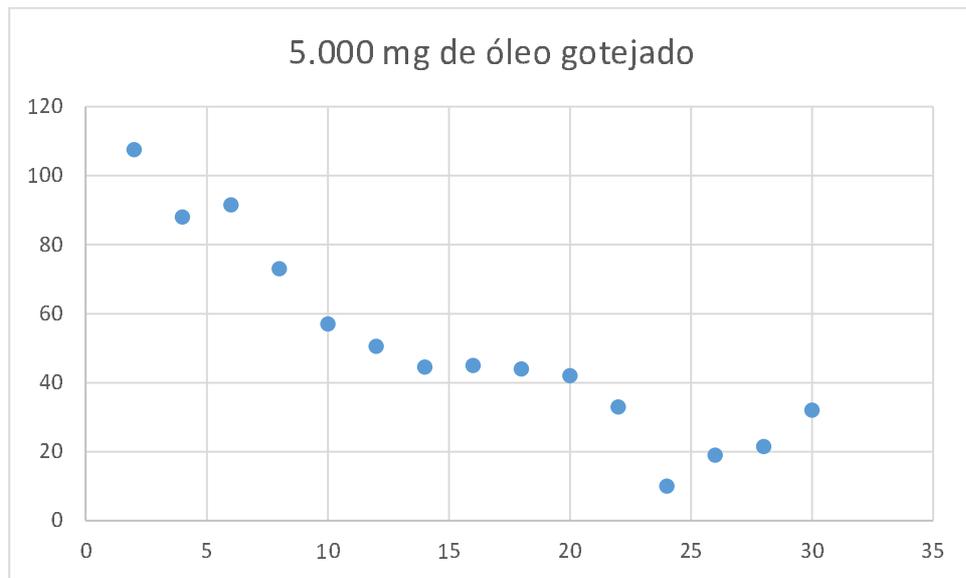


Figura 23 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 5.000 mg na superfície de estudo.

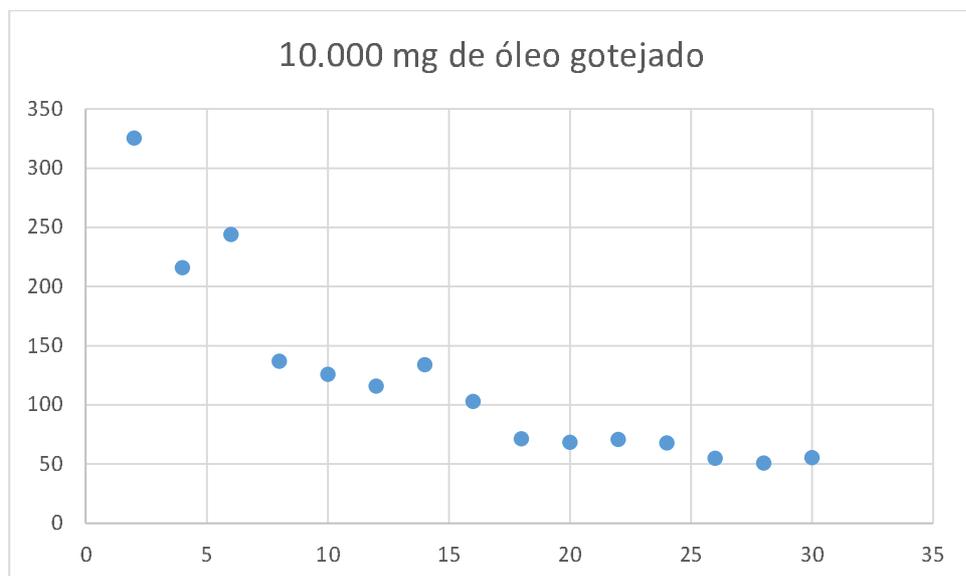


Figura 24 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 10.000 mg na superfície de estudo.

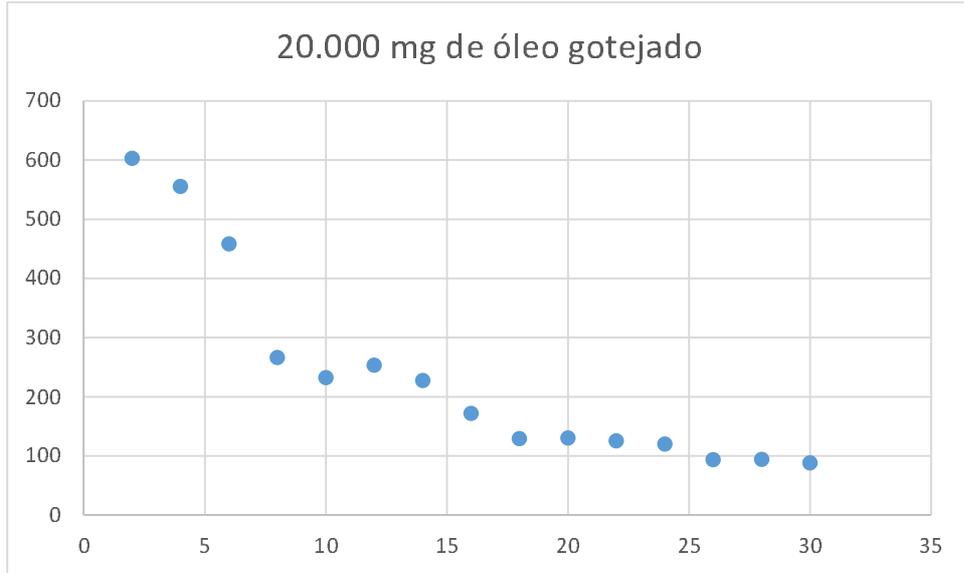


Figura 25 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 60 mm/h e concentração de óleo de 20.000 mg na superfície de estudo.

C.2. Dispersão de pontos para chuvas de 120 mm/h

As figuras a seguir contêm a dispersão de pontos.

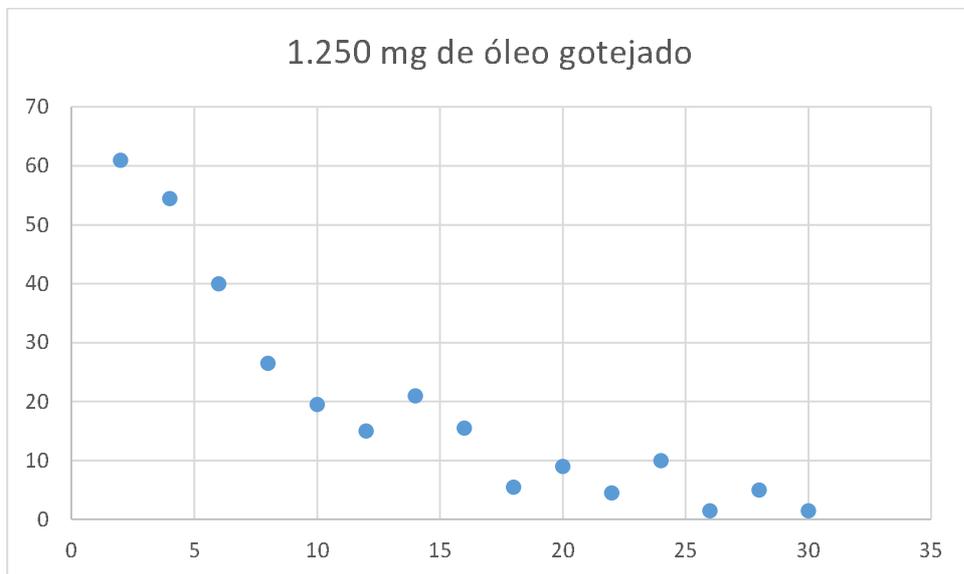


Figura 26 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 1.250 mg na superfície de estudo.

