

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO MINEIRO APOLONIO NETO

MAPEAMENTO DAS ACELERAÇÕES SÍSMICAS NO ESTADO DO CEARÁ

RUSSAS

2021

FRANCISCO MINEIRO APOLONIO NETO

MAPEAMENTO DAS ACELERAÇÕES SÍSMICAS NO ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a banca examinadora da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes
Teixeira Mesquita

RUSSAS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A654m Apolonio Neto, Francisco Mineiro.
Mapeamento das acelerações sísmicas no Estado do Ceará / Francisco Mineiro Apolonio Neto. – 2021.
113 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.

1. Perigo sísmico. 2. Análise sísmica. 3. Aspectos normativos. I. Título.

CDD 620

FRANCISCO MINEIRO APOLONIO NETO

MAPEAMENTO DAS ACELERAÇÕES SÍSMICAS NO ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a banca examinadora da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia Civil

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Otávio Rangel de Oliveira Cavalcante
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Francisco da Silva Brandão
Faculdade de Tecnologia - FTEC Novo Hamburgo

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, saúde, proteção, determinação, por guiar todos os meus passos, sem ele nada seria possível.

Aos meus pais e meu irmão por todo o suporte, por me oferecerem as melhores condições de vida, sempre colocando minhas necessidades acima das deles, e principalmente por sempre acreditarem em mim.

A Lya Melo, pelo amor, paciência, compreensão, dedicação, equilíbrio a minha vida e a todos os momentos que vivemos juntos.

Aos meus familiares, pelo incentivo, acolhimento e ajuda. Em especial meus tios Cherlane e Márcio, por todo suporte e apoio, a quem expresso minha imensa gratidão.

Aos meus amigos Adiláyne Mendes, Israel Lopes, Luciana Cavalcante, Isabelle Alves, os quais realizei a maior parte dos trabalhos, pelo companheirismo, as horas inúmeras horas de estudo e a relação que criamos fora da Universidade.

Ao Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita, pelo conhecimento compartilhado, os desafios propostos, orientação e contribuições a este trabalho.

Aos meus amigos Matheus Jesus, Caio Abner, Pedro Isaac, entre outros, que desde o início estiveram comigo, em momentos muito difíceis e também nos de muita felicidade. Juntos construímos um cliço de amizade muito forte.

Aos meus vizinhos Edson Luiz e Guilherme Moreira, que se tornaram minha segunda família, sempre presentes em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Otávio Rangel de Oliveira Cavalcante e ao Prof. Me. Francisco da Silva Brandão, pelas contribuições e terem aceitado o convite para compor a banca examinadora.

Aos meus professores e professoras pelo comprometimento, empenho e contribuições a minha formação profissional.

Aos meus colegas de classe, pelos bons momentos, companheirismo e por tornarem esse período melhor.

“Jesus, porém, olhando para eles, disse: Para os homens é impossível, mas não para Deus, porque para Deus todas as coisas são possíveis.”

(Marcos 10:27)

RESUMO

A sismicidade no Brasil é considerada baixa, não nula, embora muitos acreditem na total ausência dessa ameaça, existem regiões brasileiras que apresentam uma frequência considerável de eventos, sendo poucos destes, sismos de magnitude elevada, os quais não tiveram consequências desastrosas por terem ocorrido em locais pouco habitados. A NBR 15421:2006 estabelece os procedimentos para a quantificação das ações sísmicas a serem consideradas em projeto e os requisitos para a verificação da segurança das estruturas. Este trabalho apresenta uma revisão sobre alguns conceitos básicos de sismologia, sobre as principais determinações da NBR 15421:2006 para análises sísmicas em edificações no território brasileiro. Onde principal objetivo deste trabalho é determinar a Aceleração sísmica característica, para isso fez-se o uso de ferramentas de geoprocessamento executando um processo de interpolação para pontos limitados por zonas de intensidade, resultando no mapa do Microzoneamento sísmico presente no Anexo B. Buscou-se desenvolver uma metodologia de fácil replicação visando realizar essa determinação para grandes faixas territoriais e diversos pontos alvos. Neste trabalho aplicou-se essa metodologia para o estado do Ceará, classificando os 184 municípios em 3 zonas diferentes, zona 0, 1 e 2. A maioria dos municípios estão situados na zona 1 cuja aceleração sísmica varia de 0,025g a 0,05g. Ao final do processo foi elaborado um banco de dados que utiliza os valores encontrados da Aceleração sísmica e os principais parâmetros que compõem o espectro de resposta. É realizado exemplo numérico com uma edificação hipotética situada no município de Aracati, situado no limite entre a zona 1 e 2, dessa forma realizando a análise para a determinação da força sísmica por dois métodos diferentes, seguindo as recomendações da NBR 15421:2006. Seguido de uma discussão sobre o mapa de perigo sísmico fornecido pela NBR 15421:2006, comparando a distribuição dos eventos sísmicos no Brasil com o mapa, e da mesma forma realizando essa análise para o estado do Ceará. Constatando que existem regiões que não há nenhum requisito de análise, mas apresentam uma frequência elevada de registros sísmicos, para o Ceará ocorre de modo semelhante, o qual há uma recomendação de análise, porém as delimitações utilizadas não englobam uma parcela significativa de municípios que apresentam um histórico igual ou de maior recorrência. Em especial podemos citar a Região do Litoral Norte do estado e a região do Sertão de Sobral, assim delimitando uma faixa de abrangência superior aos limites impostos pelo mapa de perigo sísmico.

Palavras-chave: Perigo Sísmico. Análise Sísmica. Aspectos Normativos.

ABSTRACT

Seismicity in Brazil is considered low, not null, although many believe in the total absence of this threat, there are Brazilian regions that present a considerable frequency of events, few of which are earthquakes of high magnitude, which did not have disastrous consequences for having occurred in sparsely populated places. NBR 15421: 2006 establishes the procedures for the quantification of the seismic actions to be considered in the project and the requirements for the verification of the safety of the structures. This work presents a review on some basic concepts of seismology, on the main determinations of NBR 15421: 2006 for seismic analysis in buildings in the Brazilian territory. Where the main objective of this work is to determine the characteristic seismic acceleration, for that it was made the use of geoprocessing tools, executing an interpolation process for points limited by intensity zones, resulting in the seismic Microzoning map present in Annex B. We sought to develop a methodology of easy replication in order to carry out this determination for large territorial ranges and several target points. In this work, this methodology was applied for the state of Ceará, classifying the 184 municipalities in 3 different zones, zone 0, 1 and 2. Most of the municipalities are located in zone 1 whose seismic acceleration varies from 0.025g to 0.05g. At the end of the process, a database was created that uses the values found for seismic acceleration and the main parameters that make up the response spectrum. A numerical example is performed with a hypothetical building located in the municipality of Aracati, located at the limit between zone 1 and 2, thus carrying out the analysis to determine the seismic force by two different methods, following the recommendations of NBR 15421: 2006. Followed by a discussion on the seismic hazard map provided by NBR 15421: 2006, comparing the distribution of seismic events in Brazil with the map, and similarly performing this analysis for the state of Ceará. Noting that there are regions that do not have any analysis requirements, but have a high frequency of seismic records, for Ceará it occurs in a similar way, which has an analysis recommendation, however the delimitations used do not encompass a significant portion of municipalities that present a history of equal or greater recurrence. In particular, we can mention the North Coast Region of the state and the Sertão de Sobral region, thus delimiting a range of coverage that exceeds the limits imposed by the seismic hazard map.

Keywords: Seismic Hazard. Seismic Analysis. Normative Aspect

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edificação afetada pelo sismo de João Câmara em 1986.	17
Figura 2 – Fluxograma metodologia.	25
Figura 3 – Distribuição geográfica das placas tectônicas na terra. (Teixeira et al., 2000)	26
Figura 4 – Esquema de propagação de ondas volumetricas.	28
Figura 5 – Esquema de propagação de ondas superficiais adaptado de Ferreira, 2003.	29
Figura 6 – Sismógrafos	30
Figura 7 – Sismograma.	31
Figura 8 – Representação da escala Mercalli em conjunto com a escala Richter.	34
Figura 9 – Principais falhas tectônicas encontradas no território brasileiro.	37
Figura 10 – Mapa de perigo sísmico global.	39
Figura 11 – Mapa geológico simplificado da porção setentrional do Nordeste, incluindo atividade sísmica até 1998.	40
Figura 12 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica para terrenos classe B.	42
Figura 13 – Variação do espectro de resposta de projeto.	45
Figura 14 – Logo QGIS.	54
Figura 15 – Recorte para georreferenciamento	56
Figura 16 – Camada vetorial dos limites estaduais brasileiros.	57
Figura 17 – Distribuição de pontos para georreferenciamento.	58
Figura 18 – Recorte imagem georreferenciada.	59
Figura 19 – Materialização das curvas limites.	60
Figura 20 – Sobreposição das curvas aos limites municipais cearenses.	60
Figura 21 – Camada vetorial da mancha urbana municipal.	62
Figura 22 – Centroide dos limites urbanos municipais.	62
Figura 23 – Complementos do QGIS.	63
Figura 24 – Localização do QChainage.	64
Figura 25 – Utilização do QChainage.	64
Figura 26 – Resultado da demarcação em 500 metros.	65
Figura 27 – Aproximação do resultado do QChainage.	65
Figura 28 – Matriz distância.	66
Figura 29 – Configuração para obtenção das distâncias.	67

Figura 30 – Distâncias obtidas.	67
Figura 31 – Conversão de multipartes para partes simples.	68
Figura 32 – Representação das distâncias obtidas	69
Figura 33 – Esboço interpolação.	69
Figura 34 – Planilha para cálculo de Ag.	71
Figura 35 – Interpolação TIN.	73
Figura 36 – Aceleração sísmica no estado do Ceará conforme a NBR 15421 (2006).	74
Figura 37 – Espectro de resposta de projeto.	75
Figura 38 – Acelerações espectrais calculada.	75
Figura 39 – Planta baixa do edifício.	76
Figura 40 – Espectro de resposta	81
Figura 41 – Distribuição das Forças horizontais sísmicas pelo método das forças equivalentes.	85
Figura 42 – Distribuição de sismos no estado do Ceará com magnitude superior a 2 mb.	87
Figura 43 – Distribuição de sismos no Brasil	89
Figura 44 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica para terrenos classe B	89
Figura 45 – Mapa perigo da América do Sul	90
Figura 46 – Proposta inicial do mapa para o Brasil	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala Mercalli Modificada.	35
Tabela 2 – Sismos mais conhecidos no Brasil. Disponível na RSBR	38
Tabela 3 – Zoneamento sísmico	42
Tabela 4 – Classe do terreno.	43
Tabela 5 – Fatores de amplificação sísmica no solo	45
Tabela 6 – Fatores fator de importância de utilização.	46
Tabela 7 – Categorias sísmicas e métodos de avaliação	47
Tabela 8 – Coeficiente de período da estrutura.	49
Tabela 9 – Coeficiente de limitação de período.	50
Tabela 10 – Cálculo do peso das lajes	77
Tabela 11 – Cálculo do peso das vigas.	77
Tabela 12 – Cálculo do peso dos pilares.	78
Tabela 13 – Cálculo do peso do peso das alvenarias.	78
Tabela 14 – Cálculo do peso	78
Tabela 15 – Cálculo do coeficiente de resposta sísmica	82
Tabela 16 – Cálculo do coeficiente de resposta sísmica limite	84
Tabela 17 – Distribuição das Forças horizontais sísmicas pelo método das forças equivalentes.	85
Tabela 18 – Distribuição de sismos por estado.	86

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
Ag	Aceleração sísmica horizontal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UTM	Universal Transversa de Mercator
GPS	Sistema de Posicionamento Global
TIN	<i>Triangulation Irregular Networks</i>
EUA	Estados Unidos da América
GSHAP	<i>Global Seismic Hazard Assessment Program</i>
V _s	Velocidade de propagação da onda de cisalhamento
SPT	<i>Standard Penetratiton Test</i>
S _a (T)	Espectro de resposta de projeto
\bar{N}	Média nos 30 m superior, obtidos no ensaio SPT
T _a	Período natural fundamental aproximado da estrutura
T	Período natural da estrutura
C _d	Coefficiente de amplificação de deslocamentos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ags0	Aceleração espectral para o período de 0 s
Ags1	Aceleração espectral para o período de 1 s
BSB	Boletim Sísmico Brasileiro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	17
1.1.	Objetivo	18
1.2.	Objetivos específicos	19
1.3.	Justificativa	19
1.4.	Estrutura do Trabalho	21
1.5.	Metodologia	22
2.	ORIGEM DOS SISMOS	26
2.1.	Tipos de ondas sísmicas.....	27
2.1.1.	Ondas volumétricas	27
2.1.2.	Ondas Superficiais.....	29
2.2.	Medida dos Sismos	29
2.2.1.	Sismógrafo	29
2.2.2.	Sismogramas.....	30
2.3.	Magnitude sísmica	31
2.4.	Intensidade sísmica	33
2.5.	Sismicidade intraplaca	36
2.6.	Sismicidade no Brasil	37
2.7.	Sismicidade na região nordeste.....	39
3.	NORMA TÉCNICA BRASILEIRA NBR15421:2006.....	41
3.1.	Definição dos parâmetros sísmicos.....	41
3.2.	Definição da classe do terreno	43
3.3.	Definição do espectro de resposta de projeto	44
3.4.	Categorias de utilização e fatores de importância de utilização	46
3.5.	Categoria sísmica.....	47
3.6.	Métodos de análise sísmica.....	47
3.6.1.	Procedimento simplificado da força sísmica horizontal	48

3.6.2.	Análise sísmica pelo método das forças horizontais equivalentes	48
3.6.3.	Análise sísmica pelo método espectral	51
3.6.4.	Análise sísmica com históricos de acelerações no tempo	52
4.	DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO SÍSMICA HORIZONTAL	
	CARACTERÍSTICA.....	53
4.1.	Software utilizado	53
4.2.	Delimitação das zonas sísmicas.....	55
4.2.1.	Georreferenciamento da imagem da norma.....	55
4.2.2.	Materialização das curvas no software.....	59
4.3.	Determinação de A_g (aceleração sísmica horizontal característica) para os municípios..	61
4.3.1.	Incompatibilidade	62
4.3.2.	Aferindo distâncias.....	66
4.4.	Interpolação	68
4.4.1.	Municípios fora da zona 1.	71
4.5.	Elaboração do mapa.....	71
4.6.	Espectros de resposta.....	74
5.	RESULTADOS E DISCURSÕES	76
5.1.	Aplicação da Norma	76
5.1.1.	Definições iniciais	76
5.1.2.	Requisitos de análise para a categoria sísmica A	78
5.1.3.	Análise pelo método das forças equivalentes	79
5.2.	Análise sobre o mapa de perigo sísmico da NBR 15421:2006.....	85
6.	CONCLUSÃO	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	ANEXOS.....	955

1. INTRODUÇÃO

Ao contrário do “senso comum” o Brasil não é um país totalmente livre da influência das ações sísmicas, prega-se muito esse estigma que pela localização privilegiada, na parte estável da Placa Sul-americana e a ausência de grandes catástrofes vinculadas a terremotos, são responsáveis por essa cultura. Por muito tempo isso também se refletiu no meio técnico, onde grande parte dos profissionais acreditam que as ações sísmicas não apresentam significância para haver necessidade de consideração.

Embora não seja comum a ocorrência de sismos de elevada magnitude em território brasileiro, já ocorreram eventos significantes como em Chorozinho – Ceará que atingiu 5,2 m_b que foi sentido em diversas capitais de estados mais próximos, o sismo ocorrido em João Câmara – Rio Grande do Norte com 5,1 m_b e um dos mais expressivos ocorrido em Porto dos Gaúchos – Mato Grosso o qual alcançou 6,2 m_b. Esses sismos não tiveram consequências mais desastrosas, por conta de um único fator, na época em que ocorreram as regiões eram pouco habitadas, certamente se ocorressem hoje, poderiam ter resultados bem diferentes. Na figura 1 podemos ver alguns danos a uma edificação, provocados pelo sismo de João Câmara.

Figura 1 – Edificação afetada pelo sismo de João Câmara em 1986.



Fonte: adaptado de Nóbrega & Nóbrega (2016)

Assumpção (2016), esclarece que existe a possibilidade de ocorrer sismos de magnitude 5 a 6 em qualquer região do planeta, mesmo nas regiões mais estáveis das placas tectônicas, afastadas das bordas. O autor indica também a dificuldade de lidar com eventos

muito raros, pois o que se conhece sobre as atividades sísmicas não é garantia de que servirão como um padrão para o futuro.

A NBR 15421:2006, surgiu no Brasil para regulamentar a necessidade de análise e quantificação das ações sísmicas, onde são fixados os requisitos necessários para a verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil relativas às ações de sismos.

Santos (2006), apresentou um estudo realizando uma comparação entre os efeitos de vento e de sismo para alguns locais do Brasil, esse estudo mostrou que para algumas situações nas quatro Zonas Sísmicas, estabelecidas na NBR 15421:2006, os efeitos das forças sísmicas atingiam valores mais críticos do que os efeitos devidos ao vento.

Dantas (2013), sugere que uma das principais razões verificadas ao não cumprimento da norma pelos projetistas, pode estar ligada a um desconhecimento técnico em como se estimar os parâmetros e coeficientes sísmicos e como considerar as solicitações sísmicas em projeto. Ainda complementa que responsável técnico que negligencia os requisitos normativos se sujeita a responder por quaisquer danos gerados nas estruturas, tanto no âmbito civil, quanto criminal.

O fomento às discursões circundantes as análises sísmicas, como o zoneamento sísmico, distribuição de sismos, quantificação das forças geradas, elucidação quanto a determinação dos principais parâmetros de análise, é fundamental para popularizar o tema e destacar sua importância. A academia assume um papel protagonista sendo o responsável por expor e debater o tema com os futuros profissionais, atuando também desenvolvendo métodos que busquem orientar e facilitar o entendimento e aplicação dos preceitos da NBR 15421:2006.

1.1. Objetivo

Desenvolver um mapa de aceleração sísmica do estado do Ceará, considerando as recomendações para a determinação da aceleração horizontal de projeto e os principais parâmetros dos espectros de resposta segundo a NBR 15421:2006, propondo uma metodologia simples para obtenção de dados mais precisos em mapas de intensidade a partir de interpolação.

1.2. Objetivos específicos

- Analisar a sismicidade no Brasil, em especial a do Estado do Ceará.
- Desenvolver um método de fácil aplicação para realizar a interpolação de dados em mapas.
- Determinar as acelerações sísmicas horizontais de projeto para os municípios cearenses.
- Elaborar um banco de dados dos principais parâmetros para elaboração dos espectros de resposta para os tipos de solo, conforme as recomendações da NBR 15421:2006.
- Analisar o mapa de perigo sísmico segundo a NBR15421:2006.

1.3. Justificativa

A maior parte dos eventos sísmicos apresentam-se nas regiões interplacas, porém não excluem a possibilidade de ocorrência de eventos em regiões intraplaca. A imprevisibilidade atrelada a esses eventos impossibilita afirmar que um evento de grande magnitude não possa acontecer e acarretar grandes consequências.

