

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**MAURÍCIO ANDRADES PAIXÃO**

**RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES PARA  
DESENCADear ESCORREGAMENTOS NA CIDADE DE PORTO  
ALEGRE - RS**

Porto Alegre

Dezembro 2015

**MAURÍCIO ANDRADES PAIXÃO**

RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES PARA  
DESENCADear ESCORREGAMENTOS NA CIDADE DE PORTO  
ALEGRE - RS

TRABALHO DE CONCLUSÃO  
APRESENTADO AO CURSO DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL COMO PARTE  
DOS REQUISITOS PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

Co-orientador: Dr. Gean Paulo Michel

Porto Alegre  
Dezembro 2015

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Fernando e Sônia, por todo amor, carinho, exemplos, incentivos e dedicação ao longo de toda minha vida. Sem vocês isso não seria possível. Aos meus irmãos, Diego e Vinícius, pelo incentivo constante, parceria e incentivo. Amo vocês!

À minha namorada, Joana, por todo amor, companheirismo e auxílio na engenharia. Te amo!

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudo e às camadas mais pobres da população que, com o suor de seus trabalhos, financiaram meus estudos. Retribuirei com meu trabalho e dedicação todo o investimento realizado.

Ao meu orientador Masato Kobiyama e ao meu coorientador Gean Paulo Michel pelos ensinamentos e amizade ao longo desses últimos anos, vocês são muito importantes para mim.

Agradeço à toda equipe do GPDEN pelos ensinamentos.

Aos amigos de sempre por estarem presentes em todos os momentos.

“Se você pode sonhar, você pode fazer”

Walt Disney

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma equação de intensidade-duração (ID) de precipitação que desencadeia escorregamentos na cidade de Porto Alegre – RS. Essas equações são importantes ferramentas que atuam como medidas preventivas não-estruturais na redução do risco de desastres, uma vez que podem servir de auxílio em sistemas de alerta. Foi caracterizada a precipitação na área de estudo a partir de duas estações meteorológicas, uma automática com dados horários e outra manual com dados diários. Para gerar a equação ID foram relacionados, em cada evento de escorregamento registrado, intensidade e duração da precipitação, sendo ajustada uma equação potencial descrevendo o comportamento da curva ID para o local de estudo. A curva ID gerada apresentou comportamento similar ao observado em outros locais e pode ser utilizada no auxílio à redução do risco de desastres em Porto Alegre.

## ABSTRACT

This paper presents a rainfall intensity-duration equation triggering landslides in Porto Alegre – RS. These equations are important tools that acting as non-structural preventive measures to reduce disaster risks and could be used in warning systems. The precipitation was characterized on the study area through two meteorological stations, one of them with automatic hourly data and another one manual daily data. In order to generate ID equation, intensity and duration precipitation were registered and a potential law equation was fitted, describing the mean ID behavior for the study area. The ID equation shown a similar behavior observed in other areas and it can be used to support reducing disasters risk in Porto Alegre.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre fenômenos naturais e desastres naturais.....	9
Figura 2 – Deslizamentos em Porto Alegre: (a) Avenida Ipiranga em jul/15; (b) Hospital Militar em nov/13; (c) Avenida Bento Gonçalves em jul/2010. ....	11
Figura 3 – Subsidência de asfalto durante chuva intensa em fev/2013. ....	12
Figura 4 – Curva IDF Redenção, Porto Alegre. ....	16
Figura 5 – Localização do município de Porto Alegre – RS. ....	22
Figura 6 – Regime pluviométrico no período 1961-2014. ....	27
Figura 7 – Características pluviais no período de 2000 a 2015: (a) intensidade média mensal; (b) precipitação acumulada mensal. ....	30
Figura 8 – Distribuição da precipitação: (a) número de horas chovidas para cada hora do dia; e (b) distribuição horária das precipitações. ....	31
Figura 9 – Intensidade e duração de precipitação para cada evento registrado.....	32
Figura 10 – Curvas ID para os anos de 2006 a 2013.....	33
Figura 11 – Curvas ID para diferentes tipos de desastres.....	35
Figura 12 – Comparação entre Caine (1980) e Equação ID.....	36
Figura 13 – ID proposta e ID Caine (1980).....	37
Figura 14 – Comparação entre diferentes ID: (1) Caine (1980); (2) Innes (1983); (3) Clarizia <i>et al.</i> (1996); (5) Cannon & Gartner (2005); (6) e (7) Guzzetti <i>et al.</i> (2008)...	38

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Equações IDF disponíveis em Porto Alegre.....	17
Tabela 2 – Equações ID anteriormente propostas .....	18
Tabela 3 – Classificações de Desastres Naturais.....	21
Tabela 4 – Estações meteorológicas utilizadas.....	24
Tabela 5 – Estatística preliminar da precipitação em Porto Alegre no período entre outubro/2002 e agosto/2015 .....	28
Tabela 6 – Estatística da distribuição horária da precipitação.....	28
Tabela 7 – Equações ID para o período entre 2006 e 2013.....	33
Tabela 8 – Equações ID para os diferentes tipos de desastres conforme classificação utilizada pela Proteção e Defesa Civil no período 2009-2013. ....	35

## SUMÁRIO

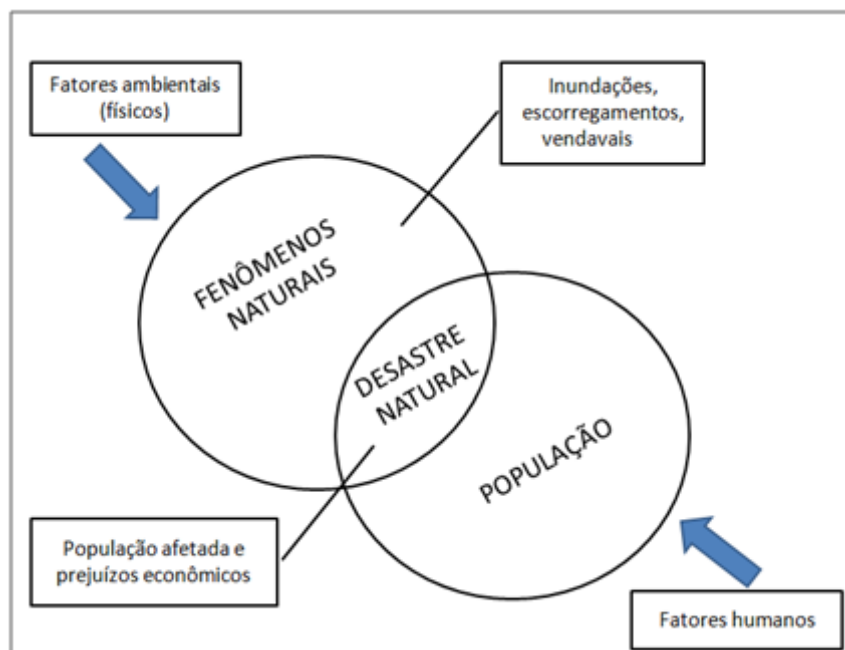
1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Geral .....	14
2.2	Específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	Caracterização da precipitação .....	15
3.2	Relação entre precipitação e escorregamentos .....	17
3.3	Classificação de desastres.....	20
4	ÁREA DE ESTUDO.....	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
5.1	Dados utilizados .....	24
5.2	Caracterização preliminar.....	25
5.3	Curva ID .....	25
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
6.1	Caracterização preliminar.....	27
6.2	Curva ID .....	31
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	39
8	REFERÊNCIAS .....	42



# 1 INTRODUÇÃO

Fenômenos naturais que ocorrem em locais ocupados pelo homem e que causam danos humanos, materiais e prejuízos socioeconômicos são denominados desastres naturais (UNDP, 2004). No mundo os desastres naturais têm aumentado de frequência, em especial os desastres hidrológicos, aqueles que estão associados à dinâmica da água. Os desastres hidrológicos são de difícil previsão e de grande potencial destrutivo.

O aumento da ocorrência de desastres naturais pode estar associado ao crescimento populacional, à concentração da população em centros urbanos e ao mau planejamento e utilização do território pelo homem (Kobiyama *et al.*, 2006). A análise dos desastres naturais permite inferir que há fatores naturais (associados aos fenômenos naturais) e fatores humanos (concentração da população, utilização de áreas susceptíveis a eventos extremos etc.). À medida que o homem passou a ocupar mais fortemente os locais em que os fenômenos ocorriam, os registros de desastres passaram a aumentar (Figura 1).



**Figura 1 – Relação entre fenômenos naturais e desastres naturais.**

No Brasil, a maioria dos escorregamentos ocorre após períodos chuvosos, motivo pelo qual os escorregamentos ocorridos no país devem ser considerados como desastres hidrológicos conforme classificação internacional proposta por EM-DAT (2011). Em Porto Alegre-RS os desastres mais frequentes são os alagamentos, as inundações e os escorregamentos.