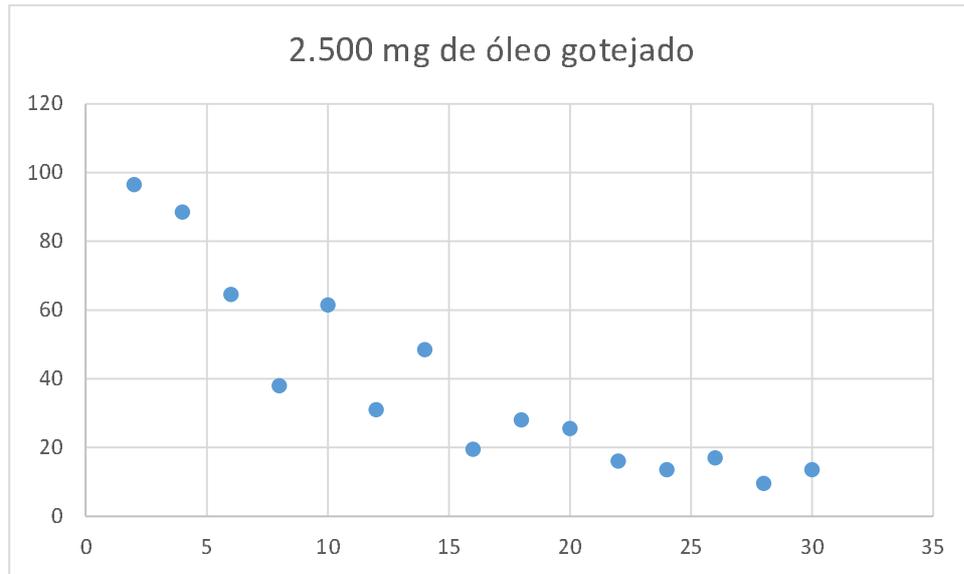


Figura 27 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 2.500 mg na superfície de estudo.

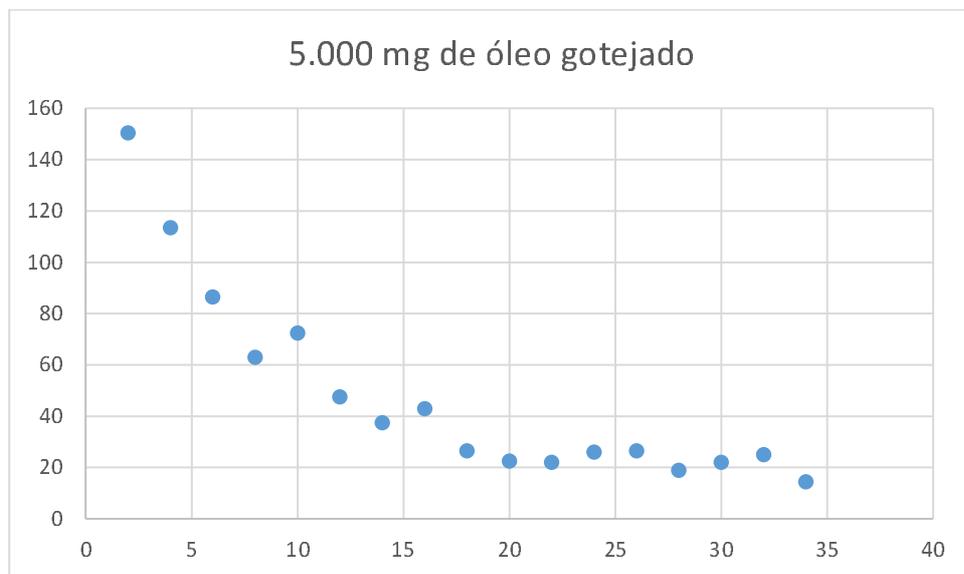


Figura 28 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 5.000 mg na superfície de estudo.

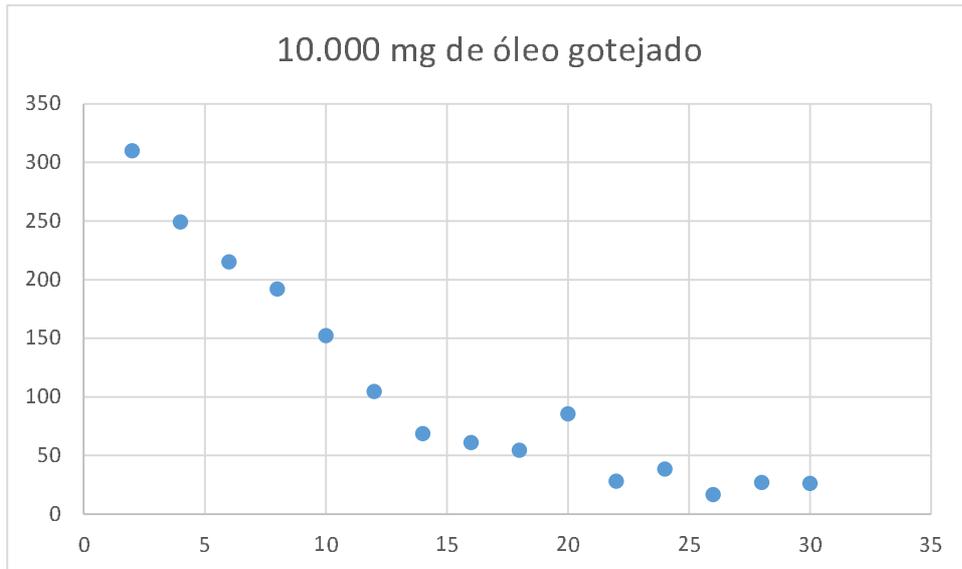


Figura 29 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 10.000 mg na superfície de estudo.

