

XVII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

A IMPORTÂNCIA DA CONSISTÊNCIA DAS SÉRIES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS EM PROJETOS ESTUDO DE CASO DO BAIRRO DO QUITANDINHA, PETRÓPOLIS/RJ.

Cristiane Ribeiro de Melo¹; Anny Kalinne do N. Crispim²; Solange Cavalcanti de Melo³; Keyla Almeida dos Santos⁴ & Paulo Abadie Guedes⁵

RESUMO – Para verificar a coerência das informações dos dados pluviométricos coletados com sensores automáticos, e se os mesmos estão isentos de desvios sistemáticos, torna-se necessária uma análise de consistência. Tal análise, mesmo sendo fundamental para a utilização das informações com segurança, muitas vezes é negligenciada (ou dada pouca importância) pelos usuários de modelos que as utilizam. Muitas vezes isso ocorre por considerarem os dados oriundos de tomadas automáticas como perfeitamente confiáveis, sem levar em consideração as várias possibilidades de inconsistência. O presente trabalho tem como objetivo avaliar as séries pluviométricas dos postos pluviométricos automáticos localizados nos arredores do bairro Quitandinha, Petrópolis/RJ, para identificar o posto que melhor representa a área.

ABSTRACT – To verify the coherence of information from rainfall data collected with automatic sensors, and whether they are free from systematic deviations, a consistency analysis is necessary. Such analysis, even though it is fundamental for using information safely, is often neglected (or given little importance) by users of models that use it. This often occurs because they consider data from automatic recordings to be perfectly reliable, without taking into account the various possibilities of inconsistency. The present work aims to evaluate the rainfall series of automatic rainfall stations located on the outskirts of the Quitandinha neighborhood, Petrópolis/RJ, to identify the station that best represents the area.

Palavras-Chave – Consistência pluviométrica, Bairro Quitandinha/RJ, Posto representativo.

1) Serviço Geológico do Brasil. Ruas Escritor Souza, 1001- Cabanga, Recife-PE, Brasil. e-mail: Cristiane.melo@sgb.gov.br;

2) Serviço Geológico do Brasil. Ruas Escritor Souza, 1001- Cabanga, Recife-PE, Brasil. e-mail: anny.crispim@sgb.gov.br;

3) Serviço Geológico do Brasil. Ruas Escritor Souza, 1001- Cabanga, Recife-PE, Brasil. e-mail: solange.melo@sgb.gov.br;

4) Serviço Geológico do Brasil. Ruas Escritor Souza, 1001- Cabanga, Recife-PE, Brasil. e-mail: keyla.santos@sgb.gov.br;

5) Instituto Federal de Pernambuco. Av. Prof. Luís Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil. e-mail: paulo.guedes@recife.ifpe.edu.br.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento adequado dos recursos hídricos depende da utilização de informações hidrológicas confiáveis. Os dados coletados em campo estão sujeitos às mais diversas incorreções, fazendo com que as séries brutas não estejam prontas para utilização imediata, sendo necessária a consistência para depuração, correção e eventuais preenchimentos de falhas.

Entretanto, com o avanço tecnológico e a utilização de Plataformas de Coleta de Dados – PCDs, ocorreu o aumento na confiabilidade e na qualidade dos dados fazendo com que muitas vezes a fase de consistência de dados seja menosprezada, ou ignorada, pelos usuários de programas e modelos hidrológicos.

A qualidade dos dados obtidos através de pluviômetros convencionais, está diretamente ligada à qualidade do observador hidrológico e pode ser afetada por outros erros associados. É importante lembrar que há situações onde os sensores automáticos também estão sujeitos a erros. Por exemplo, em eventos chuvosos pode ocorrer essa obstrução dos sensores e transmissão de dado errado, ou até mesmo pássaros que fazem ninho em cima dos pluviômetros, entre outros.

A análise pluviométrica em uma região exige que o analista tenha conhecimento do regime climático, do sistema de circulação geral e demais processos geradores das chuvas, existência de microclimas e/ou outros fatores que possam influenciar nas chuvas regionais. Em algumas situações, observam-se totais pluviométricos diferenciados entre estações próximas, que podem ser explicados por diferenças de altitude, localização das estações em relação ao vento, chuvas convectivas, entre outros (SGB/CPRM, 2004).

