

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Luis Leão de Sousa Junior**

**Análise da concentração de óleo em efluentes  
provenientes do escoamento superficial resultante de  
simulações de chuva em laboratório sobre superfícies  
de pavimentos com revestimento de concreto**

**Trabalho de Graduação  
2017**

**Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica**

**Luis Leão de Sousa Junior**

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE ÓLEO EM EFLUENTES  
PROVENIENTES DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL  
RESULTANTE DE SIMULAÇÕES DE CHUVA EM  
LABORATÓRIO SOBRE SUPERFÍCIES DE PAVIMENTOS  
COM REVESTIMENTO DE CONCRETO**

Orientador

Prof. Roberto Gonçalves de Carvalho, M.Sc.

**ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2017

## **Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

### **Divisão de Informação e Documentação**

Sousa Junior, Luis Leão de

Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto / Luis Leão de Sousa Junior

São José dos Campos, 2017.

Número de folhas no formato 66f.

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

1. Precipitação (Química). 2. Separação de fluidos. 3. Escoamento de líquidos. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

Sousa Junior, Luis Leão de. **Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto.** 2017. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Luis Leão de Sousa Junior

TÍTULO DO TRABALHO: Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto

TIPO DO TRABALHO/ANO: 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.

---

Luis Leão de Sousa Junior  
Rua Pixinguinha, 130, Pedra do Bode  
56332-520, Petrolina - PE

# **Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto**

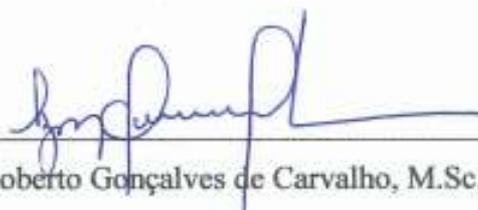
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



---

Luis Leão de Sousa Junior

Autor



---

Prof. Roberto Gonçalves de Carvalho, M.Sc.

Orientador



---

Prof. Eliseu Lucena Neto, Ph.D.

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram na obtenção do título de Engenheiro. Principalmente à minha família, à cafeína e à internet.

“Nobody exists on purpose,  
nobody belongs anywhere,  
everybody's gonna die,  
come watch TV.”

– Morty

## Resumo

Devido às atividades executadas em aeroportos, óleos minerais são frequentemente depositados acidentalmente nos pavimentos dos pátios de aeronaves, nas taxiways e em outros componentes de sistema aeroportuário. Dado que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece um limite máximo de concentração de óleos minerais lançados em efluentes, é necessária a instalação de dispositivos capazes de reter os picos de concentração desses óleos advindos de escoamentos superficiais de precipitações. Com essa finalidade pode-se utilizar os Sistemas Separadores Água/Óleo (SSAO), que são compostos por um Tanque de Equalização (TE) e um Separador Água/Óleo (SAO). O TE é útil devido à limitação de capacidade de vazão do SAO em relação à alta vazão decorrente do escoamento superficial das grandes áreas de pavimentos aeroportuários.

Para o dimensionamento dos SSAOs, há metodologias práticas que determinam uma precipitação de first flush que deve ser tratada. O racional desses métodos está no fato de que a concentração de contaminantes é maior nos primeiros volumes de precipitação, e, portanto, somente uma determinada porção do volume inicial deve ser processada no SAO. EPA (1999) sugere o tratamento dos primeiros 13 mm de precipitação e Carvalho (2014) sugere 16 mm. Esses valores de first flush são práticos, entretanto, não refletem as peculiaridades de cada aeroporto, que podem reduzir ou aumentar esses volumes iniciais a serem tratados. A quantidade de óleo derramada no pavimento, o regime de chuvas, o material do pavimento e a temperatura não são características iguais para todos os aeroportos, porém há uma carência de estudos que modelem os efeitos de todas essas características em volumes de first flush a serem tratados.

Esse Trabalho de Graduação tem como objetivo identificar o efeito de duas variáveis do regime de chuvas na concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial: a intensidade das precipitações e o tempo de penetração do óleo no pavimento. Para a realização dessa análise, foram executadas simulações de chuva em um pavimento de concreto variando os parâmetros de interesse. Para uma mensuração precisa da concentração de óleo nas amostras, foi utilizada a metodologia de Carvalho (2014), que usa acetona, hexadecano e ácido esteárico.

## Abstract

Due to activities executed at airports, mineral oils frequently fall on aircraft stands, taxiways and other airport system pavements. Since CONAMA establish a maximum oil concentration allowed to be released in rainwater effluent, it is necessary to install a device capable of retaining oil concentration peaks from superficial runoffs. With this purpose, it is possible to use an oil/water separator system (SSAO), which is a mechanism constituted by an equalization tank and an oil/water separator (SAO). The equalization tank is useful because of the limitation of the SAO flow capacity in comparison with high flow of the airport pavements runoffs.

To design oil/water separator systems, there are practical methodologies that determine the precipitation first flush volume to be treated. The rationale behind these methods is in the fact that the contaminant concentration is higher in the initial precipitation runoff volume and consequently just a portion of the initial runoff volume should be treated by the SAO. EPA (1999) suggests the treatment of the first 13 mm of precipitation and Carvalho (2014) suggests 16 mm. These first flush values are practical, however, do not reflect each airport singularities that may reduce or increase the initial volume portion to be treated. The oil quantity placed on the pavement, the rainfall pattern, the pavement material and the temperature are not the same for every airport, though there are no studies that model these characteristics effects in first flush volumes to treat.

This dissertation (TG) aims to identify the effect of two rainfall pattern variables on the oil concentration in superficial runoff effluent: the rainfall intensity and the time of oil penetration in the pavement. To do this analysis, rainfall simulations on concrete pavements were conducted, varying the interest parameters. To achieve accurate measurements of the oil concentration, the Carvalho (2014) methodology was used, which utilize acetone, hexadecane and stearic acid.

## Lista de Figuras

Figura 1.1 – Pavimento de concreto contaminado com óleo do Aeroporto de São Paulo/Congonhas (CGH).....	14
Figura 1.2 – Pavimento de concreto contaminado com óleo do Aeroporto de Recife (REC)..	15
Figura 1.3 – Simulador de Chuva.....	17
Figura 1.4 – 30 litros de efluente coletados de uma simulação.....	18
Figura 1.5 – Balão contendo solução de acetona, hexadecano, ácido esteárico e óleo. ....	19
Figura 2.1 – Separador Água/Óleo API. ....	21
Figura 2.2 – Separador Água/Óleo com módulo de placas coalescentes.....	21
Figura 2.3 – Carga de contaminante transportada.....	23
Figura 2.4 – Zonas das curvas $MFF_n$ .....	24
Figura 2.5 – Mapa de isozonas.....	27
Figura 2.6 – Hidrograma simplificado baseado no Método Racional ( $t_d = t_c$ ).....	28
Figura 2.7 – Hidrograma trapezoidal ( $t_d > t_c$ ).....	29
Figura 2.8 – Simulador de chuva por método de gotejamento.....	31
Figura 2.9 – Simulador de chuva por método de bocais pressurizados.....	31
Figura 2.10 - Tanque de gotejamento com parafusos para ajuste de nível e altura.....	32
Figura 2.11 – Base do tanque de gotejamento do simulador de chuvas.....	33
Figura 2.12 – Agulhas do tanque de gotejamento.....	33
Figura 3.1 – Na esquerda o óleo acabara de ser colocado, e, na direita, o óleo já havia penetrado o concreto.....	35
Figura 3.2 – Função de cada um dos dois operadores no manuseio do SC.....	36
Figura 3.3 – Primeiros litros de amostras com visível contaminação de óleo.....	37
Figura 3.4 – Secagem de amostras na estufa.....	38

Figura 3.5 – Itens usados na mensuração da concentração de óleo.....	40
Figura 3.6 – Soluções contendo o óleo contaminante presente no efluente coletado. ....	42
Figura 3.7 – Processo de destilação da solução contendo o óleo da amostra.....	43
Figura 5.1 – Simulações com 96 horas de penetração do óleo no concreto. ....	57
Figura 5.2 – Simulações com 48 horas de penetração do óleo no concreto. ....	57
Figura 5.3 – Simulações com 24 horas de penetração do óleo no concreto. ....	58
Figura 5.4 – Simulações com 12 horas de penetração do óleo no concreto. ....	58
Figura 5.5 – Curva $MFF_n$ da simulação de 120 mm/h e 96 h.....	60
Figura 5.6 – Curva $MFF_n$ da simulação de 120 mm/h e 48 h.....	60
Figura 5.7 – Curva $MFF_n$ da simulação de 120 mm/h e 24 h.....	61
Figura 5.8 – Curva $MFF_n$ da simulação de 120 mm/h e 12 h.....	61
Figura 5.9 – Curva $MFF_n$ da simulação de 60 mm/h e 96 h.....	62
Figura 5.10 – Curva $MFF_n$ da simulação de 60 mm/h e 48 h.....	62
Figura 5.11 – Curva $MFF_n$ da simulação de 60 mm/h e 24 h.....	63
Figura 5.12 – Curva $MFF_n$ da simulação de 60 mm/h e 12 h.....	63

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Zonas de $MFF_n$ em função do parâmetro “a”.	24
Tabela 2.2 – Constantes de conversão de precipitações de 24 horas em precipitações de 1 hora e 6 minutos.	27
Tabela 4.1 – Características das simulações realizadas.	44
Tabela 4.2 – Tempo de enchimento das garrafas das simulações de 120 mm/h.	45
Tabela 4.3 – Tempo de enchimento das garrafas das simulações de 60 mm/h.	46
Tabela 4.4 – Média, mínimo a máximo dos tempos de enchimento e da intensidade de precipitação das SC de 120 mm/h.	47
Tabela 4.5 – Média, mínimo a máximo dos tempos de enchimento e da intensidade de precipitação das SC de 120 mm/h.	47
Tabela 5.1 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 96 h.	49
Tabela 5.2 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 48 h.	50
Tabela 5.3 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 24 h.	51
Tabela 5.4 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 12 h.	52
Tabela 5.5 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 96 h.	53
Tabela 5.6 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 48 h.	54
Tabela 5.7 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 24 h.	55
Tabela 5.8 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 12 h.	56
Tabela 5.9 – Massa de óleo coletada nos 30 primeiros litros/ Massa total de óleo depositada.	58
Tabela 5.10 – Parâmetros “a” de cada curva $MFF_n$ das simulações de chuva.	59

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	US Environmental Protection Agency
FAA	Federal Aviation Administration
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
SAO	Separador Água/Óleo
SC	Simulador de chuva
SSAO	Sistema de Separação Água/Óleo
TE	Tanque de Equalização
TG	Trabalho de Graduação

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>A necessidade de Separadores Água/Óleo em aeroportos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>O conceito de first flush .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>First flush no dimensionamento de SSAOs .....</b>	<b>25</b>
2.3.1	Determinação da equação IDF da chuva .....	25
2.3.2	Determinação do tempo de duração da precipitação e hidrograma de entrada .....	28
2.3.3	Determinação do tempo de concentração .....	29
<b>2.4</b>	<b>O Simulador de chuva utilizado .....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Simulações de chuva.....</b>	<b>34</b>
3.1.1	Procedimento pré-simulação .....	34
3.1.2	Execução da simulação.....	35
<b>3.2</b>	<b>Mensuração da concentração de óleo .....</b>	<b>38</b>
3.2.1	Secagem dos 30 L de precipitação .....	38
3.2.2	Retirada do óleo das garrafas.....	38
3.2.3	Destilação .....	42
3.2.4	Aferição da massa de óleo .....	43
<b>4</b>	<b>SIMULAÇÕES DE CHUVA .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultados numéricos.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise de resultados .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>65</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

A concepção de uma infraestrutura aeroportuária no Brasil deve estar de acordo com as normas brasileiras, que apresentam restrições a serem satisfeitas. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diversas condições e padrões a respeito do lançamento de efluentes. No Artigo 16, inciso I, alínea e, item 1 da Resolução N° 430 de 2011 do CONAMA, é imposto o limite de concentração de 20 mg/L de óleos minerais em efluentes. O que significa que em aeroportos e aeródromos, onde há considerável movimentação de aviões e veículos de suporte, é recomendável a instalação de Separadores Água/Óleo (SAOs) para promover a separação do óleo livre da água, tornando o descarte de fluídos contaminados dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

Conforme pode ser observado nas Figuras 1.1 e 1.2, há um considerável acúmulo de óleo em superfícies de pavimentos aeroportuários, especialmente nos pavimentos de concreto dos pátios de aeronaves, onde há predominância na movimentação de aeronaves e veículos de apoio ao solo (CARVALHO, 2014).



Figura 1.1 – Pavimento de concreto contaminado com óleo do Aeroporto de São Paulo/Congonhas (CGH).

Fonte: Imagem obtida pelo autor.



Figura 1.2 – Pavimento de concreto contaminado com óleo do Aeroporto de Recife (REC).

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

## 1.2 Objetivos

Conforme exposto por Carvalho (2014), uma das formas de se dimensionar um Sistema Separação Água/Óleo (SSAO) baseia-se nas características de first flush. Dessa forma, conhecer os parâmetros que influenciam nas propriedades do first flush (e.g., característica da intensidade de chuva do local, quantidade de óleo que contamina o solo, tempo de penetração do óleo no pavimento, declividade e composição do revestimento do pavimento) torna-se de fundamental importância para um dimensionamento adequado de um SSAO.

Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo, avaliar a qualidade dos efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre pavimentos de concreto, em termos da concentração de óleos minerais presentes em diversos estágios da precipitação.

Para tanto, foram selecionadas duas variáveis para análise, ou seja, a intensidade da precipitação e o tempo de penetração do óleo sobre a superfície de estudo, ou seja, o tempo decorrido entre o lançamento de certa quantidade de óleo sobre a superfície de concreto e o início da precipitação.

Para que o objetivo fosse alcançado, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Simular precipitações em laboratório sobre uma superfície de concreto simulando um pavimento aeroportuário;
- Coletar amostras dos efluentes resultantes do escoamento superficial sobre o pavimento de estudo; e
- Realizar ensaios de laboratório para determinar a concentração de óleo dos efluentes coletados.

Visando a caracterização dos parâmetros selecionados e a avaliação da qualidade do efluente coletado foram realizadas oito simulações de chuva em laboratório com a combinação dos parâmetros intensidade da precipitação e tempo de penetração do óleo no pavimento, da seguinte forma:

- Intensidades de precipitação de 60 mm/h e 120 mm/h;
- Tempos de penetração do óleo no pavimento de 12 h, 24 h, 48 h e 96 h.