Estudos que envolvem precipitação apresentam grandes dificuldades em estimar seu comportamento espaço-temporal, uma vez que o desencadeamento do processo de precipitação depende de diversos fatores climáticos dos quais muitos ainda são desconhecidos (Monteiro & Kobiyama, 2011). O comportamento da precipitação pode ser estimado a partir de isoietas e suas características podem ser estimadas a partir de equações que relacionam intensidade, duração e frequência. Para essa estimativa são necessários períodos de amostragem de precipitação, sendo que quanto maior a resolução temporal, ou seja, menor o tempo entre uma medição e outra, mais apurados são os resultados.

Caine (1980) afirmou que a intensidade e a duração da precipitação são fatores determinantes para desencadeamento de escorregamentos e fluxo de detritos, embora inúmeras variáveis tenham influência sobre estes fenômenos, tais como propriedades hidráulicas e mecânicas, morfologia, presença de vegetação e alterações geomorfológicas. Desde então, diversos estudos tem relacionado intensidade e duração de precipitação capazes de desencadear escorregamentos. Embora a simplicidade da abordagem empírica negligencie importantes aspectos hidrológicos atuantes no solo, fornece um meio simples de emissão de alertas a movimentos de massa baseado apenas em informações de precipitação.

O município de Porto Alegre, importante centro econômico da região Sul do Brasil, tem sido fortemente afetado por chuvas intensas. Essas chuvas têm

desencadeado diversos escorregamentos, motivo pelo qual o município foi escolhido para realização desta análise (Figuras 2 e 3)



**Figura 2 – Deslizamentos em Porto Alegre: (a) Avenida Ipiranga em jul/15; (b) Hospital Militar em nov/13; (c) Avenida Bento Gonçalves em jul/2010.**

Fonte: Jornal Zero Hora<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2010/07/apos-deslizamento-epc-garante-que-transito-deve-fluir-na-avenida-bento-goncalves-2981049.html>

**Figura 3 – Subsidiência de asfalto durante chuva intensa em fev/2013.**Fonte: Portal G1<sup>2</sup>

A estimativa da relação entre intensidade e duração de precipitação que desencadeia escorregamentos pode servir de subsídio para a etapa de preparação para o desastre por parte da Defesa Civil, auxiliando na redução dos efeitos dos desastres. Atualmente, o Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre é responsável pelo monitoramento climático e pela emissão de alertas para manutenção da situação de normalidade no município, e o presente trabalho pode ser utilizado no auxílio à identificação da possibilidade de escorregamentos, com posterior emissão de alerta.

Os desastres naturais podem ser evitados ou minimizados ao se adotar medidas preventivas que, segundo Silva *et al.*, (2009) podem ser divididas em dois grupos:

- Medidas Estruturais: envolvem obras de engenharia e possuem alto custo associado
- Medidas Não-Estruturais: ações de políticas públicas, monitoramento ambiental, zoneamento geoambiental, sistemas de alerta e conscientização.
- 

Kobiyama *et al.*, (2006) comentaram que a prevenção de desastres naturais pode ser baseada tanto na compreensão dos mecanismos dos fenômenos naturais causadores de desastres naturais quanto pelo aumento do potencial de resistência da sociedade contra esses fenômenos. Os estudos de precipitação fornecem embasamento para o melhor entendimento dos fenômenos e as equações ID podem servir para auxiliar

---

<sup>2</sup> Disponível em <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/02/rua-deve-ficar-bloqueada-por-60-dias-apos-asfalto-ceder-em-porto-alegre.html>

sistemas de alerta, aumentando a conscientização e a resistência da população frente a desastres naturais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Determinar a relação entre intensidade e duração de precipitações capazes de desencadear escorregamentos em Porto Alegre-RS.

### **2.2 Específicos**

- Analisar, em relação à distribuição temporal, a precipitação em Porto Alegre.
- Avaliar a relação intensidade-duração de precipitações capazes de desencadear escorregamentos considerando suas diferentes origens.
- Avaliar, ao longo da série analisada, a relação intensidade-duração capazes de desencadear escorregamentos para os diferentes anos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Caracterização da precipitação

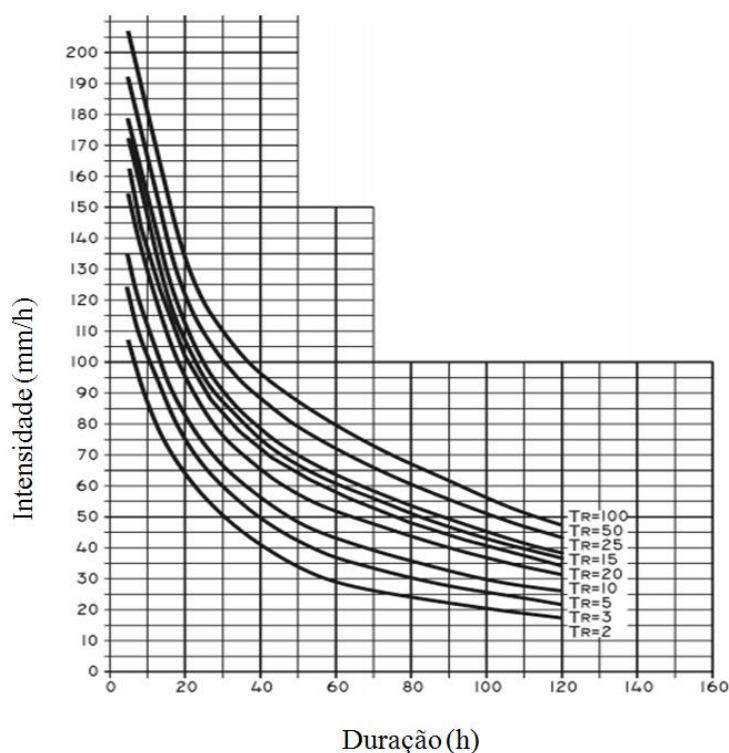
A partir do conhecimento do regime pluviométrico é possível estimar probabilidades de ocorrência e tempos de retorno das precipitações. Análises estatísticas da precipitação com base nos dados disponíveis são importantes ferramentas na introdução de medidas mitigadoras de desastres. Essas análises são importantes para melhor compreensão dos fenômenos uma vez que as variáveis hidrológicas, quando analisadas experimentalmente, assumem valores que são dependentes das características locais (Righetto, 1998).

Silva (2005) realizou a caracterização preliminar da precipitação no campus da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, buscando identificar sazonalidades em termos de intensidade e duração dos eventos e verificou que as intensidades de precipitação eram diferentes para os meses de inverno em comparação com os meses de verão. Rocha *et al.*, (2009) caracterizaram os eventos extremos que atingiram os municípios de Blumenau-SC e Rio dos Cedros-SC entre agosto de 2008 e janeiro de 2009, determinando o tempo de retorno e analisando a frequência e intensidade média para cada hora do dia. Monteiro *et al.*, (2011) analisaram a influência da distribuição temporal da precipitação em inundações na bacia do Morro do Baú, no município de Ilhota-SC e comentaram que para trabalhar adequadamente com a distribuição temporal são necessários o aperfeiçoamento dos bancos de dados existentes e medições temporais com maior resolução temporal e maior precisão dos dados. Carrea-Hernández *et al.*, (2007) analisaram a distribuição temporal da precipitação diária na Bacia do México, que compreende a Cidade do México e comentaram que os

métodos de interpolação dos dados diários apresentaram melhores resultados do que a interpolação dos dados mensais acumulados.

A análise da frequência e da intensidade de precipitação fornece, portanto, subsídio para relacionar os eventos extremos à ocorrência de desastres naturais de caráter hidrológico.

As precipitações intensas são causadoras de desastres naturais hidrológicos, tais como escorregamentos, inundações e alagamentos. Frequentemente é necessário relacionar a intensidade, a duração e a frequência ou o tempo de retorno dessas precipitações, sendo a forma de fazê-lo através das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF).



**Figura 4 – Curva IDF Redenção, Porto Alegre.**  
Fonte: (Adaptado de Collischonn & Tassi, 2008)



A curva IDF é obtida a partir de uma série de dados longa e ajustada a uma distribuição de frequências que melhor represente a distribuição dos valores observados, sendo a distribuição de Gumbel largamente utilizada.

O avanço das tecnologias aplicadas para medição de precipitação tem possibilitado melhores estimativas de intensidade e duração dos eventos chuvosos. Quanto maior for a resolução das medições, mais precisas serão as informações geradas e, por consequência, melhores os resultados limiares de intensidade e duração. O município de Porto Alegre apresenta atualmente quatro equações IDF: Aeroporto, 8° DISME, IPH e Redenção (Tabela 1).