Por mais moderno que seja o modelo hidrológico que receberá a precipitação como dado de entrada, torna-se essencial a avaliação da qualidade da série utilizada no sistema para garantir a fidedignidade e a qualidade das respostas apresentadas pelos modelos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade dos dados apresentados pelas estações pluviométricas automáticas operadas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN no monitoramento hidrológico na região do bairro Quitandinha, no município de Petrópolis/RJ, identificando qual a série pluviométrica que melhor representa a região.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Petrópolis situa-se ao norte da cidade do Rio de Janeiro, a uma distância de aproximadamente 65 km, apresentando altitude média de 845 metros e área em torno de 811km². O clima da região localiza-se de forma abrangente no domínio tropical, com temperatura média no

mês mais frio que varia de 10°C a 15°C. Os totais pluviométricos anuais encontram-se acima de 2.000mm e as chuvas concentram-se entre os meses de novembro e março (Silva, 2006).

O bairro Quitandinha (Figura 1) encontra-se em uma região de relevo bastante acidentado, apresentando tanto regiões de vale quanto encostas íngremes e maciços rochosos, fazendo com que ocorram frequentemente deslizamentos. Segundo Marques (2016), no bairro há uma geologia com raros afloramentos de rocha sã, com predominância de solos que apresentam variação nas seguintes propriedades: granulometria, variação na cor, composição granulométrica, e grau de alteração em relação à rocha.



Figura 1. Localização do bairro Quitandinha, Petrópolis/RJ (Fonte: Guerra *et al.*, 2009)

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo de caso foi dividida em cinco etapas. Na primeira etapa foram identificadas as estações pluviométricas operadas pelo CEMADEN e Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM, na área do bairro Quitandinha. Em seguida, na segunda etapa, foram avaliadas as séries e feitas as transformações para avaliação dos acumulados de 24 horas, além da identificação de erros grosseiros.

Numa terceira etapa, com uso do programa Hidro-Plu (UFV-ANA-ANEEL, 2000), foram escolhidas as estações mais representativas (com menor número de falhas em relação às outras estações analisadas), para serem avaliadas em relação às demais. Na quarta fase, foram realizados os preenchimentos de falha mensal, quando possível, para determinação de uma série mensal consistida através de análise de consistência. Por fim, na quinta fase, foi determinada qual a estação monitorada pelo CEMADEN que melhor representa as chuvas na região do bairro do Quitandinha.

Série de dados pluviométricos

O município de Petrópolis é monitorado por uma vasta rede de pluviometria operada pelo SGB/CPRM e pelo CEMADEN. A Figura 2 apresenta a localização das estações pluviométricas do SGB/CPRM, bem como das estações automáticas do CEMADEN na região do bairro do Quitandinha, sendo em vermelho as estações operadas pelo SGB/CPRM e em amarelo as operadas pelo CEMADEN.

As séries de dados das duas operadoras podem ser obtidas no Portal HidroWeb, do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (ANA, 2024). Na Tabela 1, observam-se a localização das estações e suas características.



Figura 2. Espacialização da rede pluviométrica (Fonte: Google Earth, 2024)

Nos arredores do bairro Quitandinha, o CEMADEN apresenta uma rede de monitoramento composta por 09 estações com registro automático de dado a cada 10 minutos. De acordo com CEMADEN (2024), os dados gerados pelos pluviômetros automáticos são brutos, ou seja: não passaram por nenhum tratamento, podendo haver inconsistências. As informações estão disponíveis no Mapa Interativo em CEMADEN (2024a)

Dentre as estações operadas pelo SGB/CPRM na região mais próxima da área analisada, foram escolhidas as que apresentam séries de dados mais extensas e que possam servir como balizadoras nas avaliações. Os pluviômetros convencionais, da referida operadora, têm seus dados coletados a cada 24 horas (às 07 horas da manhã) pelo observador hidrológico. Tais dados serão utilizados como estações de apoio para dar suporte às decisões.

As duas formas de tomada de dados escolhidas estão sujeitas a possíveis fontes distintas de erros possíveis. Portanto, os dois métodos podem se tornar complementares na análise e

identificação dos mesmos. No caso das coletas automáticas, possíveis problemas com equipamento e transmissão precisam ser avaliados. No caso das convencionais, a qualidade está diretamente ligada ao observador hidrológico e a possíveis erros de digitação no banco de dados.