Para simular as precipitações em laboratório, utilizou-se um Simulador de Chuvas (SC) desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil do ITA. O simulador consiste em uma caixa de acrílico (no topo) com um arranjo de agulhas hipodérmicas, as quais simulam, por gotejamento, uma precipitação semelhante a uma chuva natural e uma superfície alvo (na base), na qual foi instalada uma placa de pavimento de revestimento de concreto e inclinação de 1%, com saída para os efluentes escoados. Tanto a base da caixa, quanto a superfície da placa de estudo, apresentam dimensões de 125 x 80 cm. Na caixa de acrílico localizada ao topo do simulador, é mantida uma determinada altura d'água constante, de forma a obter uma determinada intensidade de precipitação. No desenvolvimento do SC determinou-se uma curva de intensidade de precipitação em função da altura da coluna d'água na caixa. A Figura 1.3, apresenta uma imagem do SC utilizado nesse trabalho.



Figura 1.3 – Simulador de Chuva.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Previamente a cada simulação, foram depositados 10.000 mg de óleo no pavimento em análise. Decorrido o tempo de penetração do óleo no pavimento, iniciou-se a simulação da precipitação. Cada simulação consistiu na captação dos primeiros 30 mm de chuva sobre a superfície de estudo, resultando em um total de 30 litros de efluente. Esse volume foi coletado em 30 garrafas de 1 litro cada, conforme ilustrado no canto inferior esquerdo da Figura 1.3 e na Figura 1.4.



Figura 1.4 – 30 litros de efluente coletados de uma simulação.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Após a coleta das amostras, as garrafas foram levadas a uma estufa para evaporação de toda a água. Da análise das 30 amostras coletadas, foi possível determinar como a concentração de óleo se comporta com o decorrer da precipitação.

Para se determinar a massa de óleo contida em cada garrafa, após a secagem da fase aquosa na estufa, utilizou-se uma solução de acetona, hexadecano e ácido esteárico. Essa solução é capaz de extrair o óleo das paredes da garrafa retirando pouco das impurezas. Visando a simplificação do procedimento, combinou-se as soluções de 2 em 2 garrafas consecutivas, obtendo-se 15 amostras, ao todo.

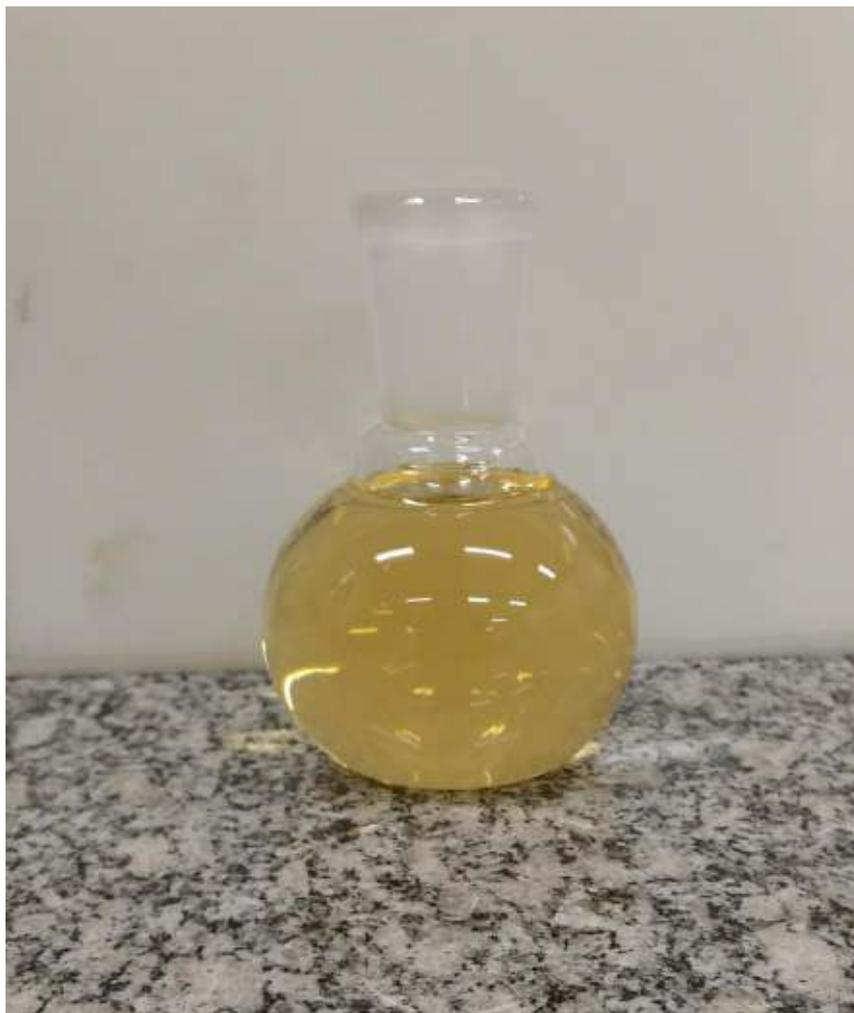


Figura 1.5 – Balão contendo solução de acetona, hexadecano, ácido esteárico e óleo.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Com as 15 soluções em balões já contendo o óleo que estava nas garrafas, foram realizadas destilações simples e a vácuo para retirar a acetona. No final do processo foi aferida a massa de cada balão, que contém o óleo, o hexadecano e o ácido esteárico. Como são conhecidas as massas dos balões vazios, do hexadecano e do ácido esteárico em cada solução, foi possível determinar a massa de óleo em cada amostra.

De posse da massa de óleo contida em cada uma das 15 amostras, traçou-se uma curva de concentração ao longo da precipitação, em mm, acumulada.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 A necessidade de Separadores Água/Óleo em aeroportos

Risco ambiental pode ser definido como uma situação de perigo, perda ou dano, ao homem e às suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de acidentes, induzidos ou não (OLIVEIRA & BRITO, 1998). O risco de um aeroporto para a comunidade e o meio ambiente, internos e externos aos limites do empreendimento, está diretamente associado às características das substâncias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e as características e vulnerabilidade do local e região onde o aeroporto está localizado (CARRA et al., 2012).

Devido à natureza das substâncias manuseadas em aeroportos (e.g., combustíveis de aviação, gás liquefeito de petróleo, óleos, fluídos de freios), estas são infraestruturas que apresentam riscos acima dos limites toleráveis. De acordo com análises feitas em Sulej et al. (2012), no meio ambiente da vizinhança dos aeroportos de Gdansk e Warsaw havia alta contaminação de ânions (e.g., fluoreto, cloreto, fosfato, sulfato), de cátions (e.g., sódio, potássio, magnésio, cálcio) e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

De acordo com Carra et al. (2012), medidas como a instalação de sistemas para a separação de água e óleo na drenagem de pistas e pátios, nas áreas de abastecimento de aeronaves e veículos e nos locais em que são realizadas manutenções de equipamentos e aeronaves, são essenciais em aeroportos para a redução dos riscos ao meio ambiente. Um separador Água/Óleo consiste em uma série de câmaras que promove sedimentação de materiais sólidos e a separação do óleo livre em água de efluentes (EPA, 1999).

Um SAO API é um separador que sua teoria de separação consiste basicamente na ascensão dos glóbulos de óleo através de diferença de densidade entre o óleo e a água, e na razão superfície-carregamento (i.e., a razão entre o fluxo do separador e sua área de superfície).

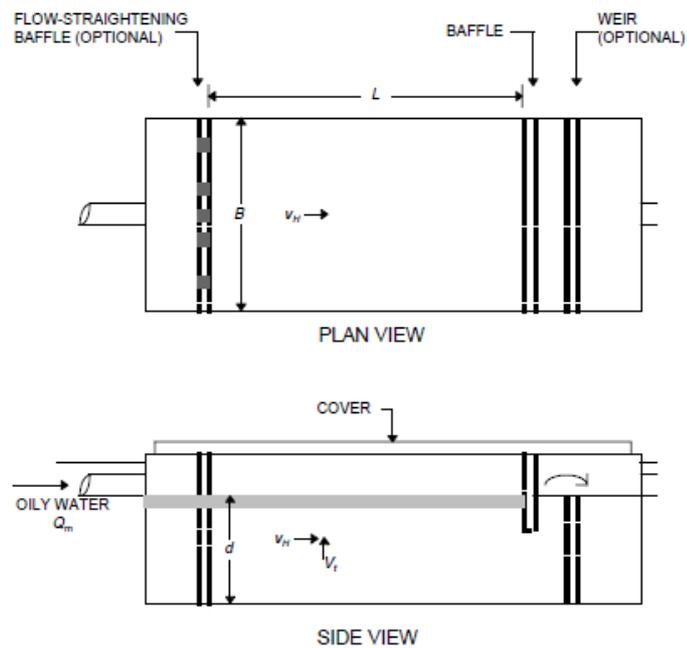


Figura 2.1 – Separador Água/Óleo API.

Fonte: Auckland (1998).

Um SAO de placas coalescentes ou SAO TPI se baseia no princípio de que sua eficiência é proporcional à área de superfície e esta pode ser aumentada com a instalação de placas paralelas na câmara de separação (AUCKLAND, 1998). Além de aumentar a área de superfície, a instalação das placas reduz a turbulência no separador, aumentando ainda mais a eficiência.

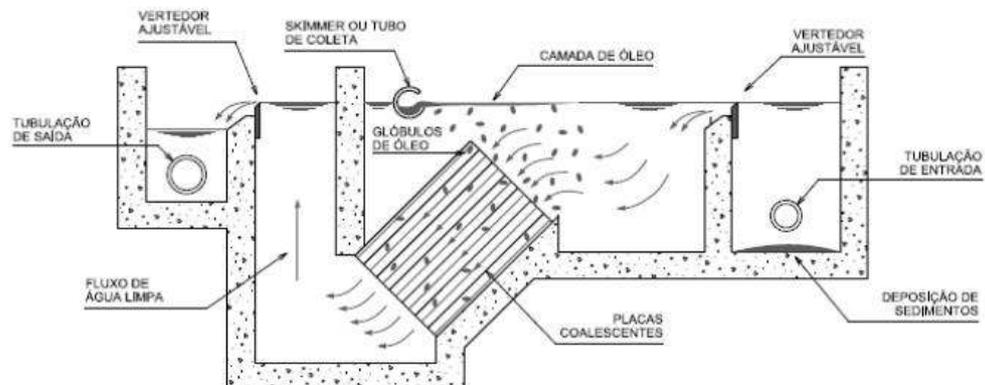


Figura 2.2 – Separador Água/Óleo com módulo de placas coalescentes.

Fonte: Carvalho (2014).

O aumento de eficiência do SAO com módulo de placas coalescentes se traduz em menor área necessária para instalação desse sistema. Em um SAO API de três câmaras, óleo emulsionado e pequenas partículas de óleo (i.e., diâmetros inferiores a 150 µm) não são separados e a concentração do efluente após o tratamento é reduzida para cerca de 50 mg/L (CARVALHO, 2014). Em um SAO com módulo de placas coalescentes é possível separar glóbulos de diâmetro maior ou igual a 60 µm e reduzir a concentração do efluente para cerca de 10 mg/L (CARVALHO, 2014).

## 2.2 O conceito de first flush

O first flush é o fenômeno associado ao conceito de que a primeira porção de escoamento superficial proveniente de precipitações é a mais contaminada (STENSTROM e KAYHANIAN, 2005). A literatura caracteriza dois tipos de first flush:

- “First flush” é o transporte de uma maior massa ou maior concentração na parte inicial da precipitação em relação à parte final da precipitação.
- “First flush sazonal” é o transporte de uma maior massa ou maior concentração nas primeiras precipitações da temporada de chuva em relação às últimas precipitações dessa temporada.

O first flush do escoamento superficial pode ser caracterizado através de mass first flush ratios, definido matematicamente através da Equação 1.

$$MFF_n = \frac{\frac{\int_0^{t_1} C(t)Q(t)dt}{M}}{\frac{\int_0^{t_1} Q(t)dt}{V}} \quad (1)$$

$MFF_n$  é o adimensional mass first flush ratio, “n” é o índice ou ponto da precipitação e corresponde à porcentagem, em volume, do escoamento efluente (i.e., “n” está contido no intervalo de 0 a 100%). “M” corresponde à massa total do contaminante, “V” é o volume total de efluente, “C(t)” é a concentração de contaminante no efluente em função do tempo e “Q(t)” é a vazão do efluente também em função do tempo.

No início do escoamento MFF é igual a 0, no fim MFF é igual a 1. Valores de MFF maiores que 1 indicam que a massa normalizada está sendo transportada mais rápido que o volume normalizado (i.e., há ocorrência de first flush).