**Tabela 1 – Equações IDF disponíveis em Porto Alegre.**

Local	IDF
AEROPORTO	$i = \frac{826,8 \cdot TR^{0,143}}{td + 13,3}$
8° DISME	$i = \frac{1297,9 \cdot TR^{0,171}}{(td + 11,6)^{0,85}}$
IPH	$i = \frac{509,859 \cdot TR^{0,196}}{(td + 10)^{0,72}}$
REDENÇÃO	$i = \frac{1265,67 \cdot TR^{0,052}}{(td + 12)^{\frac{0,88}{TR^{0,05}}}}$

### 3.2 Relação entre precipitação e escorregamentos

Os escorregamentos estão associados ao movimento de água no solo. De maneira geral, os escorregamentos podem ocorrer devido à umidade antecedente ocasionada por longos períodos de precipitação ou por eventos intensos porém de curta duração

(Dhakal & Sidle, 2004). Como a análise de escorregamentos depende de fatores que apresentam alta variabilidade (resistência mecânica, parâmetros hidráulicos do solo, entre outros), as equações empíricas que relacionam intensidade e duração da precipitação (equações ID) tem sido utilizadas para estimar a ocorrência de escorregamentos.

Caine (1980) utilizou informações de intensidade e duração de precipitação em 73 eventos de deslizamentos e fluxo de detritos que ocorreram em diferentes condições geológicas e topográficas, sendo o primeiro a propor a existência de um limiar dessas condições para ocorrência de escorregamentos. Os eventos registrados ocorreram em locais sem construções, agricultura ou processos erosivos avançados. Os dados de precipitação disponíveis à época do estudo não eram consistentes: a precisão das observações era variada, os pluviômetros disponíveis diferiam entre si em termos construtivos e a distância entre os pluviômetros e os locais em que os escorregamentos foram registrados provocaram discrepância nos resultados. A equação proposta por Caine (1980) é apresentada na Tabela 1.

Outros autores (Innes (1983), Clarizia *et al.*, (1996), Crosta & Frattini (2001), e Guzzetti *et al.*,(2008) etc.) também propuseram equações ID para diferentes tipos de escorregamentos (Tabela 2).

**Tabela 2 – Equações ID anteriormente propostas**

Autor	Tipo de Escorregamento	Equação	Faixa de Validade (h)
Caine (1980)	Escorregamentos rasos e fluxo de detritos	$I = 14,82 \cdot D^{-0,39}$	$0,167 < D < 500$
Innes (1983)	Fluxo de detritos	$I = 4,93 \cdot D^{-0,50}$	$0,1 < D < 100$
Clarizia <i>et al.</i> (1996)	Escorregamentos	$I = 10 \cdot D^{-0,77}$	$0,1 < D < 1000$
Costa & Frattini (2001)	Escorregamentos rasos	$I = 0,48 + 7,2 \cdot D^{-1,00}$	$0,1 < D < 1000$
Guzzetti <i>et al.</i> (2008)	Escorregamentos raros	$I = 2,20 \cdot D^{-0,44}$	$0,1 < D < 1000$

Obs.: O símbolo  $I$  apresenta a medida da intensidade média de precipitação em mm/h e  $D$  é a duração da precipitação em h.

Aleotti (2004) estabeleceu equação empírica para a região de Piemonte, Itália, utilizando quatro eventos críticos de precipitação que desencadearam diversos escorregamentos entre os anos de 1990 e 2002. Os eventos foram selecionados por abranger grande variação de parâmetros de precipitação, tais como intensidade, duração e acumulação, bem como um alto número de escorregamentos.

Aleotti (2004) também comentou que a duração da precipitação a ser utilizada para obter resultados mais precisos deveria ser a duração desde o início do evento chuvoso até o momento da ocorrência do escorregamento. Para tal, são necessários registros mais completos, normalmente inexistentes, contendo o exato momento de ocorrência dos escorregamentos. A correta caracterização do evento de escorregamento bem como as informações de intensidade e duração permite aprimorar os resultados da equação ID. Guzzetti *et al.*, (2008) utilizou a duração total do evento chuvoso em seu estudo a fim de manter uma uniformidade na análise. Quanto melhor a resolução temporal dos dados de precipitação, melhor será a predição da duração dos eventos chuvosos. Heyerdahl *et al.*, (2003) sugeriu a utilização de intensidades críticas em cada hora durante todo o evento chuvoso, no entanto, a obtenção de dados com resolução maior que horária normalmente não está acessível.

Embora sujeitas a críticas, uma vez que as equações empíricas desconsideram a quantidade de precipitação que infiltra e se move no solo causando rupturas, as relações entre intensidade e duração da precipitação são utilizadas para previsão de ocorrência de escorregamentos de maneira mais simplificada e acessível. Iverson *et al.*, (1997) comentaram que o desenvolvimento de poro-pressão positiva acompanha o processo de saturação do solo, particularmente em zonas com maior porosidade. As medições de poro-pressão positivas durante os períodos chuvosos suportam a premissa que a

acumulação de água no solo desencadeia escorregamentos. Chen *et al.*, (2015) descreveu as relações entre intensidade e duração de precipitação para todos os tipos de movimentos de massa em Taiwan, mas também propôs diferentes equações ID para deslizamentos apenas e para fluxo de detritos somente. Essa diferenciação pôde ser gerada a partir de registros completos do *Soil and Water Conservation Bureau* de Taiwan, evidenciando a necessidade do correto registro do evento extremo.

Quando empregadas, as equações ID podem ser úteis na etapa de preparação para o desastre, especialmente se houver processamento dos dados em tempo real. As equações ID, portanto, fornecem subsídio na redução do risco de desastres.

### **3.3 Classificação de desastres**

Os desastres podem ser classificados conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) ou conforme a classificação internacional utilizada pela ONU (EM-DAT). Em ambas as classificações, os desastres naturais são separados nas seguintes classes: geológicos ou geofísicos, meteorológicos, hidrológicos, climatológicos e biológicos, porém os eventos atribuídos a cada um deles podem ser diferentes a partir de diferentes perspectivas.

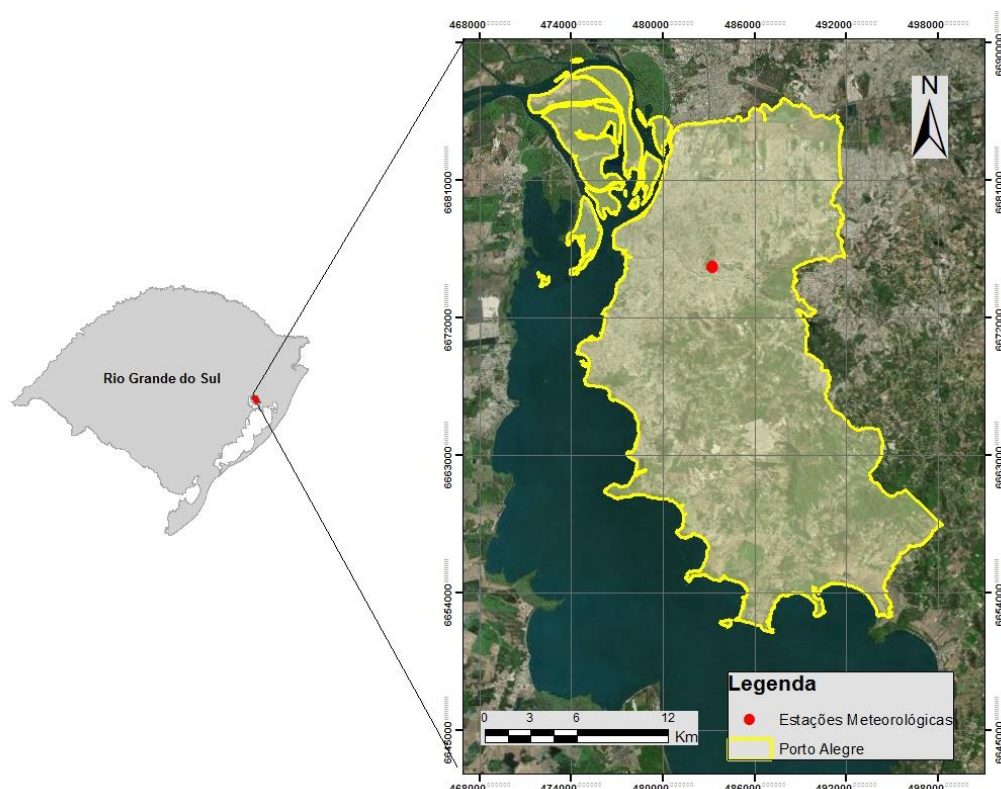
No Brasil a Instrução Normativa N° 01, de 24 de agosto de 2012, através do Art. 8º, estabelece que para atender a classificação do EM-DAT, a Proteção e Defesa Civil passará a adotar a classificação da COBRADE. No entanto, a classificação COBRADE difere da classificação EM-DAT especialmente no que diz respeito a desastres geológicos, geofísicos e hidrológicos. A Tabela 3 apresenta as parcelas da COBRADE e da EM-DAT que abordam os desastres naturais.