Programa de homogeneização de dados pluviométricos - Hidro-Plu

O programa Hidro-Plu é um *software* livre que agrega modelos matemáticos, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Tem por objetivo realizar a análise de dados pluviométricos mensais e anuais, utilizando a relação entre as séries históricas das estações de apoio.

Tabela 1. Estações pluviométricas localizadas nos arredores do bairro Quitandinha

Nome da Estação	Código (ANA)	Operadora	Altitude (m)	Coordenada		Operação	
				Latitude	Longitude	Início	Fim
Rua Araruama	2243432	CEMADEN	1.071	22°31'12"	43°13'12"	01/2015	03/2024
Rua Amazonas	2243433	CEMADEN	964	22°31'44"	43°13'23"	01/2015	03/2024
Rua Paraná	2243419	CEMADEN	1.001	22°31'12"	43°12'36"	01/2015	11/2021
Quitandinha	2243331	CEMADEN	-	22°31'46"	43°13'25"	01/2015	03/2024
São Sebastião	2243444	CEMADEN	-	22°32'13"	43°11'35"	01/2015	03/2024
Independência	2243321	CEMADEN	840	22°43'42"	43°12'36"	01/2015	12/2020
Independência2	2243427	CEMADEN	829	22°32'53"	43°12'32"	01/2015	03/2024
Bingen	2243316	CEMADEN	819	22°30'33"	43°11'45"	01/2015	03/2024
LNCC	2243329	CEMADEN	-	22°31'49"	43°13'02"	01/2015	03/2024
Rio da Cidade	2243011	SGB/CPRM	704	22°26'17"	43°10'13"	01/2001	12/2023
Itamarati	2243010	SGB/CPRM	1.085	22°29'07"	43°08'57"	01/2001	12/2023

Fonte: ANA, 2024

As análises são realizadas para acumulados de 24 horas de chuva. Os intervalos de aceitação dos totais mensais são determinados em função dos coeficientes de correlação e da proporcionalidade entre as médias históricas da estação em análise e seus apoios (postos de suporte à análise). Os totais fora desses limites são ajustados pelo programa e novos valores são sugeridos como dados estimados, para substituí-los. Após a correção dos dados mensais, deve ser feita a análise anual através da análise dos índices pluviométricos apresentados. Além da análise da curva duplo-acumulativa para avaliar não só a consistência, mas também a homogeneidade da série (SGB/CPRM, 2004).

As informações utilizadas pelo programa Hidro-Plu (banco de dados) são oriundas do Sistema de Informações Hidrológicas – Hidro, alimentado com os dados diários acumulados de 24 horas de cada uma das estações envolvidas na análise.

Sugere-se que seja utilizada toda a série histórica, para o uso mais eficiente dos dados. Entretanto, sugere-se que sejam utilizadas séries com no mínimo 5 anos de período comum.

Estudo de caso: Análise da qualidade das estações pluviométricas no Quitandinha

A rede de monitoramento instalada pelo CEMADEN no bairro Quitandinha tem o objetivo de fornecer dados para embasar a emissão de alertas de desastres naturais. Tem o propósito de medir a quantidade e a intensidade das chuvas que possam deflagrar deslizamentos de terra, inundações e enxurradas (CEMADEN, 2024).

O bairro tem um histórico de desastres ligados a deslizamentos de terra. Para o uso de modelos que possam antecipar a possível ocorrência de movimentos de massa, muitas vezes é necessário utilizar dados diários e/ou horários. Considerando que nem sempre a existência da rede vasta garante a qualidade das informações, torna-se necessária a total confiabilidade na escolha da série que melhor representa a região estudada.

Todas as 09 estações localizadas no perímetro do bairro possuem algum tipo de falha, possivelmente por falha ou manutenção no sensor, ou problemas na transmissão dos dados. Para preenchimento e verificação de tais dados foram utilizadas as informações de 24hs dos pluviômetros das 02 estações do SGB/CPRM, mesmo que localizados mais distantes.

Inicialmente os dados disponibilizados a cada 10 minutos pelo CEMADEN foram transformados em séries de 24 horas, no formato aceito pelo programa Hidro-Plu como entrada do banco de dados, possibilitando também a análise conjunta com as séries do SGB/CPRM.

Antes de acatar as críticas dos totais mensais sugeridas pelo programa, foi realizada uma minuciosa análise diária, com utilização das estações de apoios, para averiguar a veracidade e a necessidade de estimar o dado mensal como sugerido.