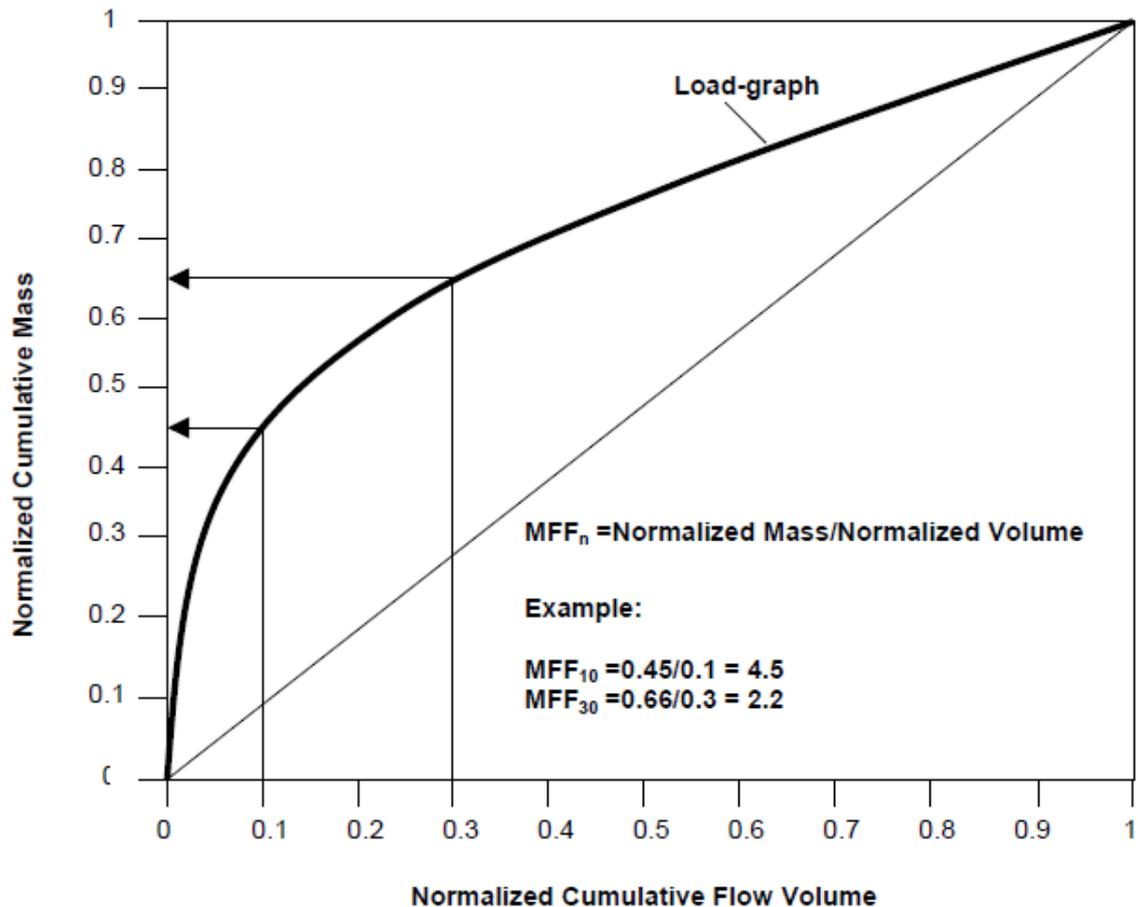


Figura 2.3 – Carga de contaminante transportada.

Fonte: Stenstrom e Kayhanlan (2005).

Um traçado de  $MFF_n$  como o da Figura 2.3 mostra a ocorrência de first flush por estar acima da reta  $Y=X$ . Na tentativa de quantificar a intensidade do first flush é possível aproximar a curva  $MFF_n$  à curva  $Y=X^a$  e analisar o valor “a”. Para realizar essa aproximação é possível aplicar a função  $\ln(x)$  em ambos lados da equação  $Y=X^a$  e com isso se obter a Equação 2, que é adequada para realizar uma regressão linear.

$$\ln(Y) = a \ln(X) \quad (2)$$

O gráfico da Figura 2.3 pode ser dividido em zonas para caracterizar a intensidade de desvio de  $MFF_n$  em relação à reta  $Y=X$ .

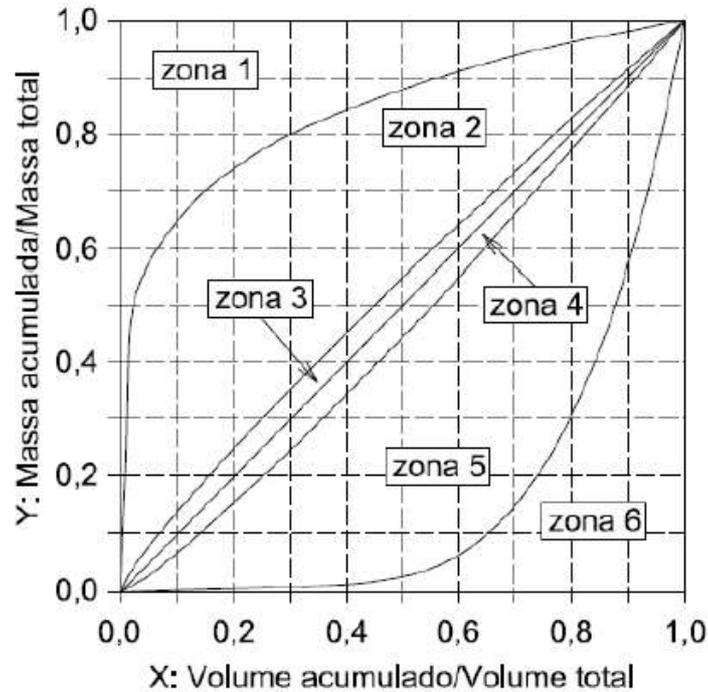


Figura 2.4 – Zonas das curvas  $MFF_n$ .

Fonte: Carvalho (2014).

Saget et al. (1996), define intervalos do parâmetro “a” para indicar a qual zona a curva  $MFF_n$  pertence.

Tabela 2.1 – Zonas de  $MFF_n$  em função do parâmetro “a”.

REGIÃO	VALORES DO PARÂMETRO	DESVIO	GRAU DE DESVIO
1	$0 < a \leq 0,185$	positivo	forte desvio acima da diagonal
2	$0,185 < a \leq 0,862$	positivo	moderado desvio acima da diagonal
3	$0,862 < a \leq 1,000$	positivo	pequeno desvio acima da diagonal
4	$1,000 < a \leq 1,159$	negativo	pequeno desvio abaixo da diagonal
5	$1,159 < a \leq 5,395$	negativo	moderado desvio abaixo da diagonal
6	$5,395 < a \leq +\infty$	negativo	forte desvio abaixo da diagonal

Fonte: Carvalho (2014).

## 2.3 First flush no dimensionamento de SSAOs

Devido às elevadas vazões resultantes de precipitação em pavimentos aeroportuários, podem ser estudadas alternativas que utilizem o parâmetro do first flush (i.e., escoamento inicial que promove a limpeza da superfície considerada) nos dimensionamentos, para estimativa dos volumes de efluentes que deverão ser tratados. Carvalho (2014) realizou estudos em aeroportos, onde foi proposta uma metodologia de dimensionamento de SSAO, composto por separador água/óleo (SAO), associado a um tanque de equalização (TE).

Conforme estabelecido pelo EPA (1999), em alguns casos pode ser adotado um valor de referência de first flush de 13 mm para dimensionamento de SSAOs. Carvalho (2014) propôs um volume de first flush de 16 mm para o dimensionamento de SSAOs em superfícies de pavimentos aeroportuários. O valor de 16 mm foi obtido estimando uma presença de aproximadamente um grama de óleo por metro quadrado de pavimento.

### 2.3.1 Determinação da equação IDF da chuva

Através dos dados pluviométricos correspondentes à região onde o aeroporto será instalado e de um determinado período de retorno definido para o projeto, é possível determinar a equação de chuva de projeto. O período de retorno recomendado para projetos de estrutura de drenagem, pode ser:

- Aeródromos militares é de 2 anos
- Aeródromos civis é de 5 anos
- Bueiros funcionando como condutos livres é de 10 anos
- Bueiros em carga é de 15 anos
- Pontes é de 100 anos

A Equação 3 representa a equação IDF de chuva (i.e., equação intensidade-duração-frequência) para um determinado período de retorno.

$$i = a(t + b)^c \quad (3)$$

Na Equação 3, “i” refere-se à intensidade da precipitação (normalmente medida em mm/h), “t” refere-se à duração da precipitação e os parâmetros “a”, “b” e “c” são os parâmetros a ser determinados.

Pode se utilizar o Método das Isozonas (TABORGA TORRICO, 1974) para transformar, para cada período de retorno, a precipitação de 1 dia em precipitações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos.

De acordo com Carvalho (2014) e DIRENG (2004), a metodologia para obtenção das intensidades de precipitações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos a partir da precipitação de 1 dia, para um determinado período de retorno, utilizando o Método das Isozonas é descrita abaixo.

1. Seleciona-se um posto pluviométrico próximo a região de projeto
2. Seleciona-se o valor da precipitação máxima diária para cada ano e constrói-se uma série de precipitações anuais com essas máximas diárias
3. Calcula-se a chuva máxima de um dia para o período de retorno desejado utilizando algum dos métodos estatísticos disponíveis (e.g., Hazen, Gumbel, Pearson)
4. Multiplica-se a precipitação de 1 dia por 1,1 para obtenção da precipitação de 24 horas (i.e., a precipitação de 24 horas difere da de 1 dia porque a de 24 horas pode começar em um dia e terminar em outro)
5. Determina-se através do mapa de isozonas a localização do projeto
6. Através da Tabela 2.2 é possível obter as porcentagens de transformação de uma precipitação de 24 horas para uma de 1 hora e uma de 6 minutos
7. De posse das porcentagens é possível calcular as alturas de precipitação para 1 hora e 6 minutos
8. A partir das precipitações em altura de 24 horas, 1 hora e 6 minutos é possível determinar as intensidades de precipitação para esses tempos de duração

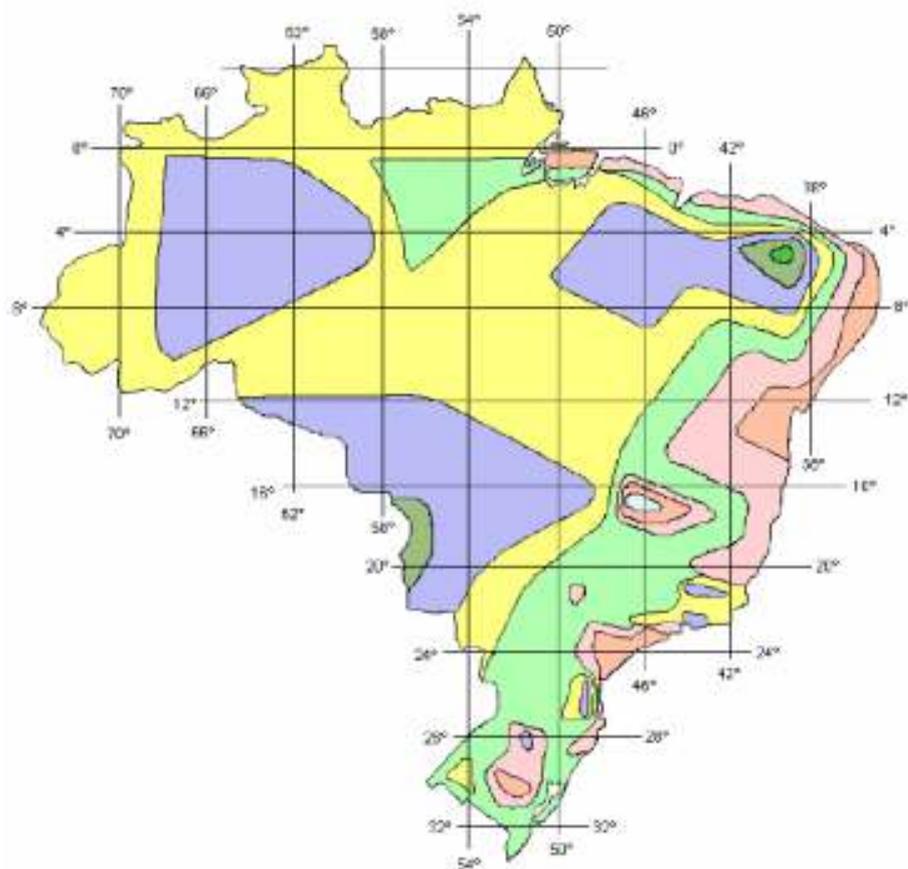


Figura 2.5 – Mapa de isozonas.

Fonte: DIRENG (2004).

Tabela 2.2 – Constantes de conversão de precipitações de 24 horas em precipitações de 1 hora e 6 minutos.

ISOZONA	PERÍODO DE RECORRÊNCIA (ANOS)								
	1 h / 24 h							6 min / 24 h	
	5	10	15	20	25	50	100	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,0	34,7	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	38,8	38,4	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	40,7	40,3	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,6	42,2	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,5	44,1	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,4	45,9	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,3	47,8	16,7	14,9

Fonte: DIRENG (2004).

A partir dos passos acima, é possível se obter as intensidades de precipitações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos para um determinado período de retorno. Com essas intensidades pode se obter os coeficientes da Equação 3, minimizando o somatório dos erros quadráticos.

Após a aplicação do método das isozonas, serão obtidos  $i_{24\text{horas}}$ ,  $i_{1\text{hora}}$  e  $i_{6\text{minutos}}$ , que são equivalentes a  $i_{1440\text{minutos}}$ ,  $i_{60\text{minutos}}$  e  $i_{6\text{minutos}}$ . Portanto, deve se minimizar o somatório dos erros quadráticos da Equação 4 variando os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$ .

$$\begin{aligned} \sum \text{Erro}^2 = & \\ = (i_{1440\text{min}} - a(1440 + b)^c)^2 + (i_{60\text{min}} - a(60 + b)^c)^2 + (i_{6\text{min}} - a(6 + b)^c)^2 & \end{aligned} \quad (4)$$

### 2.3.2 Determinação do tempo de duração da precipitação e hidrograma de entrada

Dada a equação de chuva e o valor de first flush a ser tratado, determina-se o tempo de duração da precipitação a ser considerada através da Equação 5.

$$\frac{ff}{t_d} = a(t_d + b)^c \quad (5)$$

Para se determinar o hidrograma de entrada do SSAO, utiliza-se o hidrograma baseado no método racional. Este pode ser triangular (se  $t_d \leq t_c$ ) ou trapezoidal (se  $t_d > t_c$ ).

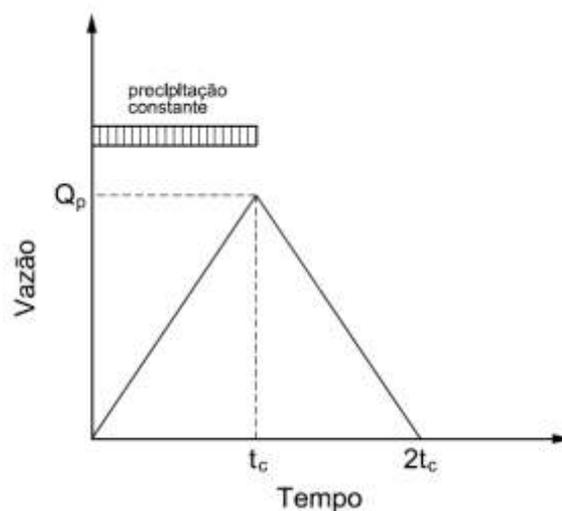


Figura 2.6 – Hidrograma simplificado baseado no Método Racional ( $t_d = t_c$ ).

Fonte: Carvalho (2014).