Tabela 3 – Classificações de Desastres Naturais

Classificação Brasileira		Classificação Internacional	
Classe	Exemplo	Classe	Exemplo
Geológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremotos</li> <li>• Vulcanismos</li> <li>• Movimentos de massa</li> <li>• Erosão</li> </ul>	Geofísico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terremoto</li> <li>• Vulcanismo</li> <li>• Movimentos de massa (<b>seca</b>)</li> </ul>
Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de grande escala</li> <li>• Tempestades</li> <li>• Temperaturas extremas</li> </ul>	Meteorológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempestades</li> </ul>
Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundações</li> <li>• Enxurradas</li> <li>• Alagamentos</li> </ul>	Hidrológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inundações</li> <li>• Movimentos de massa (<b>úmida</b>)</li> </ul>
Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secas</li> </ul>	Climatológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Secas/estiagens</li> <li>• Incêndios</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epidemias</li> <li>• Infestações/pragas</li> </ul>	Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Epidemias</li> <li>• Infestações de insetos</li> <li>• Debandadas de animais</li> </ul>

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul. Fundado em 1772, o município possui área de 496,68 km<sup>2</sup> e população estimada em 1.476.867 habitantes no ano de 2015 (IBGE, 2015). A cidade faz fronteira com os municípios de Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Eldorado do Sul, Nova Santa Rita, Triunfo e Viamão (Figura 5).



**Figura 5 – Localização do município de Porto Alegre – RS.**

Conforme classificação climática de Köppen-Geiger, o município de Porto Alegre apresenta clima temperado úmido (Cfa). O clima Cfa é temperado, úmido e com verões quentes, apresenta precipitação em todos os meses do ano e ausência de estação seca bem definida. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a temperatura média dos três meses mais frios está compreendida entre -3°C e 18°C.

O clima em Porto Alegre é controlado por massas de ar de origem marítima e polar marítima dependendo da estação do ano. Entre os meses de primavera e verão há predomínio de massas de ar tropical marítima, responsável por causar precipitações mais intensas e de curta duração. Nesses meses há predomínio de chuvas convectivas, que ocorrem pelo aquecimento de pequenas massas de ar em contato direto com a superfície quente dos continentes e oceanos que, ao subirem a níveis mais altos da atmosfera e condensarem, geram chuvas intensas, de curta duração e localizadas em pequenas extensões (Collischonn & Tassi, 2008). Já nos meses de outono e inverno há alternância entre massas de ar marítima e polar, gerando instabilidade climática e causando chuvas de menor intensidade porém com maior duração (Ferraro & Hasenack, 2000). Nestas épocas do ano, há predomínio de chuvas frontais, que ocorrem quando grandes massas de ar - da ordem de centenas de quilômetros de extensão- se encontram e geram chuvas de longa duração e baixa intensidade.

No que tange à ocupação do solo, a zona norte da cidade apresenta ocupação intensa enquanto a zona sul apresenta ocupação mais dispersa. Com o avanço da urbanização para áreas desfavoráveis à ocupação, a ocorrência de movimentos de massa acaba sendo intensificada, trazendo prejuízos à população local (Brito, 2014).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Dados utilizados

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos junto à Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (SADMET/INMET). Ao total, foram utilizadas 2 estações pluviométricas (Figura 5), sendo uma automática com dados horários e outra manual com dados diários (Tabela 4).

**Tabela 4 – Estações meteorológicas utilizadas**

<b>Estação INMET</b>	<b>Resolução temporal das medições</b>	<b>Período</b>
83976 – Porto Alegre	Diária	02/01/1961 - 13/04/2015
86998 – Porto Alegre-A801	Horária	22/09/2000 - 07/09/2015

A Estação Meteorológica 83967 possui falhas apenas entre os anos de 1985 a 1988. A Estação Meteorológica 86998 registrou 130992 h de medições nas quais 124600 h são medições válidas.

Os registros de escorregamentos utilizados neste trabalho foram obtidos junto ao banco de dados da Proteção e Defesa Civil de Porto Alegre e são referentes ao período de 2006 a 2013. Os registros de ocorrências apresentam, a partir do ano de 2008, a indicação se o escorregamento ocorrido é natural ou humano, conforme classificação utilizada pela Proteção e Defesa Civil de Porto Alegre. Ao todo foram registrados 260 escorregamentos que possuem precipitação associados e 128 escorregamentos que não possuem relação com períodos chuvosos. Essa diferença pode estar atrelada ao fato de o banco de dados da Defesa Civil de Porto Alegre – RS não apresentar detalhes descritivos sobre o evento e utilizar nomenclatura em desacordo tanto com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) quanto com a classificação internacional (EM-DAT). É utilizado o termo



“Desmoronamento/Desbarrancamento/Deslizamento de Terra” para descrever todos os movimentos de massa. Um maior detalhamento dos dados acerca de sua origem acarretaria em análise mais apurada.

## 5.2 Caracterização preliminar

Foram realizadas análises de frequência e intensidade média para a estação, sendo os dados manipulados para cada hora do dia (0 às 23 horas). As frequências das precipitações foram calculadas a partir da equação (1):

$$FR = \frac{N_0}{N_D} \cdot 100 \quad (1)$$

em que  $N_0$  é o número de eventos de certa intensidade de precipitação; e  $N_D$  é o número total de medições válidas durante o período analisado nesse estudo, em h, uma vez que a resolução temporal é horária.

Já as intensidades médias de precipitação foram calculadas a partir da equação (2):

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{N_P} \quad (2)$$

em que  $I$  é a intensidade (mm/h);  $P_i$  é a precipitação (mm); e  $N_P$  é o número de ocorrências de precipitação em um determinado intervalo.

## 5.3 Curva ID

A relação entre intensidade média e duração da precipitação foi estabelecida para cada evento de escorregamento válido registrado no banco de dados da Defesa Civil de Porto Alegre-RS considerando a duração total do evento conforme Guzzetti *et al* (2008). Assumiu-se, então, que esses valores de intensidade média e de duração

deflagraram os escorregamentos. Esse modelo apresenta as seguintes limitações: i) apenas a estação 86998-Porto Alegre –A801 foi utilizada, sendo os dados referentes a esta estação considerados uniformes em toda a cidade; e ii) o banco de dados da Defesa Civil apresenta registros insuficientes em termos de caracterização dos eventos de escorregamentos.

Foram gerados hietogramas para cada evento a fim de estimar a duração das precipitações, sendo considerados eventos independentes sempre que o padrão de precipitação se alterava para períodos secos estáveis de aproximadamente 5 h, similar ao proposto por Guzzetti *et al* (2008). Embora essa padronização possa eventualmente desconsiderar a saturação antecedente do solo, as curvas ID propostas por outros autores tem se mostrado eficientes. Desse modo, para cada escorregamento registrado há uma intensidade média e uma duração de precipitação associados, os quais foram plotados para identificar uma tendência das observações.

Caine (1980), Innes (1983), Clarizia *et al.* (1996) e Guzzetti *et al.* (2008) demonstraram uma forma potencial para descrição da curva ID. Assim, o ajuste a ser realizado será na forma

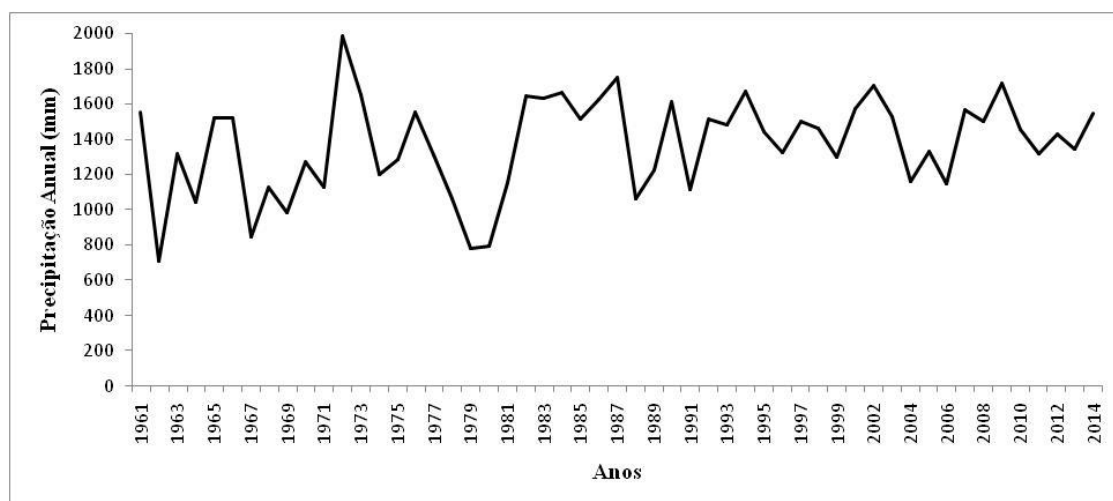
$$I = a \cdot D^b \quad (3)$$

em que  $a$  e  $b$  são parâmetros de ajuste da equação potencial que descreve o comportamento dos dados observados. O software utilizado para o ajuste da curva foi o Curve Expert Professional 2.2.0, solução multi-plataforma para ajuste de curvas e análise de dados, sendo utilizada uma versão *beta* de avaliação do programa disponível *online*. A plotagem dos resultados foi realizada em ambiente Windows Excel 2010.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização preliminar

A precipitação foi analisada de maneira preliminar a partir da série histórica 1961-2014, buscando avaliar se há alguma tendência temporal das precipitações (Figura 6). O menor valor de precipitação anual dentro do período analisado neste estudo (2006-2013) ocorreu em 2006, com aproximadamente 1100 mm e o maior valor de precipitação ocorreu em 2009, com aproximadamente 1600 mm.