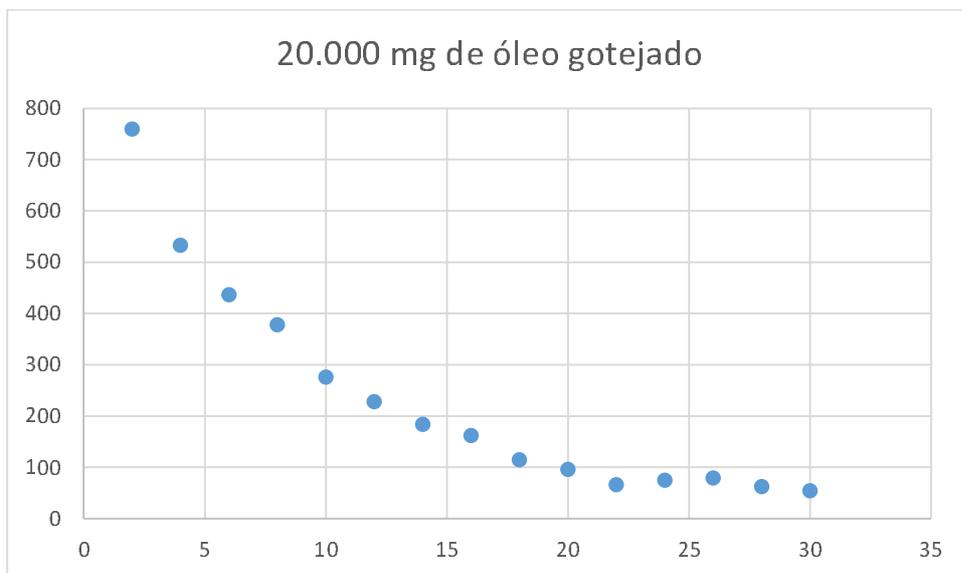


Figura 30 - Dispersão de pontos com concentração de óleo coletado (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm) para precipitação de 120 mm/h e concentração de óleo de 20.000 mg na superfície de estudo.

Apêndice D - Ajuste de curvas

Com a dispersão de pontos do Apêndice C, fez-se os ajustes utilizando o método dos mínimos quadrados e os melhores ajustes foram os do método logaritmo e o polinomial do terceiro grau.

D.1. Precipitação de 60 mm/h e 1.250 mg de óleo gotejado

A Figura 31 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 32 pelo método polinomial.

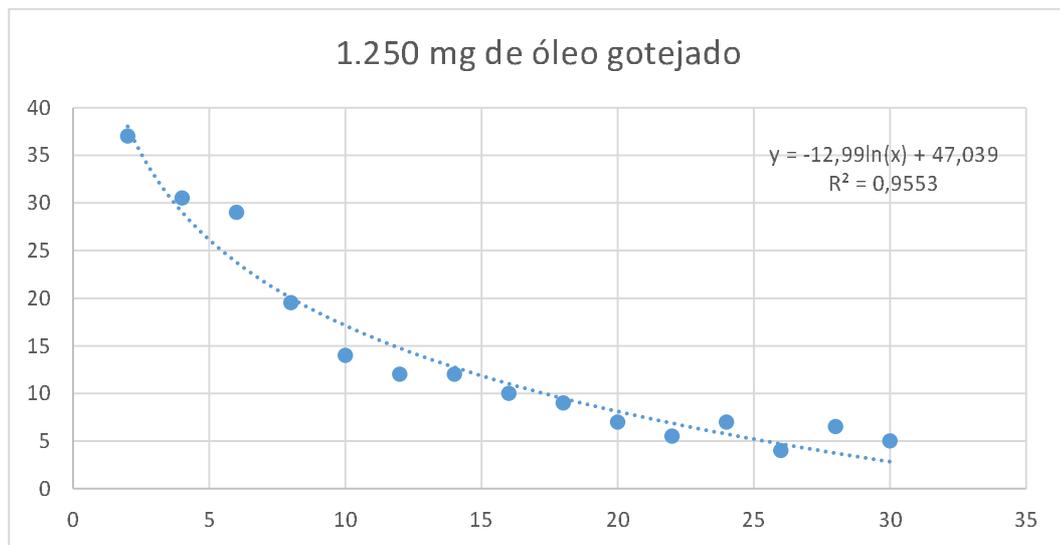


Figura 31 – Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

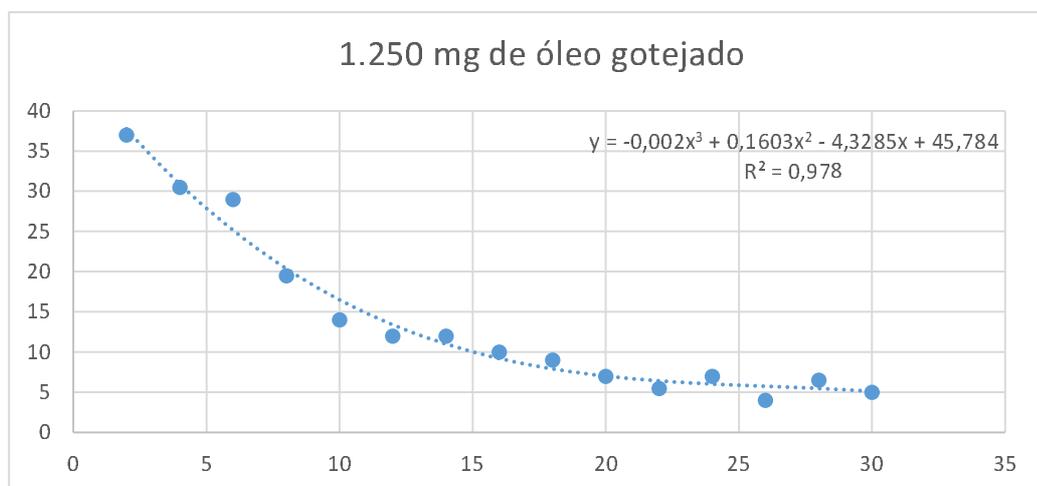


Figura 32 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.2. Precipitação de 60 mm/h e 2.500 mg de óleo gotejado

A Figura 33 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 34 pelo método polinomial.