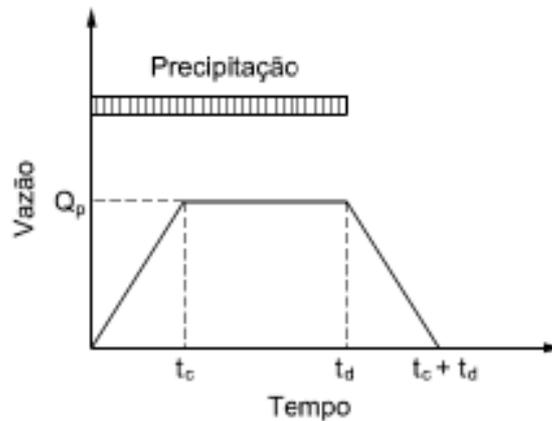


Figura 2.7 – Hidrograma trapezoidal ( $t_d > t_c$ ).

Fonte: Carvalho (2014).

### 2.3.3 Determinação do tempo de concentração

O tempo de concentração  $t_c$  corresponde ao tempo necessário desde de o início da precipitação para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial na seção de estudo, ou seja, é o tempo gasto por uma partícula de água vinda do ponto mais remoto da bacia para alcançar a seção considerada (TUCCI, 1993).

No estudo do dimensionamento do SSAO para um aeroporto, o tempo de concentração pode ser dividido em duas componentes, o tempo de entrada ( $t_i$ ) e o tempo de calha ( $t_e$ ). De acordo com Carvalho (2014), o tempo de entrada é o tempo necessário para que a partícula de água escoe pela superfície de terreno, desde o ponto mais remoto da bacia contribuinte, até a entrada do sistema de drenagem. O tempo de calha é o tempo que a partícula de água leva para escoar pelos condutos, desde a entrada, até o tanque de equalização.

Existem diversas metodologias para obtenção do tempo de entrada. Para bacias de aeroportos onde a distância do ponto mais remoto até a entrada do sistema de drenagem é inferior a 245 metros e as declividades vão de 0,5% a 2,5%, pode-se usar da equação recomendada pela FAA (1970),

$$t_i = \frac{1,8(1,1 - c)\sqrt{3,281D}}{\sqrt[8]{S}} \quad (6)$$

em que  $t_i$  é o tempo de entrada em minutos,  $c$  é o coeficiente de deflúvio ou escoamento,  $D$  é a distância do ponto mais remoto até a entrada do sistema de drenagem em metros e o  $S$  é a declividade do trecho em %.

Quando a recomendação da FAA não for aplicável (i.e.,  $D$  maior que 245 metros ou declividade menor que 0,5% ou maior que 2,5%) é possível aplicar a Equação 7 do Califórnia Culverts Practice (DIRENG, 2004).

$$t_i = 57,0 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (7)$$

Em que  $t_i$  é o tempo de entrada em minutos,  $L$  é o comprimento do percurso mais extenso em quilômetros,  $H$  é o desnível máximo em metros.

O tempo do escoamento pode ser obtido da seguinte fórmula (FAA, 2013).

$$t_e = \frac{L}{60v} \quad (8)$$

Em que  $t_e$  é o tempo de escoamento em minutos,  $L$  é o comprimento do percurso e  $v$  é a velocidade em m/s.

A velocidade pode ser calculada usando a seguinte Fórmula de Manning (TUCCI, 1993).

$$v = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}}{n} \quad (9)$$

Em que  $n$  é o coeficiente de Manning,  $R_h$  é o raio hidráulico em metros,  $I$  é a declividade.

## 2.4 O Simulador de chuva utilizado

Para simular a precipitação em laboratório similar a uma precipitação natural com o objetivo de entender os mecanismos dos fenômenos ocasionados pela chuva (e.g., infiltração, erosão e escoamento superficial), Carvalho (2016), projetou e construiu um simulador de chuvas no Departamento de Engenharia Civil do ITA.

A literatura descreve dois tipos principais de simuladores de chuva:

- Os que utilizam o método de gotejamento, que se baseia na formação de gotas que descendem em queda livre a partir de pontas de pequenos tubos capilares.
- Os que utilizam o método de bocais pressurizados, que se baseia na produção de gotas a partir da injeção de água sobre pressão através de bocais ou bicos aspersores.

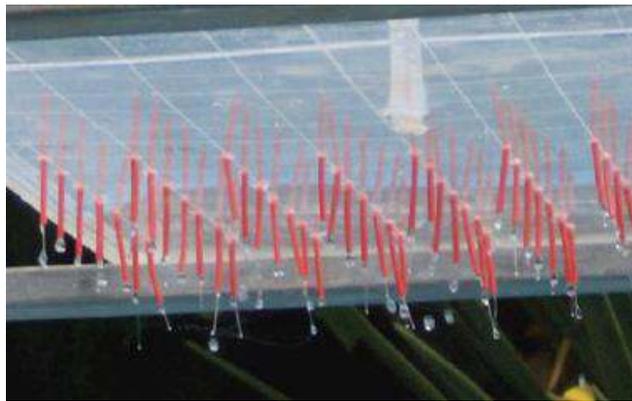


Figura 2.8 – Simulador de chuva por método de gotejamento.

Fonte: Roberto Corona et al. (2013).



Figura 2.9 – Simulador de chuva por método de bocais pressurizados.

Fonte: Roberto Corona et al. (2013).

O simulador criado por Carvalho (2016) (Figura 1.3) utiliza do método de gotejamento, como o mostrado na Figura 2.8, em que gotas desprendem de tubos capilares e caem no pavimento com energia cinética advinda quase que exclusivamente do trabalho da força gravitacional.



Figura 2.10 - Tanque de gotejamento com parafusos para ajuste de nível e altura.

Fonte: Carvalho (2016).

A intensidade de precipitação proveniente do simulador pode ser controlada se alterando a altura da coluna d'água acima dos tubos capilares. É possível obter intensidades de 40 a 150 mm/h. O criador do SC desenvolveu uma curva de obtenção da coluna d'água necessária para se obter determinada intensidade de chuva. Essa curva serve como um palpite inicial de coluna d'água e pode ser ajustada medindo a vazão efluente. Além do ajuste de intensidade de precipitação, o SC permite ajuste da declividade do pavimento.

O tanque de gotejamento foi construído em uma caixa de acrílico com malha retangular de 1066 furos (41 x 26) de 5,6 mm de diâmetro, espaçados de 30 mm de centro a centro. Para exercer a função dos tubos capilares do tanque de gotejamento se utilizou agulhas hipodérmicas. Adotaram-se agulhas de diferentes diâmetros para simular a distribuição granulométrica da precipitação de chuva natural. O tanque foi fixado no pórtico metálico de tal forma que é possível variar a altura de queda da precipitação de 2,5 a 3,5 m.

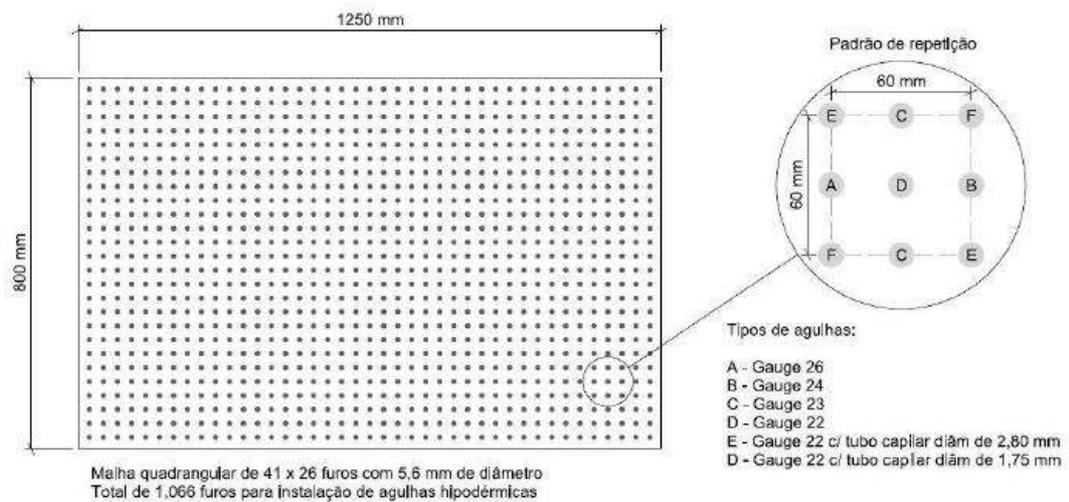


Figura 2.11 – Base do tanque de gotejamento do simulador de chuvas.

Fonte: Carvalho (2016).

O simulador tem distribuição de tamanho de gotas compatíveis com precipitações naturais e distribuição espacial com uniformidade acima de 90%, medida por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CHRISTIANSEN, 1942). A placa inferior e a superior têm 1 m<sup>2</sup>, 125 x 80 cm.

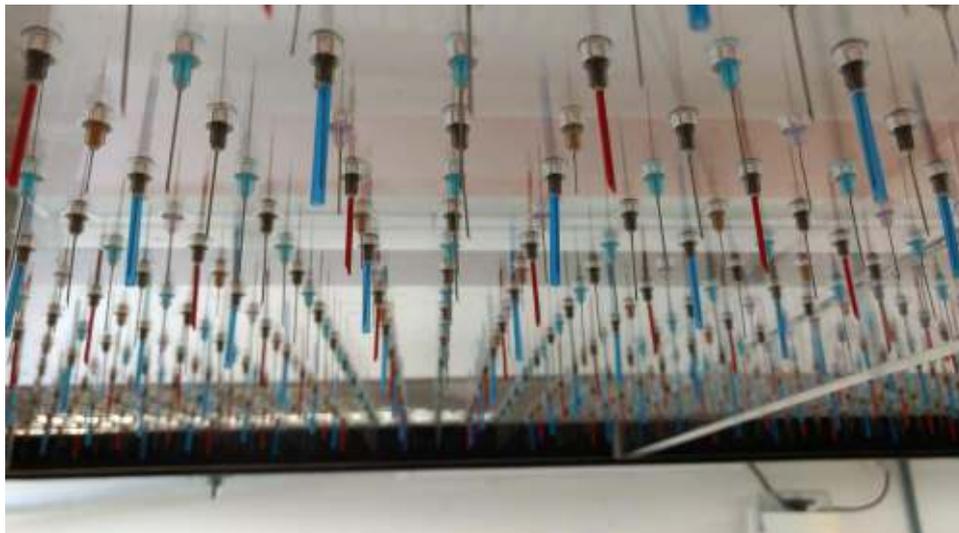


Figura 2.12 – Agulhas do tanque de gotejamento.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

## 3 Metodologia

A metodologia utilizada na realização das simulações de chuva foi a mesma empregada em Carvalho (2016). A metodologia usada para medir a concentração de óleo é uma adaptação do Standard Methods (2012), que pode ser encontrada em Carvalho (2014).

A existência de uma metodologia especial para medir a quantidade de óleo se justifica pelo fato de que a massa de óleo em cada litro de amostra é pequena ao ponto de que impurezas do próprio concreto do pavimento podem causar grandes imprecisões. Portanto, não é possível saber a quantidade de óleo após simplesmente aferir a massa da garrafa vazia e depois da garrafa com amostra sem água (i.e., pós-secagem na estufa). Para solucionar esse problema, se utiliza uma solução capaz de solver somente o óleo das paredes das garrafas pós-estufa.

### 3.1 Simulações de chuva

#### 3.1.1 Procedimento pré-simulação

Antecedendo as simulações de chuva, se realizou a apropriada limpeza das garrafas de um litro utilizadas na coleta das amostras de efluente (Figura 1.4). Estas limpezas utilizaram somente água e uma esponja ligada a uma haste rígida para que se pudesse retirar das paredes internas da garrafa qualquer impureza remanescente de simulações anteriores. Foi dispensado o uso de detergentes para reduzir o risco de que uma pequena parcela deste permanesse na garrafa e contaminasse as amostras após a realização das simulações.

Ainda antes de cada simulação, sobre a superfície de estudo foi aplicado 10 gramas do lubrificante Aeroshell Turbine Oil 560 MIL-PRF-23699F CLASS HTS, para uso em motores de aeronaves. Os 10 gramas de óleo foram aferidos utilizando um béquer de 30 mL e uma balança de precisão (Figura 3.5a e Figura 3.5b respectivamente). O tempo em que se permitiu o óleo penetrar no pavimento de concreto foi variado de acordo com a simulação, este poderia ser 12 h, 24 h, 48 h ou 96 h.



Figura 3.1 – Na esquerda o óleo acabara de ser colocado, e, na direita, o óleo já havia penetrado o concreto.

Fonte – Imagem obtida pelo autor.

Como mostrado na Figura 3.1, na deposição dos 10 gramas de óleo no concreto se priorizou colocar onde já havia uma mancha de contaminação nas simulações anteriores. O objetivo dessa prática foi simular condições para o pior cenário, que é quando o pavimento de concreto já está saturado de óleo. E a consequência desse procedimento é que o óleo leva mais tempo para ser absorvido no pavimento, o que intuitivamente significa maiores concentrações de óleo no efluente.

Para certificar de que não haviam impurezas na motobomba do SC que pudesse contaminar as amostras ou obstruir as agulhas do tanque de gotejamento, antes das simulações a motobomba foi ligada e jogou-se fora o primeiro volume de água que passava por ela

### 3.1.2 Execução da simulação

Foram necessários dois operadores para a realização das simulações de chuva (Figura 3.2), o primeiro operador para controlar a vazão na parte superior do SC e marcar o tempo de

enchimento de cada garrafa e o segundo operador para trocar as garrafas de coleta de amostras de efluente de escoamento superficial na parte inferior do SC.



Figura 3.2 – Função de cada um dos dois operadores no manuseio do SC.

Fonte: Imagem obtida pelo autor

As simulações foram iniciadas se enchendo o tanque de gotejamento a um nível de coluna d'água correspondente à intensidade de precipitação que se desejava obter. O palpite inicial de altura foi sendo calibrado de acordo com os tempos medidos entre as trocas de garrafas. Como os volumes das garrafas são padronizados, através do tempo de enchimento de uma das garrafas foi possível obter a intensidade de precipitação média daquela garrafa e com isso se ajustar a altura coluna d'água para a garrafa seguinte.

Começou-se a marcação de tempo no cronômetro assim que a primeira porção de água entrou na primeira garrafa e a marcação foi encerrada assim que se encheu a trigésima garrafa. Ao final de cada simulação, se dispôs de trinta litros de efluente divididos em trinta garrafas (Figura 1.4). Observando-se visualmente as amostras coletadas, é possível notar a presença do óleo e de impurezas do concreto (Figura 3.3).