**Figura 6 – Regime pluviométrico no período 1961-2014.**

Ao longo da série, porém, o valor máximo ocorre em 1972 com cerca de 2000 mm no ano e o valor mínimo em 1962, com cerca de 700 mm no ano. Observando-se o comportamento da série histórica, o regime pluviométrico não parece ter sofrido alterações significativas em sua tendência quando se confronta o período analisado e a série histórica.

Para a análise da precipitação a estação apresentou 124600 contagens válidas de medições horárias entre outubro de 2000 e agosto de 2015, sendo 11059 contagens de

precipitação. A Tabela 5 apresenta estatística preliminar da precipitação durante este período, enquanto a Tabela 6 apresenta estatísticas horárias para cada hora do dia.

**Tabela 5 – Estatística preliminar da precipitação em Porto Alegre no período entre outubro/2002 e agosto/2015**

<b>Nº de Horas Chovidas</b>	<b>Média (mm/h)</b>	<b>Mínimo (mm/h)</b>	<b>Máximo (mm/h)</b>	<b>Desvio-padrão (mm/h)</b>
<b>11059</b>	<b>1,8</b>	<b>0,2</b>	<b>40,6</b>	<b>2,9</b>

**Tabela 6 – Estatística da distribuição horária da precipitação**

<b>Horário do dia</b>	<b>Horas chovidas</b>	<b><i>I</i> média (mm/h)</b>	<b><i>I</i> mínima (mm/h)</b>	<b><i>I</i> máxima (mm/h)</b>	<b>Desvio-Padrão (mm/h)</b>
0h	409	1,6	0,2	28,0	2,7
1h	418	1,8	0,2	26,8	3,0
2h	414	1,7	0,2	18,6	2,6
3h	435	1,7	0,2	22,2	2,6
4h	453	1,9	0,2	37,8	3,5
5h	450	1,8	0,2	27,6	3,2
6h	495	1,7	0,2	27,2	2,8
7h	501	1,8	0,2	21,4	2,9
8h	517	1,7	0,2	19,8	2,3
9h	504	1,7	0,2	22,0	2,6
10h	465	1,7	0,2	31,2	2,6
11h	476	1,8	0,2	19,8	2,4
12h	461	1,9	0,2	21,0	2,9
13h	453	1,9	0,2	26,4	2,6
14h	456	1,9	0,2	34,6	2,8
15h	454	1,8	0,2	28,4	2,6
16h	441	1,9	0,2	21,0	2,9
17h	470	2,1	0,2	27,6	3,3
18h	480	1,9	0,2	27,2	3,1
19h	493	1,7	0,2	28,4	2,8
20h	477	2,0	0,2	31,2	3,6
21h	457	1,8	0,2	19,2	2,6

---

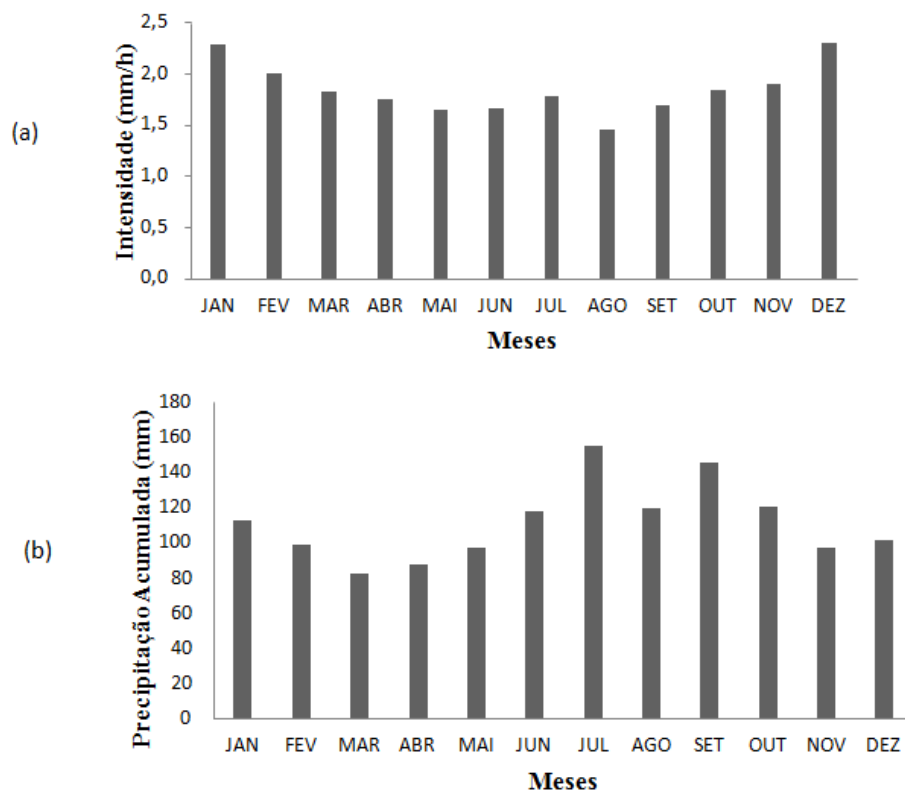
22h	450	1,8	0,2	40,6	3,2
23h	430	1,7	0,2	26,8	2,9

---

A intensidade da precipitação variou entre 0,2 e 40,6 mm/h. As menores intensidades estão relacionadas à precisão da estação meteorológica, uma vez que é possível a ocorrência de precipitações entre 0 e 0,2 mm/h. A maior intensidade registrada no período ocorreu às 19h do dia 22/02/2007 e foi de 40,6 mm/h, em um evento que somou 50,4 mm de precipitação acumulada em 2h. Esse evento foi responsável por um dos escorregamentos registrados no banco de dados da Defesa Civil.

Embora tenha sido a maior intensidade, o evento em que houve maior acúmulo de precipitação ocorreu no dia 11/11/2013, com acúmulo de 124 mm ao longo do dia, sendo mais de 80 mm apenas no turno da manhã. A precipitação neste dia superou a média prevista para o mês de novembro conforme a série histórica utilizada. Nesta ocasião, os serviços básicos da cidade tais como serviços de saúde, distribuição de água e luz, além dos transportes urbanos e do aeroporto foram paralisados. Em todo o estado do Rio Grande do Sul, mais de 1,4 mil pessoas foram desalojadas.

Buscando identificar sazonalidades, dados de precipitação acumulada e intensidade média mensal foram plotados (Figura 7).

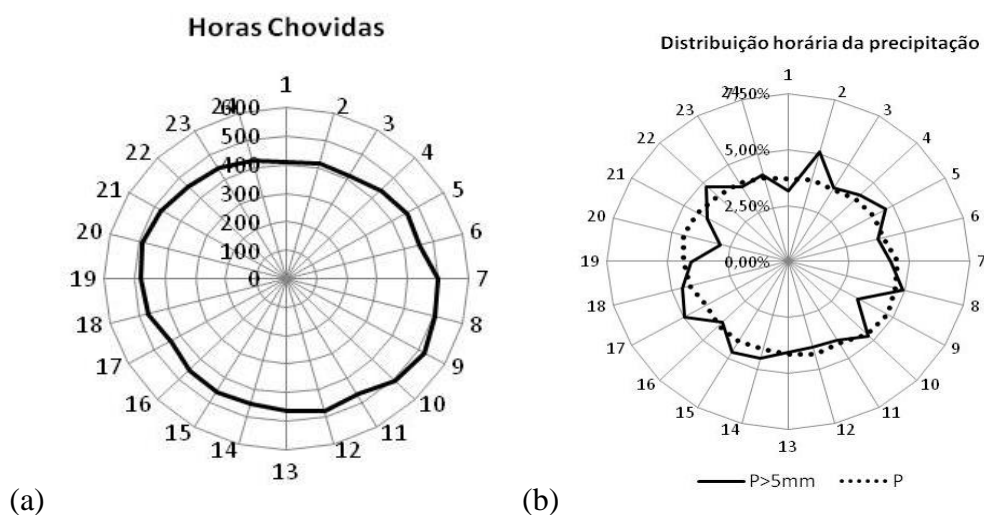


**Figura 7 – Características pluviiais no período de 2000 a 2015: (a) intensidade média mensal; (b) precipitação acumulada mensal.**

Pode-se observar que as precipitações foram mais intensas nos meses de verão do que nos meses de inverno para esta série de dados, no entanto, o volume acumulado de chuva é menor nos meses de verão. Isso demonstra, por exemplo, que no verão as chuvas são mais concentradas em curtos intervalos de tempo (associadas a chuvas convectivas) e no inverno as chuvas possuem maior duração e menor intensidade (associadas a chuvas frontais).