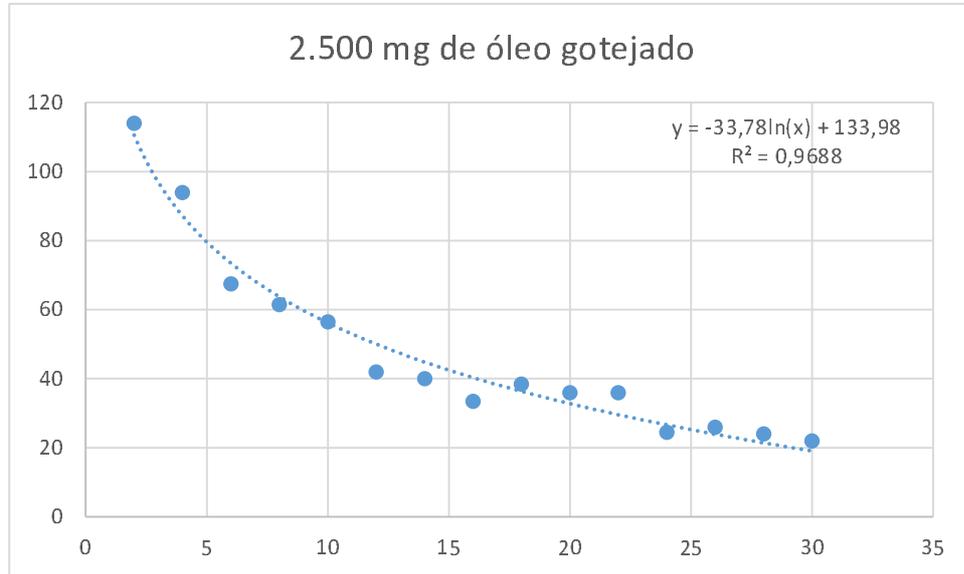


Figura 33 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

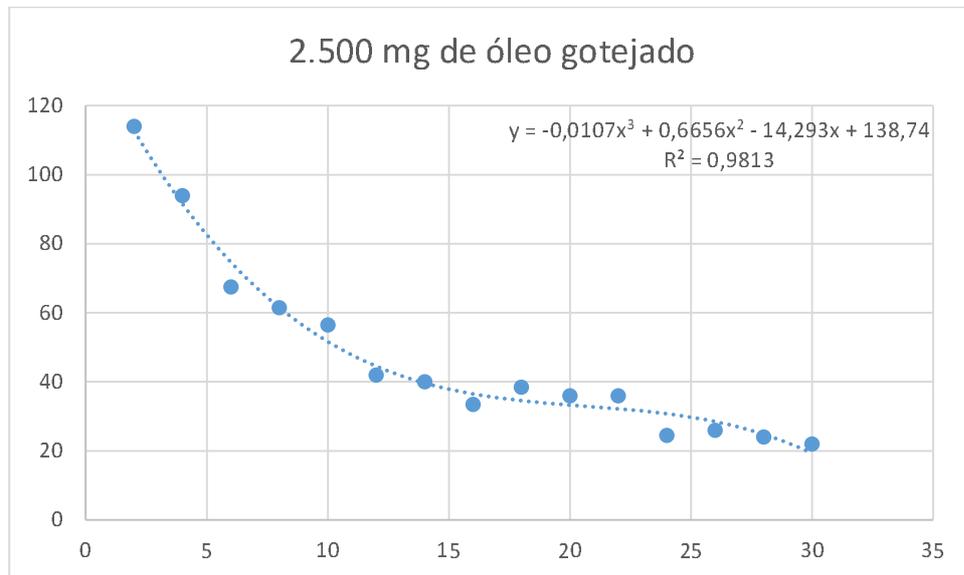


Figura 34 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.3. Precipitação de 60 mm/h e 5.000 mg de óleo gotejado

A Figura 35 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 36 pelo método polinomial.

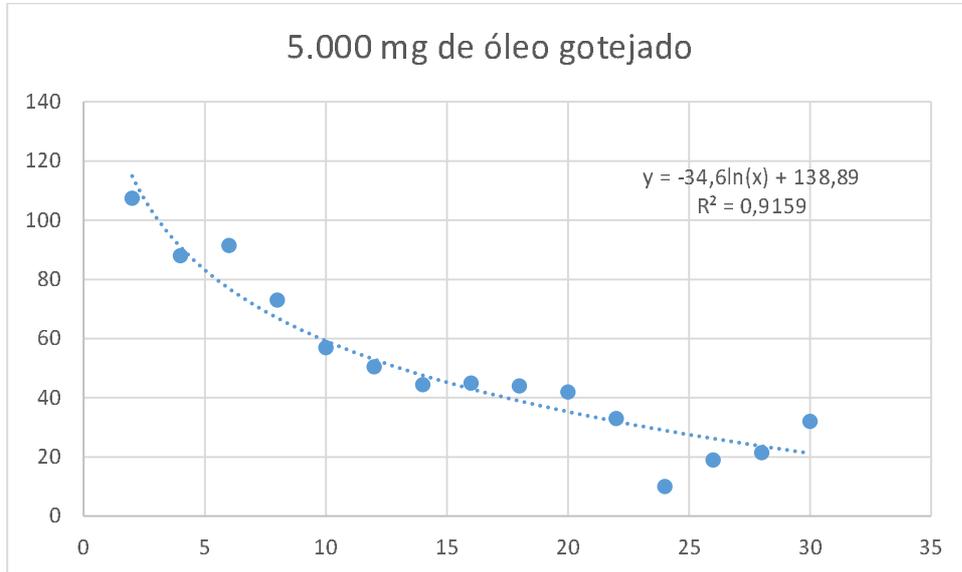


Figura 35 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

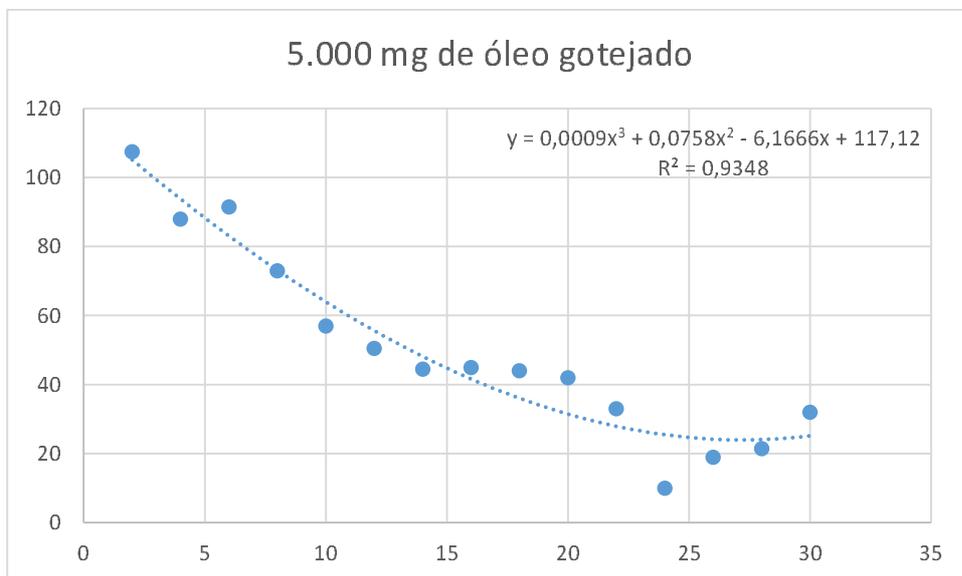


Figura 36 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.4. Precipitação de 60 mm/h e 10.000 mg de óleo gotejado

A Figura 37 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 38 pelo método polinomial.