A maioria dos sismos ocorridos no Brasil não alcançam magnitudes elevadas, muito embora existam regiões que apresentem uma maior proximidade aos países andinos como o Acre e parte da divisa com o Amazonas onde foram registrados grandes eventos ou efeitos de sismos ocorridos em países vizinhos. Vale ressaltar o recorrente registro de sismos em parte da região sudeste e nos estados do Rio Grande do Norte e o Ceará.

Notadamente a sismicidade no Ceará e Rio Grande do Norte apresentam-se com o maior número de eventos entre os estados brasileiros, somado ao fato de toda essa sismicidade ser concentrada em uma faixa relativamente pequena, quando comparada a extensão das demais regiões brasileiras.

Ambos os estados do Ceará e Rio Grande do Norte, possuem registros de eventos sísmicos de magnitude considerável, os quais chegaram a danificar várias edificações, sendo sentido em outras cidades a centenas de quilômetros, e só não tiveram consequências maiores porque ocorreram em locais até então pouco habitados.

No Brasil uma parcela significativa das edificações foram construídas antes dos anos 2000. Sendo a norma sobre análises sísmicas estabelecida apenas em 2006, onde são definidos alguns critérios e requisitos para as edificações, surgindo assim a necessidade de avaliar edificações antes dos anos 2000, concebidas e projetadas seguindo os requisitos estabelecidos anteriores da norma de segurança sísmica.

Para os locais onde há necessidade de análise, deve-se estabelecer primeiramente a aceleração horizontal característica de projeto (A_g), que nada mais é do que a aceleração solicitante durante um evento sísmico. Esse dado pode ser obtido através de um mapa disponível na norma, porém a forma como ele é disponibilizado não é muito precisa, uma vez que são informadas faixas de valores e cabe ao analista a determinação do valor a ser utilizado.

Para análises mais precisas a determinação dos valores de A_g pode se tornar um gargalo, visto que esse procedimento pode ser demorado e caso mal executado não ofereça uma boa precisão. A não especificação de um processo que permita estabelecer A_g e baixa disponibilidade de materiais para consulta podem se tornar um impedimento maior para analistas que nunca realizaram esse procedimento anteriormente.

De forma semelhante a possuir um banco de dados para consulta, é também importante estabelecer um método de fácil aplicação para determinação dos valores de A_g , visando possíveis alterações no mapa base das acelerações características, principalmente em regiões que possuam maiores magnitudes dessas ações. E que sirva também para determinação de dados para mapas diferentes que possuam o mesmo comportamento.

É importante citar a possibilidade de atualização da norma, pois o estudo tomado como referência, Giardini (1999), para o mapa de perigo sísmico faz parte de um programa de análise global, que em uma rápida análise pode-se perceber que por exemplo a região de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso, também possuem uma recorrência de eventos e eventos emblemáticos, não há nenhuma inscrição para esses locais e é atribuído uma categoria de aceleração praticamente nula.

A ausência de uma entidade brasileira especializada nessa área sem dúvidas pode sim ter contribuído com esse resultado, além da ausência de registros e monitoramento da atividade sísmica no Brasil, pois a rede de monitoramento sísmica brasileira só teve seus primeiros sismógrafos instalados no ano de 1970 o que também pode ter impactado nos estudos

e monitoramento dessas atividades. Reflexo disso pode-se citar a tardia elaboração do normativo, a NBR 15421:2006.

1.4. Estrutura do Trabalho

A parte inicial do trabalho consiste em uma fase introdutória que buscar indicar os objetivos aos quais esse trabalho foi desenvolvido, justificando através de breves pontos que serão desenvolvidos melhor ao decorrer do trabalho, mas que se mostram como pontos de alerta. Além de detalhar a metodologia utilizada para estabelecer o principal parâmetro para as análises sísmicas, a aceleração sísmica conforme o zoneamento estabelecido em norma.

O segundo capítulo trata acerca de conceitos sismológicos, partindo de como é originada a grande parte dos sismos, como ocorre essa liberação de energia e a forma como ela se propaga, os recursos utilizados para registro, bem como as escalas que medem a magnitude de um evento e a classificação qualitativa dos impactos gerados. É comentado a respeito de regiões intraplaca que apresentam uma elevada frequência de sismos e alguns chegando a elevadas magnitudes.

Em sequência, o terceiro capítulo trata-se de uma revisão dos principais pontos estabelecidos pela NBR 15421 Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimento, 2006, onde são estabelecidos os processos de análises sísmicas. Essa revisão busca esclarecer desde a determinação da aceleração horizontal característica até os métodos de análise indicados pelo normativo.

O quarto capítulo estabelece e exemplifica o processo de fácil aplicação para estabelecer a aceleração característica horizontal de projeto para municípios inseridos entre as faixas de aceleração as quais a norma indica que os valores sejam interpolados. O procedimento não é exclusivo apenas para essa situação, mas pode também ser utilizado para outras análises que necessite determinar valores a pontos específicos dentro de um mapa de intensidade.

Ao final, é feita uma análise das atividades sísmicas com relação a distribuição e frequência em locais em que eram previstas a ocorrência muito baixa de eventos. E conseqüentemente sobre o mapa de aceleração sísmica utilizado pela NBR 15421:2006 que preconiza a não necessidade de análise ou análise bastante superficial em regiões que apresentam uma maior frequência dessas atividades e que registraram eventos de magnitude

elevada que só não tiveram grandes consequências por terem ocorridos em lugares pouco habitados.

1.5. Metodologia

O processo utilizado para realizar a determinação da Aceleração sísmica característica parte do princípio de determinar a menor distância entre os limites das zonas sísmicas ao município desejado, sendo esse processo fundamental para realizar a análise pois essa informação é a base para a determinação do espectro de resposta de projeto.

Para a realização desse processo é necessário a utilização do SIG (Sistema de Informação Geográfica), que são ferramentas que possibilitam analisar e tratar dados espaciais, elaborar mapas, entre outras funções. Para esse procedimento será utilizado o *software* QGIS. Porém, nada impede a utilização de outro software, optou-se pelo QGIS por ele ser um software de código aberto.

Inicialmente é necessário avaliar a base de dados que será utilizada (mapa). A disponibilidade do mapa e detalhamento dos dados que ele contém é fundamental para assegurar a precisão da análise. Dentre as principais informações que deve se buscar, é identificar a projeção utilizada, se os dados estão em UTM (Universal Transversa de Mercator) ou coordenadas geográficas, a grade de coordenadas e orientação do mapa.

Caso seja possível obter a fonte de dados em um formato compatível com o do software utilizado, não haverá necessidade de realizar o próximo passo, o georreferenciamento, sendo necessário apenas abrir os arquivos no software e selecionar a projeção desejada. Os formatos de arquivos utilizados por softwares voltados a elaboração de mapas são o *.shp* (*Shapefile*) e o *.gpkg* (*GeoPackage*).

Para os casos onde a fonte de dados se tratam de uma imagem, ou de um recorte do mapa, ou uma carta geográfica, é necessário realizar um o processo de georreferenciamento, este processo consiste em atribuir referências geográficas a pontos conhecidos do mapa.

Geralmente os recortes de mapa vem acompanhados de uma grade de coordenadas e isso facilita bastante o processo, pois ao cruzar os valores de referência da grade você tem as coordenadas dos pontos desejados. Nos casos que não se possui essa grade de coordenadas, busca-

se pontos notáveis dentro da feição geográfica aos quais seja possível obter suas coordenadas, por meio de outros softwares ou por aferência no local com GPS ou outra ferramenta similar.

Não existe uma normativa ou convenção que indique a quantidade ideal de pontos de referência a serem utilizados, mas utilizam-se 5 pontos no mínimo. É necessário avaliar alguns aspectos para que a escolha da quantidade de pontos seja coerente, como a escala a qual se irá trabalhar, a qualidade da imagem base, e precisão das coordenadas. Para uma escala maior, é fundamental utilizar coordenadas mais precisas e uma base de dados mais precisas, consequentemente para escalas menores deve haver também uma proporcionalidade entre esses aspectos pois, pouco iria interferir nos resultados utilizar dados mais precisos. É necessário sempre avaliar a precisão requisitada para o processo.

Como forma de identificar ou alertar sobre possíveis erros no georreferenciamento ao executar o processo, o software indica ao final o erro obtido. Esse erro trata sobre as divergências no alinhamento das coordenadas inseridas. É possível também realizar um ajuste manual nos pontos do georreferenciamento, o software sinaliza para qual direção pode movimentar o ponto como forma de reduzir o erro, ao movimentar o ponto haverá até certo ponto, uma redução no erro daquele ponto, a partir do momento que o erro voltar a aumentar, deve-se partir para outro ponto. Quanto mais próximo de zero mais preciso será o georreferenciamento.

Atribuída a referência espacial à feição geográfica, o próximo passo é materializar no software os parâmetros que servirão como dados mestres, os valores de referência, que serviram para determinar os demais dados. Esta etapa tem como finalidade estabelecer o dado no espaço geográfico e possibilitar que esse dado possa interagir com as ferramentas de análise, além das informações geográficas.

Após representar no software os parâmetros de referência para a análise, é a vez de definir os pontos alvo. Para isso, é necessário criar uma camada de pontos e ir atribuindo as coordenadas dos pontos desejados, ou em casos mais específicos, extrair pontos representativos, caso os objetos alvos estejam diferentes de pontos, uma vez que uma determinada zona espacial seja representada por um polígono, extrair o centroide do mesmo ou atribuir um ponto à um local específico desse espaço.

Para se aferir as distâncias entre os pontos alvos e os parâmetros de referência existe mais de uma forma, mas vai da escolha do operador. Nesse caso, especificamente, optou-se por

utilizar a ferramenta matriz distância, onde é possível obter todas as distâncias entre os pontos de uma camada A para todos os pontos de uma camada B.

Nessa fase do processo é necessário converter todas as camadas de análise para o formato de representação em pontos simples, logo se a camada dos parâmetros de referência são, por exemplo linha delimitadoras, é necessário convertê-las em uma camada de pontos. Essa conversão pode ser feita a partir de outras ferramentas de conversão nas extensões do software, deve-se atentar para que o espaçamento entre os pontos não comprometa a análise, então a quantidade de pontos deve ser em função da magnitude do erro que pode ser admitido.

Obtidas as menores distâncias entre os pontos e os parâmetros de referência, é possível determinar o valor alvo utilizando uma interpolação linear. O que possibilitará determinar esse valor dentro do intervalo conhecido. Imaginemos que os parâmetros de referência corresponderão ao eixo das ordenadas e a distância entre os pontos e os limites de referência corresponderá ao eixo das abcissas, uma vez que o ponto alvo possui uma distância “X1” do primeiro limite e uma distância “X2” do segundo limite e o intervalo é composto da soma entre essas duas distâncias.

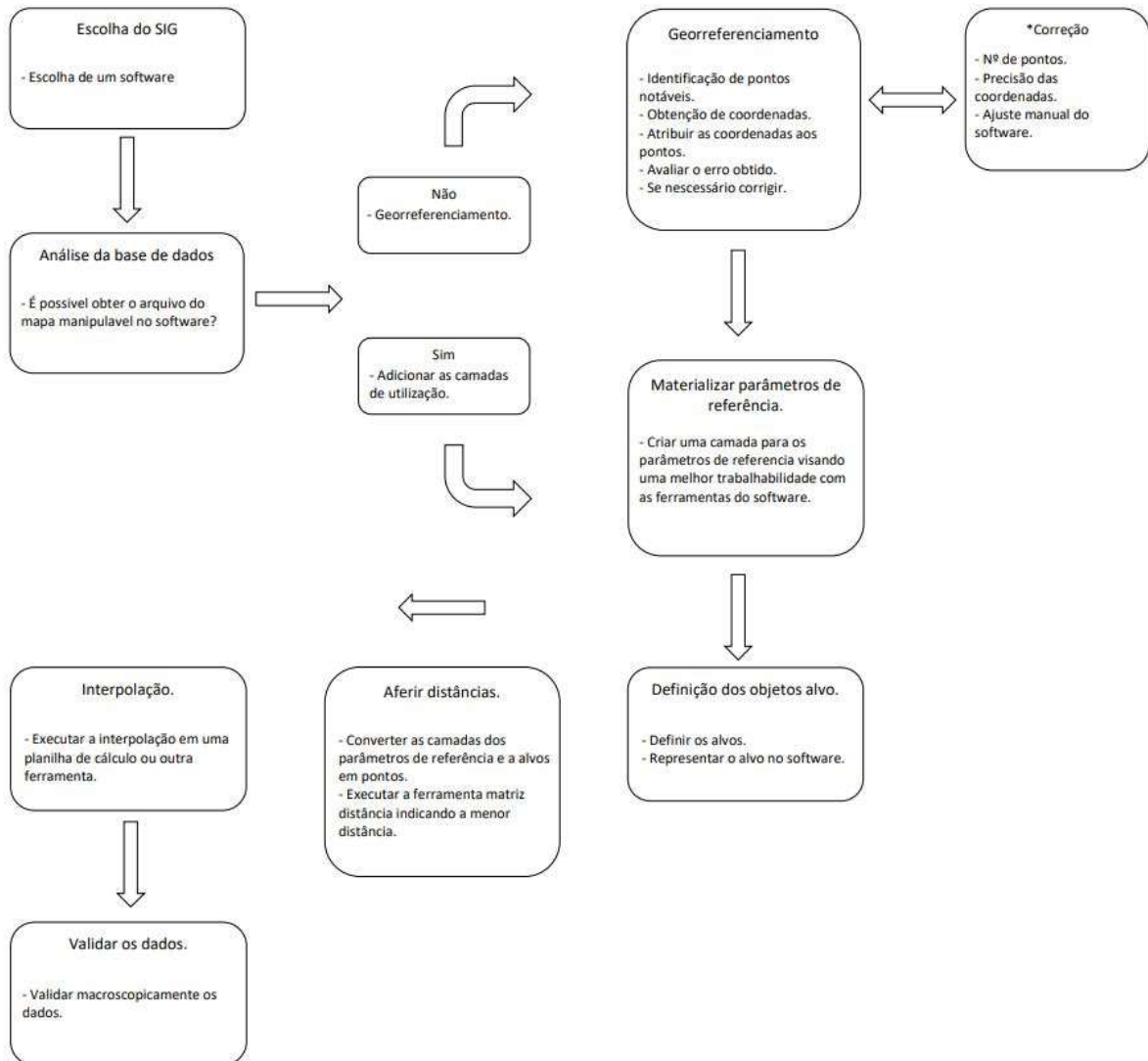
Após a aferição das distâncias, com o auxílio de uma planilha de cálculos, realiza-se a interpolação a partir dos preceitos anteriores para todos os pontos desejados e conseqüentemente são determinados todos os valores alvo.

Para qualquer processo que envolva uma determinação indireta de resultados é preciso avaliar a coerência dos dados obtidos, conferindo se o valor obtido está dentro do intervalo ou se existem fatores que possam ter interferido na análise. Como meio de avaliar a coerência dos dados buscou-se realizar uma interpolação dentro do próprio software onde foram utilizados os pontos que delimitavam as linhas de referência

O método de interpolação utilizado o TIN (*Triangulation Irregular Networks*), ou comumente conhecido como Triangulação Delaunay, que para essa situação apresentava um resultado mais adequado. A partir disso o software gera uma camada dentro do espaço amostral onde a coloração da mesma varia de acordo com a intensidade, realizando dentro dessa camada, um tratamento nos dados obtidos, alterando as faixas de viragem da coloração e mudando a coloração das faixas, é possível ter divisões menores que facilitam a conferência dos valores.

A seguir tem-se a figura 2 que apresenta um quadro resumo do procedimento, com a rotina utilizada e os principais pontos a serem desenvolvidos no processo.

Figura 2 – Fluxograma metodologia.



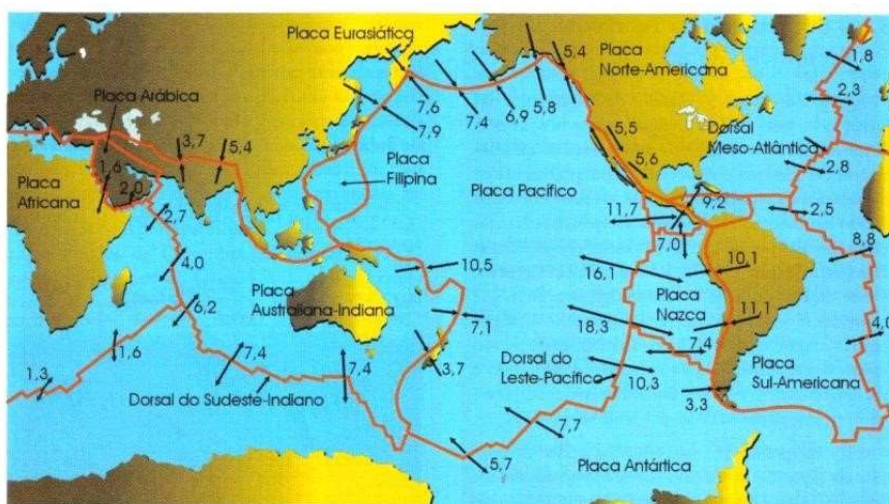
Fonte: Elaborado pelo autor.

2. ORIGEM DOS SISMOS

As placas litosféricas ou comumente chamadas de placas tectônicas, são responsáveis por constituir a crosta terrestre e conseqüentemente a camada exterior da terra, a litosfera. Com o lento movimento das placas litosféricas, da ordem de alguns centímetros por ano, tensões se acumulam em vários pontos, principalmente perto de suas bordas. Quando essas tensões atingem o limite da resistência das rochas, ocorre uma ruptura, e os movimentos repentinos entre os blocos de cada lado da ruptura liberam uma grande quantidade de energia que se propagam em todas as direções.

Conforme a movimentação das placas tectônicas e sua conseqüente liberação de tensões o resultado final depende do meio. Conforme essas vibrações chegam à superfície terrestre, sendo uma região formada apenas por rocha, ocorrem os terremotos, em casos onde afloram em regiões marítimas, dependendo da magnitude, podem ocasionar maremotos. A movimentação das placas tectônicas é o principal agente responsável por outros eventos naturais, como a formação de cordilheiras, atividade vulcânica.

Figura 3 – Distribuição geográfica das placas tectônicas na terra. (Teixeira et al., 2000)



Fonte: Teixeira et al., 2000.

Na Figura 3 são mostradas as placas tectônicas, onde estão inscritos os números que indicam as velocidades de movimentação entre as placas em cm por ano e as setas, indicam o sentido dos movimentos. Observando as regiões de fronteira entre placas, é possível observar

que são locais com elevadas taxas de ocorrências de eventos sísmicos, como a costa oeste dos Estados Unidos, As Filipinas, Indonésia, Costa do Chile. E também dão origem a Zonas muito perigosas como por exemplo o ‘Círculo de fogo do pacífico’.

A região onde se origina o sismo, é chamada de hipocentro ou foco e sua projeção na superfície terrestre é denominada de epicentro. E a distância entre o epicentro e o hipocentro de um sismo, é a distância focal.