Uma análise das frequências das precipitações observou que 91,6% das precipitações registradas apresentam intensidade de até 5 mm/h e que houve registro de precipitação em 2207 dias dentre os 5458 dias considerados na análise. Em termos de intensidade de precipitação e padrões pluviométricos, observou-se que não há variação

dos padrões ao longo da série. A quantidade de horas chovidas para cada hora do dia (Figura 8a) bem como a porcentagem das precipitações mais comumente observadas e das precipitações menos recorrentes (Figura 8b) apresentou distribuição regular.

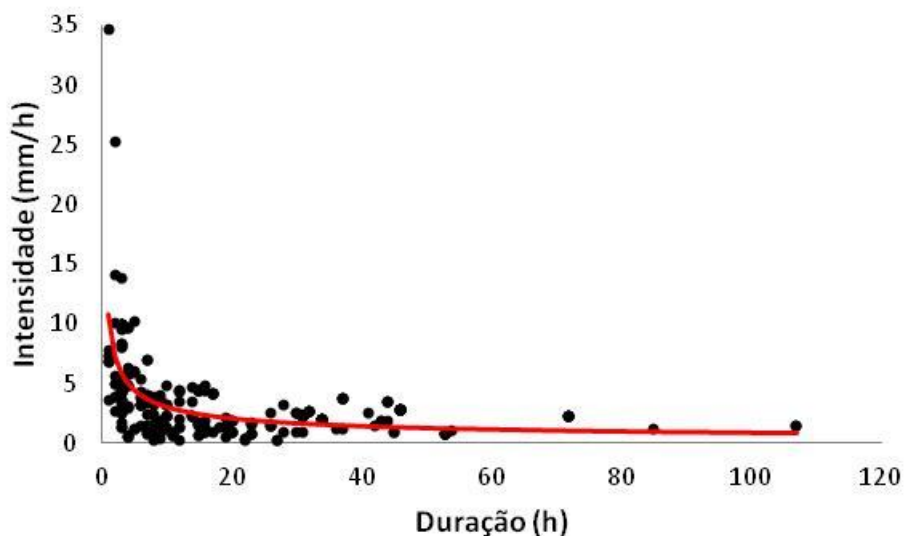


**Figura 8 – Distribuição da precipitação: (a) número de horas chovidas para cada hora do dia; e (b) distribuição horária das precipitações.**

A análise permitiu inferir que não há, de modo geral, uma tendência de concentração da precipitação em faixas horárias, sendo a chuva bem distribuída ao longo do dia. Também se pode observar que a precipitação é mais intensa nos meses de verão, porém mais concentrada, enquanto nos meses de inverno a precipitação é menos intensa, mas com maior duração. Como a chuva é bem distribuída ao longo do ano em Porto Alegre, a ocorrência de deslizamentos não está associada a uma determinada época ou estação, mas a quaisquer períodos com intensidades baixas e longas durações ou intensidades altas e curtas durações.

## 6.2 Curva ID

Todos os registros válidos de escorregamentos registrados no banco de dados da Defesa Civil tiveram sua relação intensidade-duração plotados (Figura 9).



**Figura 9 – Intensidade e duração de precipitação para cada evento registrado.**

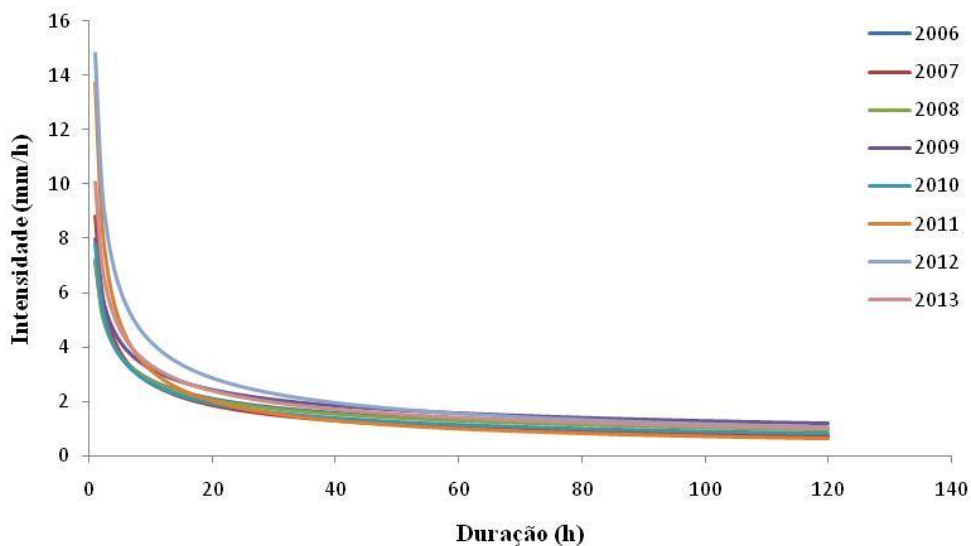
O ajuste potencial proposto inicialmente por Caine (1980) e seguido pelos autores representados na Tabela 1 também foi observado para o conjunto de dados analisados em Porto Alegre. A equação de ajuste ID, indicando um comportamento médio das observações, resultou em:

$$I = 10,8022 \cdot D^{-0,5541} \quad (4)$$

Devido às incertezas contidas na análise, como possíveis inconsistências no banco de dados da Defesa Civil e a dificuldade de se estabelecer intensidade e duração para cada evento, o estabelecimento de um limiar para deflagração de escorregamentos fica prejudicado, de modo a ter sido realizada análise do comportamento médio. O comportamento médio da ocorrência de deslizamentos em função de intensidade e duração da precipitação proporciona subsídio na tomada de decisão de atividades de defesa civil aos gestores, servindo como referência de intensidade e duração de precipitação.



Buscando verificar se o comportamento da curva era semelhante em todos os anos, os dados foram separados anualmente e plotados de maneira independente. A plotagem das curvas ID para cada ano pode ser conferida na Figura 10 e as equações na Tabela 7.



**Figura 10 – Curvas ID para os anos de 2006 a 2013**

**Tabela 7 – Equações ID para o período entre 2006 e 2013.**

ANO	ID
2006	$I = 7,1635D^{-0,4076}$
2007	$I = 8,8405D^{-0,5173}$
2008	$I = 7,2234D^{-0,4149}$
2009	$I = 7,9711D^{-0,3968}$
2010	$I = 7,7760D^{-0,4611}$
2011	$I = 13,7237D^{-0,6381}$
2012	$I = 14,8221D^{-0,5446}$
2013	$I = 10,0934D^{-0,4781}$

Analisando as curvas ID para os diferentes anos, percebe-se que há uma variação considerável dos valores de intensidade e de duração médios que desencadeiam escorregamentos para as precipitações mais comuns na cidade (até 5mm/h). A dispersão das curvas não implica, necessariamente, em alteração do comportamento das chuvas reais, podendo fazer parte da variabilidade natural das precipitações. Para a intensidade média de 5 mm/h, a duração pode variar entre 2,5 h e 10 h, por exemplo. Essa variação pode estar associada a alguns fatores, tais como: registro inconsistente, falha metodológica, alteração dos regimes pluviométricos, variabilidade natural das precipitações ou, ainda, à ocorrência de eventos extremos associados a fenômenos climáticos como *El Niño* ou *La Niña*.