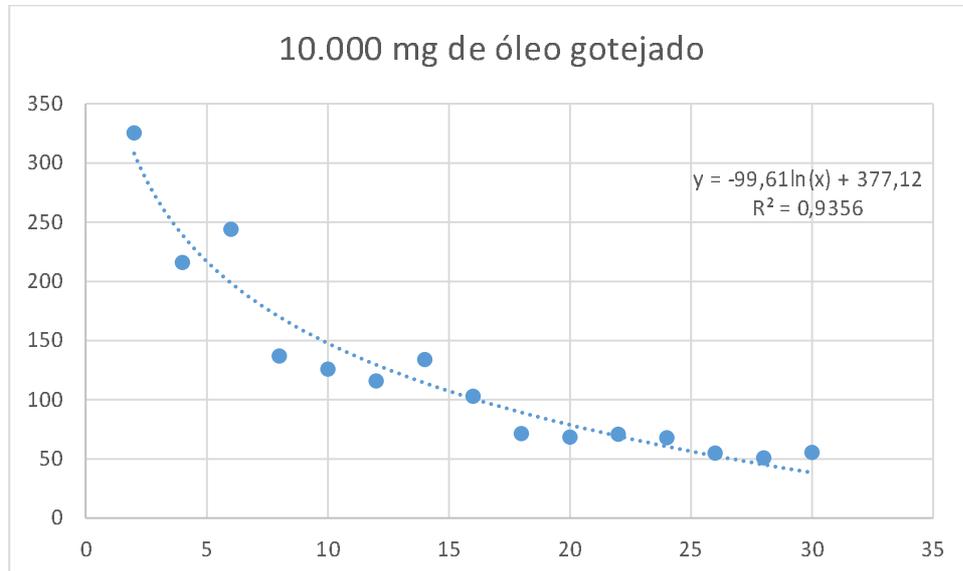


Figura 37 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

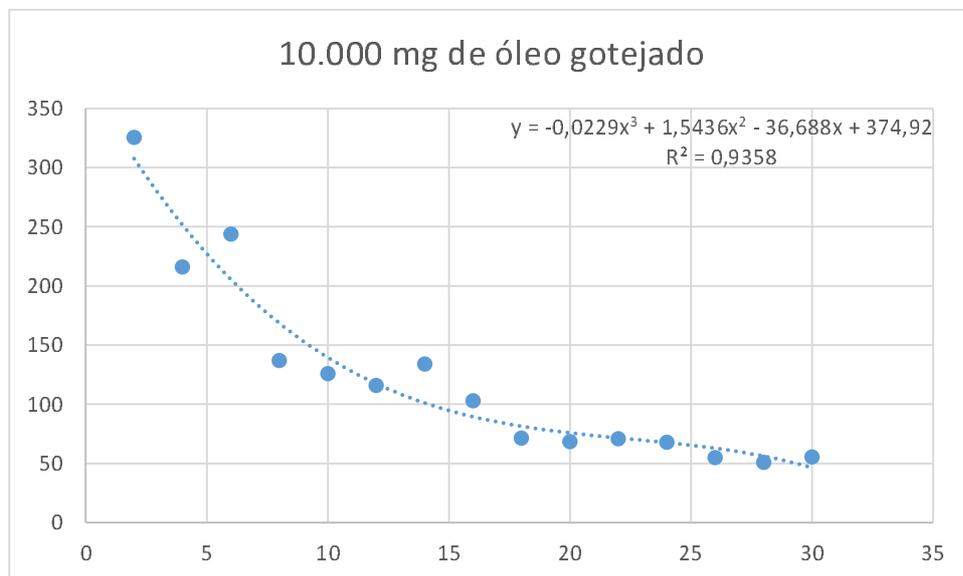


Figura 38 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.5. Precipitação de 60 mm/h e 20.000 mg de óleo gotejado

A Figura 39 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 40 pelo método polinomial.

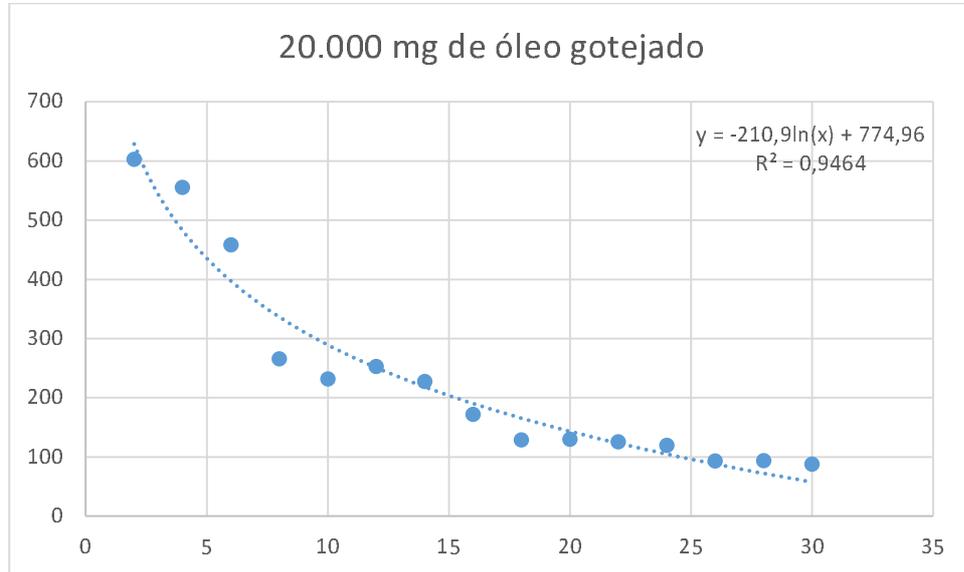


Figura 39 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

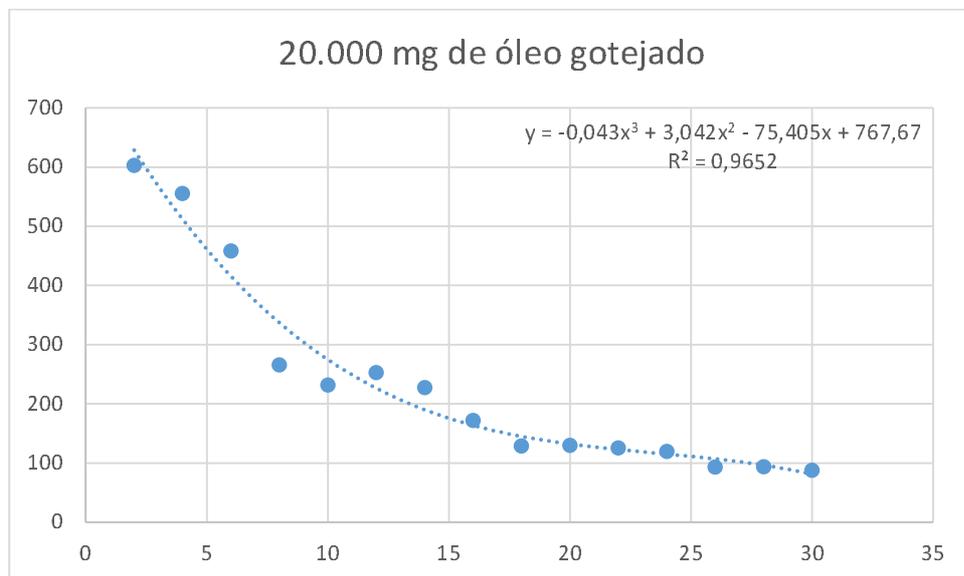


Figura 40 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.6. Precipitação de 120 mm/h e 1.250 mg de óleo gotejado

A Figura 41 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 42 pelo método polinomial.