A maioria dos sismos são classificados como sismos tectônicos, os quais são denominados de origem natural. Existem também os sismos induzidos que podem ocorrer devido a uma substancial mudança nos esforços ou nas pressões de seu ambiente estável, muito associadas as grandes represas de água construídas em locais onde a formação geológica pode estar deslocamento tectônico. Podem ser citadas também a extração de minerais que podem provocar deslocamentos de rochas no subsolo. Sendo de maneira geral, sismos que produzem abalos de menor intensidade quando comparados com os de causas naturais.

2.1. Tipos de ondas sísmicas

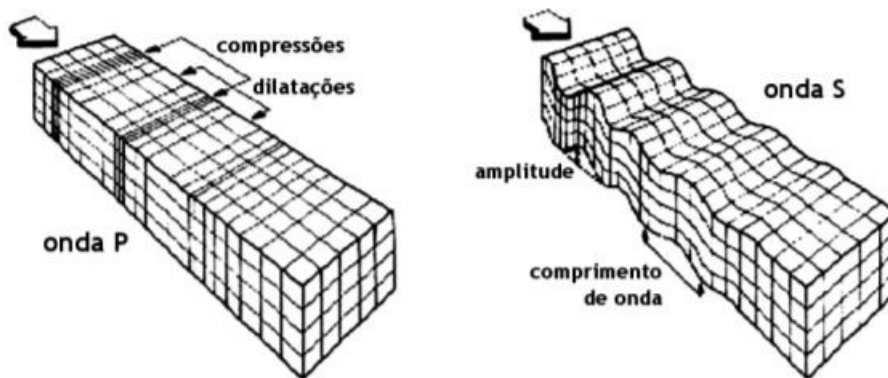
As ondas sísmicas podem ser classificadas em dois tipos principais: ondas volumétricas e ondas superficiais, são ondas que se propagam através da Terra, originada de um sismo. As ondas que são originadas no hipocentro e que se propagam no interior da terra, recebem a designação de volumétricas ou profundas, sendo divididas em: ondas primárias “P”, no sentido longitudinal gerando esforços de compressão as ondas transversais, de caráter cisalhante denominadas de ondas “S”.

Além das ondas volumétricas, existem também as ondas geradas após a chegada das ondas à superfície terrestre configurando o segundo tipo de ondas sísmicas, sendo conhecidas como ondas superficiais e subdividida em ondas “Love” ou ondas “L” e ondas de “Rayleigh” ou ondas “R”.

2.1.1. Ondas volumétricas

São ondas caracterizadas por apresentar propagação tridimensional a partir de sua fonte. As ondas primárias “P” (figura 4), são ondas que alcançam mais rapidamente a superfície do solo, por este motivo a referida designação. Se propagam nos diferentes estados da matéria, com diferentes velocidades e como a maioria das ondas apresenta uma variação na velocidade de propagação quando passa de um meio para outro. A velocidade de propagação deste tipo de onda varia com o meio em que se propaga, sendo típicos valores de 330 m/s no ar, 1450 m/s na água e 5000 m/s no granito (SILVA JÚNIOR, 2017)

Figura 4 – Esquema de propagação de ondas volumétricas.



Fonte: Ferreira, 2003.

O movimento vibratório da onda nas partículas faz com que as partículas oscilem de frente para trás aproximando-se ao movimento de uma mola, dessa forma possui como principal efeito a compressão das partículas. Durante a ocorrência de ondas P, identifica-se um movimento de compressão seguido de um alongamento possuindo amplitudes e períodos baixos, exercendo sobre corpos sólidos elásticos alterações de volume sem que haja modificação de forma.

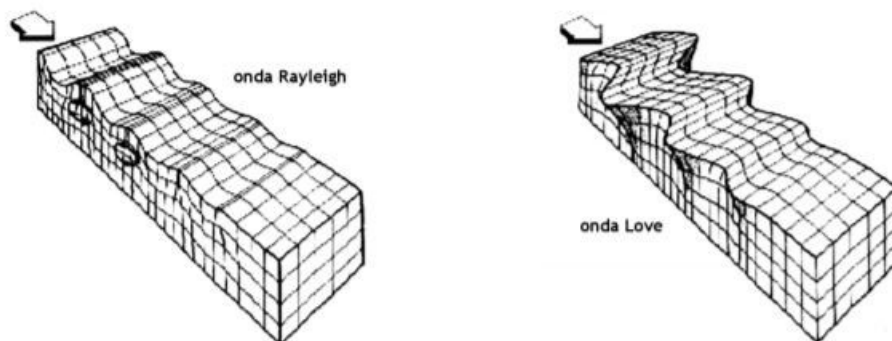
As ondas S, secundárias, são caracterizadas como ondas de corte, pela forma com que as partículas transmitem, as ondas oscilam de modo perpendicular a sua direção de propagação. A velocidade de propagação deste tipo de onda é menor que a velocidade das ondas P, atingindo valores próximos de 60% da onda primária. Além disso, as ondas “S” se propagam apenas em meios sólidos, uma vez que os fluidos (gases e líquidos) não suportam forças de cisalhamento (FERREIRA, 2003).

2.1.2. Ondas Superficiais

Após a chegada das ondas volumétricas a superfície ocorre o surgimento de outro tipo de onda, as superficiais, as quais tem sua origem devido a perturbação gerada na superfície e através dela se propaga. Os danos sísmicos provocados em decorrência das ondas superficiais apresentam intensidade superior aos das ondas volumétricas.

As ondas superficiais podem ser do tipo Love “L”, em que a propagação é no plano horizontal, perpendicular a direção de propagação da onda, apresentando esforços de torção. E as ondas superficiais do tipo Rayleigh “R”, tem sua formação apenas no plano vertical funcionando como uma combinação de vibrações das ondas do tipo “P” e “S”. Embora o movimento horizontal, as partículas não se restringem a movimentar apenas na superfície do meio, as partículas mais abaixo também sofrem influência (FERREIRA, 2003). A figura 5 mostra a diferença na conformação das ondas “L” e “R”.

Figura 5 – Esquema de propagação de ondas superficiais adaptado de Ferreira, 2003.



Fonte: Ferreira, 2003.

2.2. Medida dos Sismos

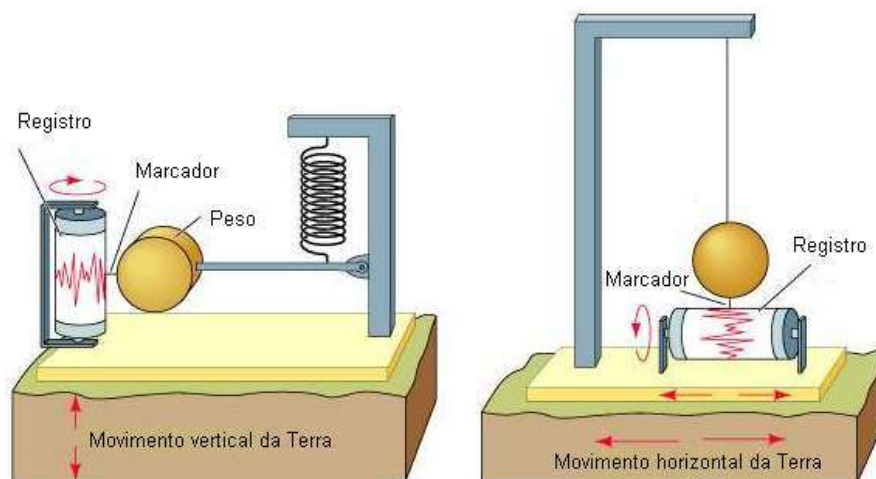
2.2.1. Sismógrafo

Sismógrafo é um aparelho que detecta os movimentos do solo, conseqüentemente as vibrações geradas pelas ondas sísmicas. O sismógrafo detecta e mede as ondas sísmicas naturais ou induzidas e permite determinar a posição exata do foco ou hipocentro dessas ondas e do ponto da sua chegada na superfície terrestre, o epicentro, e a partir dos dados coletados quantificar a energia dos sismos.

Os sismógrafos, figura 6, são projetados para reagir ao movimento do solo em uma determinada direção. Grande parte dos sismógrafos utiliza-se de variações da aplicação de um pêndulo simples. O princípio de funcionamento do sismógrafo mecânico consiste em uma massa inercial que é montada numa barra horizontal, de modo que a massa tem seu movimento restrito à apenas um plano. Dessa forma, para qualquer movimento que aconteça ele desloca e a força gravitacional faz o peso voltar à posição de equilíbrio.

Existem também os sismógrafos eletromagnéticos que respondem ao movimento relativo entre um íman, que está em contato com o solo, e uma bobina de fio condutor enrolada em torno da massa inercial suspensa por uma pequena mola. Durante a passagem da onda sísmica, a vibração do solo relativamente à bobina é transformada num sinal elétrico que posteriormente é amplificado e registrado (DIAS, 2006)

Figura 6 – Sismógrafos

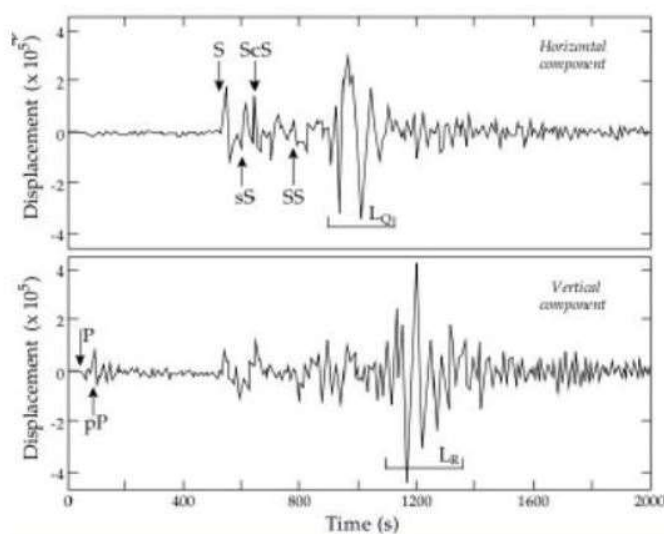


Fonte: Dias, 2006.

2.2.2. Sismogramas

O sismograma consiste na representação de um evento sísmico, sendo a conversão do sinal do sismógrafo em um registro. O sismograma contém o registro de numerosas ondas sísmicas que chegam com diferentes velocidades e amplitudes devido aos mais variados percursos desde a fonte até o receptor. Por este fato, a representação do sismo mostra-se bastante complexo requerendo operadores com experiência para possibilitar uma melhor interpretação, a figura 7 contém a representação gráfica de um sismograma.

Figura 7 – Sismograma.



Fonte: Dantas, 2013.

As ondas P são as que se deslocam mais rapidamente, sendo as primeiras a chegar, dessa forma correspondendo a primeira fase de um sismograma. Em seguida chegam as ondas S, que possuem amplitude de onda superior à das ondas P. As fases detectadas expressas nos sismogramas dependem do tipo de sensor utilizado e da orientação relativa deste em relação a direção de chegada das ondas sísmicas (DANTAS, 2013).

2.3. Magnitude sísmica

A magnitude de um sismo indica a quantidade de energia liberada pelo evento sísmico, é baseada em medições precisas da amplitude das ondas sísmicas nos sismogramas, para distâncias conhecidas entre o epicentro e a estação sísmica. Foram Conrad Richter e Beno Gutenberg que reconheceram, que as ondas sísmicas emitidas por um evento poderiam fornecer boas estimativas da quantidade de energia libertada, ou seja, a magnitude. Eles demonstraram que quanto maior fosse a energia interna libertada por um sismo maior seria a amplitude da vibração do solo para uma determinada distância da zona focal (DIAS, 2006).

As escalas de magnitude não possuem limites numéricos superior ou inferior. É possível existir valores de magnitude negativa uma vez que a quantificação é baseada numa escala logarítmica. Por outro lado, mesmo não possuindo limite numérico, a magnitude máxima é limitada pela resistência da crosta e manto superior.

A magnitude de um sismo na Escala Richter ou Magnitude Local (m_l), pode ser determinada por meio da Equação (1.1), onde A representa a máxima amplitude do sismograma registrada em um sismógrafo Wood-Anderson e A_0 é a amplitude de referência, que corresponde a 0,001 mm.

$$M_L = \log A + \log A_0 \quad (1.1)$$

A escala de magnitude proposta por Richter e Gutenberg não diferenciam os variados tipos de ondas, devido esse fato, sua utilização em muitos casos pode não ser a que melhor representa o sismo. Desse modo, anos depois os mesmos propuseram outro tipo, a escala m_s .

A escala m_s (Magnitude de superfície), baseia-se na amplitude das ondas superficiais de Rayleigh, onde o valor pode ser determinado por meio da Equação (1.2), na qual A representa a máxima amplitude do sismograma, R a distância entre o epicentral e o período 'T' da onda sísmica, que está compreendido entre 18 s e 22 s.

$$M_S = \log A - \log T + \alpha \log R + \beta \quad (1.2)$$

Gutenberg observou que para sismos ocorridos em grandes profundidades, a magnitude das ondas de superfície poderia ser pequena a ponto de não permitir a medição precisa do sismo. Por volta de 1945 a escala de Magnitude de Ondas de Corpo (m_b), que

considera a amplitude dos primeiros ciclos das ondas P para determinar a magnitude de um sismo. BRANDÃO, (2017).

$$m_b = \log A - \log T + 0,01 D + 5,9 \quad (1.3)$$

As escalas m_l e m_b por exemplo, apresentam saturação entre 7 e 8 graus, enquanto que a m_s em 8, ou seja, mediante a ocorrência de sismos de elevada magnitude essas escalas acabam sendo menos sensíveis aos movimentos do solo (BRANDÃO, 2017). Buscando um meio de caracterizar melhor a magnitude dos grandes sismos, Hanks e Kanamori (1979), desenvolveram a Magnitude de Momento (m_w), onde o método se baseia no Momento Sísmico, que é uma medida direta de fatores que a ruptura ao longo de uma falha.

$$M_W = \frac{2}{3} \log M_0 - 6,06 \quad (M_0 \text{ em } N \times m) \quad (1.4)$$

Onde $M_0 = M_i \times A \times D$; sendo M_i o módulo de cisalhamento do maciço rochoso adjacente à falha, “A” a área de ruptura e “D” o deslocamento ocorrido.

2.4. Intensidade sísmica

A intensidade é um parâmetro qualitativo de modo que sua quantificação é baseada em análises dos efeitos posteriores a ocorrência movimento do solo para uma determinada região. É o parâmetro mais apropriado para descrever os efeitos nas construções humanas, mas não é normalmente designado. Sendo em algumas situações usado de forma inadequada o termo intensidade quando na verdade se está a fazer referência à magnitude.

A intensidade de um sismo é baseada nos efeitos que provoca na superfície da Terra, tal como são testemunhados pelas populações sendo um parâmetro subjetivo que depende da precisão da observação, ou mais concretamente, do observador (Dias, 2006). No início do século XX a habitual escala de intensidade foi elaborada pelo Italiano Giuseppe Mercalli, figura 8.

Figura 8 – Representação da escala Mercalli em conjunto com a escala Richter.



Fonte: Disponível em <<https://geografia.hi7.co/escala-richter-e-escala-de-mercalli-56c3af7c3e397.html>>

Utilizando como base a Escala Mercalli, outros pesquisadores, Wood e Neuman ambos vulcanólogos, chegaram a um novo arranjo da escala chamando-a de Escala Mercalli Modificada, na qual é possível classificar a intensidade de um sismo em um intervalo que varia de zero a doze pontos (DANTAS, 2016).

Tabela 1 – Escala Mercalli Modificada.

Grau	Descrição dos efeitos	Aceleração(g)
I	Não sentido. Leves efeitos de período longo de terremotos grande e distantes.	
II	Sentido por poucas pessoas paradas, em andares superiores ou locais favoráveis.	< 0,003
III	Sentido dentro de casa. Alguns objetos pendurados oscilam. Vibração parecida com a passagem de um caminhão leve. Pode não ser reconhecido como um abalo sísmico.	0,004 - 0,008
IV	Objetos suspensos oscilam. Vibração parecida a passagem de um caminhão pesado. Janelas, louças, portas fazem barulhos. Paredes e estruturas de madeira rangem	0,008 - 0,015
V	Sentido fora de casa, pessoas acordam, líquido em recipiente é perturbado. Objetos pequenos e instáveis são deslocados, portas oscilam, fecham ou abrem.	0,015 - 0,04
VI	Sentido por todos. Muitos se assustam e saem às ruas. Pessoas andam sem firmeza. Objetos caem de prateleiras, reboco fraco e construção de má qualidade racham.	0,04 - 0,08
VII	Difícil manter-se em pé. Objetos suspensos vibram. Danos em construções de má qualidade, fissuras em construções bem concebidas, queda de ladrilho, reboco ou tijolos mal assentados. Pequenos escorregamentos de barrancos.	0,08 - 0,15
VIII	Danos em construções bem concebidas com colapso parcial. Queda de estuque e alguns muros de alvenaria. Queda de monumentos, torres e caixas d'água.	0,15 - 0,30
IX	Pânico geral. Construções bastante danificadas podendo chegar ao colapso total. Danos em construções reforçadas. Tubulação subterrânea quebrada. Fissuras visíveis no solo.	0,30 - 0,60
X	Maioria das construções destruídas até nas fundações. Danos sérios a barragens e diques. Grandes escorregamentos de terra. Água jogada nas margens de rios e canais. Trilhos levemente tortos.	0,60 - 1,00
XI	Trilhos bastante entortados. Tubulações subterrâneas completamente destruídas.	1 - 2
XII	Destruição quase total. Grandes blocos de rocha deslocados. Linhas de visada e níveis alterados. Objetos atirados ao ar.	≥ 2

Fonte: Adaptado de Dantas, 2016.

2.5. Sismicidade intraplaca

Embora menos frequentes quando comparada as atividades sísmicas nas bordas tectônicas, existe sim a possibilidade do acontecimento de sismos de elevada magnitude em regiões intraplaca. A menor ocorrência dessas atividades por muitos anos não foi o principal objeto de estudo e da mesma forma poucas regiões tiveram uma avaliação mais precisa sobre um potencial ocorrência de sismos (OLIVEIRA, 2015).

Temos como principais exemplos de atividade sísmica intraplaca a sequência de sismos ocorridos em New Madrid, Missouri, região próxima ao centro dos EUA (Estados Unidos da América) e região central da Placa Norte Americana, onde até então ocorreram os sismos de maior magnitude nos EUA. O primeiro ocorrido em dezembro de 1811, com magnitude de 8,1 na escala Richter, o segundo em janeiro de 1812 e magnitude de 7,8 na escala Richter, por fim o de fevereiro de 1812 com 8,0 na escala Richter. Ambos os sismos atingiram intensidade muito elevada na Escala Mercalli, modificando a superfície terrestre chegando a afetar o Curso do Rio Mississippi (JONHSTON e SCHWEIG, 1996).

Os sismos intraplaca podem ter sua origem ligadas a tensões geradas por falhas geológicas em placas tectônicas, por rifte abortado, que consiste em uma depressão de conformação linear que se forma no interior de uma placa tectônica. E ainda por fossas tectônicas sendo essa depressão de origem tectônica, resultadas dos movimentos combinados de falhas muito próximas e paralelas.

