

Chuvas intensas e ocorrência de alagamentos: um estudo de caso para Campinas SP, 2019

DOI: 10.20396/labore.v16i00.8667944

Bruno Kabke Bainy

<https://orcid.org/0000-0002-9900-8891>

Universidade Estadual de Campinas / Campinas [SP] Brasil

Ana Maria Heuminski Avila

<https://orcid.org/0000-0002-6801-8528>

Universidade Estadual de Campinas / Campinas [SP] Brasil

Pedro Henrique da Silva

<https://orcid.org/0000-0001-5450-2039>

Universidade Estadual de Campinas / Campinas [SP] Brasil

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo de caso para chuvas intensas e seus impactos nas ocorrências de alagamentos no município de Campinas, São Paulo, no ano de 2019. Dados de chuva acumulada diária foram obtidos de 8 pluviômetros distribuídos na cidade e dados de alagamento foram obtidos junto à Defesa Civil municipal, referentes aos chamados atendidos. Na análise espacial, foi constatada uma relativa concordância com a ocorrência ou não de chuva entre os pluviômetros. No entanto, ficou evidente a variabilidade espacial da quantidade de chuva, o que demonstra a ocorrência de chuva localmente forte. A análise dos dados de alagamento permitiu determinar áreas mais propensas a esse tipo de evento. Aspectos como volume acumulado de chuva, ocorrência de chuva localmente volumosa e configuração do relevo certamente proporcionam condições ideais para alagamentos. No entanto, a área mais afetada por alagamentos é relativamente mais elevada, o que sugere, por ser parte da região central e amplamente urbanizada. Esses resultados sugerem que a urbanização também contribui significativamente para a ocorrência de alagamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Chuva intensa. Alagamento. Variabilidade espacial de chuva. Urbanização.

Intense rainfall and flooding events: a case study for Campinas [state of Sao Paulo, Brazil] 2019

ABSTRACT

This paper aims to assess the spatial variability of rainfall and its impacts on flooding occurrences in Campinas (Brazil), during 2019. Daily accumulated rainfall data was obtained from 8 rain gauges across the city, and flooding data were granted by the city's Civil Defense, and are based on incident reports made by the population. It was verified a good agreement with respect to the occurrence or not of rain among the rain gauges. Nonetheless, the quantitative variability became evident, due to occasional heavy rain on microscale. Flooding data analysis led to the identification of more susceptible flooding areas. Aspects such as daily accumulated rainfall, locally heavy rainfall, and terrain surely play an essential role in flooding events. However, the city area in which most flooding occurs is relatively higher than the surroundings, which suggests – also for being part of downtown and being largely urbanized – that urbanization is a significant feature that contributes to floods.

KEYWORDS

Intense rainfall. Flooding. Rainfall spatial variability. Urbanization.

1. Introdução

A precipitação é altamente variável no tempo e no espaço (Jensen;Pedersen, 2004). Com a mudança climática em curso (IPCC, 2021), uma das principais consequências é o aumento da frequência e intensidade dos eventos meteorológicos e climáticos extremos, incluindo maior ocorrência de eventos de chuva intensa/extrema. O Brasil é um país com um grande número de eventos intensos que impactam fortemente a sociedade e a economia, sendo amplificados pela vulnerabilidade dos grandes centros urbanos (Monteiro & Kobiyama, 2013; Bertilsson et al., 2019).

A urbanização foi um processo acelerado durante o século 20, concentrando um número significativo de pessoas nas cidades ao redor do mundo (Shen et al., 2017). Esse processo concentrou-se em continentes com países de economias emergentes, caracterizados por altos níveis de desigualdade e degradação ambiental (Bertilsson et al. 2019). A situação é agravada por diversos problemas estruturais na concepção e implementação de áreas urbanas e pelos cenários de mudanças climáticas (Siegel, 2019). O desenvolvimento e a concentração da população em regiões urbanas agravam a exposição e, conseqüentemente, potencializam o risco relacionado às inundações, por exemplo (Chen et al. 2019). Especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil, a urbanização sem planejamento ou a ocupação desordenada de áreas urbanas é um dos principais fatores que intensificam os danos das enchentes urbanas (Monteiro & Kobiyama, 2013).

O aumento da frequência de chuvas intensas em ambientes alterados pela ação humana, como as regiões urbanizadas, podem provocar danos significativos em qualquer região do mundo (Ligeti et al., 2007). Segundo o Ministério das Cidades/IPT (2007) as enchentes ou as cheias são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. Já a inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea. E, existem ainda os conceitos de alagamento e enxurrada. Alagamento é um acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem e enxurrada é escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. De forma geral, ambos os conceitos podem ser relacionados a enchentes urbanas que são potencializadas por urbanização inadequada e ocupação não planejada.

No Brasil, os eventos severos de natureza atmosférica são raros, entretanto é bastante comum a ocorrência de eventos intensos com potencial para danos materiais, econômicos e sociais, tais como os eventos supracitados. Nascimento (2004) afirma que prever a chegada de um sistema precipitante com algumas horas de antecedência pode contribuir para a redução de impactos social e econômico, principalmente em áreas com algum grau de risco para inundações, enchentes ou alagamentos, e também em áreas de maior vulnerabilidade social.

Hegger et al. (2016) propuseram alguns indicadores para diminuir a exposição de pessoas e bens a fim de alcançar uma urbanização sustentável. Entre as medidas de proteção contra inundações destacam-se a construção de obras de infraestrutura, como diques, barragens, aterros e açudes. Os autores destacam também a importância de implementação de sistemas de alertas.

Estão em curso três agendas internacionais, tais como a terceira Conferência Mundial da Organização das Nações Unidas – ONU sobre a Redução do Risco de Desastres – WCDRR, denominado Marco de Sendai, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Conferência das Partes da CMNUCC – Acordo de Paris, Habitat III e a Cúpula Humanitária para a resiliência a desastres, que estabelece metas a serem cumpridas de 2015-2030. Campinas assumiu o compromisso junto a Campanha Mundial Construindo Cidades Resilientes. Os desafios contidos no Quadro de Sendai impõem para a redução do risco de desastres 2015-2030, a proposição de estratégias que assegurem para os próximos 15 anos um futuro de qualidade de vida para a humanidade (Nações Unidas, 2015).