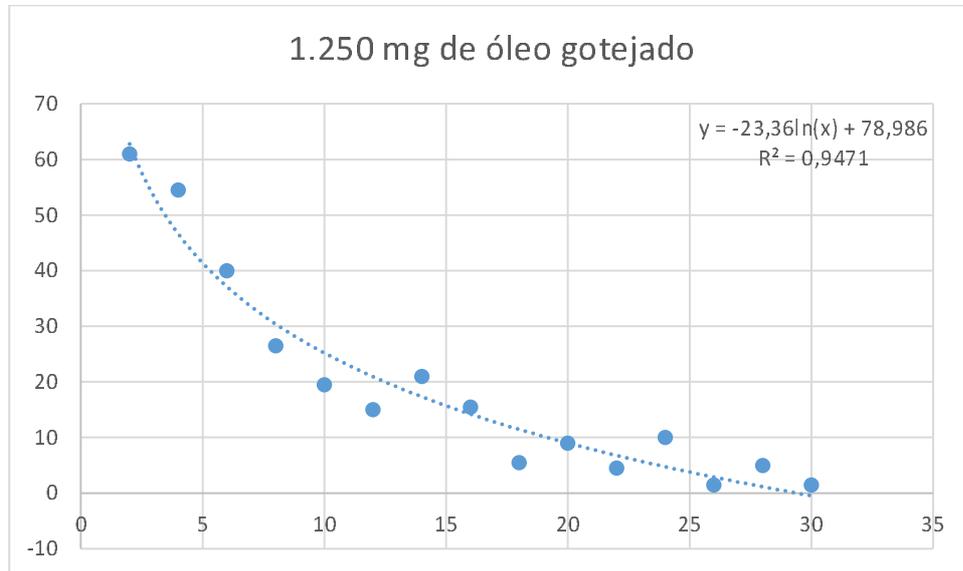


Figura 41 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

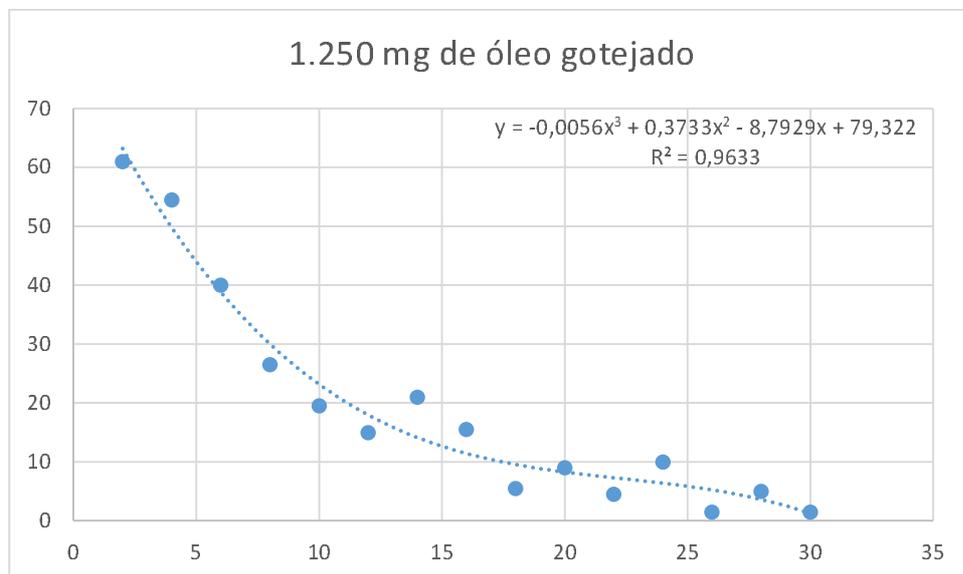


Figura 42 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.7. Precipitação de 120 mm/h e 2.500 mg de óleo gotejado

A Figura 43 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 44 pelo método polinomial.

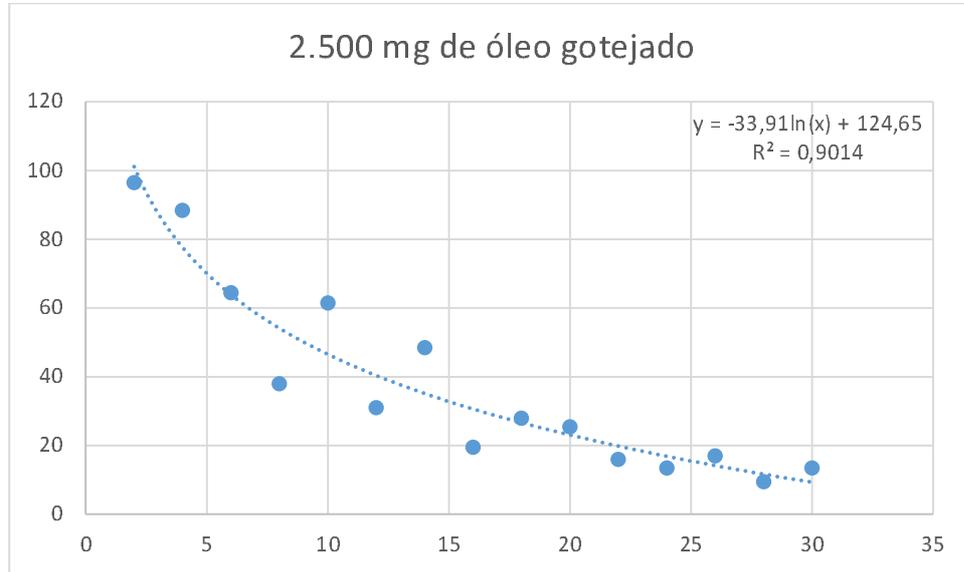


Figura 43 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

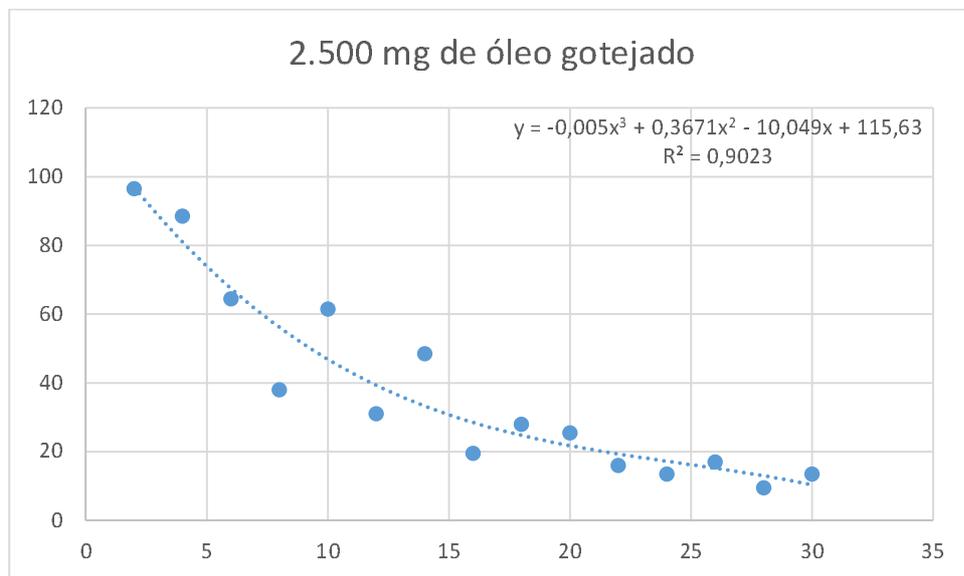


Figura 44 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.8. Precipitação de 120 mm/h e 5.000 mg de óleo gotejado

A Figura 45 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 46 pelo método polinomial.