As principais falhas tectônicas do território brasileiro foram mapeadas por e identificadas por Saadi (2002) figura 9. Onde foi produzido um mapa que identifica as 48 falhas-mestras em território brasileiro.

Figura 9 – Principais falhas tectônicas encontradas no território brasileiro.



Fonte: Saadi, 2002.

2.6. Sismicidade no Brasil

O Brasil situado no centro da Placa Sul Americana, afastado das regiões de borda, onde se registram atividades sísmicas de menor magnitude e da mesma forma, possuindo menor probabilidade de ocorrer. Mediante os conhecimentos sobre os estados de tensões nas placas tectônicas, ainda não possibilita que seja descartada a ocorrência de grandes sismos no Brasil (Dantas, 2013). É fato que já ocorrem vários terremotos de grande magnitude em território brasileiro e em regiões em que jamais haviam registrado qualquer atividade sísmica.

A ocorrência de sismos no Brasil é relativamente baixa quando se compara com países mais próximos às regiões de encontro das placas tectônicas, como por exemplo o Chile.

Mas no Brasil já foram registrados sismos magnitude de 6,2 na escala Richter, no estado do Mato Grosso. Alguns dos maiores sismos já ocorridos no Brasil são listados a baixo.

Tabela 2 – Sismos mais conhecidos no Brasil. Disponível na RSBR

Nº	Ano	Mag (m _b)	Localidade
1	2010	6,5	125 Km de Cruzeiro do Sul - AC
2	1955	6,2	Porto dos Gaúchos - MT
3	1995	6,1	300 km ao mar da costa de Vitória - ES
4	1939	5,5	Tubarão - SC
5	1983	5,5	Cadajás - AM
6	1990	5,2	No mar, 200 km de Porto Alegre - RS
7	1980	5,2	Pacajus - CE
8	1922	5,2	Mogi-Guaçu - SP
9	1963	5,1	Manaus - AM
10	1986	5,1	João Câmara - RN

Fonte: Rede Sismográfica Brasileira, RSBR.

O GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) foi um projeto que envolveu várias instituições de diversos países, sendo iniciado no ano de 1992 e concluído no ano de 1999, tendo como principal objetivo a elaboração de mapa global de perigo sísmico, baseado em métodos probabilísticos de avaliação (GIARDINI, 1999). A figura 10 mostra o resultado final do mapeamento elaborado pelo GSHAP.

Determinando as acelerações horizontais características para várias regiões em função de sua proximidade com as zonas de contato entre as placas tectônicas. Pode-se notar, que grande parte do território brasileiro apresenta aceleração sísmica característica muito baixas, próximas de zero.

Em contrapartida em algumas áreas do Brasil a sismicidade não é desprezível temos como maiores exemplos, a região Nordeste devido à sua posição em relação à falha do Atlântico Central, e na parte oeste das Regiões Norte e Centro Oeste, devido à sua proximidade com a região dos Andes.

Figura 10 – Mapa de perigo sísmico global.



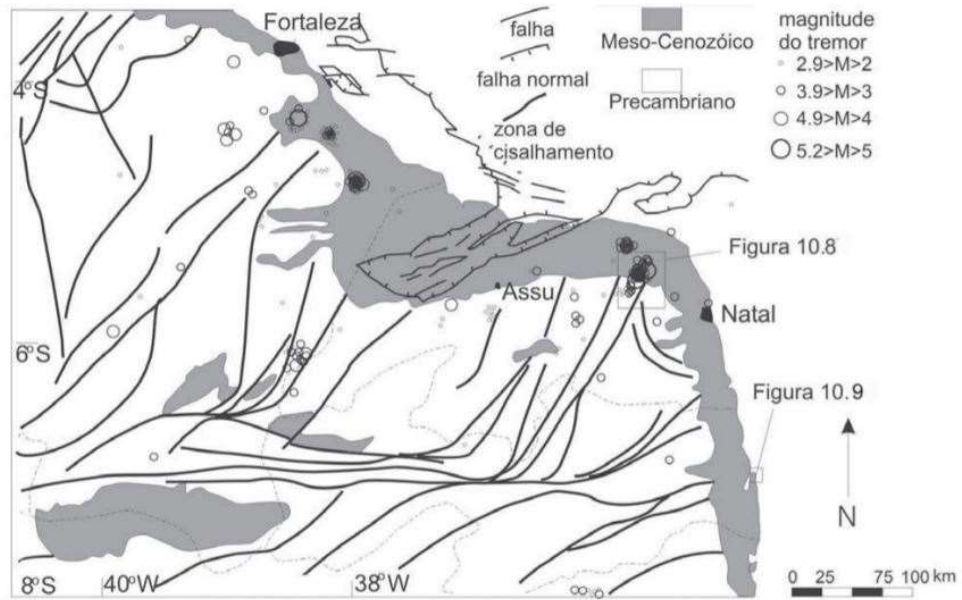
Fonte: GIARDINI, 1999.

2.7. Sismicidade na região nordeste

Avaliando a figura 11, podemos perceber que a região nordeste apresenta elevada quantidade falhas próximas a qual podemos citar que os estados que apresentam maior número de falhas ativas são os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Dados históricos e instrumentais têm demonstrado que a região Nordeste é uma das regiões que apresenta maior atividade sísmica do país. O primeiro tremor conhecido na região ocorreu em 1808, próximo a Assú, RN (FERREIRA & ASSUMPÇÃO, 1983).

A sismicidade foi caracterizada por investigações que envolveram redes de estações sismográficas móveis e identificaram diversas falhas pela relação entre distribuição de epicentros e tensões tectônicas (FERREIRA, 1998). Ferreira conclui que a sismicidade na região ocorre como enxames de terremotos, que duram vários anos e estão concentrados na porção superior da crosta, entre 1 e 12 km.

Figura 11 – Mapa geológico simplificado da porção setentrional do Nordeste, incluindo atividade sísmica até 1998.



Fonte: Adaptado de Ferreira, 1998.

3. NORMA TÉCNICA BRASILEIRA NBR15421:2006

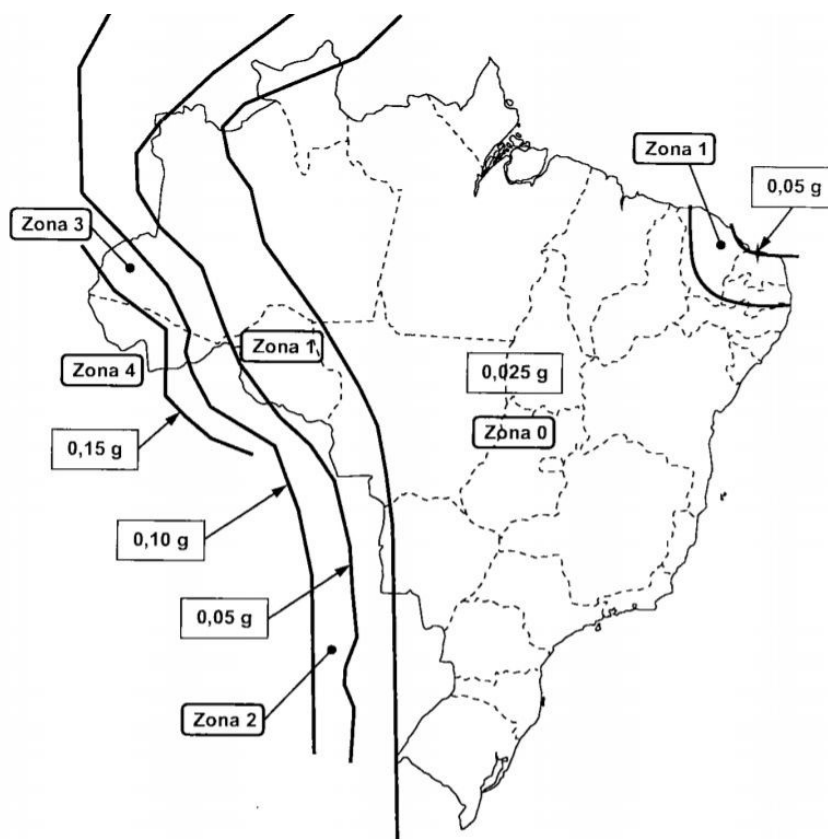
A ABNT NBR 15421 – Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimento (2006), é o documento que regula a consideração dos efeitos sísmicos nas edificações civis, não se aplicando a todas as estruturas, mas apenas para as estruturas de edificações. De forma explícita há uma ressalva: “Esta Norma não se aplica a estruturas especiais, tais como pontes, viadutos, obras hidráulicas, arcos, silos, tanques, vasos, chaminés, torres, estruturas off-shore, ou em que se utilizam técnicas construtivas não convencionais, tais como formas deslizantes, balanços sucessivos, lançamentos progressivos e concreto projetado”.

Nesta norma são estabelecidos os processos de análises sísmicas através do mapa de aceleração sísmica característica, indicando os limites de cada zona e a magnitude considerada (Figura 12). É mostrado a forma para a determinação do espectro de resposta de projeto que corresponde à resposta elástica de um sistema de grau de liberdade, bem como o processo de análise sísmica para cada uma das zonas.

3.1. Definição dos parâmetros sísmicos

A NBR 15421:2006 define as 5 zonas sísmicas brasileiras, de modo que as ações sísmicas a serem consideradas no projeto, deve seguir o zoneamento sísmico da figura 12. O comportamento sísmico é baseado na aceleração horizontal de projeto, o mapa da figura 12 exhibe os valores de A_g normalizados para a classe de terreno B (rocha).

Figura 12 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica para terrenos classe B.



Fonte: ABNT NBR 15421:2006.

Tabela 3 – Zoneamento sísmico

Zona sísmica	Valores de A_g (g)
Zona 0	$A_g = 0,025g$
Zona 1	$0,025g \leq A_g \leq 0,05g$
Zona 2	$0,05g \leq A_g \leq 0,10g$
Zona 3	$0,10g \leq A_g \leq 0,15g$
Zona 4	$A_g = 0,15g$

Fonte: ABNT NBR 15421:2006.

Ressaltando que para estruturas localizadas nas zonas sísmicas 1 a 3, os valores a serem considerados para A_g podem ser obtidos por interpolação das curvas da figura 12. A tabela 3.1 indica de forma simplificada os valores de A_g para as 5 zonas.

3.2. Definição da classe do terreno

Uma importante característica nas análises sísmicas é o meio de propagação das ondas sísmicas de forma que o terreno de fundação deve ser categorizado em função da velocidade de propagação da onda de cisalhamento V_s , em uma das classes definidas na tabela 3.2, que associa os valores numéricos dos parâmetros geotécnicos médios avaliados nos 30 m superiores do terreno com a classe do terreno.

Tabela 4 – Classe do terreno.

Classe do terreno	Designação da classe do terreno	Propriedade médias para os 30 m superiores do terreno	
		$\overline{V_s}$	\overline{N}
A	Rocha sã	$\overline{V_s} \geq 1500$ m/s	(não aplicável)
B	Rocha	$1500 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 760$ m/s	(não aplicável)
C	Rocha alterada ou solo muito rígido	$760 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 370$ m/s	$\overline{N} \geq 50$
D	Solo rígido	$370 \text{ m/s} \geq \overline{V_s} \geq 180$ m/s	$50 \geq \overline{N} \geq 15$
		$\overline{V_s} \geq 180$ m/s	$\overline{N} \geq 15$
E	Solo mole	Qualquer perfil, incluindo camada com mais de 3 m de argila mole	
		Solo exigindo avaliação específica, como:	
		Solos vulneráveis à ação sísmica, como solos liquefazíveis, argilas muito sensíveis e solos colapsíveis fracamente cimentados	
F		Turfas ou argilas muito orgânicas	
		Argilas muito plásticas	
		Estratos muito espessos (35) de argila mole ou média	

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

Onde a velocidade de propagação de onda de cisalhamento $\overline{V_s}$ não for conhecida, é permitida a classificação do terreno a partir do número médio de golpes no ensaio SPT \overline{N} . Para

solos estratificados os valores podem ser obtidos através de um processo de ponderação, os valores médios $\overline{V_s}$ e \overline{N} são obtidos em função destes mesmos valores $\overline{V_{si}}$ e \overline{N} , nas diversas camadas i e espessura i da referente camada do subsolo.

3.3. Definição do espectro de resposta de projeto

O espectro de resposta de projeto, $S_a(T)$, para acelerações horizontais, correspondente à resposta elástica de um sistema de grau de liberdade com uma fração de amortecimento crítico igual a 5%, é definido a partir da aceleração sísmica horizontal característica A_g e da classe do terreno, (ABNT NBR 15421:2006).

Os espectros de resposta (figura 13) não possuem uma configuração constante por serem traçados a partir de um terremoto específico, sendo inapropriados para projetar estruturas devido a heterogeneidade dos sismos. Por sua vez os espectros de projeto possuem variações suavizadas e que consideram os efeitos de vários terremotos representando uma envoltória dos espectros de resposta dos sismos. Estes espectros são calculados utilizando ferramentas estatísticas (PEÑA, 2012).

Para a definição do espectro de projeto é necessário, o conhecimento e determinação de algumas grandezas:

A_{gs0} e A_{gs1} são as acelerações espectrais para os períodos de 0,0 s e de 1,0 s respectivamente, já considerado o efeito da amplificação sísmica no solo, sendo determinado da seguinte forma:

$$A_{gs0} = C_a \times a_g \quad (3.1)$$

$$A_{gs1} = C_v \times a_g \quad (3.2)$$

C_a e C_v são os fatores de amplificação sísmica no solo, para os períodos de 0,0 s e 1,0 s respectivamente, conforme tabela 3.3, em função da aceleração característica de projeto A_g e da classe do terreno;

T é o período natural, em segundos, associado a cada um dos modos de vibração da estrutura.

Tabela 5 – Fatores de amplificação sísmica no solo

Classe do terreno	Ca		Cv	
	Ag ≤ 0,10g	Ag = 0,15g	Ag ≤ 0,10g	Ag = 0,15g
A	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1
C	1,2	1,2	1,7	1,7
D	1,6	1,5	2,4	2,2
E	2,5	2,1	3,5	3,4

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

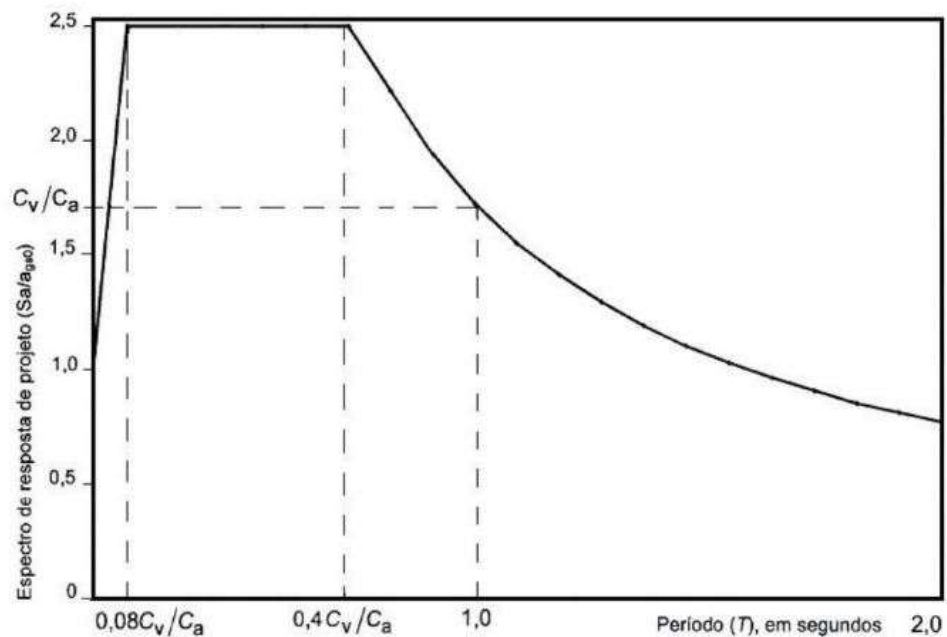
A NBR 15421:2006 define numericamente em três faixas de períodos o espectro de resposta de projeto, $Sa(T)$, pelas expressões:

$$Sa(T) = A_{gs0} \left(18,75 \times T \times \frac{C_a}{C_v} + 1,0 \right) \quad \left(\text{para } 0 \leq T \leq \frac{C_v}{C_a} 0,08 \right) \quad (3.3)$$

$$Sa(T) = 2,5 A_{gs0} \quad \left(\text{para } \frac{C_v}{C_a} * 0,08 \leq T \leq \frac{C_v}{C_a} 0,04 \right) \quad (3.4)$$

$$Sa(T) = \frac{A_{gs1}}{T} \quad \left(\text{para } T \geq \frac{C_v}{C_a} \right) \quad (3.5)$$

Figura 13 – Variação do espectro de resposta de projeto.



Fonte: ABNT NBR 15421:2006

O espectro de resposta de projeto é considerado aplicado à base da estrutura. Quando for necessário definir um espectro para acelerações verticais, as acelerações deste espectro podem ser tomadas como 50% das acelerações correspondentes definidas nos espectros para acelerações horizontais.

3.4. Categorias de utilização e fatores de importância de utilização

Para cada estrutura deve ser definida uma categoria de utilização e um correspondente fator de importância de utilização (I). Observar se as estruturas necessárias ao acesso às estruturas de categoria II ou III também devem ser categorizadas como tal. Caso uma estrutura contenha áreas de ocupação de mais de uma categoria, a categoria mais alta deve ser considerada no seu projeto.

A NBR 15421:2006 define como categoria III, estruturas essenciais como instituições hospitalares com instalações de tratamento de emergência ou para cirurgias. Prédios de bombeiros, de instituições de salvamento e policiais e também garagem para veículos de emergência. São incluídas também estruturas de geração de energia, tratamento de água, centros de controle de tráfego aéreo.

As estruturas da categoria de utilização II são as de importância substancial para a preservação da vida humana no caso de ruptura. Estruturas em que haja reunião de mais de 300 pessoas, estruturas voltadas para a educação, como pré-escolas com mais de 150 ocupantes, escolas primárias e secundárias com mais de 250 ocupantes, escolas superiores com mais de 500 ocupantes. Instituições de saúde, mas sem tratamento de emergência ou para cirurgias. Quaisquer outras estruturas com mais de 5000 ocupantes.

Tabela 6 – Fatores fator de importância de utilização.

Categoria de utilização	Fator (I)
I	1,0
II	1,25
III	1,50

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

3.5. Categoria sísmica

A NBR 15421:2006 de forma bem simplificada define a categoria sísmica de uma estrutura, baseado em qual zona sísmica a mesma se encontra. Essa categorização define os requisitos de análise a serem empregados.

Critérios para categorização sísmica: Para cada estrutura deve ser definida uma categoria sísmica. As categorias sísmicas são utilizadas nesta norma para definir os sistemas estruturais permitidos, limitações nas irregularidades das estruturas, componentes da estrutura que devem ser projetados quanto à resistência sísmica e os tipos de análises sísmicas que devem ser realizados. Sendo MFHE (Método da Força Horizontal Equivalente), ME (Método Espectral), (Método do Histórico de Aceleração no Tempo)

Tabela 7 – Categorias sísmicas e métodos de avaliação

Zona sísmica	Categoria	Métodos para análise estrutural
0	A	Nenhum requisito
1	A	Procedimento simplificado da força sísmica horizontal
2	B	MFHE ou ME ou MHAT
3	C	MFHE ou ME ou MHAT
4	C	MFHE ou ME ou MHAT

Fonte: Adaptado de NÓBREGA, (2019).