Figura 3.3 – Primeiros litros de amostras com visível contaminação de óleo.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Após a última garrafa ser enchida, se acoplava na saída de água do pavimento do SC, um tubo com saída para o ralo do laboratório para que a água remanescente no tanque de gotejamento possa precipitar e esvaziar o tanque. O que de certa forma colaborava para lavar ainda mais o concreto para a próxima SC.

## 3.2 Mensuração da concentração de óleo

A metodologia descrita a seguir foi baseada em Carvalho (2016), que por sua vez é uma adaptação de Standard Methods (2012).

### 3.2.1 Secagem dos 30 L de precipitação

De posse dos trinta litros de efluente, utilizou-se uma estufa para realizar o procedimento de secagem das garrafas (Figura 3.4). Ao final de cinco dias a uma temperatura de aproximadamente 85°C, toda a água das garrafas evaporou. No interior das garrafas permanece somente o óleo e as impurezas do pavimento de concreto.



Figura 3.4 – Secagem de amostras na estufa.

Fonte: Carvalho (2016).

### 3.2.2 Retirada do óleo das garrafas

Para a retirada de somente o óleo, utilizou-se soluções de acetona, hexadecano e ácido esteárico. Para cada 100 mL de acetona, diluiu-se 200 mg de hexadecano e 200 mg de ácido esteárico. As soluções foram passadas com cuidado no interior das garrafas, embebedando

sem agitar as paredes internas dessas garrafas. Visando a economia dos materiais consumíveis de alto custo (e.g., hexadecano), combinou-se duas em duas garrafas consecutivas, e, portanto, cada 100 mL de solução foi utilizado para retirar o óleo de duas garrafas, primeiro da garrafa ímpar e em seguida da garrafa par.

**Aparelhagem usada:**

- Balão volumétrico 500 mL (Figura 3.5e);
- Balão volumétrico 100 mL (Figura 3.5j);
- Funil para líquido em vidro;
- Balão de fundo chato de 125 mL com junta esmerilhada 24/40 (Figura 3.5i);
- Erleynmeyer 125 mL com junta esmerilhada 24/40 (Figura 3.5d);
- Conexão com 2 juntas 24/40 a 75°;
- Junta conexão 105° com 2 juntas 24/40 a 75°;
- Becker 500 mL;
- Becker 30 mL;
- Becker 10 mL (Figura 3.5a);
- Lente de vidro ou vidro de relógio (Figura 3.5c);
- Aquecedor do tipo placa com resistência;
- Câmara de vácuo;
- Balança com precisão de 0,001 g (Figura 3.5b);
- Estufa com aquecimento 85° C mínimo (Figura 3.5h).

**Substâncias e reagentes utilizados:**

- Acetona, resíduo menor que 1 mg.L<sup>-1</sup>;
- Hexadecano com mínimo de 98% de pureza (Figura 3.5k);
- Ácido esteárico com mínimo de 98% (Figura 3.5l).



Figura 3.5 – Itens usados na mensuração da concentração de óleo

Fonte: Imagens obtidas pelo autor.

As soluções foram preparadas utilizando um balão volumétrico de 500 mL (Figura 3.5e), com 500 mL de acetona, 1 g de hexadecano (Figura 3.5k) e 1 g de ácido esteárico (Figura 3.5l). Na aferição de massa na balança de precisão (Figura 3.5b), usou-se um béquer de 10 mL (Figura 3.5a) para o hexadecano e um vidro de relógio (Figura 3.5c) para o ácido esteárico. Na intenção de passar o resíduo de hexadecano do béquer para o balão volumétrico jateou-se acetona e para passar o resíduo de ácido esteárico do vidro de relógio para o balão volumétrico usou-se um pincel. Para uma melhor diluição do ácido esteárico, esquentou-se brevemente a solução do balão volumétrico de 500 mL na chapa aquecedora da Figura 3.7.

Após o preparo dos 500 mL de solução, esta foi dividida em 5 balões volumétricos de 100 mL (Figura 3.5j). Como descrito anteriormente, cada 100 mL de solução foi utilizado para a limpeza do óleo das paredes internas de duas garrafas consecutivas. Primeiro embebedou-se internamente as paredes da garrafa ímpar e com movimentos suaves de rotação da garrafa tentou-se passar a solução por toda a superfície interna. Em seguida, a solução da garrafa ímpar foi passada para a garrafa par e se repetiu o mesmo processo de rotação. Ao final do processo, a solução continha o óleo das duas garrafas e havia retirado muito pouco das impurezas do concreto.

Cada 100 mL de solução contendo óleo foi passada da garrafa par para um balão de fundo chato de 125 mL (Figura 3.5i) com o uso de um funil de vidro. Para auxiliar na transferência do resto de solução de ficava no funil, passou-se acetona, que caía no balão de fundo chato limpando o funil. Aumentar a quantidade de acetona da solução não interfere nos resultados, porque toda acetona é removida na destilação.

Nota-se que foram realizadas 8 simulações de chuva, de cada simulação obteve-se 30 litros de efluente provenientes de 30 mm de precipitação, cada litro de efluente foi armazenado em uma garrafa, cada 100 mL de solução passada em duas garrafas foi armazenado em um balão de fundo chato de 125 mL, e, portanto, obtiveram-se 15 soluções de 100 mL com óleo para cada SC. Na Figura 3.6 é possível ver a solução das garrafas 1 e 2 no primeiro balão, a solução das garrafas 3 e 4 no segundo balão e assim sucessivamente. Ainda na Figura 3.6, observa-se como a coloração de óleo nas soluções das primeiras garrafas é mais forte que nas últimas.



Figura 3.6 – Soluções contendo o óleo contaminante presente no efluente coletado.

Fonte: Imagens obtidas pelo autor.

### 3.2.3 Destilação

Os balões de fundo chato contendo os 100 mL de solução foram destilados conforme na Figura 3.7. No processo foi usado uma chapa aquecedora, um termômetro, um béquer de 500 mL, um erlenmeyer e alongas/juntas (Figura 3.5f e Figura 3.5g). Utilizou-se gelo para reduzir a temperatura do erlenmeyer e fita veda rosca na conexão das alongas. A água do béquer que envolvia o balão de fundo chato foi mantida a aproximadamente 90 °C.

Quando a solução do balão parava de borbulhar (i.e., quando havia pouca acetona remanescente na solução), retornava-se a acetona do erlenmeyer para o frasco de armazenamento de acetona para que fosse reutilizada futuramente, e, em seguida, conectava-se a mangueira de aspiração da motobomba a vácuo na alonga para realizar a destilação a vácuo, a qual durava aproximadamente 5 minutos.



Figura 3.7 – Processo de destilação da solução contendo o óleo da amostra.

Fonte: Imagem obtida pelo autor.

Após a destilação a vácuo, o balão de fundo chato era levado à estufa, onde permanecia por aproximadamente 20 minutos para evaporar qualquer acetona remanescente. Em seguida o balão era retirado e se esperava alguns minutos para que atingisse a temperatura ambiente.

#### **3.2.4 Aferição da massa de óleo**

Nota-se que nessa etapa o balão só contém o óleo, 200 mg de hexadecano e 200 mg de ácido esteárico. Antes de aferir a massa na balança de precisão, utilizou-se um lenço seco na tentativa retirar qualquer gordura das paredes externas do balão. O mesmo processo de limpeza foi efetuado antes de aferir a massa do balão vazio.

De posse da massa do balão vazio e do balão com óleo e 400 mg de resíduos, é possível obter a massa de óleo em cada balão. Com essa massa, sabe-se a média da concentração de óleo de cada 2 garrafas consecutivas.

Vale lembrar que antes de qualquer uso, os balões de fundo chato foram cuidadosamente limpos com detergente e água e em seguida secos na estufa.

## 4 Simulações de chuva

Foram realizadas um total de oito simulações de chuva variando dois parâmetros: a intensidade de precipitação e o tempo de penetração do óleo no concreto. Na Tabela 4.1 estão descritas algumas características de cada simulação. É notável que alguns parâmetros não puderam ser controlados com exatidão (e.g., temperatura ambiente no momento das simulações).

Tabela 4.1 – Características das simulações realizadas.

<b>Intensidade da precipitação (mm/h)</b>	<b>Tempo de penetração do óleo no concreto (horas)</b>	<b>Data</b>	<b>Temperatura no momento da simulação (°C)</b>	<b>Quantidade de óleo depositada no pavimento (g)</b>
120	96	07/08/2017	17,0	9,997
120	48	28/08/2017	15,0	9,989
120	24	26/06/2017	21,9	10,014
120	12	21/08/2017	15,5	10,014
60	96	01/08/2017	18,9	9,997
60	48	10/07/2017	18,8	9,999
60	24	03/07/2017	17,1	9,870
60	12	14/08/2017	16,3	10,084

Como descrito no capítulo anterior, a intensidade de precipitação nas simulações pôde ser medida através do tempo de enchimento de cada garrafa. Os tempos de enchimento das garrafas estão descritos nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2 – Tempo de enchimento das garrafas das simulações de 120 mm/h.

<b>Simul. de 120 mm/h e 96 h</b>		<b>Simul. de 120 mm/h e 48 h</b>		<b>Simul. de 120 mm/h e 24 h</b>		<b>Simul. de 120 mm/h e 12 h</b>	
$t_{troca}$ (s)	$\Delta t$ (s)						
48	48	58	58	64	64	60	60
81	33	97	39	104	40	99	39
111	30	131	34	140	36	135	36
140	29	163	32	174	34	168	33
167	27	193	30	206	32	199	31
195	28	223	30	237	31	228	29
229	34	253	30	266	29	257	29
267	38	290	37	300	34	285	28
303	36	326	36	337	37	315	30
337	34	360	34	374	37	346	31
369	32	393	33	412	38	376	30
399	30	425	32	450	38	406	30
428	29	458	33	487	37	435	29
456	28	490	32	523	36	463	28
485	29	522	32	557	34	493	30
515	30	555	33	591	34	529	36
545	30	586	31	623	32	567	38
575	30	616	30	655	32	600	33
605	30	647	31	688	33	630	30
635	30	677	30	720	32	659	29
665	30	708	31	751	31	689	30
695	30	739	31	781	30	721	32
725	30	770	31	811	30	753	32
755	30	800	30	841	30	785	32
785	30	831	31	871	30	815	30
815	30	861	30	902	31	843	28
845	30	890	29	932	30	870	27
876	31	920	30	964	32	898	28
906	30	950	30	993	29	928	30
936	30	980	30	1022	29	958	30

Tabela 4.3 – Tempo de enchimento das garrafas das simulações de 60 mm/h.

<b>Simul. de 60 mm/h e 96 h</b>		<b>Simul. de 60 mm/h e 48 h</b>		<b>Simul. de 60 mm/h e 24 h</b>		<b>Simul. de 60 mm/h e 12 h</b>	
$t_{troca}$	$\Delta t$						
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)
65	65	63	63	61	61	58	58
127	62	113	50	110	49	114	56
189	62	174	61	176	66	180	66
253	64	237	63	246	70	244	64
313	60	299	62	314	68	305	61
374	61	359	60	372	58	363	58
434	60	418	59	430	58	421	58
497	63	479	61	486	56	480	59
556	59	538	59	542	56	537	57
615	59	598	60	598	56	596	59
672	57	657	59	656	58	655	59
733	61	718	61	715	59	716	61
794	61	779	61	772	57	776	60
853	59	839	60	832	60	837	61
913	60	898	59	893	61	898	61
974	61	957	59	957	64	960	62
1036	62	1017	60	1020	63	1021	61
1096	60	1077	60	1081	61	1081	60
1155	59	1138	61	1142	61	1139	58
1215	60	1198	60	1203	61	1199	60
1273	58	1257	59	1263	60	1258	59
1332	59	1318	61	1322	59	1317	59
1392	60	1380	62	1383	61	1376	59
1450	58	1440	60	1445	62	1436	60
1509	59	1500	60	1506	61	1497	61
1570	61	1559	59	1567	61	1558	61
1631	61	1619	60	1628	61	1620	62
1691	60	1679	60	1687	59	1679	59
1752	61	1739	60	1748	61	1739	60
1812	60	1799	60	1807	59	1799	60

Desconsiderando o tempo de enchimento da primeira garrafa de cada simulação, uma vez que a chuva não tinha ainda estabilizado, obteve-se um valor médio, mínimo e máximo de tempo de enchimento das garrafas para cada simulação. Sabendo-se o tempo de enchimento de cada litro e a área de precipitação, é possível obter as intensidades médias, mínimas e máximas de cada simulação (Tabelas 4.4 e 4.5).

Tabela 4.4 – Média, mínimo a máximo dos tempos de enchimento e da intensidade de precipitação das SC de 120 mm/h.

	Simulação 120 mm/h e 96 h		Simulação 120 mm/h e 48 h		Simulação 120 mm/h e 24 h		Simulação 120 mm/h e 12 h	
	$\Delta t$ (s)	Intens. precip. (mm/h)						
<b>Média</b>	<b>30,6</b>	<b>117,6</b>	<b>31,8</b>	<b>113,2</b>	<b>33,0</b>	<b>109,0</b>	<b>31,0</b>	<b>116,3</b>
<b>Mínimo</b>	27,0	133,3	29,0	124,1	29,0	124,1	27,0	133,3
<b>Máximo</b>	38,0	94,7	39,0	92,3	40,0	90,0	39,0	92,3

Tabela 4.5 – Média, mínimo a máximo dos tempos de enchimento e da intensidade de precipitação das SC de 120 mm/h.

	Simulação 60 mm/h e 96 h		Simulação 60 mm/h e 48 h		Simulação 60 mm/h e 24 h		Simulação 60 mm/h e 12 h	
	$\Delta t$ (s)	Intens. precip. (mm/h)						
<b>Média</b>	<b>60,2</b>	<b>59,8</b>	<b>59,9</b>	<b>60,1</b>	<b>60,2</b>	<b>59,8</b>	<b>60,0</b>	<b>60,0</b>
<b>Mínimo</b>	57,0	63,2	50,0	72,0	49,0	73,5	56,0	64,3
<b>Máximo</b>	64,0	56,3	63,0	57,1	70,0	51,4	66,0	54,5

## 5 Resultados e discussão

Seguindo as metodologias descritas no capítulo 3, possibilitou-se a medida da massa de óleo nas amostras de efluente, e, com isso, foi possível descrever como a concentração varia ao longo do first flush e se as variáveis de interesse interferem, ou não, nessas concentrações.