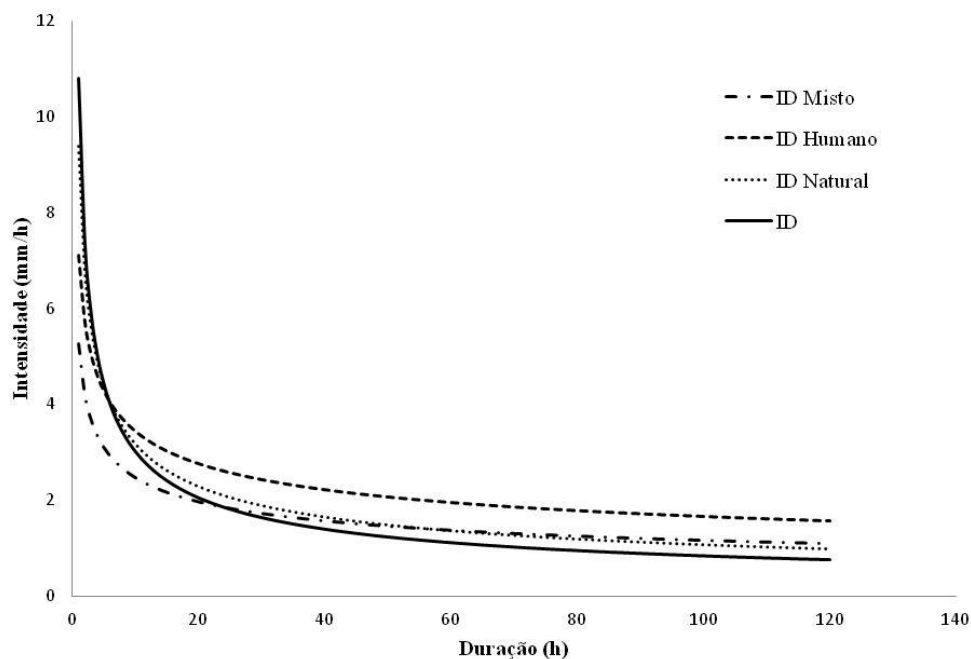
Devido ao fato de o banco de dados da Defesa Civil não seguir nem a classificação COBRADE nem o EM-DAT, a caracterização do evento pode ter sido prejudicada e acarretar erro na análise. Alguns registros também foram feitos posteriormente ao atendimento da Defesa Civil, o que pode induzir a erros de interpretação sobre duração e intensidade do evento chuvoso. Tal erro foi verificado por Caine (1980) e Guzzeti *et al.*, (2007), sendo uma das maiores dificuldades encontradas ao se estabelecer uma curva ID para uma determinada região: dificilmente há registros do exato momento em que um escorregamento ocorreu.

Os registros incompletos não descrevem ou não caracterizam bem as ocorrências de escorregamentos. Em uma tentativa de aprimorar os registros a Defesa Civil passou a indicar, a partir do ano de 2008, o tipo de evento, se “natural”, “humano” ou “misto”. Embora essa tipificação não esteja em conformidade com o COBRADE ou com o EM-DAT, é possível eliminar alguns eventos de escorregamentos que claramente não estão relacionados com precipitações, o que ajuda a reduzir a incerteza geral do modelo.

Dado isso, foram realizadas, com dados a partir de 2009, três curvas: ID Humano, ID Natural e ID Misto a fim de verificar em quais situações havia mais divergência de valores. As curvas podem ser observadas na Figura 11 e as equações na Tabela 8.

**Tabela 8 – Equações ID para os diferentes tipos de desastres conforme classificação utilizada pela Proteção e Defesa Civil no período 2009-2013.**

TIPO	EQUAÇÃO
ID Humano	$I = 7,1088D^{-0,3153}$
ID Misto	$I = 5,2526D^{-0,3294}$
ID Natural	$I = 9,3869D^{-0,4716}$
ID	$I = 10,8022D^{-0,5541}$



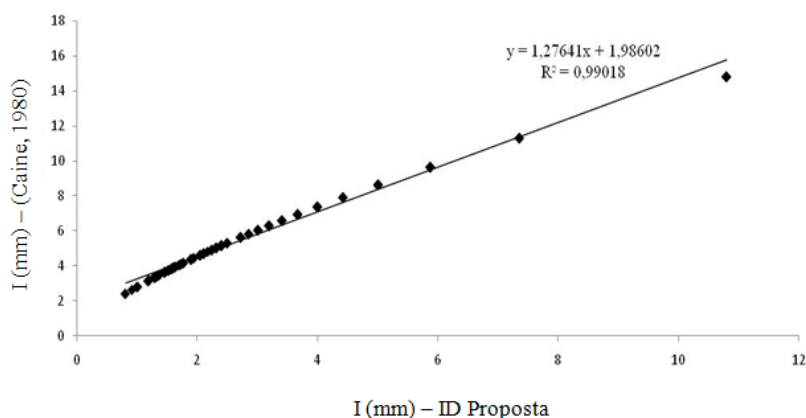
**Figura 11 – Curvas ID para diferentes tipos de desastres**

As curvas ID Misto e ID Humano são as que apresentam menores intensidades para pequenas durações de precipitação. Para durações maiores, em contrapartida,

apresentam as maiores intensidades. Ambas as situações, no entanto, apresentam discrepância com as demais curvas. Além disso, a curva ID Misto e ID Humano foram geradas a partir de poucos pontos concentrados numa faixa estreita de intensidades e de durações, sendo o seu ajuste extrapolado para durações maiores e, por consequência, seu erro também. Em se tratando de desastre Misto e Humano, a responsabilidade principal do desencadeamento do escorregamento pode não estar associada à precipitação, gerando dispersão nos dados.

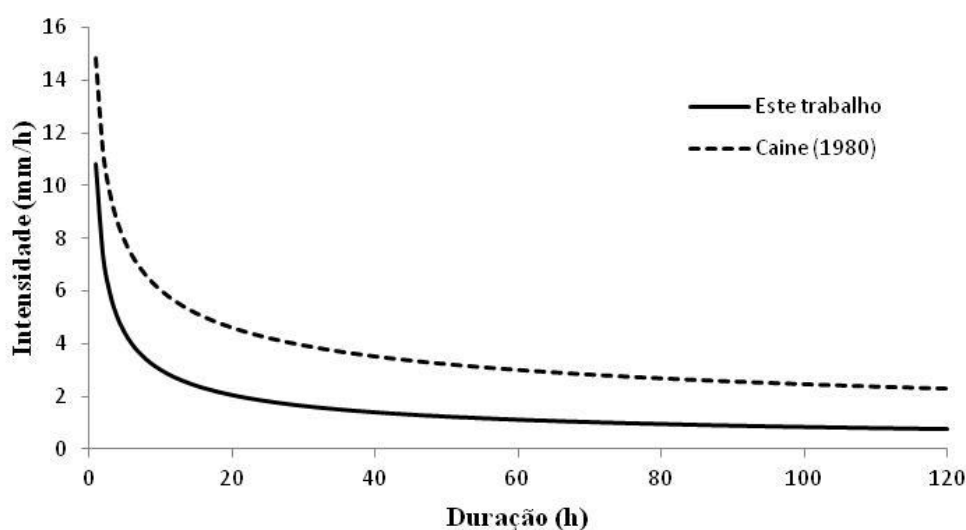
Por não considerar o grau de saturação antecedente do solo, advindos de eventos anteriores de chuva, algumas relações de intensidade e duração podem ter sido subestimadas. Muitas vezes, em condições de saturação total do solo, basta uma pequena quantidade de chuva para desencadear o deslizamento, no entanto, sem a saturação antecedente essa mesma condição não seria capaz de fazê-lo.

A curva ID, contemplando todos os dados válidos, apresenta o comportamento médio observado no período. Tendo como referência a curva proposta por Caine (1980), foram plotadas ambas as equações e sua semelhança analisada em termos do coeficiente de determinação,  $R^2$ , que indica quanto uma variável pode ser descrita linearmente a partir de outra (Figura 12).



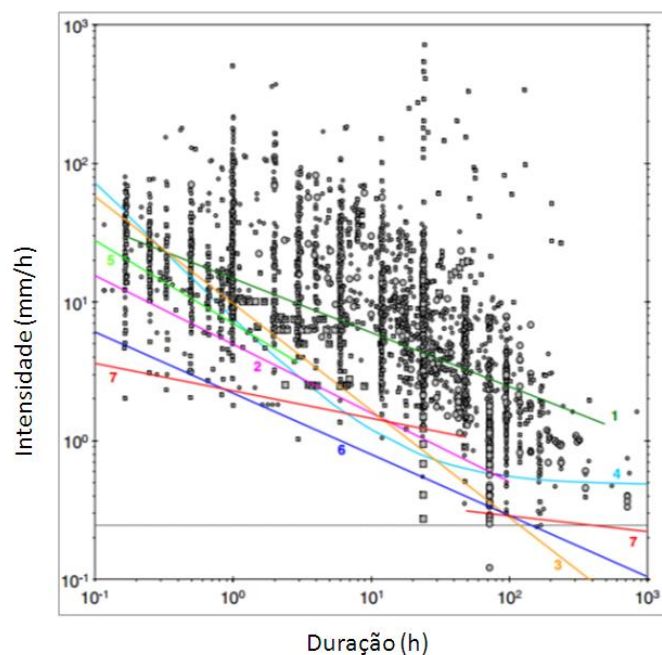
**Figura 12 – Comparação entre Caine (1980) e Equação ID**

O valor elevado do coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,99018$ , mostra que há semelhanças entre a curva ID proposta por Caine (1980) e a curva ID proposta neste trabalho, existindo um deslocamento vertical entre elas. Os diferentes valores do parâmetro “a” da curva (Equação 3) podem estar associados às diferentes condições de ambientais locais (hidrogeomorfologia, regime pluviométrico, topografia...) dos locais de estudo. O decaimento, no entanto, é semelhante para as durações analisadas (Figura 13).



**Figura 13 – ID proposta e ID Caine (1980)**

As dificuldades comuns em ambos os trabalhos estão associadas em estabelecer os valores limiares para a ocorrência dos escorregamentos. Embora Caine (1980) e Guzzetti *et al.* (2007) descrevam suas equações como limiares, é possível verificar que há escorregamentos registrados para intensidades e durações inferiores ao determinado limiar (Figura 14).