O processo de urbanização em Campinas teve início na década de 1970, impulsionado pelo avanço da interiorização das indústrias no Estado de São Paulo. Esse processo contribuiu para a atração de grandes contingentes populacionais e de investimentos econômicos e técnico-industriais que auxiliaram na formação de um novo centro urbanizado em escala regional (Caiado e Pires, 2006). Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1970 o município possuía cerca de 375 mil habitantes, passando a apresentar, na década de 1980, aproximadamente 664 mil habitantes (Campinas, 2006). Com isso, Campinas sofreu intensas e rápidas transformações sociais, econômicas e ambientais e, apesar de sua vitalidade

econômica, sua expansão levou a uma crescente incapacidade de abrigar a crescente população e fornecer infraestrutura adequada. Seu espraiamento urbano ocorreu de forma desordenada, sem planejamento efetivo, onde a expansão foi mais rápida que a disseminação de infraestrutura necessária para mitigar os impactos locais consequentes dos eventos climáticos extremos. Como consequência, parte da população vive em áreas de risco para desastres naturais, que passarão a ocorrer com maior frequência e magnitude devido às mudanças climáticas globais, como inundações e colapso de terrenos (Vicente e Nunes, 2004; Castellano, 2010).

Castellano e Nunes (2010) avaliaram eventos de chuva extrema em Campinas em suas componentes espaciais e temporais para o período de 1976 e 2005, avaliando os impactos no meio urbano. Para tanto, utilizaram-se do limiar de 50 mm/dia para classificar um evento de chuva como extremo, empregando dados de 5 postos pluviométricos, sendo 4 em Campinas e 1 em Piracicaba. O levantamento de impactos no meio urbano se deu mediante registros de mídia local e da Defesa Civil campineira, sendo classificados em 27 categorias. Constataram que ao longo dos 30 anos, a grande maioria dos eventos extremos ocorreram entre primavera e verão (época chuvosa), porém sem indicativos de tendência de aumento ou diminuição de casos no curso dos 30 anos estudados. Elencaram as 27 categorias de impactos/danos por frequência, sendo os 3 mais frequentes: alagamentos de imóveis, risco de desabamento e alagamentos de vias, que contabilizaram mais de 53% das ocorrências. Além disso, foi demonstrado um aumento na quantidade de ocorrências relacionadas aos impactos dos eventos de chuva extrema no decorrer do tempo, a despeito de não haver uma tendência de aumento de eventos extremos – o que aponta para uma crescente vulnerabilidade do meio urbano de Campinas. Com relação à classificação de eventos de chuva extrema em Campinas, Ifanger et al (2017) avaliaram dados de chuva acumulada diária para o período entre 1989 e 2016 referentes à 3 estações meteorológicas em Campinas: Cepagri/Unicamp, Instituto Agrônomo de Campinas e Aeroporto Internacional de Viracopos, situadas em pontos distintos da cidade, e aplicaram a técnica dos quantis para quantificar valores de eventos chuva extrema a partir do quantil 0,99. Os valores encontrados foram 74,8, 74,5 e 65,8 mm/dia, respectivamente. Bairy et al (2022), em uma abordagem semelhante, avaliaram dados de chuva acumulada em 24h da estação meteorológica do Cepagri/Unicamp entre 1989 e 2021, determinando os quantis de 0,90, 0,95 e 0,99, encontrando os valores de 30,7, 42,0 e 68,0 mm/dia. Concluíram também que a taxa anual eventos de chuva delimitados pelos quantis 0,90 e 0,95 seguem um padrão semelhante entre si, estando altamente correlacionados com o total pluviométrico anual. Já os eventos de chuva compreendidos pelo quantil 0,99 apresentam um padrão mais independente e com baixa correlação com o total anual de chuva. Para os 3 casos, no entanto, a maior incidência se dá nos meses de primavera e verão. Ainda para a região metropolitana de Campinas, Aguiar e Nunes (2006) avaliaram a variabilidade espaço-temporal das chuvas em 6 pluviômetros localizados em cidades da região entre 1953 e 1997, apontando que (especialmente na primeira metade do período) a maior variabilidade espacial da precipitação anual ocorreu em anos menos chuvosos, e constatou-se maior variabilidade na segunda metade do período, sob a hipótese da influência de fenômenos de variabilidade climática (El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico).

O Plano Diretor Estratégico para a cidade de Campinas, aprovado em 2018 e balizado pela Lei Complementar nº 189 de 08 de janeiro de 2018 (Campinas, 2018), contém definições, políticas e diretrizes para o desenvolvimento municipal em diferentes áreas. O Capítulo X do plano, artigo 70º, define como prioritárias as ações de eliminação e mitigação de pontos de enchentes e alagamentos, bem como a prevenção do surgimento de novos pontos. Em virtude desse compromisso, foi feito levantamento de pontos críticos de inundações e alagamentos pela Secretaria Municipal de Infraestrutura, disponíveis em <https://informacaodidc.campinas.sp.gov.br/metadados.php> (acesso em 27/11/2021). O Anexo XX do Plano Diretor apresenta o “Mapa de suscetibilidade a inundações”, que também localiza pontos críticos de inundação e alagamento.

O objetivo central deste trabalho foi estabelecer um entendimento inicial dos eventos de chuva que levam a alagamentos e a variabilidade espacial da chuva em Campinas. De forma específica, buscou-se mapear as áreas mais suscetíveis a alagamentos, cruzando a informação com dados de chuva dos pluviômetros mais próximos. Também procurou-se correlacionar qualitativa e quantitativamente a ocorrência de chuva em diferentes pontos da cidade e os respectivos acumulados.