Cogitou-se em realizar uma simulação sem a deposição de óleo, na tentativa de quantificar os erros associados às metodologias apresentadas. Entretanto, para tal estimativa seria necessário utilizar um revestimento novo, porque o revestimento usado nas oito simulações já estava saturado de contaminantes e quando se realizou um experimento sem adição de óleo foi observado que o concreto liberava significativas quantidades de óleo (i.e., concentrações acima de 20 mg/L de óleo).

### 5.1 Resultados numéricos

Nas Tabelas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 constam as 15 amostras correspondentes às 30 garrafas e cada uma das 8 simulações de chuva. Dado que cada uma das amostras corresponde a dois litros de efluente, então cada amostra corresponde a 2 milímetros de precipitação. Para a obtenção da massa de óleo em cada amostra é necessário se aferir a massa o balão volumétrico vazio (terceira coluna das tabelas) e do balão com o óleo e resíduos (quarta coluna das tabelas), tirar a diferença desses valores e retirar a massa dos resíduos (quinta coluna das tabelas). Do valor da massa de óleo em cada amostra (sexta coluna das tabelas) se calcula a concentração (sétima coluna das tabelas) dividindo a massa por 2 litros, que é o volume de cada amostra.

A amostra 14 da simulação de chuva de 60 mm/h e 24 horas de penetração (Tabela 5.7) foi perdida devido a um acidente no manuseio do balão que o quebrou no processo de destilação. Para que a falta desse dado não afete as análises, o valor da massa de óleo na amostra 14 foi considerada igual à da média aritmética das amostras adjacentes (i.e., amostras 13 e 15).

Tabela 5.1 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 96 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	67494	68041	400	147	74
4	2	62328	62837	400	109	55
6	3	64333	64815	400	82	41
8	4	59225	59715	400	90	45
10	5	73753	74207	400	54	27
12	6	64768	65183	400	15	8
14	7	62981	63399	400	18	9
16	8	64335	64753	400	18	9
18	9	62331	62756	400	25	13
20	10	64770	65192	400	22	11
22	11	63341	63758	400	17	9
24	12	59229	59648	400	19	10
26	13	64773	65188	400	15	8
28	14	64332	64749	400	17	9
30	15	67494	67914	400	20	10

Tabela 5.2 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 48 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	59227	59873	400	246	123
4	2	62328	63011	400	283	142
6	3	72433	73047	400	214	107
8	4	62984	63574	400	190	95
10	5	64773	65336	400	163	82
12	6	70064	70602	400	138	69
14	7	63340	63872	400	132	66
16	8	67492	68029	400	137	69
18	9	73750	74254	400	104	52
20	10	64333	64827	400	94	47
22	11	62980	63457	400	77	39
24	12	59226	59685	400	59	30
26	13	72432	72895	400	63	32
28	14	64770	65217	400	47	24
30	15	74535	74981	400	46	23

Tabela 5.3 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 24 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	64335	64980	400	245	123
4	2	59229	59748	400	119	60
6	3	64774	65258	400	84	42
8	4	63345	63838	400	93	47
10	5	64676	65145	400	69	35
12	6	64693	65157	400	64	32
14	7	69513	69976	400	63	32
16	8	64679	65107	400	28	14
18	9	63342	63793	400	51	26
20	10	59229	59660	400	31	16
22	11	62332	62772	400	40	20
24	12	73751	74193	400	42	21
26	13	64774	65198	400	24	12
28	14	64336	64776	400	40	20
30	15	62977	63396	400	19	10

Tabela 5.4 – Resultados da simulação de 120 mm/h e 12 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	63342	64017	400	275	138
4	2	70065	70767	400	302	151
6	3	67494	68168	400	274	137
8	4	62982	63589	400	207	104
10	5	64335	64928	400	193	97
12	6	59227	59786	400	159	80
14	7	63341	63896	400	155	78
16	8	64773	65312	400	139	70
18	9	67493	68015	400	122	61
20	10	73751	74279	400	128	64
22	11	72428	72929	400	101	51
24	12	64335	64810	400	75	38
26	13	74537	75021	400	84	42
28	14	62329	62792	400	63	32
30	15	64770	65213	400	43	22

Tabela 5.5 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 96 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	62984	63563	400	179	90
4	2	69508	70044	400	136	68
6	3	63341	63834	400	93	47
8	4	62331	62799	400	68	34
10	5	67494	67957	400	63	32
12	6	64772	65224	400	52	26
14	7	73753	74185	400	32	16
16	8	64335	64770	400	35	18
18	9	62983	63416	400	33	17
20	10	59228	59648	400	20	10
22	11	64772	65210	400	38	19
24	12	63342	63763	400	21	11
26	13	69509	69927	400	18	9
28	14	62334	62752	400	18	9
30	15	67494	67918	400	24	12

Tabela 5.6 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 48 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	73752	74369	400	217	109
4	2	62332	62899	400	167	84
6	3	73744	74292	400	148	74
8	4	67495	67996	400	101	51
10	5	64337	64828	400	91	46
12	6	64327	64815	400	88	44
14	7	62986	63459	400	73	37
16	8	63340	63810	400	70	35
18	9	67491	67942	400	51	26
20	10	69477	69979	400	102	51
22	11	69510	69965	400	55	28
24	12	63345	63814	400	69	35
26	13	64773	65213	400	40	20
28	14	62981	63409	400	28	14
30	15	62328	62743	400	15	8

Tabela 5.7 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 24 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	64778	65390	400	212	106
4	2	62336	62946	400	210	105
6	3	69502	70130	400	228	114
8	4	62985	63574	400	189	95
10	5	64339	64910	400	171	86
12	6	64774	65312	400	138	69
14	7	73754	74259	400	105	53
16	8	63342	63815	400	73	37
18	9	69513	70011	400	98	49
20	10	67498	67995	400	97	49
22	11	59229	59717	400	88	44
24	12	64335	64793	400	58	29
26	13	67499	67951	400	52	26
28	14	64673	Amosta perdida	400	Amosta perdida	Amosta perdida
30	15	62985	63429	400	44	22

Tabela 5.8 – Resultados da simulação de 60 mm/h e 12 h.

Precipitação (mm)	Nº da amostra	Massa do balão vazio (mg)	Massa do balão com óleo e resíduos (mg)	Massa dos resíduos (mg)	Massa medida de óleo (mg)	Concentração de óleo (mg/L)
2	1	59227	59911	400	284	142
4	2	62325	62935	400	210	105
6	3	67499	68057	400	158	79
8	4	64770	65355	400	185	93
10	5	62981	63477	400	96	48
12	6	63339	63874	400	135	68
14	7	64334	64820	400	86	43
16	8	73753	74229	400	76	38
18	9	62340	62771	400	31	16
20	10	59226	59649	400	23	12
22	11	64770	65234	400	64	32
24	12	62982	63440	400	58	29
26	13	67494	67942	400	48	24
28	14	63342	63788	400	46	23
30	15	73752	74185	400	33	17

## 5.2 Análise de resultados

Os resultados indicam que para 10 gramas de óleo por metro quadrado as concentrações de óleo no efluente atingem níveis abaixo dos 20 mg/L estabelecidos pela CONAMA após 12 mm de precipitação para as SCs de 96 horas.

Analisando os gráficos das Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 observa-se que a intensidade de precipitação parece não influenciar com consistência a concentração de óleo no efluente. Já o tempo de penetração parece influenciar reduzindo a concentração de óleo. A influência do tempo de penetração do óleo no concreto está associada ao fato de que o concreto é um material poroso e este absorve de acordo com o tempo de contato a líquidos, quanto mais exposição mais absorção.

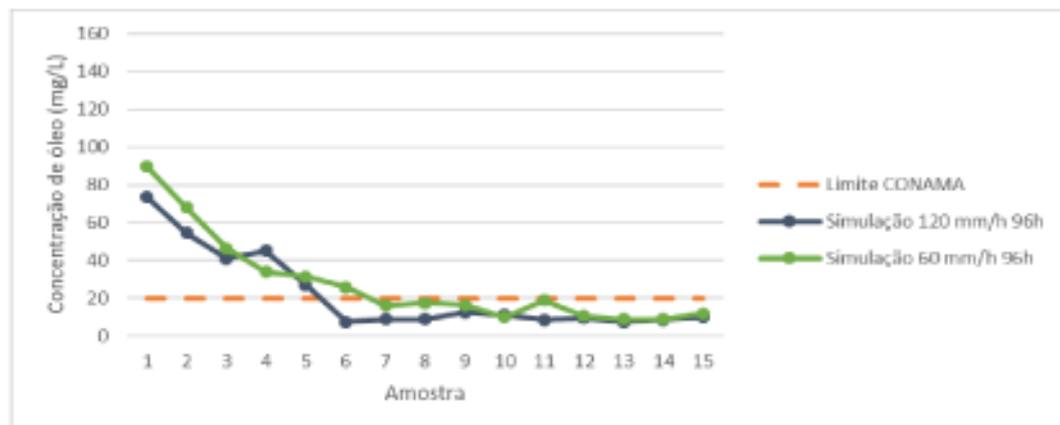


Figura 5.1 – Simulações com 96 horas de penetração do óleo no concreto.

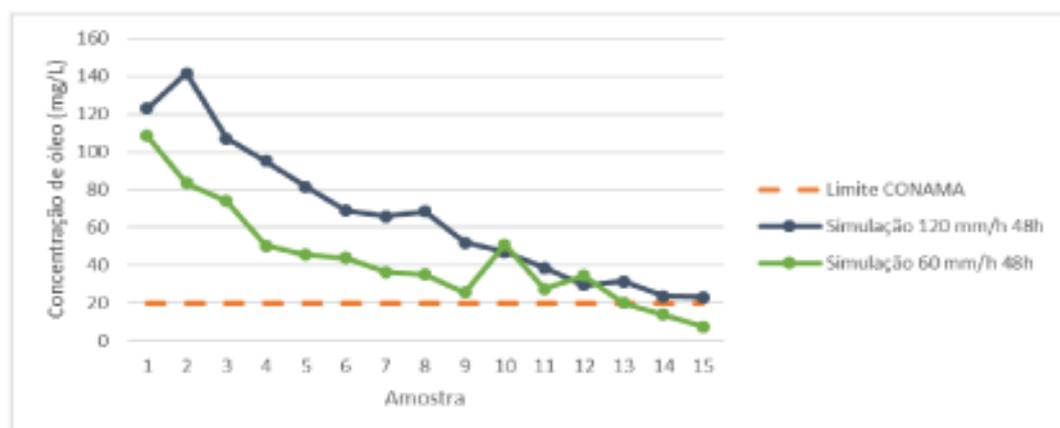


Figura 5.2 – Simulações com 48 horas de penetração do óleo no concreto.

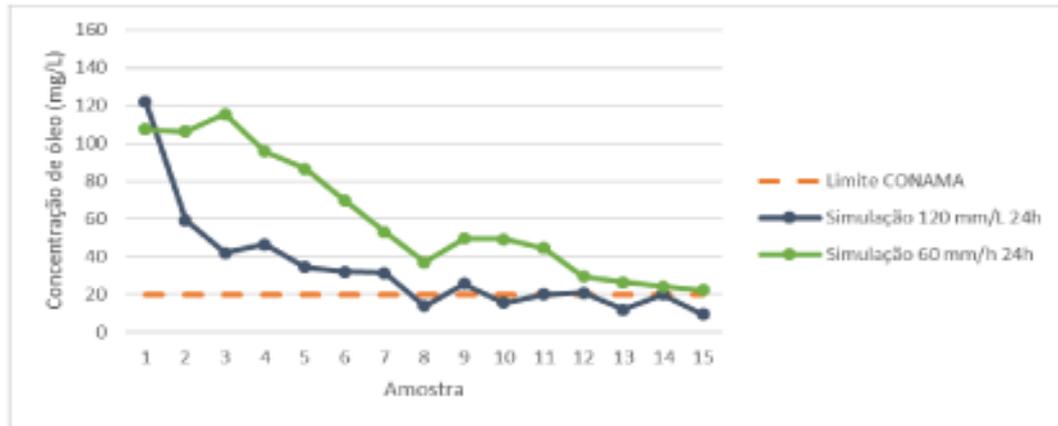


Figura 5.3 – Simulações com 24 horas de penetração do óleo no concreto.

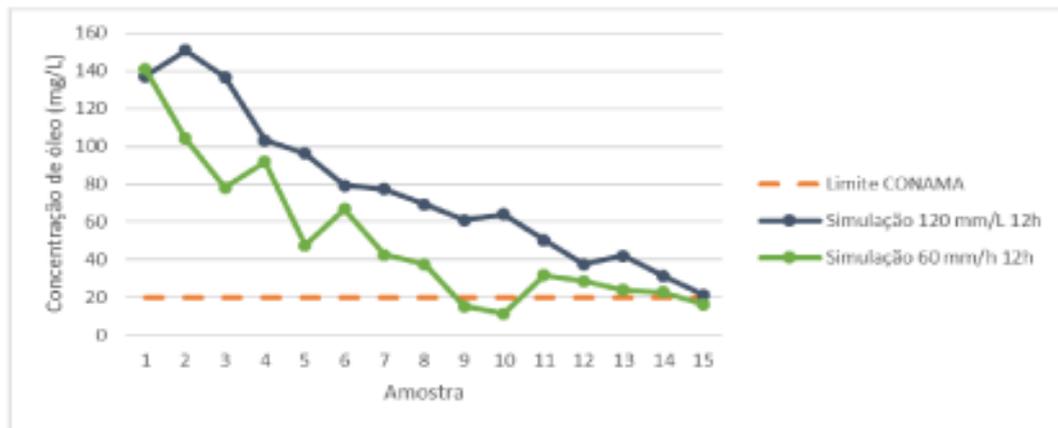


Figura 5.4 – Simulações com 12 horas de penetração do óleo no concreto.

Na Tabela 5.9 observa-se que a intensidade de precipitação parece não influenciar na proporção de massa de óleo (i.e., em relação à massa total de óleo colocada no concreto) contida nos primeiros 30 litros de efluente. Nas simulações de 96 horas menos de 10% do total de óleo depositado inicialmente foi coletado no efluente.

Tabela 5.9 – Massa de óleo coletada nos 30 primeiros litros/ Massa total de óleo depositada.