Por fim, uma análise duplo-acumulativa - DA (Curva dupla-massa) foi utilizada para identificar mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo. Também foi feita a curva de massa em relação à curva das estações de apoio.

A curva DA corresponde à precipitação acumulada do posto avaliado, plotada em relação a precipitação acumulada de postos vizinhos, durante o mesmo período. A ligação entre os pontos deve corresponder a uma linha reta. Caso contrário, podem ter ocorrido alterações nas condições climáticas ou físicas, do local, etc.

RESULTADOS

Análise mensal da série

As estações Rua Amazonas (cód. 2243433) e Rua Araruama (cód. 2243432) apresentam as séries diária mais extensas (9 anos) e com menor número de falhas. As mesmas foram avaliadas para determinação da série de dados mais representativa da área, sendo as demais estações descartadas da análise de representatividade por possuírem séries inferiores e/ou com muitas falhas.

Entretanto, mesmo descartadas da análise de representatividade, desde que apresentando correlação superior a 70%, coeficiente de correlação de Pearson forte, as mesmas foram mantidas na avaliação mensal das séries. A correlação entre as séries brutas das estações Rua Amazonas (cód. 2243433) e Rua Araruama (cód. 2243432) é de 83%. A Tabela 2 apresenta o percentual de correlação das séries brutas das estações de apoio, em relação à estação analisada. As informações estão ordenadas em ordem decrescente da correlação pois as que possuem maior correlação são mais úteis nas correções das falhas.

Tabela 2. Correlação das estações de apoio, em relação as estações analisadas

Estação Analisada	Estações de Apoio (código)								
	2243331	2243419	2243433	2243316	2243444	2243010	2243011	2243329	2243427
2243432	93%	89%	83%	73%	72%	72%	71%	61%	59%
2243433	2243419	2243331	2243432	2243011	2243444	2243010	2243427	2243316	2243321
	92%	88%	83%	83%	74%	70%	69%	69%	49%

A visão geral da análise funciona da seguinte forma: 1. Avaliação das sugestões de preenchimento do Hidro-Plu; 2. Análise estatística; 3. Comparação dos resultados e decisão das sugestões acatadas e rejeitadas. Entretanto, na fase 3 da análise, foi feita uma avaliação minuciosa do dado sugerido antes de acatar as críticas dos totais mensais sugeridas pelo programa.

Após a análise estatística do programa Hidro-Plu, para a estação Rua Araruama, foram criticados pelo programa, e sugeridos novos valores, para 07 totais mensais. E houve a necessidade de preenchimento de 24 totais mensais por ausência de dados (falha), sendo os anos de 2016, 2017, 2019, 2021 e 2023 os mais falhos. No caso da estação Rua Amazonas, localizada a aproximadamente 1 km da estação Rua Araruama, foi refutado um total mensal e a necessidade de preenchimento por ausência de dados de 18 meses, sendo os anos de 2016, 2019 e 2023 os mais falhos.

Foram realizados os preenchimentos de falha dos totais mensais, com base nas estações de apoio, e reavaliada a estação. Falhas em dados diários não devem ser preenchidas individualmente. Dessa forma, foi considerado o valor medido pelo pluviômetro automático, nos meses onde a

sugestão de correção do programa foi inferior ao efetivamente medido, e ainda o dado diário faltoso, em comparação com as estações de apoio era próximo a zero.

Os totais anuais consistidos, para as estações são apresentados nas Tabelas 3 e 4. A avaliação da consistência (curva de massa e curva duplo-acumulada), Figuras 3 e 4.

Originalmente a correlação entre as estações Rua Araruama e Rua Amazonas que era inicialmente de 83% (dados brutos). Após a fase de consistência e preenchimentos de falha a correlação entre as estações passou a 92% (dados consistidos). Esta diferença representa um aumento de 9% na confiabilidade das séries pluviométricas a serem utilizadas.