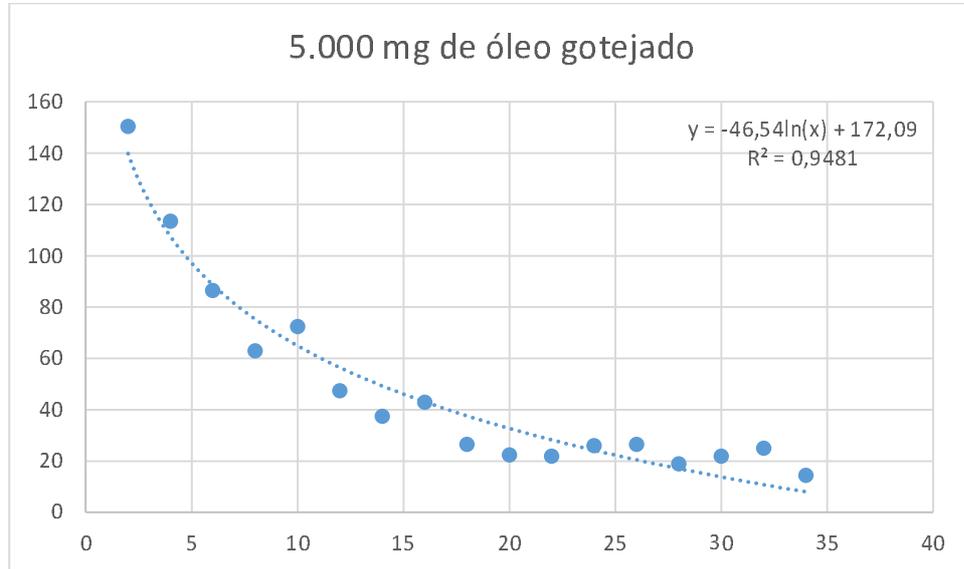


Figura 45 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

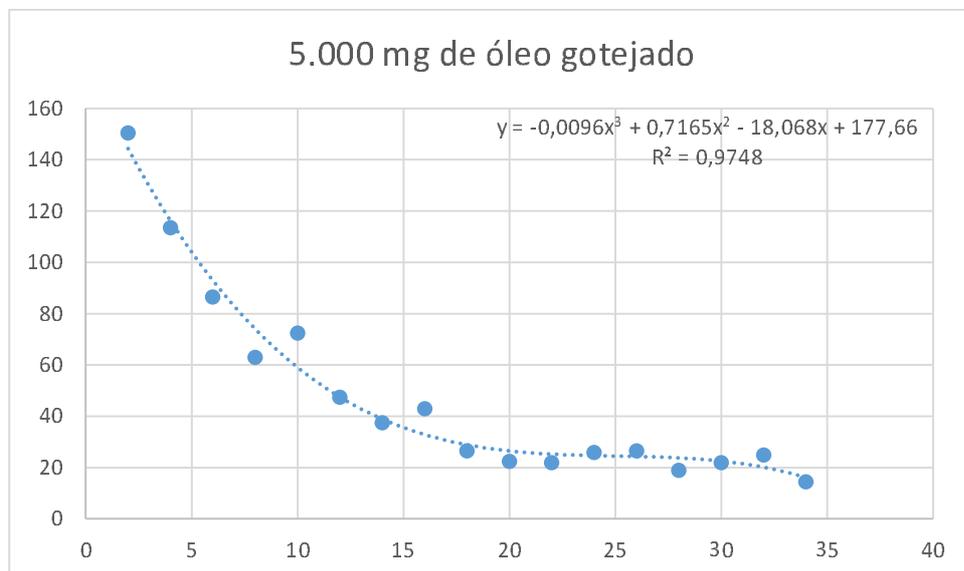


Figura 46 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.9. Precipitação de 120 mm/h e 10.000 mg de óleo gotejado

A Figura 47 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 48 pelo método polinomial.

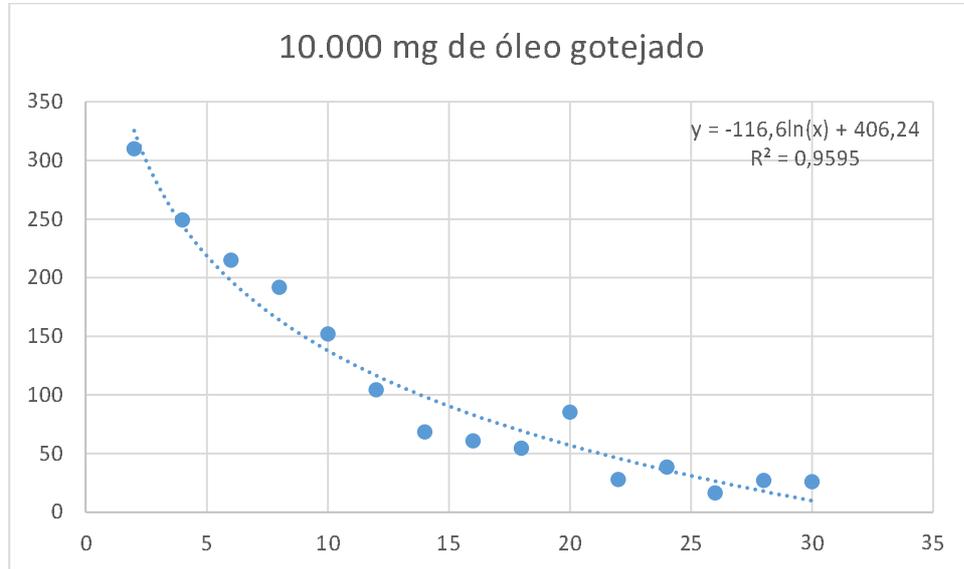


Figura 47 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

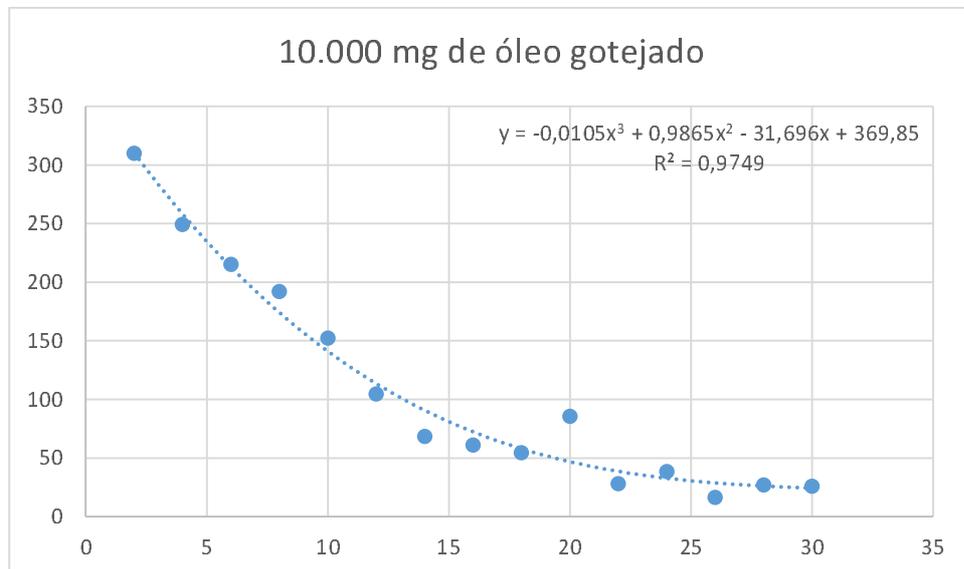


Figura 48 - Curva polinomial de grau 3 com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

D.10. Precipitação de 120 mm/h e 20.000 mg de óleo gotejado

A Figura 49 representa o ajuste pelo método logarítmico e a Figura 50 pelo método polinomial.