	120 mm/h	60 mm/h
96 horas	6,7%	8,3%
48 horas	20,0%	13,2%
24 horas	10,1%	18,3%
12 horas	23,2%	15,2%

Os valores de concentração obtidos indicam que o tempo de penetração do óleo no concreto influencia na concentração de óleo no efluente, provavelmente devido ao efeito de absorção do concreto, que é um material poroso. Já a intensidade de chuva parece não influenciar na concentração de óleo.

Os mecanismos físicos de remoção do óleo do pavimento são:

1. A energia cinética de impacto da gota no pavimento;
2. O empuxo no óleo causado pela camada de escoamento superficial;
3. A energia cinética do escoamento superficial.

A influencia do aumento da intensidade de precipitação pode aumentar a energia do segundo e do terceiro mecanismo. Entretanto, o aumento da espessura da película de escoamento superficial reduz a energia do primeiro mecanismo.

Calculando o coeficiente “a” de cada Mass First Flush, obtém-se os valores da Tabela 5.10. De acordo com a Tabela 2.1, todos os resultados das simulações pertencem a Zona 2 de  $MFF_n$  com moderado desvio da diagonal, o que caracteriza uma moderada ocorrência de first flush. Nas Figuras 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 representam-se todos ajustes “ $Y=X^a$ ” efetuados. Todos os ajustes de curva utilizaram a metodologia dos mínimos quadrados.

Tabela 5.10 – Parâmetros “a” de cada curva  $MFF_n$  das simulações de chuva.

<b>Intensidade de precipitação (mm/h)</b>	<b>Tempo de penetração do óleo no concreto (horas)</b>	<b>Coeficiente “a” (<math>Y=X^a</math>)</b>
120	96	0,4014
120	48	0,5603
120	24	0,4745
120	12	0,5805
60	96	0,4335
60	48	0,5491
60	24	0,5479
60	12	0,4774

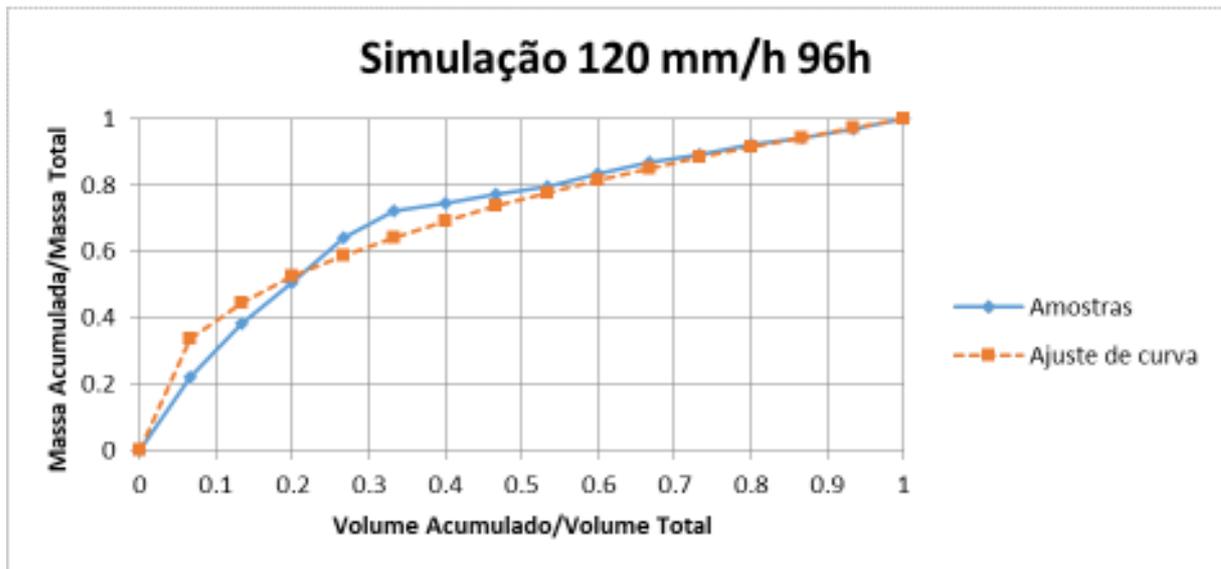


Figura 5.5 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 120 mm/h e 96 h.

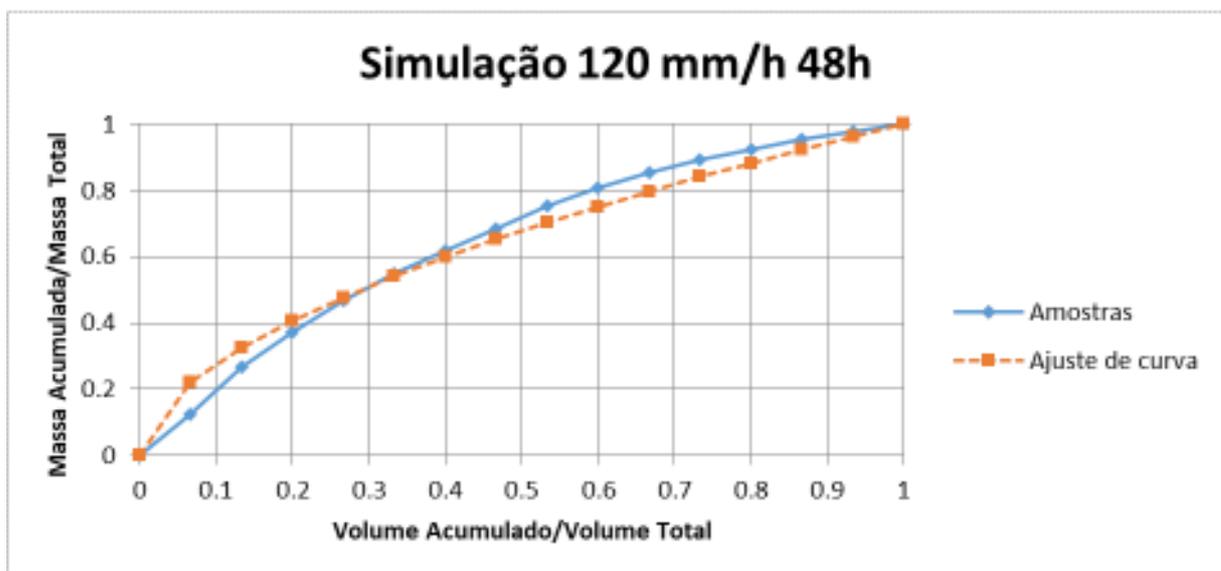


Figura 5.6 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 120 mm/h e 48 h.

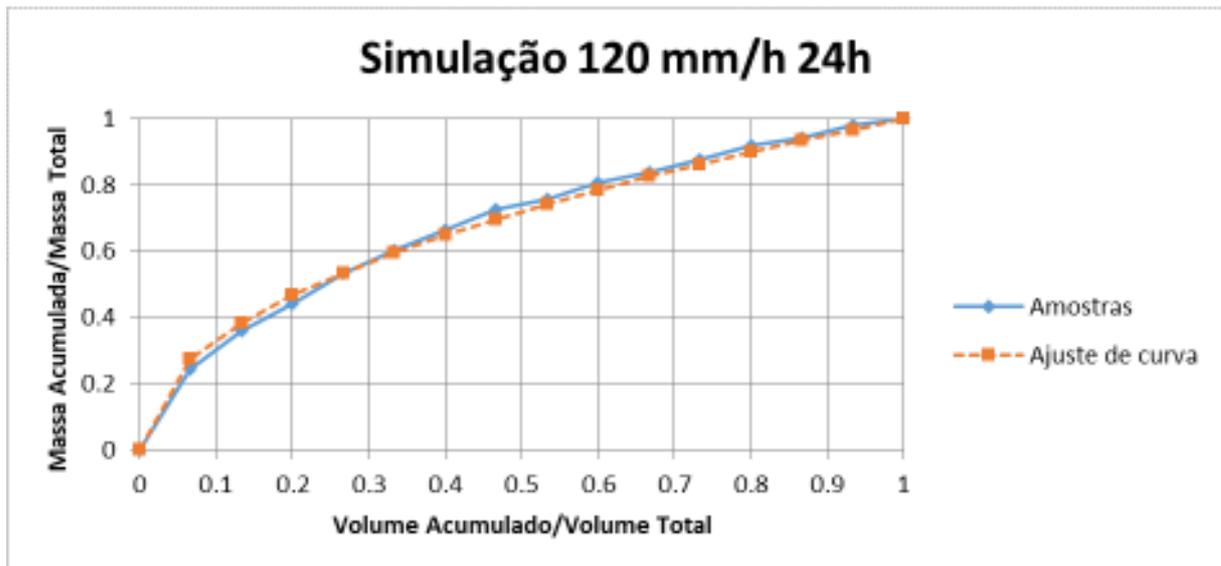


Figura 5.7 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 120 mm/h e 24 h.

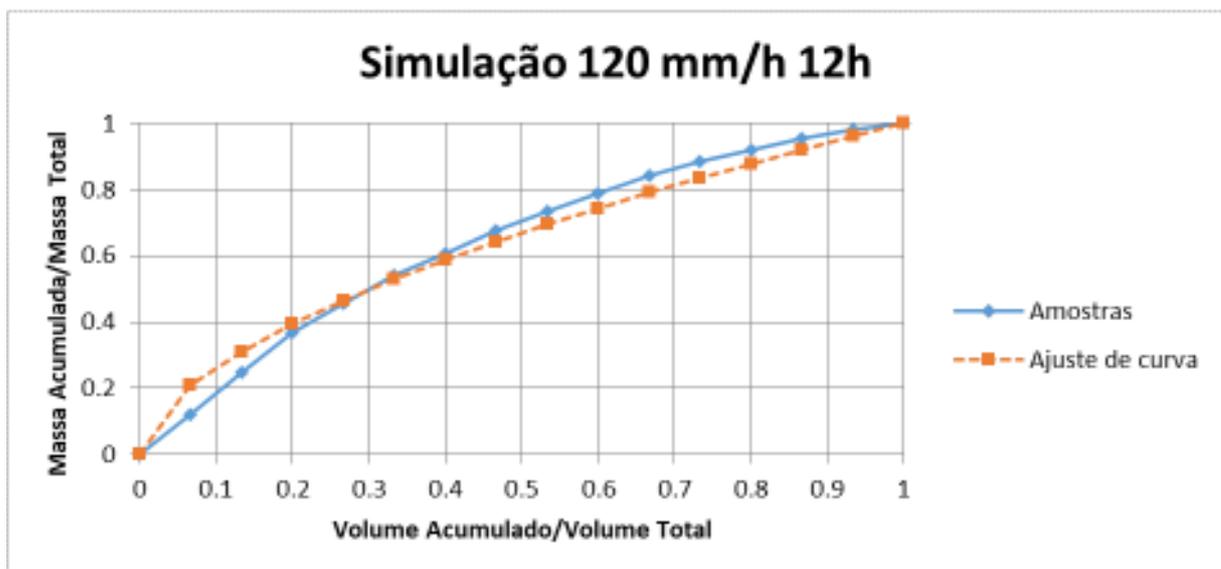


Figura 5.8 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 120 mm/h e 12 h.

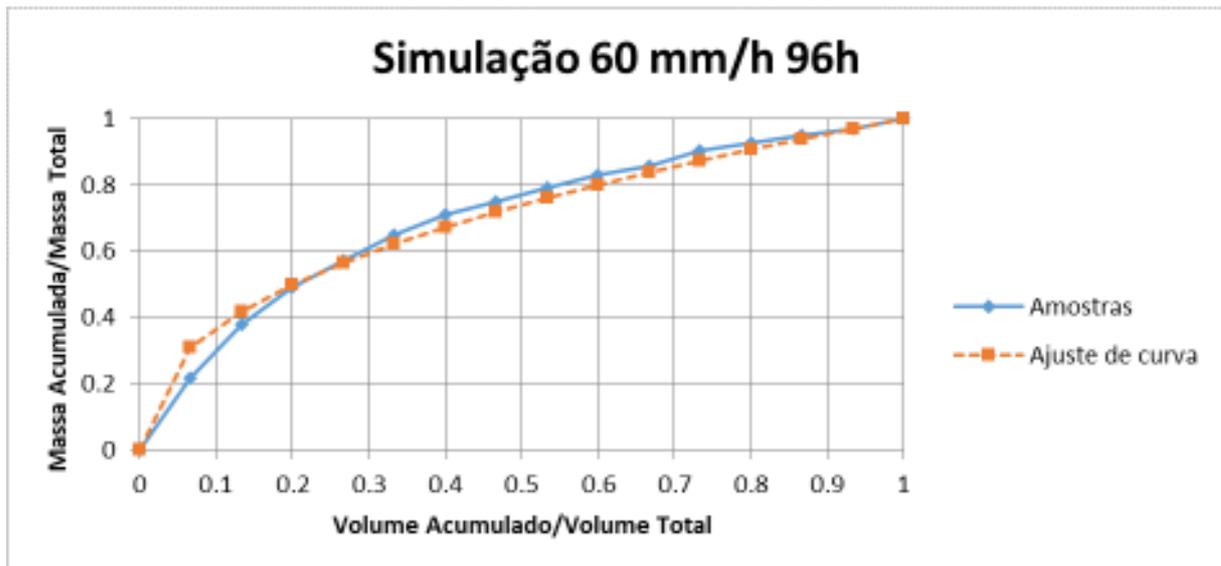


Figura 5.9 – Curva  $MFF_n$  da simulação de 60 mm/h e 96 h.