Tabela 3. Totais mensais consistidos da estação Rua Araruama (cód. 2243432).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2015	140,8	225,6	161,2	181,4	78,8	206,2	66,6	31,1	160,4	115,0	282,5	162,9
2016	441,0	324,4	126,8	72,2	134,3	139,4*	1,2	35,0	103,3*	118,8*	386,5*	350,6
2017	299,8	222,2	351,2	367,7	100,3*	143,3*	100,0*	108,8*	13,5*	193,1	326,2	233,9
2018	581,2	316,8	413,7	131,2	108,7	135,5	78,7	120,5	95,7	280,5	369,4	294,1
2019	225,2	394,0	405,5	166,2	199,8	109,9	106,7*	274,2	238,1	133,3	219,6*	333,7
2020	570,8	493,2	274,6	92,0	189,1	52,5	60,5	201,2	142,4	261,8	394,7	430,9
2021	209,9	298,3*	303,0*	136,1*	67,6*	96,8*	18,6*	70,7*	115,3*	333,7	286,6	396,8
2022	464,8	529,0	336,8	198,1*	33,8	176,0	43,0	253,2	324,4	125,7	499	521,1
2023	514,3	388,0	115,7	146,9	28,6	11,2	43,4*	52,3	73,5*	104,6	61,8	206,8
Média	356,4	320,8	254,6	165,8	104,6	119,0	57,6	127,4	140,7	185,2	314,0	325,6

* Totais mensais estimados pelo Hidro-Plu.

Tabela 4. Totais mensais consistidos da estação Rua Amazonas (cód. 2243433)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2015	160,2	215,9	161,6	178,5	87,5	242,5	51,4*	30,5*	162,6	120,3	267,9	116,4
2016	650,9*	336,0*	172,9*	64,9	132,4	154,8	44,0	151,7	135,4	139,9	575,7	384,7
2017	313,1	259,7*	337,4*	330,8	101,9	141,5	124	114,8	11,5	171,1	285,5	209,2
2018	501,2	297,4	406,1	140,4	106,1	111,9	65,1	105,1	84,2	249,5	333,4	250,9
2019	214,1	351,8	350,1	125,9	88,6	57,8	88,0	226,5	212,0	105	221,9	294,4
2020	505,5	437,6	263,7	80,2	157,6	57,6	55,0	175,1	131,9	235,2	341,7	353,4
2021	125,8	337,2*	291,7*	197,5	69,4	42,6	20,9	37,8	74,5	281,6	237,8	396,8
2022	417,4	458,1	307,1	197,1	28,0	132	31,9	167,1	248,3	111,3	398,0	468,5
2023	411,5	420,8	115,2	261,7	68,7	17,5	50,0*	66,6*	77,3*	259,2*	178,7*	299,6
Média	361,2	326,4	245,5	175,2	93,4	106,5	58,9	119,5	126,4	185,9	315,6	308,2

* Totais mensais estimados pelo Hidro-Plu.

A confiabilidade dos dados mensais originais consistidos, atestados pelos apoios, também serve para garantir a veracidade das informações fornecidas em intervalos menores, registrados a cada 10 minutos pelos sensores automáticos.

Com base nas informações apresentadas nas Tabelas 3 e 4, obtém-se uma chuva anual média de 2.512,0 mm para a região.

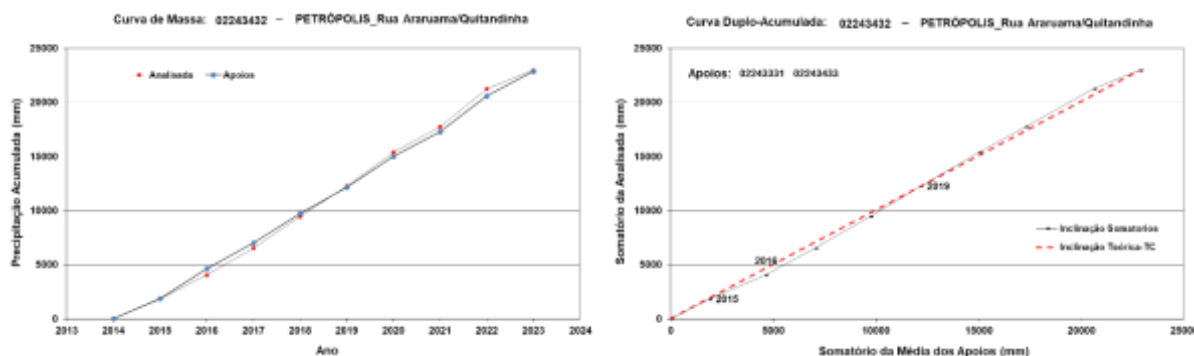


Figura 3. Análise de consistência da estação Rua Araruama (cód. 2243432)