3.6. Métodos de análise sísmica

As estruturas localizadas na zona sísmica 0, por consequência com $A_g = 0,025g$, não é exigido nenhum requisito de resistência sísmica, dessa forma nenhum tipo de análise dinâmica.

3.6.1. Procedimento simplificado da força sísmica horizontal

As estruturas localizadas na zona sísmica 1 devem apresentar sistemas estruturais resistentes às forças sísmicas horizontais em duas direções ortogonais, inclusive com um mecanismo de resistência a esforços de torção. Devem resistir a cargas horizontais aplicadas simultaneamente a todos os pisos e independentemente em cada uma de duas direções ortogonais, a força horizontal é determinada pela equação:

$$F_x = 0,01 \times w_x \quad (3.6)$$

F_x é a força sísmica horizontal de projeto correspondente ao piso x . E w_x é o peso total da estrutura correspondente ao piso x , incluindo o peso operacional de todos os equipamentos fixados na estrutura e dos reservatórios de água. Nas áreas de armazenamento e estacionamento, este peso deve incluir 25 % de carga acidental.

3.6.2. Análise sísmica pelo método das forças horizontais equivalentes

A força horizontal total na base da estrutura, em uma direção, é determinada de acordo com a expressão:

$$H = C_s \times W \quad (3.7)$$

Sendo C_s é o coeficiente de resposta sísmica. W é o peso total da estrutura.

O coeficiente de resposta sísmica é definido como:

$$C_s = \frac{2,5 \times \frac{ags0}{g}}{\left(\frac{R}{T}\right)} \leq \frac{\frac{ags1}{g}}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (3.8)$$

A grandeza $Ags0$, aceleração espectral para o período de 0,0 s, já considerando o efeito de amplificação sísmica no solo. O fator de importância de utilização, I , que foi definido anteriormente e o coeficiente de modificação de resposta R é definido na tabela 6 da ABNT NBT 15421:2006.

3.6.2.1. Determinação do período

A NBR15421:2006 permite utilizar diretamente o período natural fundamental aproximado da estrutura T_a , que pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$T_a = C_t \times H_n^x \quad (3.9)$$

Tabela 8 – Coeficiente de período da estrutura.

$C_t = 0,0724$ e $x = 0,8$	Estruturas em que as forças sísmicas horizontais são 100% resistidas por pórticos de aço momento-resistentes, não sendo estes ligados a sistemas mais rígidos que impeçam sua livre deformação quando submetidos à ação sísmica;
$C_t = 0,0466$ e $x = 0,9$	Estruturas em que forças sísmicas horizontais são resistidas em parte por pórticos de aço contraventados com treliças;
$C_t = 0,0731$ e $x = 0,75$	Estruturas em que as forças sísmicas horizontais são resistidas em parte por pórticos de aço contraventados com treliças;
$C_t = 0,0488$ e $x = 0,75$	Todas as outras estruturas;
h_n	Altura, em metros, da estrutura acima da base.

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

O período natural da estrutura (T) pode ser obtido por um processo de extração modal, que leve em conta as características mecânicas e da massa da estrutura desde que obedeça ao seguinte critério.

$$T \leq C_{up} \times T_a \quad (3.10)$$

Tabela 9 – Coeficiente de limitação de período.

Zona sísmica	Coeficiente Cup
Zona 2	1,7
Zona 3	1,6
Zona 4	1,5

Fonte: ABNT NBR 15421:2006

3.6.2.2. Distribuição vertical das forças sísmicas.

A força horizontal total na base H é distribuída verticalmente entre as várias elevações da estrutura, de forma que, em cada elevação x, seja aplicada uma força F_x , definida de acordo com a expressão:

$$F_x = C_{vz} \times H \quad (3.11)$$

Sendo:

$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i^k} \quad (3.12)$$

Onde C_{vz} que é o coeficiente de distribuição vertical, w_i e w_x são as parcelas do peso efetivo total que correspondem às elevações i ou x, respectivamente, h_i e h_x são as alturas entre a base e as elevações i ou x, respectivamente. O valor de k é o expoente de distribuição, relacionado ao período natural da estrutura T. Estruturas com o período inferior a 0,5 s, $k = 1$. Ou com período entre 0,5 s e 2,5 s, $k = \frac{T+1,5}{2}$. Ou estruturas com período superior a 2,5 s, $k = 2$.

3.6.2.3. Determinação dos deslocamentos relativos e absolutos.

Os deslocamentos absolutos δ_x em uma elevação x, avaliados em seu centro de massa, devem ser determinados através da seguinte expressão:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I} \quad (3.13)$$

Onde, C_d é o coeficiente de amplificação de deslocamentos, dado na tabela 6 da ANBT NBR 15421:2006. δ_{xe} é o deslocamento determinado em uma análise estática, I é o fator de importância de utilização dado na tabela 3.4 exposta anteriormente.

Os deslocamentos relativos dos pavimentos Δ_x são determinados como a diferença entre os deslocamentos absolutos nos centros de massa δ_x nas elevações acima e abaixo do pavimento em questão. Para as estruturas de categoria sísmica C, onde existia irregularidade.

$$\Delta_i = \delta - \delta_{(i-1)} \quad (3.14)$$

Para as estruturas em que haja efeitos de torção importantes, estes devem ser considerados na avaliação dos deslocamentos relativos Δ_x de pavimento.

3.6.3. *Análise sísmica pelo método espectral*

Para as estruturas que de alguma forma não atenda aos critérios estabelecidos que permitem o uso de métodos simplificados, deve-se usar o método espectral. Onde o número de modos a ser considerado na análise espectral deve ser suficiente para capturar ao menos 90% da massa total em cada uma das direções ortogonais consideradas na análise.

Todas as respostas modais em termos de forças, momento e reações de apoio devem ser multiplicadas pelo fator I/R . Todas as respostas obtidas em termos de deslocamentos absolutos e relativos devem ser multiplicadas pelo fator Cd/R .

As respostas elásticas finais podem ser combinadas pela regra da raiz quadrada da soma dos quadrados das respostas obtidas em cada modo de vibração. Servindo também para a obtenção das respostas elásticas finais devidas aos sismos aplicados em diferentes direções ortogonais. No caso de proximidade entre as frequências dos modos de vibração (frequência próprias afastadas de menos de 10% do valor de uma das mesmas), deve ser aplicada regras de combinação mais precisa, que considere os efeitos da proximidade entre os modos.

A força horizontal total aplicada na base da estrutura deve ser estabelecida para cada uma das duas direções horizontais, através do método já citado das forças horizontais equivalente. Em casos onde a força horizontal total na base Ht , seja inferior a $0,85H$, todas as forças elásticas obtidas nesta direção devem ser multiplicadas por $0,85H/Ht$. Esta correção não se aplica aos deslocamentos absolutos e relativos.

As forças sísmicas horizontais F_x , correspondentes a cada elevação x , devem ser aplicadas a um modelo de distribuição destas forças. Este modelo pode ser também utilizado para avaliar os efeitos de torção na estrutura.

3.6.4. Análise sísmica com históricos de acelerações no tempo

A análise com históricos de acelerações no tempo deve consistir na análise dinâmica de um modelo, submetido a históricos de acelerações no tempo (acelerogramas) aplicados à sua base, de forma que sejam compatíveis com o espectro de projeto definido para a estrutura. Pelo menos três conjuntos de acelerogramas devem ser considerados na análise.

As análises deverão ser feitas aplicando simultaneamente um conjunto de acelerogramas, independentes entre si, nas direções ortogonais relevantes para cada caso. Os acelerogramas podem ser registrados de eventos reais ou gerados artificialmente e compatíveis com as características sismológicas do local de estrutura. Os acelerogramas a serem utilizados necessitam da utilização de um fator de escala, de forma que os espectros de resposta na direção considerada, para o armazenamento de 5%, tenham valores médios não inferiores aos do espectro de projeto para uma faixa entre $0,2T$ e $1,5T$, sendo T o período fundamental da estrutura nesta direção.

Durante o processo de obtenção dos momentos e reações de apoio, os valores devem ser obtidos em termos de força e multiplicados pelo fator I/R , para cada acelerograma.

A força total na base perpendicular à altura H deve ser estabelecido pelo método das forças horizontais equivalentes. Caso a força horizontal máxima na base Ht , obtida com um determinado acelerograma, seja inferior a Ht , todas as forças elásticas encontradas nesta direção, serão corrigidas multiplicando pelo termo H/Ht . Os efeitos finais encontrados correspondem à envoltória dos efeitos máximos obtidos com cada um dos conjuntos de acelerogramas considerados.

4. DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO SÍSMICA HORIZONTAL CARACTERÍSTICA

Para determinar os espectros de projeto e conseqüentemente representar a resposta elástica de determinado sistema, é necessário definir o primeiro e um dos principais parâmetros para uma análise sísmica à aceleração sísmicas da região onde o sistema está localizado A_g (aceleração sísmica horizontal característica).

O estado do Ceará encontra-se em 3 zonas diferentes, zonas 0, 1 e 2. a NBR 15421:2006 estabelece que para locais que estão nas zonas 1 a 3, A_g pode ser encontrado a partir da interpolação das curvas. Dessa forma para extrair o valor de A_g para cada município do estado utilizou-se do software QGIS, onde realizando o processo de georreferenciamento das curvas do mapa da NBR 15421:2006 e em seguida determinação das distâncias dos centros urbanos até as curvas limites das zonas e então realizar uma interpolação para determinar A_g .

4.1. Software utilizado

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto, licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, assim, distribuído livremente, sem a necessidade de realizar um gasto monetário, que o torna extremamente acessível e sendo uma excelente ferramenta para análise e tratamento de dados geográficos.

O projeto é conduzido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU. É desenvolvido por voluntários que apoiam com a criação de novos códigos, correções de *bugs*, documentação e que também assumem diversas outras funções como a promoção do *software* e suporte a outros usuários em fóruns.

A principal utilização do QGIS é na elaboração de Mapas para os mais variados usos, o *software* possibilita a construção de mapas a partir de camadas raster e ou vetoriais. Outra funcionalidade que é bastante característica dos SIGs, e não poderia ser diferente no QGIS é o tratamento de dados que podem ser armazenados como pontos, linhas ou polígonos, também capacidade de realizar tratamento de imagens como realizar o processo de georreferenciamento.

O QGIS disponibiliza uma gama de funcionalidades mais complexas e diversificada, que só se tornam possíveis com o uso de extensões de sua biblioteca ou até mesmo elaborando novas extensões.

No presente trabalho foi utilizado a versão 3.10.6 *A coruña* de longa duração, por ser mais estável que as versões mais novas até o início deste trabalho.

Figura 14 – Logo QGIS.



Fonte: < www.qgis.org >

Tendo como um dos objetivos estabelecer um processo simples para a determinação de dados mais precisos a partir de limites de influência, além de reforçar que algumas regiões do Brasil estão suscetíveis a riscos aos quais pode-se ter mecanismos para amenizar possíveis danos e criar um banco de dados com as acelerações sísmicas para as unidades do estado. Surge a necessidade de executar um processamento mais refinado para a obtenção de valores mais seguros.

As contribuições científicas nos estudos sísmicos no Brasil, embora não sejam o principal objeto de estudo das grandes universidades brasileiras, possuem expressão o suficiente ao ponto de alertar sobre possíveis riscos e questionar sobre magnitude desses riscos outrora previstos em estudos mais antigos em diversos pontos do país, por este fato surge a necessidade de um método simples para casos onde seja preciso determinar A_g em locais onde não se possui uma estimativa tão precisa e de maneira que, caso surjam possíveis atualizações nos mapas sísmicos seja possível obter de forma rápida os valores alvo.

O trabalho consiste em estabelecer A_g para cada um dos municípios cearenses através do mapeamento fornecido na NBR 15421:2006 onde foi georreferenciado um recorte do mapa, figura 15, materializado dentro do software os limites das zonas sísmicas e buscou

estabelecer as distâncias entre as unidades urbanas até o ponto mais próximo das curvas, com essa relação distância e A_g , interpolar e gerar um banco de dados com o valor de A_g , necessidade ou não de análise e o espectro de resposta para cada uma das unidades mediante as possíveis condições de solo, como prevê a norma.

4.2. Delimitação das zonas sísmicas.

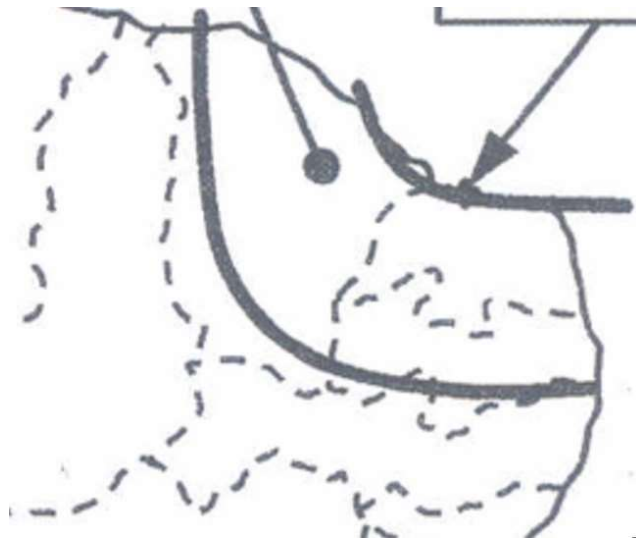
4.2.1. Georreferenciamento da imagem da norma.

A imagem fornecida pela NBR 15421:2006 é apenas uma representação das curvas de aceleração sísmica para o Brasil como um todo, mas quando busca-se estabelecer valores de A_g para porções menores e mais precisas, como os municípios do estado do Ceará, ele não supre bem essa necessidade, em muitas análises ocorre a utilização do valor máximo da zona pertencente. Buscou-se então trazer esses dados para um formato mais trabalhável sem que os mesmos perdessem suas referências espaciais.

O georreferenciamento é um processo que permite atribuir uma referência espacial a uma feição geográfica, dentro de um sistema de coordenadas geográficas. Dessa forma, utilizando o mapeamento da aceleração sísmica fornecido pela NBR 15421:2006, que contém os limites das zonas e também utilizando uma camada vetorial com os limites do Brasil (figura 16) e seus estados disponibilizado no site do IBGE e que já é atribuída uma referência espacial, deu-se início a realização desse processo.

A imagem sem referência espacial figura 12 não possuía nenhuma referência cartográfica que possibilitasse a alocação de coordenadas então para que pudesse ser realizado o georreferenciamento era necessário identificar pontos na imagem que tivessem coordenadas conhecidas. Analisando a imagem e buscando visualizar pontos que poderiam servir de base, a opção mais viável era utilizar os limites entre os estados que possuem coordenadas conhecidas e através de outras ferramentas seria possível obter essas coordenadas, como por exemplo, o *google Earth* poderiam ter facilmente suas coordenadas identificadas.

Figura 15 – Recorte para georreferenciamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Antes de executar o georreferenciamento é preciso estar ciente que existe a necessidade avaliar o erro obtido, o que pode fazer com que o processo seja executado mais de uma vez. Dentre alguns aspectos que interferem no resultado pode-se citar a configuração quantidade de pontos e precisão das coordenadas utilizadas. A precisão das coordenadas influencia diretamente no resultado final do erro, pois uma vez que ao utilizar uma imagem de alta qualidade com coordenadas de pontos de baixa precisão não se torna muito funcional e pode acarretar em um maior erro ao final do processo e de modo semelhante utilizar uma imagem de qualidade baixa, com uma precisão muito elevada na localização dos pontos também não se obtém resultados satisfatórios.

Figura 16 – Camada vetorial dos limites estaduais brasileiros.



Fonte: IBGE <<https://portaldemapas.ibge.gov.br>>

Foram realizadas algumas tentativas utilizando de modos mais grosseiros a modos mais refinado a fim de se obter um resultado com melhor adequação da imagem e um erro relativamente baixo. Inicialmente fez-se o uso da ferramenta de atribuir coordenada de um ponto pelo posicionamento na tela, que o software proporciona, onde só foi viável com a utilização de uma camada vetorial dos estados brasileiros e partindo de um número de pontos relativamente baixos. E expandiu-se esse processo a utilização de uma quantidade elevada de pontos e a posição desses pontos foram obtidas com o auxílio do software *Google Earth*, com precisão de 6 casas decimais.

Era necessário utilizar um número de pontos adequado as necessidades mínimas para realizar processamento e também a necessidade que respeitasse o primeiro critério de utilizar os locais que possuíam coordenadas conhecidas ou facilmente identificadas na camada vetorial dos estados brasileiros.

Dentro do processo de ajustes, inferiu-se que quanto maior o refinamento utilizado nas coordenadas, havia maior dificuldade para ajustar os pontos dentro do georreferenciador, isso se deu principalmente pela baixa qualidade da imagem que a norma oferece.

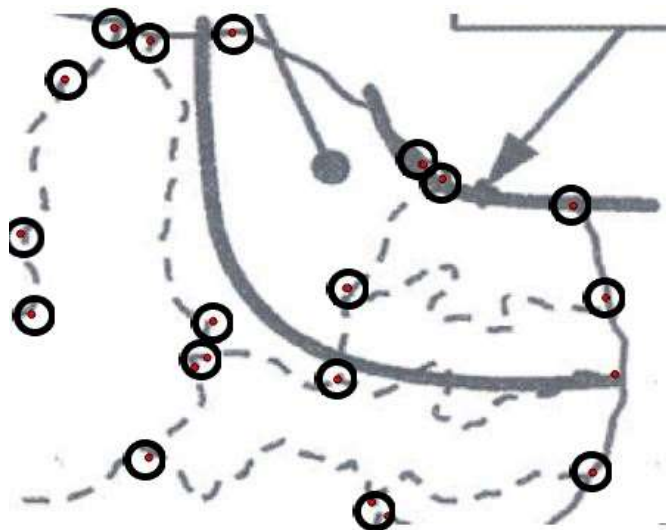
Outro fator que pode interferir no resultado é o sistema de coordenadas que foi utilizado na elaboração do mapa, visto que o mais recomendado é o SIRGAS 2000, uma vez que o mesmo utiliza o sistema de coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), sendo o mais

indicado para a representação de faixas territoriais que englobam mais de um estado do Brasil e atualmente é obrigatório o uso em representações do território brasileiro. Não há nenhuma especificação no mapeamento fornecido pela norma sobre o sistema coordenadas utilizados

Para representação de um local específico e menor como no caso do Ceará em mapas, o mais recomendado seria a utilização de uma faixa menor e correspondente como o Sirgas 2000 fuso 24S. O que não seria viável devido a não ser possível identificar uma quantidade de pontos adequada apenas com o recorte do Ceará e além disso as curvas de aceleração sísmica não cruzam apenas o estado do Ceará, podendo também comprometer a análise e conseqüentemente a obtenção dos dados.