2. Material e métodos

Para este estudo foram utilizados dados meteorológicos de precipitação disponíveis no Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – Cepagri /Unicamp e nos pluviômetros do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN situados no município de

Campinas SP, acessados pela plataforma “Mapa Interativo” (<http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/>), para o ano de 2019. No referido ano, o Cemaden possuía 8 estações pluviométricas automáticas no município de Campinas. Devido ao período relativamente pequeno de observações e a proximidade com outros dois pontos de coleta de dados, as informações de uma das estações de Barão Geraldo (350950233H) foram excluídas das análises. Para a estação de Ribeirão das Cabras, foi levantada a suspeita de dados corrompidos para o período de 25 de Janeiro a 27 de Fevereiro (inclusive), pela discrepância com todas as demais estações em todos os eventos de chuva no período (no qual o total pluviométrico registrado foi de apenas 3,6 mm em registros ocasionais de décimos de mm, estando ainda no período chuvoso, enquanto as demais estações pluviométricas consideradas registraram acumulados em torno de 200 mm), e, portanto, os dados do período foram atribuídos como “ausentes”. Da mesma forma, todos os dados do mês de janeiro referentes à segunda estação “Barão Geraldo” (350950202A) foram excluídos. Após essas etapas de preparo e filtragem, os dados foram utilizados para o cálculo de totais diários de chuva. Além desses dados excluídos, algumas estações tiveram interrupção na transmissão de seus dados. Técnicas de preenchimento de falhas nas séries temporais não foram empregadas por não serem consideradas interessantes para o escopo do trabalho, uma vez que se baseiam em substituição direta ou médias de dados vizinhos – o que poderia acabar atenuando ou mascarando a variabilidade espacial das chuvas; mapas baseados em interpolação de dados também foram evitados por este motivo – preferiu-se limitar a análise aos dados pontuais. Um resumo das estações é apresentado na Tabela 1. Também foram empregados dados de alagamento de imóveis e vias públicas, cordialmente cedidos pela Defesa Civil do município de Campinas, também para o ano de 2019. Os registros referem-se a chamados feitos por cidadãos nos casos de alagamentos, e são datados do dia da solicitação, que, por vezes, pode ter ocorrido no dia subsequente ao do alagamento propriamente dito, e, para cada ocorrência, há informação de data, tipo (imóvel/via pública), endereço completo e região da cidade. Os registros não necessariamente compreendem todos os alagamentos ocorridos na cidade; somente aqueles que causaram o acionamento da Defesa Civil.

Para o processamento dos dados meteorológicos, foi utilizado o software R e o pacote “Open Air” (Carlslaw e Ropkins, 2012). Para o mapeamento dos pontos de alagamento, foi aplicada a extensão “MMQGIS” (<https://michaelminn.com/linux/mmqgis/>, acesso em 24/05/2022), que consiste em um conjunto de plugins em Python que permite a geocodificação de endereços no software QGIS, no qual os mapas foram feitos. Alguns endereços, no entanto, não foram identificados corretamente pela extensão. As altitudes das estações pluviométricas do Cemaden foram estimadas a partir do Google Earth.

Bases cartográficas para a elaboração de mapas empregadas são as fornecidas pela Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (limites municipais), pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (mapas o Brasil e unidades da federação), e pelo banco de dados de metadados espaciais de Campinas (regiões municipais, pontos críticos de alagamento e inundação). O mapa hipsométrico foi elaborado a partir do modelo digital de elevação disponível no sistema Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Foram selecionados 2 eventos (entre 3 e 5 de janeiro – considerado como um só – e em 24 de Janeiro), responsáveis pelos maiores números de ocorrências de alagamentos atendidas pela Defesa Civil, no ano de 2019.

Tabela 1. Resumo das estações utilizadas no estudo - localização e tratamento/ausência de dados.

Nome (localização) da estação (código CEMADEN)	Coordenadas (Longitude; Latitude; Altitude)	Dados excluídos?	Períodos sem dados (além dos excluídos)?
Cepagri	-47,06;-22,82; 664 m	Não	Não
Barão Geraldo (350950202A)	-47,08;-22,83; 615 m	Sim - 1 a 31/01	19 a 23/04; 17-25 e 28/07; 29/08; 14/10; 4 a 9 e 11/11;
Sousas (350950205A)	-46,96;-22,88; 644 m	Não	17 a 25 e 28/07; 29/08; 14/10; 4/11 a 31/12;
Ribeirão das Cabras (350950231H)	-46,94;-22,89; 664 m	Sim - 25/01 a 27/02	Não
Córrego Serafim (350950230H)	-47,06;-22,89; 653 m	Não	1 a 15/01;

Jardim das Bandeiras (350950208A)	-47,09;-22,95; 643 m	Não	17 a 25 e 28/07; 29/08; 14/10
Vila Aeroporto (350950206A)	-47,13;-22,98; 643 m	Não	17 a 25 e 28/07; 29/08; 14/10; 4 a 11/11
Vila Vitória (350950201A)	-47,17;-22,98; 608 m	Não	24/04 a 31/12