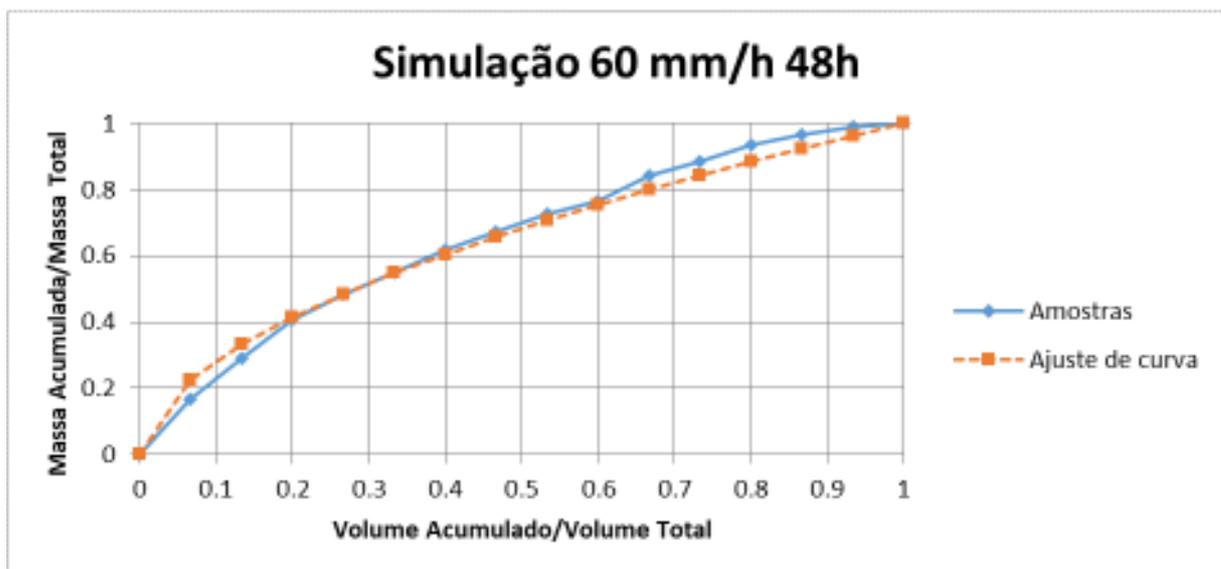


Figura 5.10 – Curva  $MFF_n$  da simulação de 60 mm/h e 48 h.

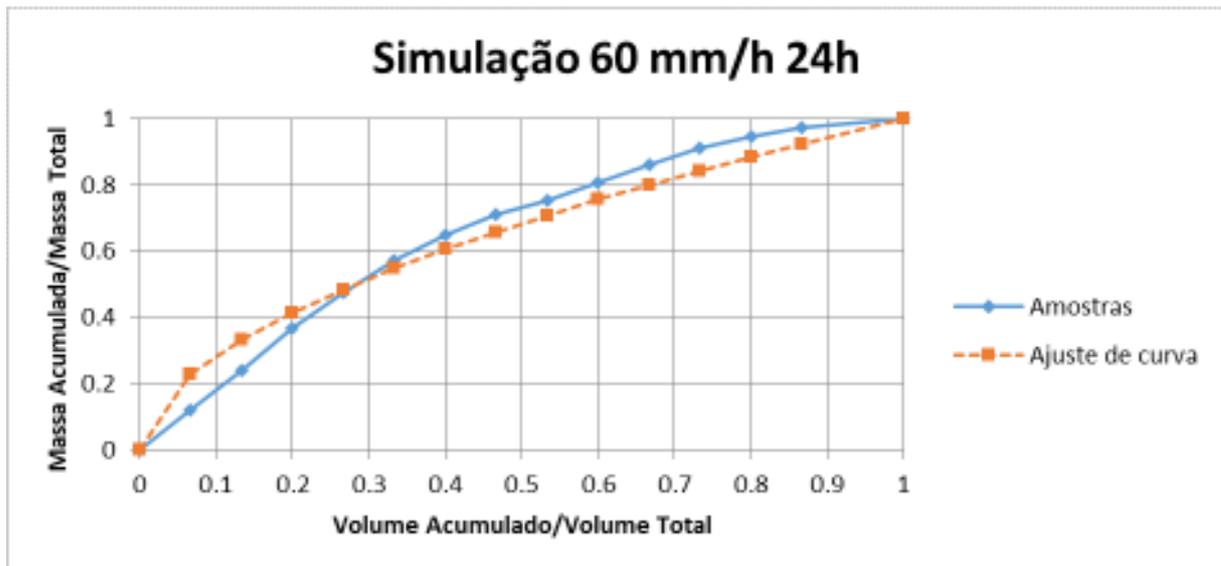


Figura 5.11 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 60 mm/h e 24 h.

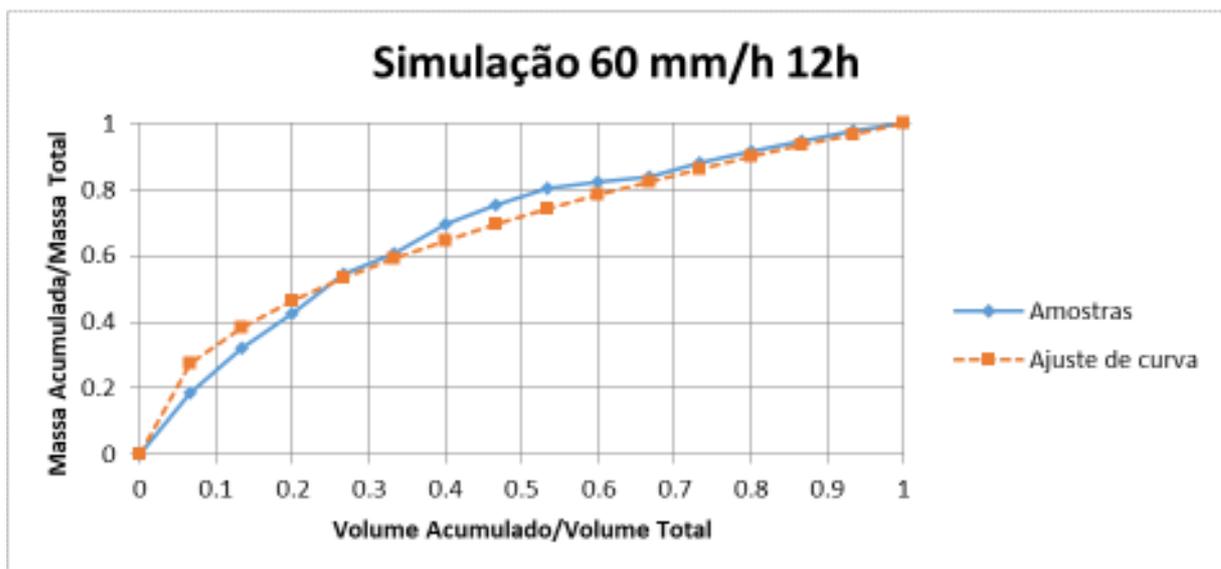


Figura 5.12 – Curva MFF<sub>n</sub> da simulação de 60 mm/h e 12 h.

## 6 Conclusão

Considerando as oito simulações de chuva realizadas e os resultados dos ensaios para determinação da concentração de óleo das amostras, foi possível estabelecer, para cada simulação, um gráfico da variação da concentração de óleo do efluente coletado, em mg/L, em função da quantidade de chuva precipitada, em mm. Da mesma forma, os valores resultantes também foram plotados em formato normalizado, sendo possível a sua representação em termos de curvas do tipo  $Y=X^a$ , onde o coeficiente “a” foi obtido por aproximação da função  $\ln(Y) = a \cdot \ln(X)$ , utilizando o método dos mínimos quadrados.

Dos resultados dos ensaios para determinação da concentração de óleo das amostras, percebeu-se que, os valores de concentração de óleo resultaram inicialmente acima do limite de 20 mg/L, estabelecido pelo CONAMA, em todas as simulações realizadas.

Apesar de em todas as oito simulações a concentração de óleo ter atingido patamares acima dos 20 mg/L, foi observado que para as simulações de 96 horas esses níveis foram satisfeitos após 12 mm de precipitação, evidenciando que quanto maior for o tempo de permanência do óleo na superfície do pavimento, menor será a quantidade de chuva precipitada necessária a ser tratada em separador água/óleo.

Em relação às variáveis de interesse, se observou que a intensidade da precipitação não influencia significativamente na concentração de óleo no efluente, mas o tempo de penetração de óleo no pavimento tem forte influencia. Quanto maior o tempo que o óleo tem contato com o pavimento e é absorvido pelo concreto, menor será a taxa de óleo levada pelo escoamento superficial decorrente da precipitação.

Também foi identificada, uma moderada ocorrência de first flush (i.e., fenômeno associado ao conceito de que a primeira porção de escoamento superficial proveniente de precipitações é a mais contaminada) nos efluentes provenientes de todas as simulações realizadas.

Além desses dois parâmetros (i.e., intensidade de precipitação e tempo de penetração do óleo no concreto), há várias outras variáveis que podem ter efeito e poderiam ser analisadas em experimentos futuros (e.g., massa de óleo depositada por área, material do pavimento, declividade, temperatura, umidade). Um estudo da estimativa da quantidade de óleo que aeronaves e veículos despejam acidentalmente nos pavimentos aeroportuários seria de grande utilidade para um dimensionamento de um SSAO personalizado para as necessidades específicas do aeroporto.

## Referências

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 (1992). American Petroleum Institute. API Publication 421: **Monographs on Refinery Environmental Control – Management of Water Discharges – Design and Operation of Oil/Water Separators**. Washington D. C., 50 p.

AUCKLAND (1998). **Separator design methodologies**. 19 p.

AZEVEDO, H. P. M. (2007). **Descrição do Projeto do Sistema Separador de Água e Óleo do Aeroporto de Congonhas**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 82 p.

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, R. G. **Avaliação de first flush em pavimentos aeroportuários para dimensionamento de sistemas de separação água/óleo**. 2016. 68p. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP.

CARVALHO, R. G. **Proposta de dimensionamento de sistema de separação água/óleo para pátios e pistas de aeroportos**. 2014. 153p. Tese de mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP.

CARVALHO, R. G.; KRUK, N. S. Critérios de dimensionamento para sistemas de separação água/óleo em aeroportos. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, nov. 2013.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Agricultural Engineering, 1942, n.22, p.89-92.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CORONA, R.; WILSON, T. D' ADDERIO, L. P.; PORCÙ, F.; MONTALDO, N.; ALBERTSON, J. **On the estimation of surface runoff through a new plot scale rainfall simulator in Sardinia, Italy**. Procedia Environmental Sciences, n.19, 2013, p.875 – 884.

DIRENG, Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. **Projeto de drenagem de aeroportos**. Rio de Janeiro: DIRENG, maio 2004.

EPA (1999). United States Environment Protection Agency. EPA 832-F-99-029: **Storm Water Technology Fact Sheet – Water Quality Inlets**. Washington, D. C., 6 p.

ETL (1994). Army Engineering Technical Letter. 1110-3-4666 **Selection and Design of Oil/Water Separators at Army Facilities**. 45 p.

FAA, Federal Aviation Administration. **Advisory Circular 150 5320-5B – Airport Drainage Design**. U.S. Department of Transportation, 1 jul. 1970.

FAA, Federal Aviation Administration. **Advisory Circular 150 5320-5D – Airport Drainage Design**. U.S. Department of Transportation, 15 ago. 2013. Disponível em: <[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150\\_5320\\_5d.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5320_5d.pdf)>. Acesso em 21 nov 2017.

OLIVEIRA A.M.S. & BRITO S.N.A. (eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1998.

SAGET, A.; CHEBBO, G. BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. **The first flush in sewer systems**. Water Science and Technology. 1996, vol.33, ed.9, p.101 – 108.

STENSTROM, M. K.; KAYHANIAN, M. **First flush phenomenon characterization**. California Department of Transportation. Division of Environmental Analysis, 2005. Disponível em: <[http://www.dot.ca.gov/hq/env/stormwater/pdf/CTSW-RT-05-073-02-6\\_First\\_Flush\\_Final\\_9-30-05.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/env/stormwater/pdf/CTSW-RT-05-073-02-6_First_Flush_Final_9-30-05.pdf)>. Acesso em: 03 out. 2017.

SHELL. **Aeroshell Turbine Oil 560**. Disponível em: <<http://www.shell.com/business-customers/aviation/aeroshell/aeroshell-turbine-engine-oils/reliable-performance-for-confident.html>>. Acesso em: 20 out. 2017.

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

TABORGA TORRICO, J.J. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro. TRANSCON, 1974. 120p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1993.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 21 de novembro de 2017	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-097/2017	4. N° DE PÁGINAS 66
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise da concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial resultante de simulações de chuva em laboratório sobre superfícies de pavimentos com revestimento de concreto			
6. AUTOR(ES): <b>Luis Leão de Sousa Junior</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Concentração de óleo. 2. Efluentes. 3. Simulação de chuva. 4. Revestimento de concreto. 5. Separador água/óleo. 6. Escoamento superficial.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Precipitação (Química); Separação de fluidos; Escoamento de líquidos; Pavimentos; Engenharia civil.			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Roberto Gonçalves de Carvalho. Publicado em 2017.			
11. RESUMO: Devido às atividades executadas em aeroportos, óleos minerais são frequentemente depositados acidentalmente nos pavimentos dos pátios de aeronaves, nas taxiways e em outros componentes de sistema aeroportuário. Dado que a CONAMA estabelece um limite máximo de concentração de óleos minerais lançados em efluentes, é necessária a instalação de dispositivos capazes de reter os picos de concentração desses óleos advindos de escoamentos superficiais de precipitações. Com essa finalidade pode se utilizar os Sistemas Separadores Água/Óleo (SSAO), que são compostos por um Tanque de Equalização (TE) e um Separador Água/Óleo (SAO). O TE é útil devido à limitação de capacidade de vazão do SAO em relação à alta vazão decorrente do escoamento superficial das grandes áreas de pavimentos aeroportuários. Para o dimensionamento dos SSAOs, há metodologias práticas que determinam uma precipitação de first flush que deve ser tratada. O racional desses métodos está no fato de que a concentração de contaminantes é maior nos primeiros volumes de precipitação, e, portanto, somente uma determinada porção do volume inicial deve ser processada no SAO. Em EPA 1999 sugere-se o tratamento dos primeiros 13 mm de precipitação e em CARVALHO 2014 sugere-se 16 mm. Esses valores de first flush são práticos, entretanto, não refletem as peculiaridades de cada aeroporto, que podem reduzir ou aumentar esses volumes iniciais a serem tratados. A quantidade de óleo derramada no pavimento, o regime de chuvas, o material do pavimento e a temperatura não são características iguais para todos aeroportos, porém não há estudos que modelem os efeitos de todas essas características em volumes de first flush a serem tratados. Esse Trabalho de Graduação visa identificar o efeito de duas variáveis do regime de chuvas na concentração de óleo em efluentes provenientes do escoamento superficial: a intensidade das precipitações e o tempo de penetração do óleo no pavimento. Para a realização dessa análise, realizou-se simulações de chuva em pavimento de concreto variando os parâmetros de interesse. Para uma mensuração precisa da concentração de óleo nas amostras, utilizou-se a metodologia empregada em CARVALHO 2014, que usa acetona, hexadecano e ácido esteárico.			
12. GRAU DE SIGILO: <input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO <input type="checkbox"/> RESERVADO <input type="checkbox"/> SECRETO			