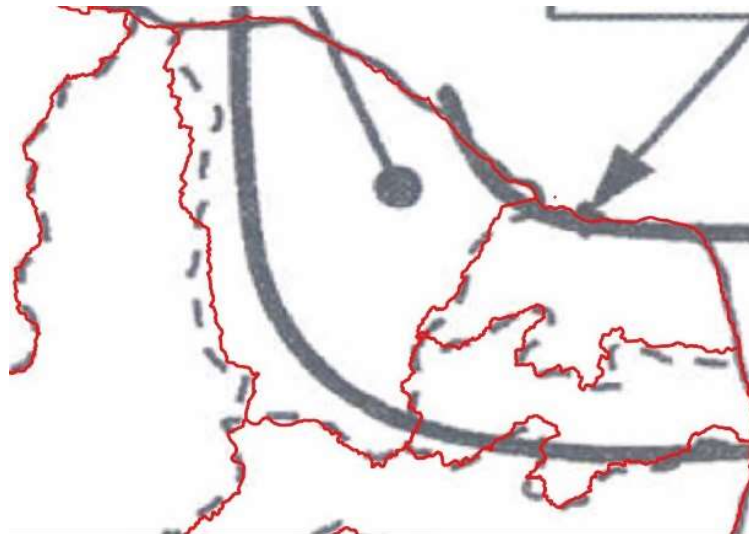
A figura 17 a seguir mostra a configuração que trouxe melhores resultados, com 20 pontos e os mesmos sendo adicionados através da ferramenta manual de alocação disponível no software, gerando um erro 0,00476097 unidades do mapa. Posteriormente é apresentado a sobreposição da imagem georreferenciada com a camada vetorial, figura 18, que contém os limites dos Estados brasileiros, para uma análise visual do resultado obtido.

Figura 17 – Distribuição de pontos para georreferenciamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 18 – Recorte imagem georreferenciada.



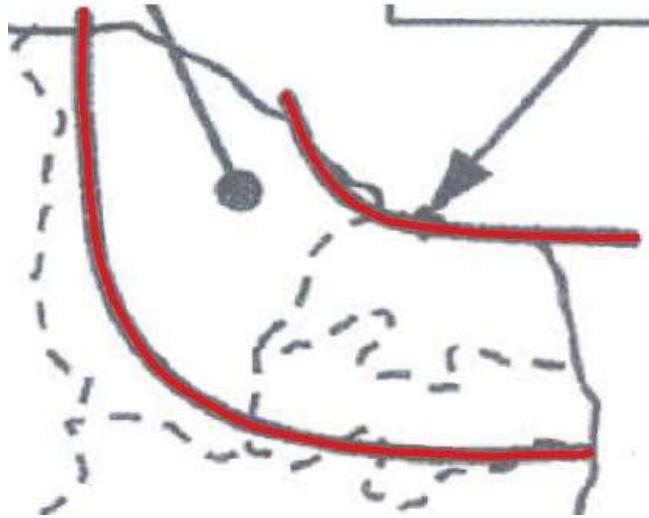
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2. Materialização das curvas no software.

Após concluído georreferenciamento com valor de erro satisfatório, o posicionamento no mapa brasileiro havia sido estabelecido, porém como os mesmos fazem parte da imagem, eles não eram objetos dentro do software, de forma que não era possível trabalhar com eles, logo surgiu a necessidade de buscar uma forma de trabalhá-las no *software* para prosseguir com a análise.

Optou-se por utilizar nessa representação uma camada do tipo linha, que iriam percorrer todo o trajeto das curvas, então foram criadas novas camadas vetoriais para representar a delimitação das zonas sísmicas, o limite entre a zona 0 e zona 1 e o limite entre a zona 1 e zona 2, mostrado na figura 19. O resultado obtido foi a possibilidade de serem obtidos uma série de dados sobre as curvas, como coordenadas geográficas de qualquer ponto, comprimento entre outras possibilidades.

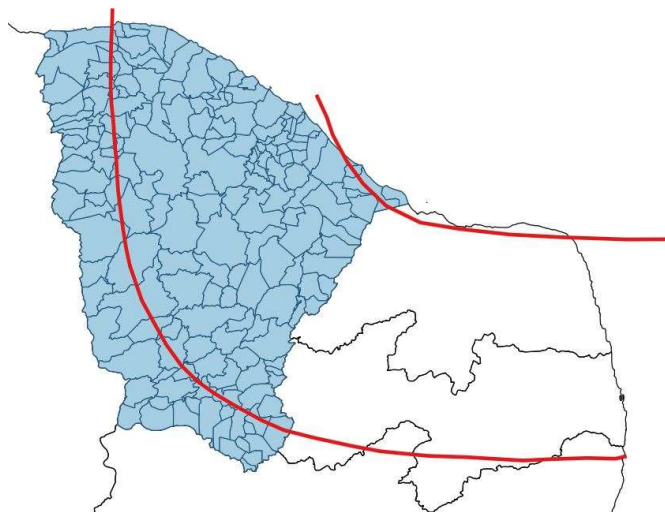
Figura 19 – Materialização das curvas limites.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fazendo a união entre as camadas já anteriormente atribuídas e criadas com uma outra camada vetorial contendo os limites municipais do estado do Ceará torna-se possível identificar a qual zona cada um dos municípios cearenses pertence, como retrata a figura 20.

Figura 20 – Sobreposição das curvas aos limites municipais cearenses.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. Determinação de A_g (aceleração sísmica horizontal característica) para os municípios.

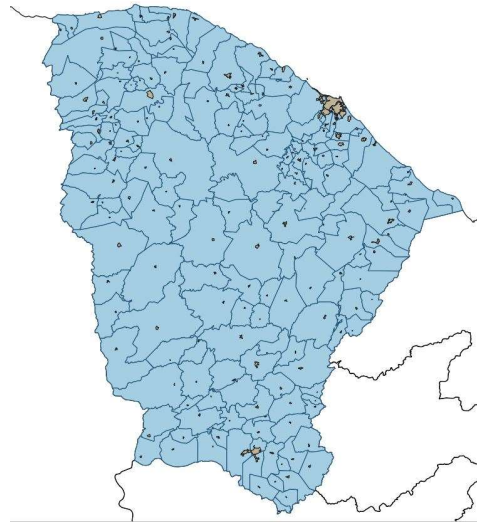
Para locais situados entre as zonas 1 e 3, a norma estabelece que pode ser feita uma interpolação das curvas. A grande maioria das unidades municipais pertencem a zona 1, assim necessita-se obter as distâncias entre os municípios até os limites zona 0 - zona 1 e zona 1 – zona 2, onde cada um dos limites seria atribuído respectivamente o valor de 0,025g e 0,05g como também é estabelecido em norma.

A partir disso com a camada vetorial que delimita os municípios pertencentes ao Ceará e com a sobreposição do traçado das linhas que delimitavam as zonas, seria possível obter as distâncias de referência, entretanto havia a necessidade de estabelecer um ponto representativo para cada uma das localidades a fim de obter todas as distâncias.

A utilização do centroide do espaço geográfico dos municípios seria uma possibilidade, porém as geometrias dos mesmos apresentam bastante irregularidades podendo existir casos em que municípios de elevada extensão e suas zonas urbanas estivesse em extremos do território possibilitaria que A_g fosse minorada ou majorada.

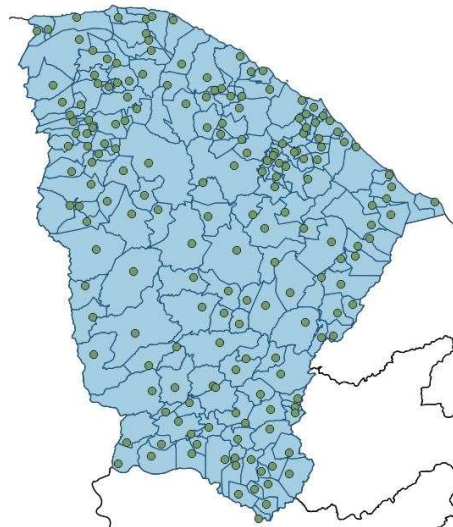
Buscando contornar essas situações e garantir maior confiabilidade nos resultados optou-se por utilizar uma camada vetorial que continha os limites urbanos municipais, figura 21, disponível no site do IBGE, a partir disso executar o processo de extrair os centroides da zona urbana de cada uma das zonas urbanas, figura 22.

Figura 21 – Camada vetorial da mancha urbana municipal.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Centroide dos limites urbanos municipais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

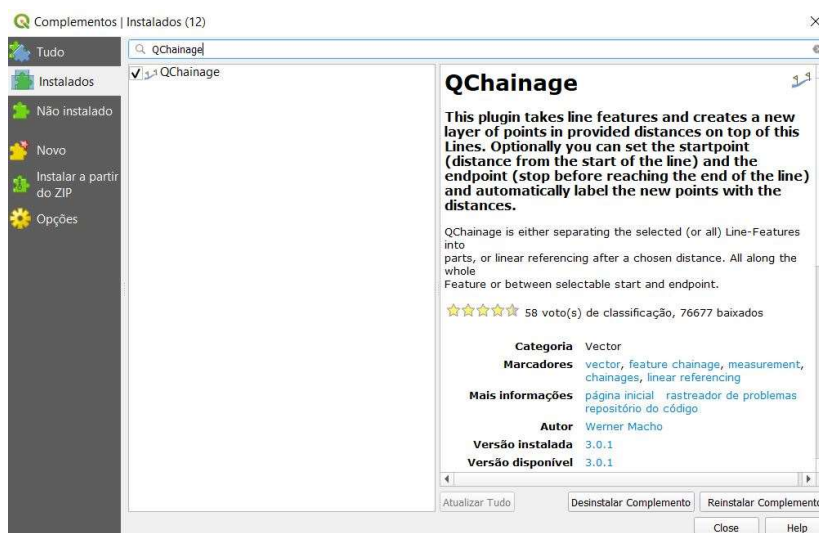
4.3.1. Incompatibilidade

Outra problemática é que no software existia uma incompatibilidade na obtenção de distância de uma camada vetorial tipo ponto e uma camada tipo linha, com isso a alternativa encontrada seria transformar a camada vetorial do tipo linha em um conjunto de pontos.

A princípio buscou-se realizar esse processo através de ferramentas nativas do QGIS, onde foi possível criar uma camada de pontos a partir de uma linha, a qual os pontos criados representavam os vértices dos limites utilizados como camada de entrada, mas isso poderia trazer uma série de erros, pois os pontos criados a partir dos vértices poderiam não ser a menor distância entre os pontos que representavam os municípios e a linhas limites, interferindo diretamente nos cálculos.

Contudo o QGIS possui uma biblioteca de *plugins*, que são como assessórios, desenvolvidos por diversos colaboradores, não necessariamente da OSGeo e dentro dessa biblioteca existe a ferramenta QChainage (figura 23) que permite distribuir pontos com base em uma distância pré-estabelecida.

Figura 23 – Complementos do QGIS.



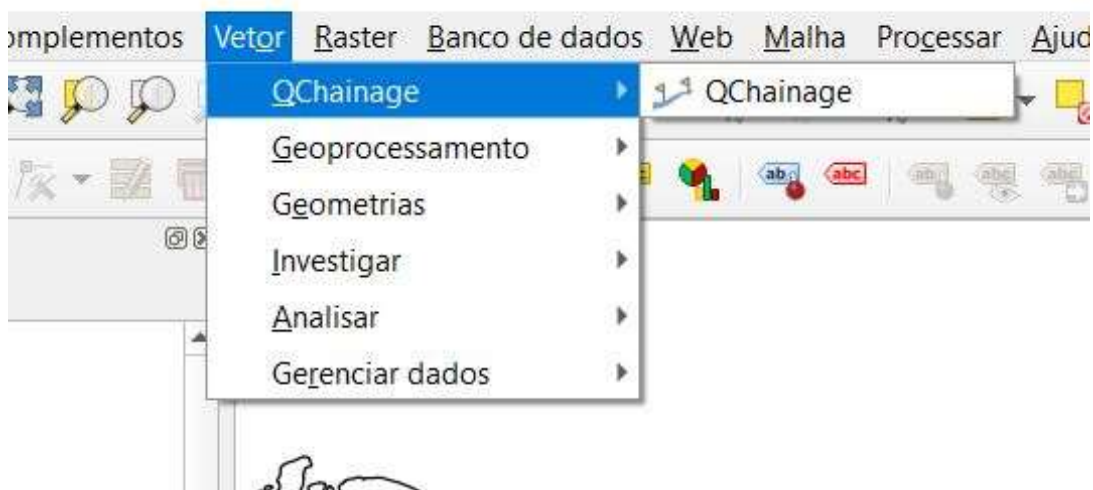
Fonte: Elaborado pelo autor.

O *plugin* é de extrema simplicidade de utilização, no menu Complementos, em seguida Gerenciar complementos, o software realiza uma busca rápida e acessa alguns repositórios. Logo após o carregamento, ir em buscar e fazer o *download* da extensão QChainage. No menu vetor, acessa o QChainage (figura 24) e seleciona a camada vetorial referente a linha desejada e estabelecer a distância entre os pontos.

A distância entre os pontos estabelecida, deve ser uma que não implique em um espaçamento muito longo ou um pequeno demais que em função da escala haveria uma sequência de pontos que iria gerar valores iguais ao medir a distância com algum dos municípios e que também fariam o processamento demorar muito tempo.

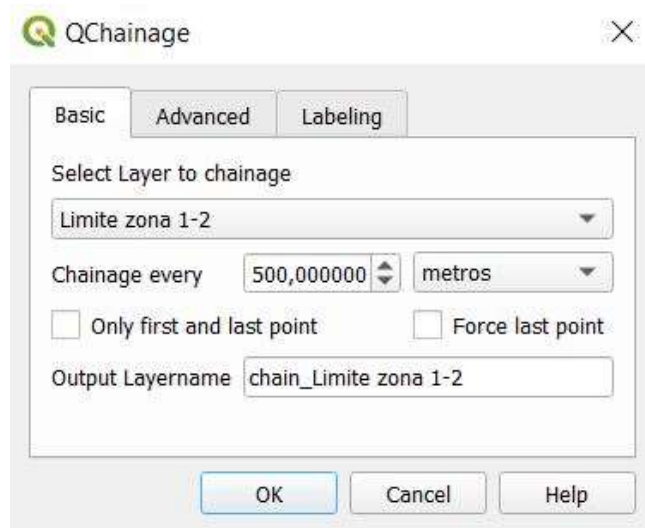
Inicialmente arbitrou-se uma distância de 1000 metros, que para o limite zona 0 – zona 1 seria bastante razoável, mas para o limite zona 1 – zona 2, nem tanto, pois seu comprimento é bem menor, então optou-se por utilizar 500 metros e em ambas as zonas, para padronizar.

Figura 24 – Localização do QChainage.



Fonte: Elaborado pelo autor.

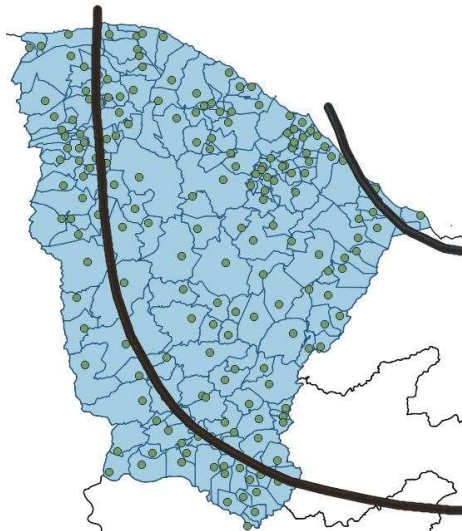
Figura 25 – Utilização do QChainage.



Fonte: Elaborado pelo autor.

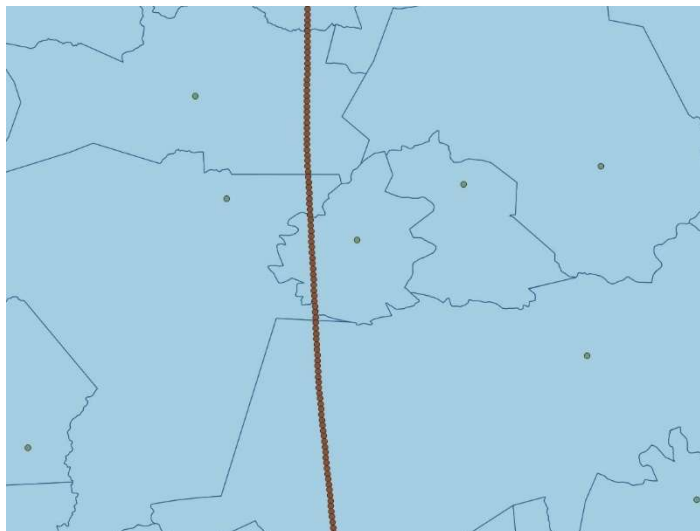
Dessa forma obtivemos uma camada com 2093 pontos para o limite zona 0 – zona 1 e para o limite zona 1 – zona 2 um total de 1047 pontos figura 26.

Figura 26 – Resultado da demarcação em 500 metros.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – Aproximação do resultado do QChainage.



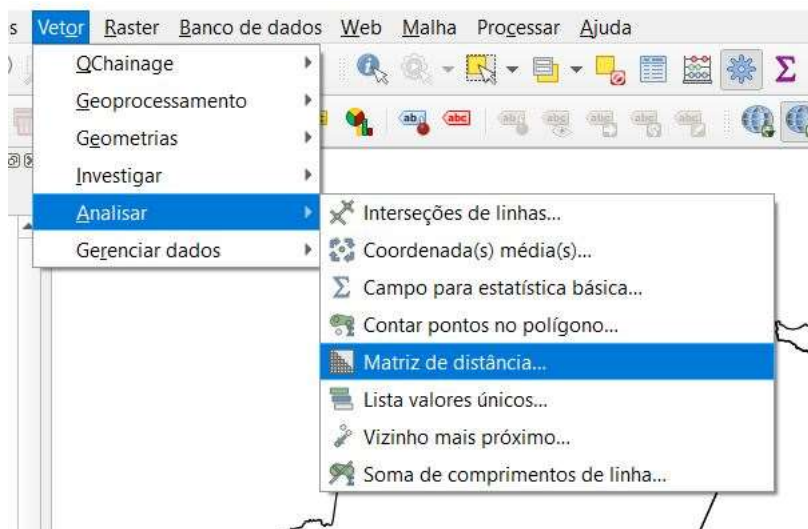
Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor de 500 metros não foi escolhido ao acaso, uma vez que ao trabalhar com um espaçamento tão pequeno é necessário validar uma possível representação. A escala que seria utilizada no mapa é de 1:2400000, dessa forma objetos só teriam representação se possuíssem tamanho maior que 480 metros, logo o valor de 500 metros aproxima-se bastante do limite visual de representação no mapa

4.3.2. Aferindo distâncias.

Para a obtenção das distâncias entre os pontos que representam os municípios e os pontos limites utilizou-se outra ferramenta de análise do próprio software, matriz distância a qual fica dentro no menu vetor, no submenu Analisar (figura 28) e a utilização dessa ferramenta possibilita obter um conjunto de distância entre cada um dos pontos de uma camada vetorial de entrada com todos os outros pontos de uma segunda camada.