3. Resultados

A Figura 1 mostra a localização geográfica de Campinas, identificando as regiões administrativas da cidade e os pluviômetros cujos dados foram utilizados neste estudo. Indica, também, a localização de 126 dos 145 pontos de alagamento registrados pela Defesa Civil ao longo de 2019. Nota-se que a maior parte dos casos de alagamento ocorreu nas regiões Noroeste, Sul e Sudoeste, o que também é apontado pela **Error! Reference source not found.**, a qual discrimina o número total de ocorrências por região e a relação com a área de cada região. Dessa forma, fica evidente que, em termos de ocorrências de alagamento por unidade de área, as regiões Sudoeste e Sul são, respectivamente, as que apresentam os maiores índices, sendo seguidas pelas regiões Noroeste, Norte e Leste, respectivamente. O “Mapa de Suscetibilidade a Inundações”, supracitado, contempla vários pontos no centro e sul da cidade, e pontos esparsos em outras regiões. Embora praticamente todos os pontos críticos identificados pela Secretaria de Infraestrutura coincidam ou estejam muito próximos dos aqui apresentados para o ano de 2019 (exceto por um ponto no extremo norte de Campinas, próximo à divisa com Jaguariúna), eles estão em número bem menor e, em adição, há inúmeros pontos ou áreas com vários pontos de ocorrências de 2019 que não estão representados no mapa do Plano Diretor. Uma vez que não há informação da metodologia empregada na formulação do mapa de pontos críticos de alagamentos do Plano Diretor, não há como explicar essas diferenças. Vale salientar que o Plano foi elaborado em um período que não contempla o ano de 2019.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos acumulados registrados ao longo do ano de 2019, de acordo com a disponibilidade de dados (já indicados na Tabela 1 e contabilizada na Tabela 2). O único ponto em que houve coleta ininterrupta foi na estação do Cepagri. As estações pluviométricas do Córrego Serafim, Jardim das Bandeiras e Vila Aeroporto também possuem boa disponibilidade de dados. Provavelmente os dias sem dados para a estação do Jardim das Bandeiras não teriam registrado chuvas se o pluviômetro estivesse operando, tornando o total anual registrado no mínimo uma boa aproximação do ocorrido. Os pluviômetros do Córrego Serafim e da Vila Aeroporto certamente teriam registrado chuva nos dias em que estiveram inoperantes, o que resulta em uma subestimativa do valor calculado, de incerteza desconhecida. Comparando os dados observados (ainda que, em parte, incompletos), nota-se grande variabilidade espacial das chuvas, com destaque para o volume registrado pelo pluviômetro do Jardim das Bandeiras, muito superior aos das demais estações pluviométricas.

Tabela 2. Total de chuva mensurado nas estações pluviométricas ao longo de 2019 e contagem de dias com dados disponíveis.

	Barão Geraldo	Córrego Serafim	Jardim das Bandeiras	Ribeirão das Cabras	Sousas	Vila Aeroporto	Vila Vitória	Cepagri
Chuva acumulada em 2019	833,44	1054,8	1402,2	865,2	1026,75	1201,61	830,67	1055,37
Número de dias contabilizados	310	350	353	331	295	346	112	365

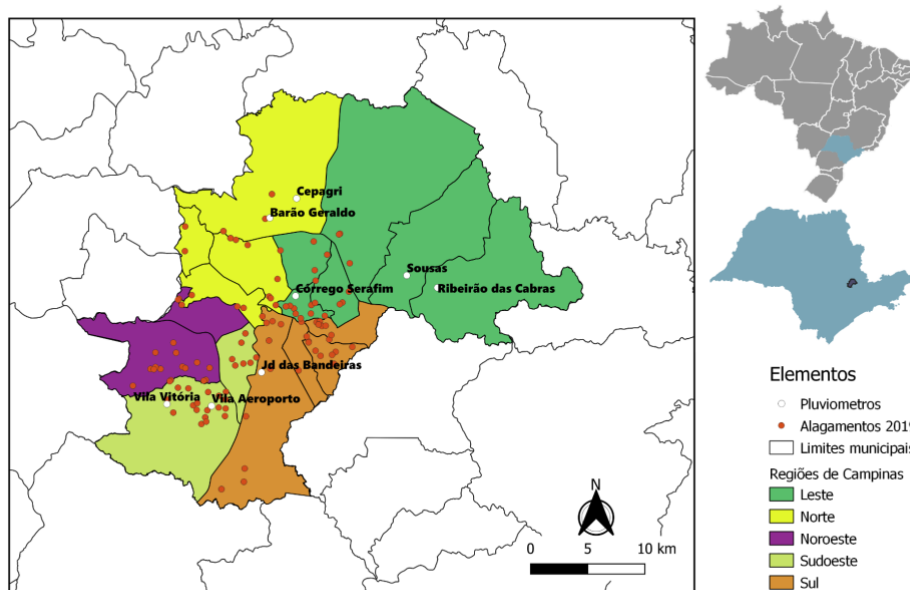


Figura 1. Localização de Campinas, identificação das regiões da cidade, e localização dos pluviômetros utilizados no estudo, além dos pontos de alagamento atendidos pela Defesa Civil municipal

Tabela 3. Total de ocorrências de alagamento atendidas pela Defesa Civil de Campinas em 2019 por regiões da cidade, área de cada região e a taxa de ocorrências por área.

Região	Ocorrências por Região	Área (km ²)	Ocorrências/km ²
Norte	33	166,901	0,198
Noroeste	19	68,87	0,276
Sudoeste	32	98,404	0,325
Sul	37	119,84	0,309
Leste	24	341,107	0,070

A Figura 2 mostra casos selecionados de eventos de chuva volumosa (os 15 dias em que houve maiores acumulados) e o total respectivo de ocorrências de alagamento atendidas pela Defesa Civil de Campinas. Visualmente, nota-se afinidade qualitativa (ocorrência ou não de chuva), especialmente nas estações mais próximas entre si. Quantitativamente, entretanto, percebe-se que são comuns episódios de grandes diferenças nos acumulados de chuva (para os eventos apresentados no gráfico, as amplitudes dos acumulados variam entre 27 e 71,4 mm). Cabe salientar que a época chuvosa na região de estudo, em termos climatológicos, compreende os meses de primavera e verão, com pico no período entre dezembro e meados de março. Apesar disso, é interessante observar que o período seco (abril a setembro), também apresenta registros de ocorrência de alagamento conforme pode ser visualizado na Figura 3, que mostra a contagem mensal de registros de alagamentos para 2019. Janeiro teve um total de registros muito acima das demais, concentrando os dois eventos de chuva que mais geraram alagamentos. O único mês que não contabilizou ocorrências foi outubro. Com respeito aos registros de alagamentos, nota-se, primeiramente, que não há uma relação necessariamente linear entre acumulados de chuva e número de alagamentos/acionamentos da Defesa Civil. Há casos em que volumes de chuva similares em dias diferentes resultam não só em diferentes totais de ocorrências de alagamentos atendidas pela Defesa Civil, como em alguns casos há volumes semelhantes que geram ocorrências em uma data e não em outra. Isso pode simplesmente ser resultado do não-acionamento da Defesa Civil em determinados eventos; além do mais, há outros fatores de cunho meteorológico (como intensidade de chuva e número de dias seguidos sem/com chuva), não meteorológicos (como obstrução ou limpeza de canais de drenagem) e mistos (ocorrência de chuva forte/volumosa em determinada área da cidade) que podem impactar na ocorrência ou não de alagamento, mas que, à exceção do último, não constituem o escopo deste estudo.