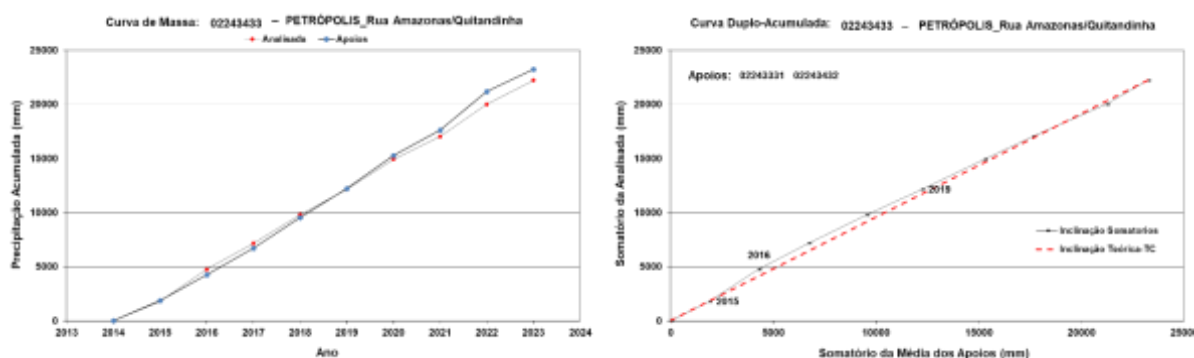


Figura 4. Análise da consistência da estação Rua Amazonas (cód. 2243433)

CONCLUSÕES

O trabalho aqui apresentado vem alertar sobre a necessidade de consistir os dados pluviométricos antes de utilizá-los em estudos e projetos, mesmo que a fonte da série seja originária de sensores automáticos. É sempre importante avaliar as falhas e averiguar a qualidade dos dados, em relação às estações de apoio próximas e expostas às mesmas condições (ex.: altitude).

É importante compreender que os dados hidrológicos disponibilizados pelas operadoras podem ter falhas e que não é possível assumir tacitamente, sem nenhuma verificação, que os dados obtidos podem ser usados sem passar por alguma forma de tratamento. A premissa de que o dado já está pronto para uso não é necessariamente válida.

As estações operadas pelo CEMADEN que melhor representam a região do bairro do Quitandinha em Petrópolis/RJ, levando em consideração o número de anos de registro e a qualidade geral dos dados foram as estações Rua Amazonas (cód. 2243433) e Rua Araruama (cód. 2243432).

Entretanto, mesmo atendendo às expectativas de forma muito parecida, a estação Rua Araruama foi considerada como a detentora da série de melhor qualidade, após os preenchimentos e correções.

As estações, após a consistência, apresentaram uma chuva anual média de 2.512,0 mm para a região e uma correlação de 92%, 10% superior a correlação dos dados antes da análise. Esse estudo de caso demonstra claramente como é importante não assumir que os dados já estão consistidos.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos [2024]. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Pluviômetros Automáticos. [2024]. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/pluviometros-automatico/>

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. Pluviômetros Automáticos. [2024a]. Disponível em: www2.cemaden.gov.br/mapainterativo.

GOOGLE EARTH. Imagem de localização da Estação pluviométrica Lajedo. Brasil: Google, [2024]. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso em: 08 jun. 2024.

Guerra, A. J. T., de Mendonça, M. B., Lopes, P. B. M., da Silva Lima, F., Jorge, M. D. C. O., & da Rocha Mendes, B. (2009). Criação de um sistema de previsão e alerta de riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos socioambientais no bairro Quitandinha, Município de Petrópolis-RJ. *En Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul*. São Paulo: IPABHI, 785-824.

Marques, M. S. O estudo da estabilidade de encostas na rua Mato Grosso no bairro de Quitandinha, Petrópolis-RJ, através do radar de penetração do solo (GPR). 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. Diretrizes para Análise de Dados Hidrométricos. Norma para Identificação de Correções e Preenchimento de Falhas, 2004.

Silva, D. C. O. (2006) Aplicação do Modelo Shalstab na Previsão de Deslizamentos em Petrópolis. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

UFV-ANA-ANEEL (2000) Universidade Federal de Viçosa. Agência Nacional de Águas e Saneamento básico. Agência Nacional de Energia Elétrica. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Programa de Homogeneização de Dados Pluviométricos. Versão Beta 4.1 (2010).