Figura 28 – Matriz distância.

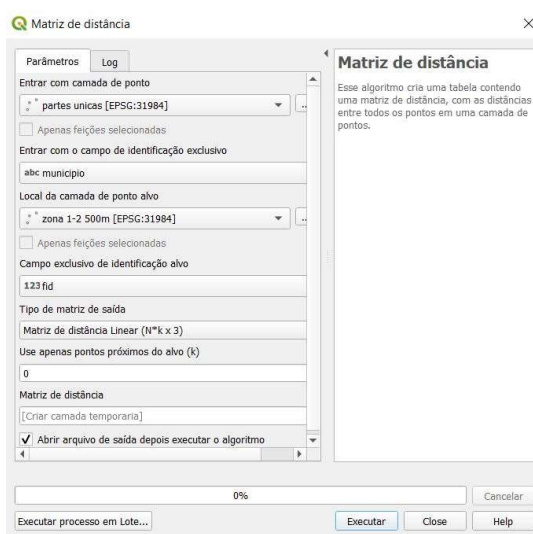


Fonte: Elaborado pelo autor.

Executou-se esse processo duas vezes onde a camada vetorial de entrada era a que continha os centroides das zonas urbanas e a segunda camada as camadas limites entre zonas.

Dessa forma gerou uma tabela (figura 30), com todas as distâncias entre os centroides dos municípios e os pontos limites, mas o alvo era apenas a obtenção da menor distância, dessa forma, repetiu-se o procedimento, mas no campo “Use apenas pontos próximos do alvo (k)”, utilizou-se o numeral 1, ou seja, só mostraria a distância entre o ponto mais próximo e não a distância entre todos os pontos.

Figura 29 – Configuração para obtenção das distâncias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após isso, o software gera uma tabela que pode ser exportada no formato .xlsx e consequentemente trabalhado no Microsoft Excel. A distância fornecida é em metros.

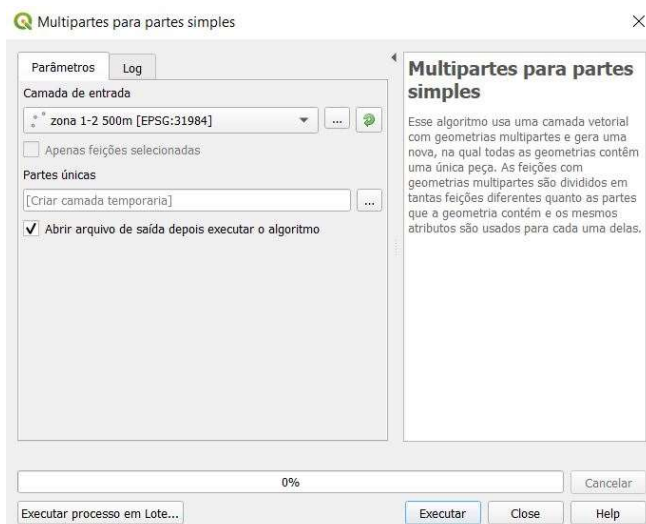
Figura 30 – Distâncias obtidas.

Município	Distância 0-1	Distância 1-2
Quixada	160283,00	137209,97
Iguatu	61029,67	258382,35
Jucás	31382,38	288018,15
Cariús	32648,04	286896,16
Uruoca	3189,91	256073,54
Itaicaba	295745,67	10584,83
Ibicuitinga	202172,83	102396,32
São João do Jaguaribe	226747,35	92083,77
Umari	70489,54	237941,46
Barro	12771,14	292692,11
Aurora	27431,01	282219,45

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante frisar que para essa ferramenta ser executada sem erros, as camadas vetoriais utilizadas precisam estar no formato de pontos, caso em uma das etapas anteriores tenha gerado uma cada vetorial do tipo multipontos ocorrerá um erro ao executar, caso isso aconteça é bastante simples de solucionar, basta buscar na caixa de ferramentas por “multipartes para partes simples” (figura 31), adicionar a camada que está com multipontos e executar.

Figura 31 – Conversão de multipartes para partes simples.

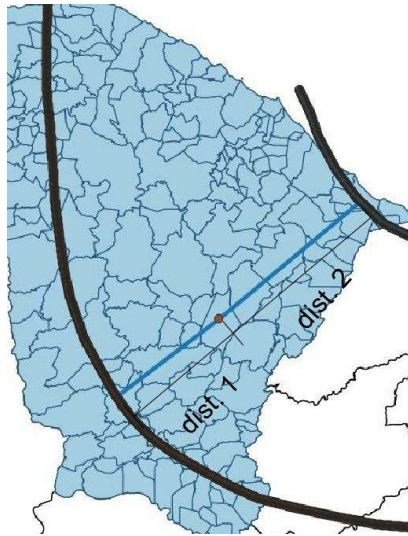


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4. Interpolação

O processo de interpolação linear consiste basicamente em determinar novos pontos a partir de dados existente, imaginemos que para uma função $f(x)$ (linear), possuímos pontos conhecidos e precisamos estabelecer um novo dado dentro desse intervalo a interpolação surge exatamente como meio para estabelecer esse valor dentro do intervalo. Partindo desse princípio, para realizar a interpolação havia dois pontos de dados com valores conhecidos que seria o valor A_g no limite zona 0-1, 0,025g e no limite zona 1-2, 0,05g e um intervalo, representado pela distância entre os limites a figura 32 representa como funciona o processo.

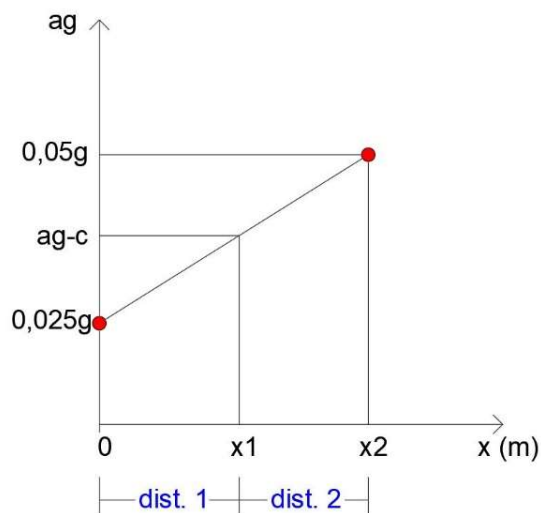
Figura 32 – Representação das distâncias obtidas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Anteriormente estabeleceu-se as menores distâncias entre os municípios e os limites das zonas, na posse dessas informações e entendendo que o processo de interpolação pode ser executado ao estabelecer a seguinte relação, adotando como primeiro ponto conhecido reta, o 0 metros para o qual teríamos o menor valor de A_g conhecido, $0,025g$ e a distância entre o limite zona 0-1 ao município como intervalo para o qual se quer estabelecer A_g e a soma dessa distância com a do município ao limite da zona 1-2, teríamos um segundo ponto de valor de A_g conhecido e igual $0,05g$, na figura 33, é mostrado um esquema representativo da interpolação.

Figura 33 – Esboço interpolação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo o valor de $Ag-c$, situado a uma distância $x1$ pode ser obtido através da equação 4.1:

$$ag^{-c} = 0,025g + \frac{(x1 - 0)}{(x2 - 0)} \times (0,05g - 0,025g) \quad 4.1$$

A figura 323 mostrar a tabela utilizada para interpolar os valores de Ag . Na coluna A “*inputID*” estão identificados os municípios, a coluna B “*Distance 0-1*” contém a distância em metros entre ponto desejado e o limite da zona 0-1, da mesma forma para a coluna C que contém por sua vez a distância até o limite zona 1-2. A coluna D possui o valor “0”, que vai representar o “início” da reta, a coluna E, contém a soma das colunas B e C, que representam o valor de $x2$. As colunas F e G representam respectivamente os valores de Ag conhecidos, para o ponto zero “início” e para o ponto $x2$. Por fim a coluna H contém o valor de Ag obtido através da interpolação conforme a equação 4.1.

Definidos os valores de Ag para as cidades da zona 1, prosseguiu-se para executar o mesmo procedimento para os municípios situados na zona 2, haja visto que para os municípios pertencentes a zona 0, Ag é dada como fixa em $0,025g$. Para a zona 2 a norma não apresenta a delimitação da zona 3 para o lado nordeste assim impossibilitando esse processo mas em contrapartida os municípios inseridos na zona 2 encontram-se muito próximos, praticamente inseridos no limite da zona 2 de modo que a aproximação de Ag para $0,05$ para esses municípios torna-se viável.

Figura 34 – Planilha para cálculo de Ag.

Município	Distância 0-1	Distância 1-2	Zero	Distância total	ag 0-1 (g)	ag 1-2 (g)	ag (g)
Quixada	160283,00	137209,97	0	297492,97	0,025	0,050	0,0385
Iguatu	61029,67	258382,35	0	319412,03	0,025	0,050	0,0298
Jucás	31382,38	288018,15	0	319400,53	0,025	0,050	0,0275
Cariús	32648,04	286896,16	0	319544,20	0,025	0,050	0,0276
Uruoca	3189,91	256073,54	0	259263,45	0,025	0,050	0,0253
Itaicaba	295745,67	10584,83	0	306330,49	0,025	0,050	0,0491
Ibicuitinga	202172,83	102396,32	0	304569,14	0,025	0,050	0,0416
São João do Jaguaribe	226747,35	92083,77	0	318831,12	0,025	0,050	0,0428
Umari	70489,54	237941,46	0	308431,00	0,025	0,050	0,0307
Barro	12771,14	292692,11	0	305463,25	0,025	0,050	0,0260
Aurora	27431,01	282219,45	0	309650,45	0,025	0,050	0,0272
Caririaçu	1404,92	311932,00	0	313336,92	0,025	0,050	0,0251
Granjeiro	20264,96	293568,53	0	313833,49	0,025	0,050	0,0266

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Valores de distância e Ag para todos os municípios calculados encontra-se no Anexo A.

4.4.1. Municípios fora da zona 1.

Definidos os valores de Ag para as cidades da zona 1, prosseguiu-se para executar o mesmo procedimento para os municípios situados na zona 2. Para a zona 2 a norma não apresenta a delimitação da zona 3 para o lado nordeste assim impossibilitando esse processo de interpolação, pois não há como determinar o parâmetro distância. Contudo, os municípios inseridos na zona 2 encontram-se muito próximos, ou como o município de Aracati, inserido no limite da zona 2. Muito embora não seja a melhor alternativa para os outros dois municípios, Fortim e Icapuí, a aproximação de Ag para 0,05g para esses municípios é aceitável.

Lembrando também que para os municípios pertencentes a zona 0, Ag é dada como fixa em 0,025g, não necessitando realizar nenhum cálculo para essas cidades. Na figura 23, onde existe a sobreposição da camada que representa o limite entre a zona 0 e a zona 1, com a camada que contém os limites municipais, é possível identifica-las e atribuir o valor correspondente.

4.5. Elaboração do mapa

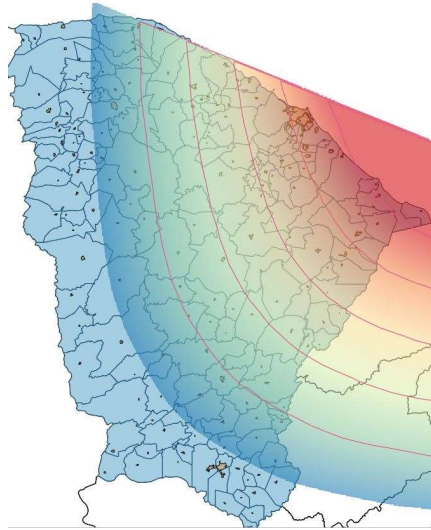
Como forma de melhorar visualização dos dados obtidos, foi elaborado um mapa ao qual representa um micro zoneamento da aceleração sísmica para os municípios do Ceará, onde os mesmos são classificados conforme o valor de A_g anteriormente calculado. Dessa forma, buscou-se realizar uma interpolação com as ferramentas do software, que diferentemente do processo de interpolação anterior, esse processo cria uma camada com faixas de coloração conforme a intensidade dos dados interpolados, diferente da feita para a determinação de A_g para cada ponto.

Para que a interpolação fosse executada era necessário especificar, qual dado das camadas vetoriais estariam sendo interpolados, ou seja, era necessário atribuir a cada ponto que fosse ser utilizado o referente valor de A_g , precisava-se criar um novo atributo e colocado o respectivo valor de A_g de cada um dos pontos, as camadas utilizada para realizar essa etapa, foram as camadas limites, zona 0 – zona 1, zona 1 – zona 2, que respectivamente foi atribuído a cada um dos pontos o valor de A_g correspondente 0,025 e 0,05. Também foi utilizado uma camada vetorial com os municípios da zona 1, agora com um novo atributo A_g , com o valor respectivo calculado.

A ferramenta utilizada foi a “interpolação TIN”, que a realiza por meio de triangulações, figura 35, onde o resultado final era mais aproximado com o que ocorre na interpolação linear, foram inseridos os atributos das camadas anteriormente descritos e não se alterou o fator de influência, permanecendo o padrão.

Logo após a interpolação, o *software* gera uma camada .tiff, ou seja, uma imagem em alta qualidade e nos menus de edição dessa imagem, pode-se alterar o espectro de coloração, intervalo de mudança, entre outros tratamentos. Abaixo segue a camada interpolada onde foi modificado a faixa de mudança de coloração para 0,005g. O espectro de cor varia do azul (0,025g) ao vermelho (0,05g). Também foi utilizado para uma melhor visualização das microzonas o processo de extração de curvas, assim ficando mais nítido a delimitação de cada uma das microzonas.

Figura 35 – Interpolação TIN.



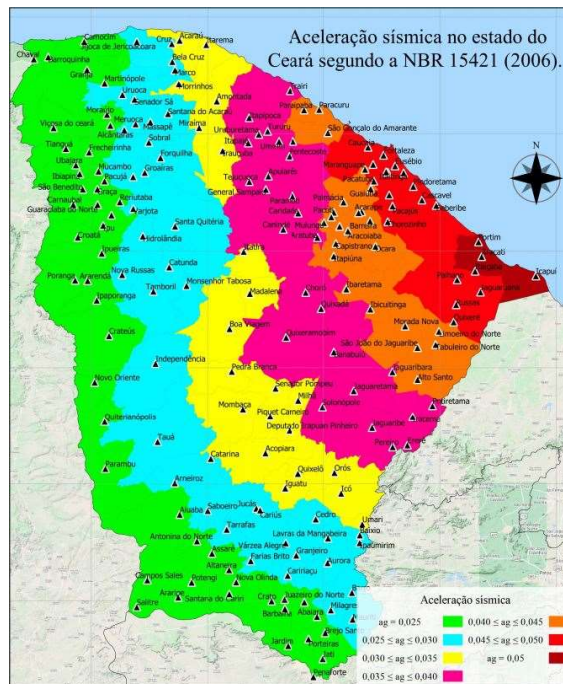
Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse processo foi realizado apenas como forma de validação dos dados obtidos, fazendo sempre uma comparação entre o valor obtido no cálculo e a faixa de valor obtido na interpolação, figura 36. O mapa completo encontra-se no anexo B.

Na elaboração foram realizadas as seguintes considerações:

- O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM, Datum SIRGAS 2000 fuso 24S, isso só foi possível porque diferente dos passos iniciais, onde o trabalho era realizado com feições que representavam o Brasil ou uma parcela do Nordeste, agora estava-se trabalhando apenas com o estado do Ceará e essa transição entre os sistemas de coordenadas o próprio QGIS realiza apenas indicando na geração do mapa.
- A escala utilizada no mapa foi a de 1:2400000.
- A faixa de mudança na coloração é de 0,005g.

Figura 36 – Aceleração sísmica no estado do Ceará conforme a NBR 15421 (2006).



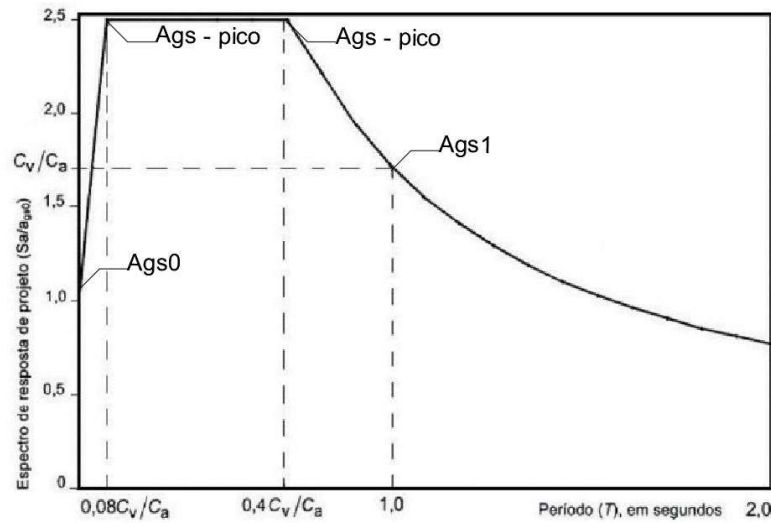
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6. Espectros de resposta.

Um dado muito importante para análises sísmicas em estruturas é o espectro de resposta de projeto, que nada mais é do que uma caracterização da resposta elástica de um sistema. A determinação do espectro de resposta de projeto se dá a partir da aceleração sísmica horizontal característica A_g e da classe do terreno onde a estrutura está localizada.

Para determinação do espectro figura 37, deve-se estabelecer uma série de relações entre A_g e coeficientes de amplificação do solo e em sequência montar o gráfico de aceleração por tempo. Dentre as principais correlações que compõem o gráfico, temos A_{gs0} e A_{gs1} que são as acelerações espectrais para os períodos de 0 e 1 segundo mediante o fator de amplificação do solo, essas correlações são melhor explicadas no capítulo anterior. Além desses termos e não menos importante é a aceleração espectral de pico que ocorre de forma contínua em um determinado espaço de tempo dentro do espectro, como podemos ver a seguir:

Figura 37 – Espectro de resposta de projeto.



Fonte: ABNT NBR 15421:2006.

Com os valores de A_g calculados criou-se então um banco de dados com os principais parâmetros dos espectros de resposta e para todas as classes de terreno, para quando realizado o procedimento de elaboração dos espectros de resposta, também seja possível consultar e conferir os dados obtidos. Podemos ver na figura 38 em exemplo com todos os principais parâmetros, medidos em (m/s^2) . Os valores obtidos para todos os municípios encontram-se no anexo C.

Figura 38 – Acelerações espectrais calculada.