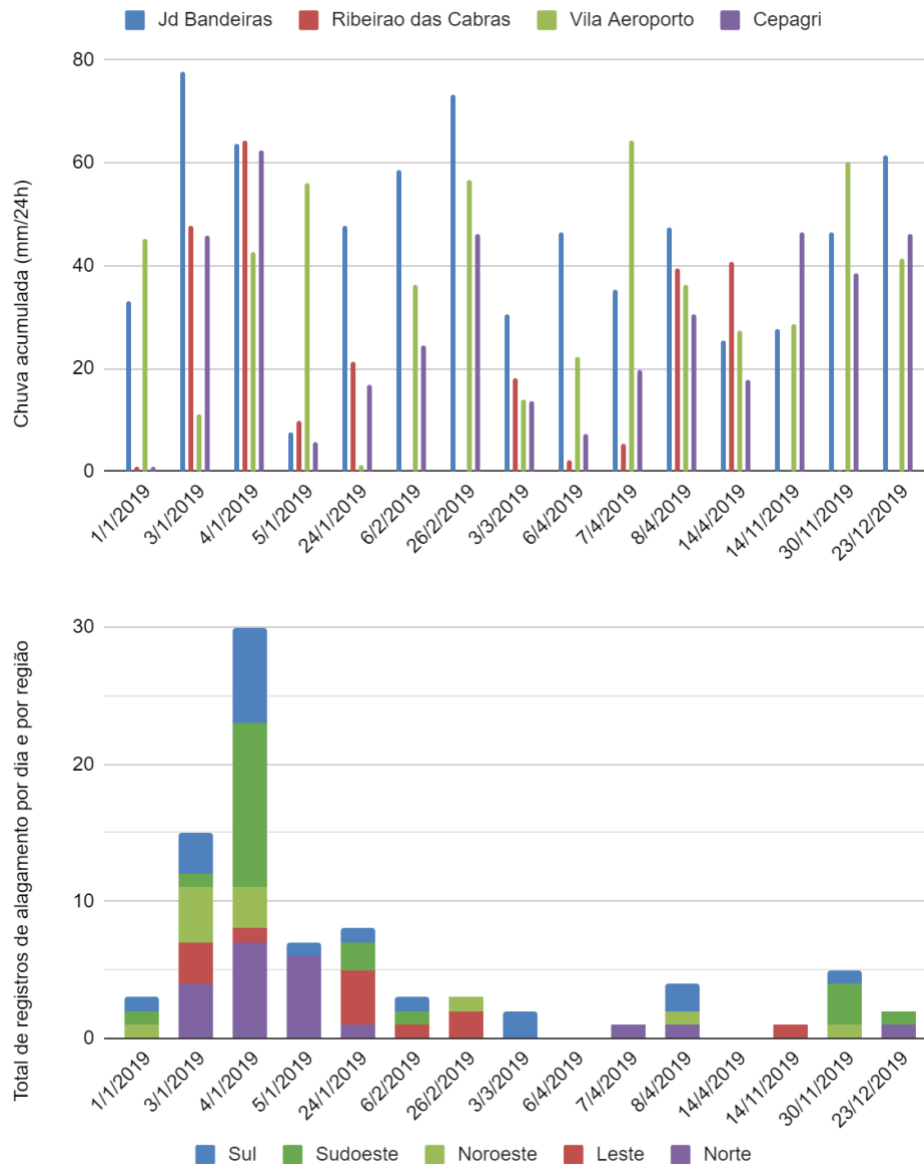


Figura 1. Casos selecionados de eventos de chuva extrema: acumulados em diferentes estações pluviométricas¹ (acima) e totais de registros de alagamentos (abaixo).

Em relação aos limiares de chuva, definidos pelos quantis 0,90, 0,95 e 0,99 (Bainy et al. 2022) aplicados à série histórica de registros pluviométricos diários do Cepagri para a quantificação dos limiares e comparação com todos os registros de maior acumulado de chuva diária registrada em 2019, as categorias contabilizaram, respectivamente, 27, 17 e 4 ocorrências.

A Tabela 4 apresenta a matriz de correlações dos acumulados diários de chuva para as estações consideradas no estudo, com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial das chuvas. Os coeficientes de correlação computados estão na faixa entre 0,42 e 0,94, sendo a grande maioria acima de 0,65. Percebe-se que, em geral, as melhores correlações ocorrem entre as estações mais próximas entre si, como Cepagri e Barão Geraldo, e as correlações mais baixas são entre estações distantes, como Barão Geraldo ou Vila Aeroporto com relação a Ribeirão das Cabras.

¹ O gráfico contempla apenas as estações com maior disponibilidade de dados para as datas selecionadas. Para o pluviômetro de Ribeirão das Cabras, que consta no gráfico, não há dados para os dias 6 e 26 de fevereiro.

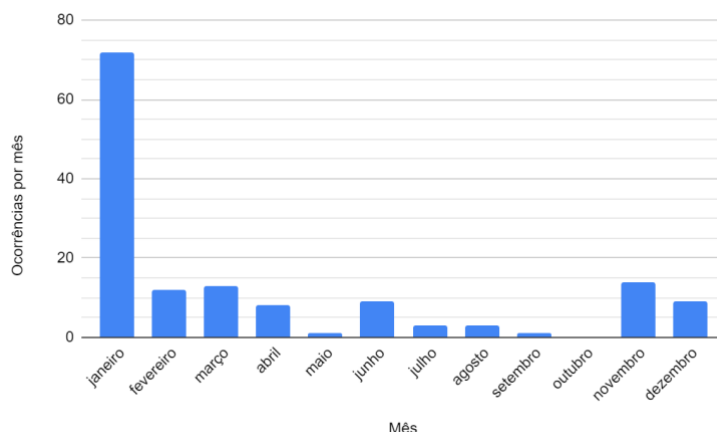


Figura 3. Total de registros de alagamentos em Campinas por mês em 2019.