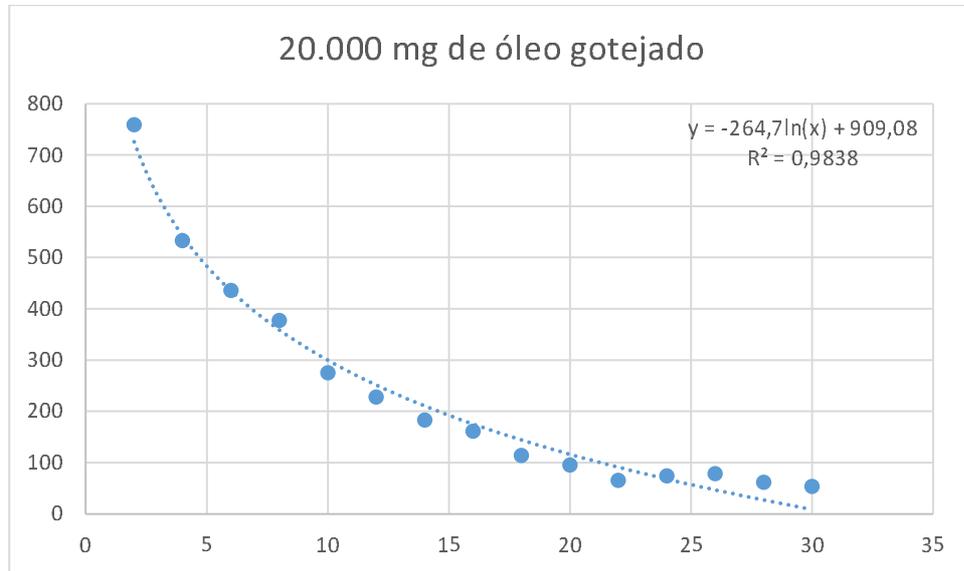


Figura 49 - Curva logarítmica com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

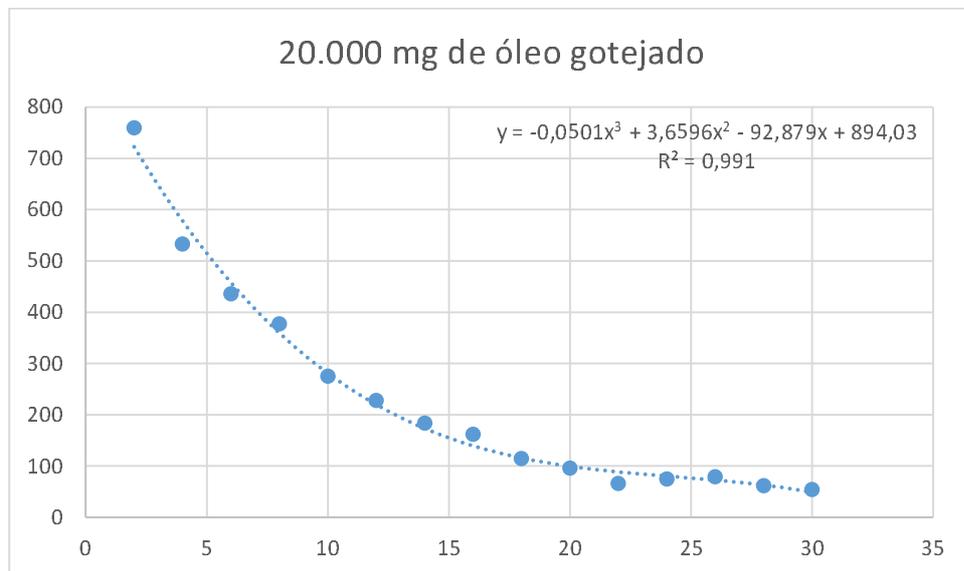


Figura 50 - Curva polinomial com concentração de óleo (eixo y, em mg/L) pela precipitação (eixo x, em mm).

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">20 de novembro de 2017</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-085/2017</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">84</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise de concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto.			
6. AUTOR(ES): João Victor Souza Mendes			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Precipitação. 2. Óleo. 3. Aeroportos. 4. Separador de Água/Óleo.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Precipitação (Química); Pavimentos; Separação de fluidos; Aeroportos; Infraestrutura (transporte); Engenharia civil.			
10. APRESENTAÇÃO: <p style="text-align: right;">X Nacional Internacional</p> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Me Roberto Gonçalves de Carvalho. Publicado em 2017.			
11. RESUMO: Este trabalho de graduação tem como objetivo fazer uma análise da concentração de óleos em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em pavimentos de concreto. As análises feitas consistem em descrever o comportamento do óleo através de funções pelo método dos mínimos quadrados, analisar a precipitação mínima necessária à remoção da quantidade de óleo existente no pavimento até o nível de concentração máximo de 20 mg/L definido pela resolução N° 430 de 2011 do CONAMA e descrever o comportamento de óleos em pavimentos sujeitos a diferentes valores de intensidade de precipitação e quantidade de óleo gotejado na superfície de estudo. Para isso, foram realizados 10 ensaios em laboratório. Utilizou-se um Simulador de Chuva para realizar precipitações de intensidade de 60 mm/h e 120 mm/h e o Standard Methods para auxiliar no processo de pesagem da quantidade de óleo coletado no escoamento superficial proveniente da precipitação do Simulador de Chuva. O ajuste em relação a curvas logarítmicas e a curva de polinômios de terceiro grau foram as mais adequadas na descrição do comportamento da concentração de óleos pela quantidade de chuva precipitada. Houve casos, no entanto, em que a função hiperbólica foi a mais adequada na descrição do comportamento. A quantidade de óleo coletada varia de 30% a 45% da quantidade inicial de óleo gotejada inicialmente na superfície de estudo devido à saturação da placa de concreto. A quantidade de 20 mg/L definido pelo CONAMA não foi atingida para 30 mm de precipitação para 7 dos 10 casos analisados. Os casos em que a concentração foi atingida foram os que possuíam a menor quantidade de óleo inicial no pavimento, 1.250 mg e 2.500 mg. Espera-se que o presente trabalho possa auxiliar na determinação da quantidade de precipitação necessária para se atingir padrões definidos por normas, de modo a auxiliar no dimensionamento de separadores de água/óleo.			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</p>			