**Figura 14 – Comparação entre diferentes ID: (1) Caine (1980); (2) Innes (1983); (3) Clarizia *et al.* (1996); (5) Cannon & Gartner (2005); (6) e (7) Guzzetti *et al.* (2008).**

(Fonte: Guzzetti *et al.*, 2007)

O emprego de equações ID se apresenta como importante ferramenta na gestão de risco de desastres, pois pode fornecer subsídio à tomada de decisões pela Defesa Civil no que tange a etapa de preparação para o desastre. Embora sejam equações que tratam empiricamente os fatores que influenciam a ocorrência de escorregamentos, apresentam praticidade e economia de tempo e recursos financeiros e humanos na predição de escorregamentos.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivo a proposição de uma equação que relaciona intensidade e duração da precipitação com ocorrência de escorregamentos (curva ID) em Porto Alegre - RS. As curvas ID são importantes ferramentas para a tomada de decisões de gestores públicos no que diz respeito à etapa de preparação para o desastre, além de ser de baixo custo e fácil execução.

Para a caracterização da precipitação no município de Porto Alegre foram utilizadas as estações meteorológicas do INMET, sendo uma delas com dados diários e outra com dados horários disponíveis para o período de interesse. No entanto, a ausência de estações meteorológicas com longa série de dados disponíveis e consistentes na área de estudo não permitiu verificar a variação espacial da precipitação nas diferentes áreas do município. A premissa de que as Estações Meteorológicas 86998 - Porto Alegre – A801 e 83967 - Porto Alegre representam a realidade total da área de estudo pode estar equivocada, implicando em incertezas nas equações ID.

Atualmente o município de Porto Alegre conta com 11 estações automáticas espalhadas pela cidade, no entanto elas tem sido utilizadas mais como monitoramento em tempo real do que como banco de dados. A distribuição dos dados ainda não é facilitada, embora a prefeitura municipal esteja tentando viabilizar o acesso a essas informações via internet. Os dados disponibilizados pela prefeitura de Porto Alegre apresentavam um curto período de dados, com muitas falhas e muitas inconsistências, inviabilizando por ora o seu uso para os fins deste trabalho.

Os registros de escorregamentos foram obtidos junto ao Banco de Dados da Defesa Civil de Porto Alegre. Em cada registro são apresentadas informações básicas como: nome, endereço, data em que o evento foi registrado, tipo de evento e, eventualmente, alguma descrição simplificada. A Defesa Civil não utiliza classificação

em conformidade com o COBRADE ou com o EM-DAT, fato que dificulta a correta caracterização de todos os eventos. A classificação segundo uma das metodologias é importante para identificação correta dos eventos de escorregamentos que possuem relação com ocorrência de precipitação e ajudaria a reduzir as incertezas da curva ID proposta neste trabalho. As maiores dificuldades enfrentadas pelos autores que já abordaram o tema se dão justamente na caracterização do evento de desastre e na quantidade de dados disponíveis. Em Porto Alegre há um elevado número de registros, no entanto, a caracterização dos eventos de desastres é deficitária.

Outra fonte de incerteza foi o fato de o evento ser registrado após o atendimento da Defesa Civil e não, necessariamente, quando da sua solicitação. Em alguns eventos essa diferença pode chegar a três dias, o que dificulta a estimativa de intensidade e duração da precipitação, especialmente em períodos de instabilidade climática prolongada em que é difícil determinar o início e o final da precipitação. A adaptação a um novo formato deveria incluir a data exata em que o evento ocorreu.

O trabalho apresentou resultados coerentes com outros observados na literatura, concordando com o formato da curva ID e diferindo nas intensidades. Essa diferença pode estar associada às condições hidrogeomorfológicas de cada local, aos regimes de precipitação, aos parâmetros geotécnicos e aos diferentes usos do solo para cada região. Para trabalhos futuros recomenda-se a utilização de série temporal de precipitação com maior resolução e melhoria da caracterização dos eventos registrados no Banco de Dados da Defesa Civil.

Os objetivos foram satisfeitos e a curva ID proposta pode servir de ferramenta para a gestão de risco de desastre. A equação proposta apresenta um comportamento médio da intensidade e duração da precipitação capaz de desencadear escorregamentos



e serve como referência aos gestores e tomadores de decisão em áreas relacionadas à proteção civil.

Recomenda-se à Proteção e Defesa Civil a utilização de uma das classificações de desastres (COBRADE ou EM-DAT) e adequação do banco de dados já existente para o formato escolhido. A melhor classificação dos desastres permite estabelecer com mais qualidade os eventos de escorregamento que estão associados à ocorrência de precipitação.

Também se recomenda à prefeitura municipal que proceda com a consistência dos dados das 11 estações automáticas com resolução temporal de intensidade da ordem de mm/s e que disponibilize os dados à comunidade acadêmica para que se possa dar sequência aos estudos de precipitação na área de estudo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização dessas estações automáticas, identificando com mais precisão a intensidade e a duração da precipitação associada a cada escorregamento. Sugere-se, também, que a equação seja avaliada pela não-ocorrência de escorregamentos nas condições em que a curva ID gerou informação de ocorrência dos mesmos.

## 8 REFERÊNCIAS

ALEOTTI, P. . A warning system for rainfall-induced shallow failures. **Engineering Geology**, v.73, pp. 247-265, 2004.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; SILVA FILHO, L. C. P. Mapas de suscetibilidade a escorregamentos do município de Porto Alegre, RS, Brasil. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2014, 1ª ed. ISBN: 978-85-63843-12-8. Disponível em: [www.ecologia.ufrgs.br/labgeo](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo)

CAINE, N. The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows. **Geogr Ann**, v. 62, pp 23–27, 1980.

CARREA-HERNANDEZ, J. J., GASKIN, S. J. . Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. **Journal of Hydrology**. v.336, pp. 231-249, 2007.

CHEN, C. ; SAITO, H. ; OGUCHI, T. . Rainfall intensity-duration conditions for mass movements in Taiwan. **Progress in Earth and Planetary Sciences**. Heidelberg, pp. 2-14. 2015.

COLLISCHONN, W. ; TASSI, R. . **Introduzindo Hidrologia**. 2009. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila do curso de Hidrologia).

CROSTA, G., FRATTINI, P., 2001 ., Siena, **Anais** Proc. Of EGS 2nd Plinius Conference 2000, Mediterranean Storms. Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. pp. 463 – 488.

DHAKAL, A. S.; SIDLE, R. C. . Distributed simulations of landslides for different rainfall conditions. **Hydrological Processes**, n. 18, pp.757-776, 2004.

DIETRICH, W .E.; REISS, R.; HSU, M.; MONTGOMERY, D. R. . A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. **Hydrological Processes**, v. 9, pp. 383-400, 1995.

EM-DAT. **The International Disaster Database**. Disponível em: <http://www.emdat.be/database>, acesso em agosto de 2015.

FERRARO, L. W.; HASENACK, H. Aspectos do clima de Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. M. (Orgs.). **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2000. P. 16-27.

GUZZETTI, F. ; PERUCCACCI, S. ; ROSSI, M. ; STARK, C. P. . The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. **Springer**. Heidelberg, pp. 3-17. set. 2007.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.  
Ferramenta Cidades. Disponível em:

<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431490&search=riogrande-do-sul%7Cporto-alegre>>. Acesso em: 20 set. 2015.

IVERSON, R.M., REID, M.E., LAHUSEN, R.G. . Debris-flow mobilization from landslides. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 25, p. 85-138, 1997.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

MONTEIRO, L. R.; KOBIYAMA, M. Influência da distribuição temporal da precipitação em inundações. In XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2011:Maceió) Maceió: ABRH, **Anais**, 16p., 2011. CD-rom.

PAIXÃO, M.A. ; KOBIYAMA, M. ; MICHEL, G. P. ; SILVA, J. S. . **Aprender hidrologia para prevenção de desastres naturais**. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, Belém/PA, 2014.

RIGHETTO, A. M. ; **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1. ed. São Carlos: Publicação EESC-USP, 1998. v. 1. 819p .

ROCHA, H.L.; KOBIYAMA, M.; SILVA, C.G. Análise estatística de chuvas intensas ocorridas nos municípios de Blumenau e Rio dos Cedros, SC, no

período de agosto de 2008 a janeiro de 2009. In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2009: Campo Grande) Campo Grande: ABRH, **Anais**, 2009. CD-rom. 14p.

SILVA, R.V.; KOBIYAMA, M.; SCHARF, D.D.; GRISON, F.; HAAS, R. Caracterização preliminar da precipitação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (16: 2005: João Pessoa) Porto Alegre : ABRH, **Anais** 2005. CD-rom. 13p.

SOUZA, C. R. de G. et al. **Desastres naturais**: conhecer para prevenir. Ed. 1. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p

UNDP. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York: UNDP, 2004. 130p.