Tabela 4. Matriz de correlações entre os acumulados diários de chuva para todas as estações consideradas no estudo.

	Barão Geraldo	Córrego Serafim	Jd Bandeiras	Vila Vitória	Vila Aeroporto	Sousas	Cepagri	Ribeirão das Cabras
Barão Geraldo	1,00	0,78	0,80	0,87	0,78	0,81	0,94	0,42
Córrego Serafim	0,78	1,00	0,86	0,65	0,72	0,70	0,79	0,52
Jd Bandeiras	0,80	0,86	1,00	0,83	0,75	0,73	0,82	0,60
Vila Vitória	0,87	0,65	0,83	1,00	0,77	0,72	0,84	0,66
Vila Aeroporto	0,78	0,72	0,75	0,77	1,00	0,65	0,71	0,45
Sousas	0,81	0,70	0,73	0,72	0,65	1,00	0,79	0,86
Cepagri	0,94	0,79	0,82	0,84	0,71	0,79	1,00	0,60
Ribeirão das Cabras	0,42	0,52	0,60	0,66	0,45	0,86	0,60	1,00

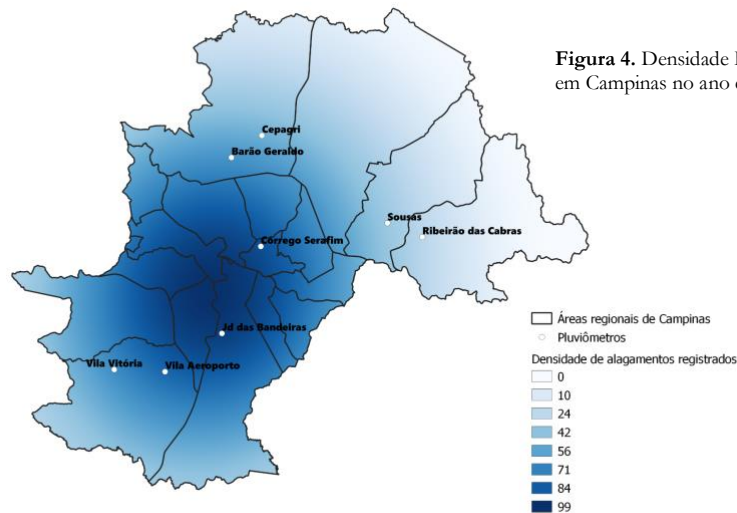
A Tabela 5 quantifica o número de eventos de chuva extrema por quantis para cada uma das estações pluviométricas, sujeito à disponibilidade de dados. No entanto, apesar de várias estações apresentarem vários períodos sem dados, é possível verificar que, exceto pela estação de Barão Geraldo, todas as demais contabilizam mais ocorrências do que a do Cepagri (a única sem dados ausentes) em pelo menos uma categoria. Além disso, as estações pluviométricas Jardim das Bandeiras, Vila Aeroporto e Vila Vitória contabilizam mais ocorrências de chuva extrema em todas as categorias em comparação com a estação do Cepagri.

Tabela 5. Número de ocorrências de eventos de chuva extrema por quantil, em cada um dos pontos de coleta de dados pluviométricos.

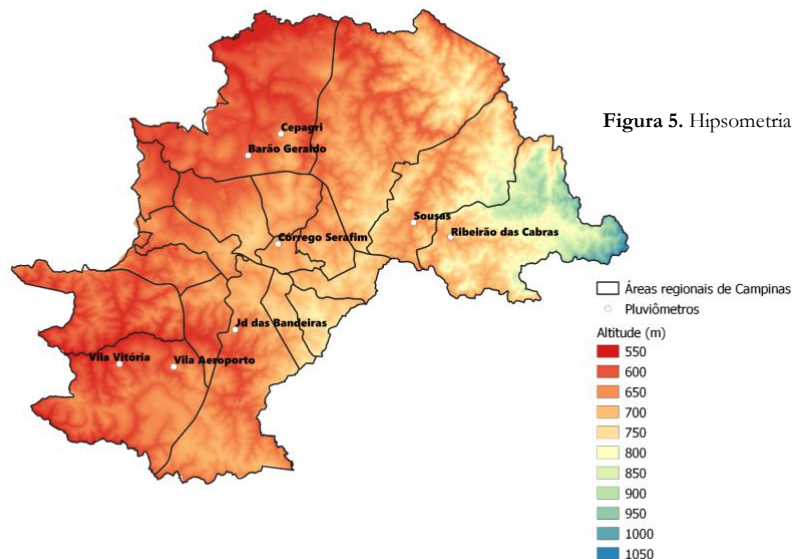
	Barão Geraldo	Córrego Serafim	Jd das Bandeiras	Córrego Serafim	Sousas	Vila Aeroporto	Vila Vitória	Cepagri
Chuva $\geq 30,7$ mm/dia	5	9	14	11	8	11	8	6
Chuva ≥ 42 mm/dia	3	4	10	3	3	6	6	5
Chuva ≥ 68 mm/dia	0	1	2	0	0	0	1	0

A Figura 4 apresenta o mapa de densidade kernel com respeito às ocorrências registradas de alagamento em 2019. Nota-se que a área que mais concentra alagamentos situa-se entre os pluviômetros de Jardim das Bandeiras e Córrego Serafim, que comporta o centro comercial da cidade e é uma área densamente edificada e pavimentada. Este resultado corrobora as afirmações de Tucci (2007), que afirma que as enchentes em áreas

urbanas são devido a dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada, que são as enchentes devido à urbanização e as enchentes em áreas ribeirinhas.



Por sua vez, a Figura 5 apresenta as características hipsométricas de Campinas, em metros acima do nível médio do mar, e foi elaborada a partir de modelo digital de elevação. As áreas de menor altitude encontram-se no extremo norte do município (região pouco urbanizada, para onde não há registro de alagamento em 2019) e no setor mais ao sul, próximo às vilas Vitória e Aeroporto (região de grande ocupação e urbanização, significativamente afetada por alagamentos). Ao passo que muito provavelmente a condição de relevo contribui para a ocorrência de alagamentos nessa porção mais ao sul do município, o mesmo não se pode dizer da porção central, que concentrou mais ocorrências em 2019, visto que é uma área relativamente elevada, em comparação com as redondezas imediatas. Isso pode sugerir, além de casos de chuva localmente forte, deficiências no sistema de escoamento das águas pluviais - que é um desafio generalizado em grandes centros urbanos.

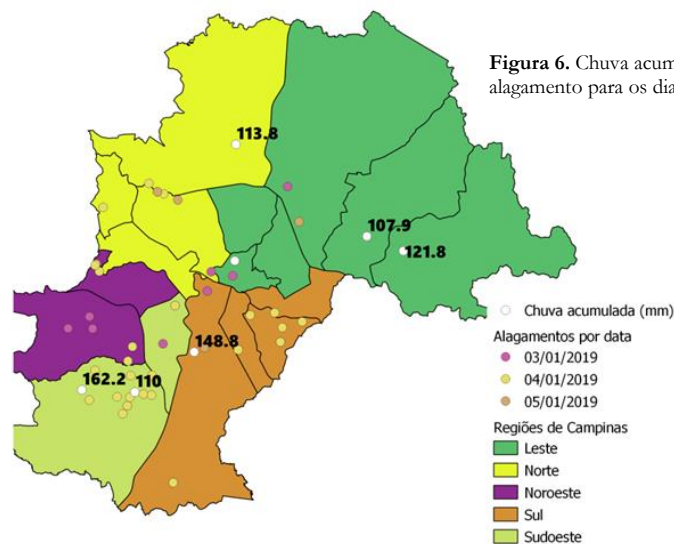


3.1. CASOS

A seguir, são apresentados, resumidamente, os dois casos de chuva que geraram os maiores números de alagamentos em Campinas em 2019.

3.1.1. CASO DOS DIAS 03 A 05 DE JANEIRO

Foram 3 dias consecutivos de chuva e alagamentos reportados (totalizando 52 casos), sendo considerado como um só evento. A Figura 6 mostra os totais de chuva medidos nas estações pluviométricas para todo o período e os pontos de alagamento, segregados por dia de acionamento da Defesa Civil. De modo geral, percebe-se que os acumulados de chuva nas 72h foram elevados em todas as estações, ultrapassando o limiar de alerta da Defesa Civil para riscos geológicos, definido em 80 mm/72h. Os valores de acumulados de chuva nas 72 horas tiveram uma variação espacial de 107,9 a 162 mm, e representam mais que 39% da normal climatológica de 270 mm esperada para todo o mês de janeiro. Apesar de acumulados expressivos em todos os pluviômetros, as áreas preferenciais de alagamento mantiveram-se no centro-sul da cidade. Com relação aos acumulados diários de chuva, praticamente todas as estações registraram os maiores volumes no dia 4, para o qual também há maior número de atendimentos efetuados pela Defesa Civil. A exceção é a estação de Jardim das Bandeiras, que registrou o maior volume no dia 3, quando também ocorreram a maioria dos alagamentos na região noroeste e na porção central da cidade. Para estes dias, a estação pluviométrica Córrego Serafim não estava operante.



3.1.2. CASO DO DIA 24 DE JANEIRO

Este caso apresenta uma situação de chuva localmente forte e mal distribuída na cidade, que culminou em 8 ocorrências de alagamento. As chuvas mais volumosas se concentraram na área entre os pluviômetros Córrego Serafim e Jardim das Bandeiras - no centro da cidade, onde se concentrou quase a totalidade dos alagamentos registrados, seguido pelos acumulados no setor leste, onde não houve registro de ocorrências, conforme Figura 7. Neste caso, a despeito de características de terreno e infraestrutura urbana que possam ter contribuído para os pontos de alagamento, ficam evidentes a eventualidade e os impactos de chuva localmente forte.

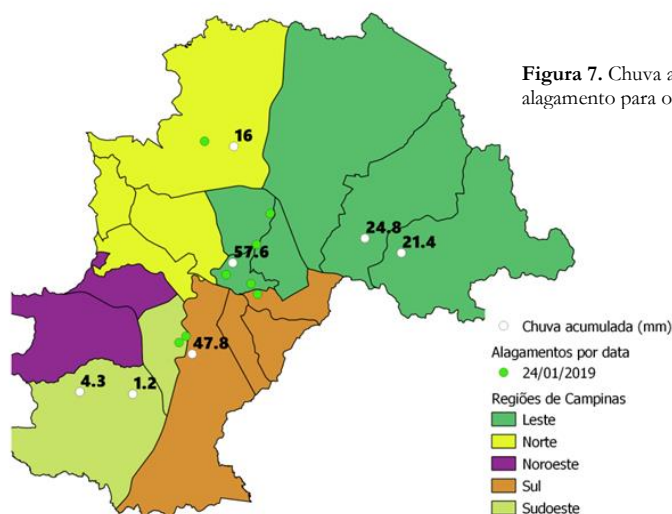


Figura 7. Chuva acumulada e pontos de alagamento para o dia 24 de janeiro de 2019.

4. Conclusão

Neste estudo foram mostrados aspectos de variabilidade espacial das chuvas em Campinas e aspectos relacionados à ocorrência de alagamentos em 2019. Foram apresentados dados de chuva, e avaliada a distribuição espacial, o que levou à constatação que, embora haja uma relativa correlação qualitativa de ocorrência ou não de chuva entre os pluviômetros, há uma grande variabilidade com relação aos volumes registrados em diferentes pontos da cidade. Além disso, em geral, estações pluviométricas mais próximas tendem a ter maiores correlações com relação aos volumes de chuva, embora haja algumas exceções. Foram também identificadas as áreas mais suscetíveis a alagamentos, e foram levantadas hipóteses sobre aspectos que possam favorecer essas ocorrências, para além das chuvas localmente volumosas. Esse estudo, ainda preliminar, é um piloto para uma pesquisa mais abrangente em termos de período de dados e variáveis de interesse.

4.1. AGRADECIMENTOS

À Defesa Civil de Campinas, em especial à Sueli Ap Castiglieri, pela cessão, preparo e envio dos dados de ocorrências de alagamentos. Agradecemos também ao Serviço de Apoio ao Estudante/Unicamp, pela bolsa de pesquisa/aprimoramento técnico concedida ao aluno Pedro Henrique da Silva.

5. Referências

- Aguiar, D. A.; Nunes, L. H. (2006). Variabilidade pluviométrica de alguns municípios da Região Metropolitana de Campinas (SP) em dois períodos homogêneos. *Sociedade & Natureza*, 18 (35), pp. 55-64.
- Bainy, B. K.; Gonçalves, R. R. V.; Troy, A. P. S. (2022). *Extreme rainfall events in Campinas, Brazil: definitions and observations*. In: 1st Weather and Society Conference. World Meteorological Organization.
- Bertilsson, L; Wiklund, K; Tebaldi, I. M; Rezende, O. M; Veról, A. P; Miguez, M. G. (2019) Urban flood resilience – A multi-criteria index to integrate flood resilience into urban planning, *Journal of Hydrology*, (573), 970-982, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.052>.
- Brasil, Ministério das Cidades (2007). *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 176 p. <http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>
- Caiado, M. C. S., & Pires, M. C. S. (2006). Campinas Metropolitana: transformações na estrutura urbana atual e desafios futuros. In J. M. P. Cunha (org.). *Novas Metrôpoles Paulistas. População, Vulnerabilidade e segregação* (cap.10, pp.275-304). Campinas: NEPO/Unicamp.

- Campinas (2006). *Plano Diretor Estratégico – Caderno de Subsídios, Capítulo III – Aspectos Demográficos e Sociais*. Campinas : Prefeitura Municipal de Campinas. Disponível em <https://saude.campinas.sp.gov.br/seplan/publicacoes/planodiretor2006/pdfinal/cap3.pdf> . Acesso em 26 ago. 2022.
- Campinas. (2018). *Lei Complementar nº 189 de 08 de janeiro de 2018 – Plano Diretor Estratégico*. Disponível em https://suplementos.campinas.sp.gov.br/admin/download/suplemento_2018-01-09_cod473_1.pdf Acesso em 15 dez. 2021.
- Carslaw D. C., & Ropkins, K. (2012). openair — An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27-28 (0), 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.
- Castellano, M. S. (2010). *Inundações em Campinas (SP) entre 1958 e 2007: tendências socioespaciais e as ações do poder público*. [Dissertação de mestrado] Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas [SP] Brasil. <https://bv.fapesp.br/pt/publicacao/75892/inundacoes-em-campinas-sp-entre-1958-e-2007-tendencias-s/>
- Castellano, M. S., & Nunes, L. H. (2010). Avaliação espaço-temporal das precipitações extremas e seus impactos no meio urbano: um caso brasileiro. *Territorium* (17), 35-44 https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_17_4/2390
- Chen, Y.; Xie, W.; Xu, X. (2019). Changes of Population, Built-up Land, and Cropland Exposure to Natural Hazards in China from 1995 to 2015. *Int. J. Disaster Risk Sci.*, (10), 557-572. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00242-0>
- Intergovernmental Panel of Climate Change (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Ifanger, T. V., Bezerra L. M., & Avila, A. M. H. (2017). Avaliação espacial e temporal da precipitação extrema na região urbana de Campinas – SP. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Anais: A. Perez Filho & R. R. Amorim (orgs.). Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento (pp.2535-2539). Campinas: Unicamp. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2420>
- Hegger, D. L. T., P. P. J. Driessen, M. Wiering, H. F. M. W. Van Rijswijk, Z. W. Kundzewicz, P. Matczak, A. Crabbé, G. T. Raadgever, M. H. N. Bakker, S. J. Priest, C. Larrue, and K. Ek. (2016). Toward more flood resilience: Is a diversification of flood risk management strategies the way forward? *Ecology and Society* 21(4):52. <https://doi.org/10.5751/ES-08854-210452>
- Jensen, N E., & Pedersen, L. (2005). Spatial variability of rainfall: Variations within a single radar pixel. *Atmospheric Research*, (77), Issues 1-4, 269-277, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.10.029>
- Ligeti, E., Penney, J., & Wieditz, I. (2007). *Cities preparing for climate change: a study of six urban regions*. Clean Air Partnership. <http://www.sfrpc.com/Climate%20Change/8.pdf>
- Monteiro, L. R. Kobiyama, M. (2013). Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, 10(2), 13-25. <http://dx.doi.org/10.21168/rega.v10n2.p13-25>
- Nascimento, E. L. (2004) Previsão de Tempestades Severas utilizando-se Parâmetros Convectivos e Modelos de Mesoescala: Uma estratégia Operacional Adotável no Brasil? *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20 (1), 121-140.
- Organização das Nações Unidas (2015). *Como construir cidades mais resilientes – Um guia para gestores públicos locais*. Uma contribuição à Campanha Global 2010-2015. Disponível em <http://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/> Acessado em fevereiro de 2016.
- Siegel, F. R. (2019). *Cities and Mega-Cities*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93166-1>
- Shen, L., Shuai, C., Jiao, L., Tan, Y., & Song, X. (2017). Dynamic sustainability performance during urbanization process between BRICS countries. *Habitat International*, (60), 19-33. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.12.004>
- Tucci, C. E. M. (2007). *Inundações urbanas*. ABRH/RHAMA, v.11.
- Vicente, A. K., & Nunes, L. H. (2004). Extreme precipitation events in Campinas, Brazil. *Terrae*, (1), p.60-64. <https://www.ige.unicamp.br/terrae/V2/PDF-N2/nunes.pdf>