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s^2)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ag0	Ag1	Ag (0,08 - 0,40)	Ag0	Ag1	Ag (0,08 - 0,40)	Ag0	Ag1	Ag (0,12 - 0,56)
Morrinhos	Zona 1	0,0299	0,2933	0,2346	0,2346	0,5866	0,2933	0,2933	0,7333	0,3520	0,4986	0,8799
Mulungu	Zona 1	0,0406	0,3983	0,3186	0,3186	0,7966	0,3983	0,3983	0,9958	0,4780	0,6771	1,1949
Ocara	Zona 1	0,0438	0,4297	0,3438	0,3438	0,8594	0,4297	0,4297	1,0743	0,5156	0,7305	1,2891
Orós	Zona 1	0,0327	0,3208	0,2566	0,2566	0,6416	0,3208	0,3208	0,8020	0,3850	0,5454	0,9624
Pacajús	Zona 1	0,0461	0,4522	0,3618	0,3618	0,9044	0,4522	0,4522	1,1305	0,5426	0,7687	1,3566
Pacatuba	Zona 1	0,0453	0,4444	0,3555	0,3555	0,8888	0,4444	0,4444	1,1110	0,5333	0,7555	1,3332
Pacoti	Zona 1	0,0415	0,4071	0,3257	0,3257	0,8142	0,4071	0,4071	1,0178	0,4885	0,6921	1,2213
Palhano	Zona 1	0,0478	0,4689	0,3751	0,3751	0,9378	0,4689	0,4689	1,1723	0,5627	0,7971	1,4067
Palmácia	Zona 1	0,0425	0,4169	0,3335	0,3335	0,8338	0,4169	0,4169	1,0423	0,5003	0,7087	1,2507
Paracuru	Zona 1	0,0416	0,4081	0,3265	0,3265	0,8162	0,4081	0,4081	1,0203	0,4897	0,6938	1,2243
Paraipaba	Zona 1	0,0404	0,3963	0,3170	0,3170	0,7926	0,3963	0,3963	0,9908	0,4756	0,6737	1,1889
Paramoti	Zona 1	0,0387	0,3796	0,3037	0,3037	0,7592	0,3796	0,3796	0,9490	0,4555	0,6453	1,1388
Pedra Branca	Zona 1	0,0311	0,3051	0,2441	0,2441	0,6102	0,3051	0,3051	0,7628	0,3661	0,5187	0,9153

Fonte: Elaborado pelo autor.

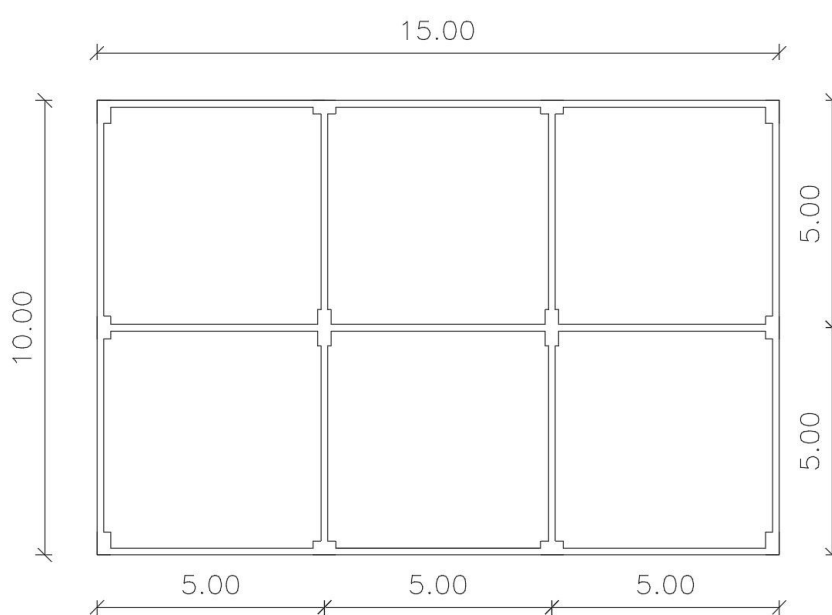
5. RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1. Aplicação da Norma

A fins didáticos realizou-se um exemplo com um prédio hipotético representado em planta pela figura 39, com as seguintes características: A edificação está localizada na cidade de Aracati no estado do Ceará, a qual funciona uma escola de ensino fundamental e médio.

O prédio em concreto armado, composto por pilares, vigas e lajes como sistema estrutural, é composto por 5 pavimentos iguais. O sistema estrutural sismo-resistente se configura como de pórticos em concreto armado com detalhamento usual. Nas investigações geotécnicas foi constatado um N_{spt} igual a 30. A edificação possui dimensões de 15 m x 10 m.

Figura 39 – Planta baixa do edifício.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1. Definições iniciais

5.1.1.1. Definição da Ag

Utilizando os valores do Anexo C, a cidade fica localizada no limite entre a zona 1 e zona 2, possuindo $A_g = 0,05g$ e conseqüentemente pode ser atribuída a categoria sísmica A ou B. Dessa forma será analisado primeiramente como estrutura pertencente a categoria A e na seqüência analisada como categoria B, pelo método das forças horizontais equivalentes.

5.1.1.2. *Peso da estrutura*

Esse parâmetro é necessário para realizar as duas análises e a seguir é mostrado 4 tabelas com as características geométricas e o peso resultante dos componentes da edificação, lajes, vigas, pilares e alvenarias em um pavimento. Conforme especificado no início do exemplo os 5 pavimentos são iguais e assim logo após os cálculos por pavimento será calculado o peso da estrutura completa.

Tabela 10 – Cálculo do peso das lajes

Peso Lajes			
	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	Espessura (m)
Dimensões	4,78	4,78	0,14
Volume (m ³)	3,1987		
Quantidade	6,00		
Volume Total (m ³)	19,1922		
ρ concreto (kgf/m ³)	2500,00		
Peso total (kgf)	47980,50		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Cálculo do peso das vigas.

Peso vigas			
	Base (m)	Altura (m)	Comprimento (m)
Dimensões	0,15	0,50	5,00
Volume (m ³)	0,375		
Quantidade	17,00		
Volume Total (m ³)	6,375		
ρ concreto (kgf/m ³)	2500,00		
Peso total (kgf)	15937,50		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 – Cálculo do peso dos pilares.

Peso Pilares				
	Lado 1 (m)	Lado 2 (m)	Comprimento (m)	Quantidade
Dimensões P2	0,30	0,50	3,00	10,00
Dimensões P1	0,30	0,80	3,00	2,00
V Total (m ³)	5,94			
ρ concreto (kgf/m ³)	2500,00			
Peso total (kgf)	14850			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 – Cálculo do peso do peso das alvenarias.

Peso Alvenaria		
	Espessura (m)	Altura (m)
Dimensões	0,15	2,5
	Comprimento	Quantidade
Alv T1 (m)	15,00	3,00
Alv T2 (m)	10,00	4,00
Alv total (m)	85,00	
ρ Alv (kgf/m ²)	0,09	1300,00
ρ Arg (kgf/m ²)	0,06	2200,00
P Alv + Arg (kgf/m ²)	249,00	
Peso Total (kgf)	52912,5	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 – Cálculo do peso

Peso por Pavimento (kgf)	131680,5
Peso Total (kgf)	658402,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2. Requisitos de análise para a categoria sísmica A

As estruturas pertencentes a categoria sísmica A e da zona 1, visto que para as da zona 0 não é exigido nenhum tipo de análise, devem apresentar sistemas estruturais resistentes a forças sísmicas horizontais em duas direções ortogonais, inclusive com um mecanismo de resistência a esforços de torção.

A NBR 15421:2006 estabelece que essas estruturas devem atender a análise simplificada da força equivalente, que consiste na aplicação de forças horizontais simultâneas em todos os pisos com valor correspondente ao seguinte valor:

$$F_x = 0,01 \times w$$

$$F_x = 0,01 \times 131680,5$$

$$F_x = 1,3168 \text{ tf}$$

W_x é o peso total da estrutura correspondente ao piso x , incluindo o peso de equipamentos e reservatório, caso tenha.

Para esse caso em específico, como todos os pavimentos são iguais, será aplicado a mesma força em todos os pavimentos.

5.1.3. *Análise pelo método das forças equivalentes*

5.1.3.1. *Definição da classe do terreno*

Conforme dito anteriormente o terreno possui um N_{spt} igual a 30, para este valor a tabela 3.2 atribui a classe D, solo rígido, com velocidade de propagação de onda sísmica entre 370 m/s e 180 m/s.

5.1.3.2. *Definição do espectro de resposta*

O método utilizado não requer a definição do espectro de resposta, apenas alguns parâmetros que estão inseridos nele, mas será feita sua determinação apenas a para fins didáticos.

Com a definição da classe do terreno no passo anterior, consultamos a tabela 3.3 para definir os valores dos fatores de amplificação do solo C_a e C_v . Para a classe de terreno D e $A_g = 0,05g$, tem que $C_a = 1,6$ e $C_v = 2,4$.

A partir disso podemos definir dois importantes fatores, A_{gs0} e A_{gs1} , que são respectivamente as acelerações para o período de 0 s e 1 s

São definidos respectivamente pelas equações 3.1 e 3.2:

$$A_{gs0} = A_g \times C_a = 0,05g \times 1,6 = 0,08g = 0,7848 \text{ m/s}^2$$

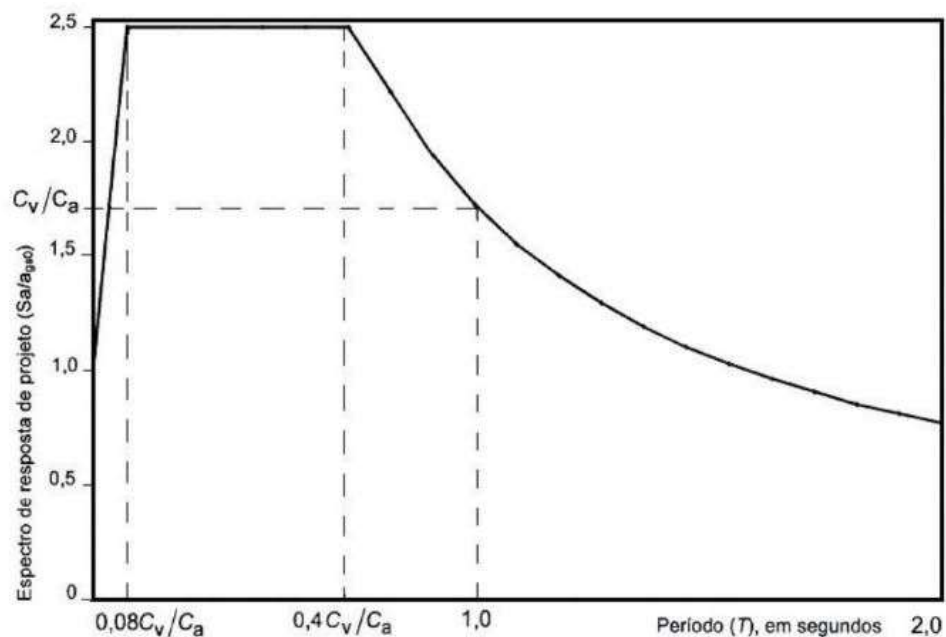
$$A_{gs1} = A_g \times C_v = 0,05g \times 2,4 = 0,12g = 1,1772 \text{ m/s}^2$$

O espectro de resposta é constituído em três faixas de período

A primeira de $T = 0 \text{ s}$ a de $T = \frac{C_v}{C_a} \times 0,08$ onde que corresponde a parte crescente do espectro e é definido pela equação 3.3. A segunda e constante corresponde ao intervalo de $T = \frac{C_v}{C_a} \times 0,08$ a $T = \frac{C_v}{C_a} \times 0,4$ definida pela equação 3.4. A última parte de decrescente é para T maior ou igual a $\frac{C_v}{C_a} \times 0,4$, obtido pela equação 3.5.

Os valores de A_{gs0} , A_{gs1} , os intervalos de período ditos no parágrafo anterior são disponibilizados no Anexo C. Assim possibilitando a modelagem mais rápida do espectro.

Figura 40 – Espectro de resposta



Fonte: ABNT NBR 15421:2006.

5.1.3.3. *Categorização da estrutura*

5.1.3.3.1. *Categoria de utilização e fator de importância.*

Por se tratar de uma edificação de uso escolar, a tabela 3.4 atribui a Categoria de utilização II e fator de importância 1,25.

5.1.3.3.2. *Coefficientes do Sistemas Estrutural Sismo-Resistente.*

Foi especificado que o sistema estrutural sismo-resistente se configura como de pórticos em concreto armado com detalhamento usual e para isso a tabela 6 da NBR 15421:2006 atribui os seguintes parâmetros.

Coefficiente de Modificação de Resposta (R) = 3

Coefficiente de sobre-resistência (Ω) = 3

Coefficiente de Amplificação de Deslocamento (C_d) = 2,5

5.1.3.4. Limitação para Deslocamentos Relativos entre Pavimentos

O deslocamento máximo permitido é determinado de acordo com a categoria de utilização anteriormente determinada, a Tabela 9 da NBR 15421:2006 determinar que para a categoria de utilização II o deslocamento máximo é:

Onde H_{sx} é a distância entre os pavimentos avaliados.

$$\Delta_x = 0,015 \times H_{sx}$$

$$\Delta_x = 0,015 \times 3$$

$$\Delta_x = 0,045 \text{ m}$$

5.1.3.5. Coeficientes de Resposta Sísmica

O coeficiente de resposta sísmica pode ser obtido através da equação 3.8

$$C_s = \frac{2,5 \times \frac{a_{gs0}}{g}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

Tabela 15 – Cálculo do coeficiente de resposta sísmica

Classe	D
A_{gs0}	0,7848
R	3,0000
I	1,2500
C_s	0,0833

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3.6. Coeficientes de Resposta Sísmica máximo

A NBR 15421:2006 define no item 9.1 que o Coeficiente de resposta sísmica não necessita que o valor obtido pela expressão a seguir:

$$C_{s\ max} = \frac{\frac{ags1}{g}}{T\left(\frac{R}{T}\right)}$$

Onde T é o período natural da estrutura que a NBR 15421:2006 permite que seja obtido através do período natural aproximado da estrutura T_a , conforme a seguinte expressão:

$$T_a = C_t \times H_n^x$$

Onde H_n é a altura em metros da estrutura acima da base.

Onde C_t e x são determinados com base no Tabela 3.6

No exemplo a classificação que melhor se adequa é que estabelece que as forças sísmicas são 100% resistidas por pórticos de concreto, não sendo estes ligados a sistemas mais rígidos que impeçam sua livre deformação quando submetido à ação sísmica, dessa forma:

$$C_t = 0,0466 \text{ e } x = 0,9$$

Sendo H_n igual a 15 metros

$$T_a = 0,0466 \times 15^{0,9} = 0,5331$$

Conforme prescrito na Tabela 3.7 para uma edificação situada na Zona 2 o coeficiente de limitação do período não deve ser superior a 1,7.

Tabela 16 – Cálculo do coeficiente de resposta sísmica limite

Classe	D
Ags1	1,1772
R	3,0000
I	1,2500
Ta	0,5332
Cs max	0,0938

Fonte: Elaborado pelo autor.

E nessa seção também é determinado o valor mínimo para Cs de 0,01.

Como $C_s < C_s \text{ max}$, o valor utilizado é o de Cs.

5.1.3.7. Força equivalente.

$$H = C_s \times W$$

$$H = 0,0833 \times 658402,5$$

$$H = 54,844 \text{ tf}$$

5.1.3.8. Distribuição das forças sísmicas.

A distribuição das forças é dada pela seguinte relação:

$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i^k}$$

Conforme especificado no item 3.6.2.2 o parâmetro k para estruturas com período entre 0,5 e 2,5 é conforme equação a seguir:

$$k = \frac{T+1,5}{2}$$

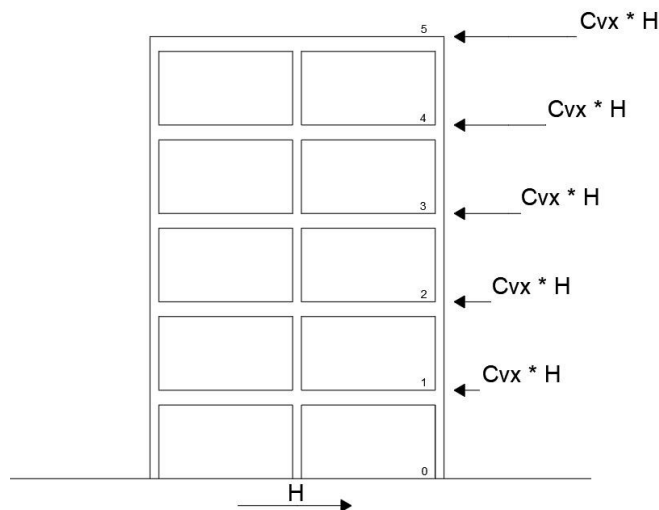
A última coluna da tabela a seguir calcula o valor da força aplicada ao correspondente pavimento. A figura 41 representa como ocorre a distribuição vertical dessas forças.

Tabela 17 – Distribuição das Forças horizontais sísmicas pelo método das forças equivalentes.

Pav	Pé-direito (m)	A. Acum.	w_i (tf)	k	$w_i \cdot h_i^k$	$\Sigma w_i \cdot h_i^k$	Classe	D
5	3	15	131,68	1,02	10329,75	22633,84	0,46	25,0404
4	3	12	131,68	1,02	6586,62	22633,84	0,29	15,9667
3	3	9	131,68	1,02	3687,34	22633,84	0,16	8,9385
2	3	6	131,68	1,02	1627,83	22633,84	0,07	3,9460
1	3	3	131,68	1,02	402,31	22633,84	0,02	0,9752
			Σ 658,40				Σ	54,8669

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Distribuição das Forças horizontais sísmicas pelo método das forças equivalentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. Análise sobre o mapa de perigo sísmico da NBR 15421:2006.

Evidentemente surgem vários questionamentos acerca da magnitude das possíveis forças as quais são estimadas e se elas representam uma real ameaça à segurança. Principalmente pelo trabalho ser direcionado ao estado do Ceará, que possui uma porção situada na zona 0, a maior porção do estado dentro da zona 1, é estimado em norma uma aceleração

característica de no máximo 0,05g ou 0,49 m/s², sendo indicado para uma análise bastante simples, o procedimento simplificado da força horizontal sísmica.

Apesar da classificação indicada e os procedimentos de análise, o estado do Ceará apresenta uma frequência de eventos que nos chama a atenção para uma análise mais profunda sobre as atividades sísmicas. O estado acumula o maior número de sismos segundo o BSB (Boletim Sísmico Brasileiro) de 2014, somando um total de 332 eventos dos 1941 catalogados, que incluem registros histórico e os registros da rede sismográfica brasileira. A magnitude mínima dos sismos registrados é de 2 graus na escala ml, que é mais utilizado no Brasil.

É válido ressaltar a jovialidade da rede, a qual teve seu início por meados de 1970, onde até então o BSB acumulava apenas 135 eventos, o crescimento no número de registro era consequência, mas o que chama a atenção é a quantidade de registros em zonas classificadas como de baixa sismicidade, nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso, sendo os três últimos completamente inseridos na zona 0.

Tabela 18 – Distribuição de sismos por estado.

Estado	Nº Sismos	%	% acumulado
Ceará	332	17,10	17,10
Minas Gerais	302	15,56	32,66
Rio Grande do Norte	285	14,68	47,35
São Paulo	229	11,80	59,14
Mato Grosso	131	6,75	65,89
Pernambuco	125	6,44	72,33

Fonte: Adaptado, BSB (2014).

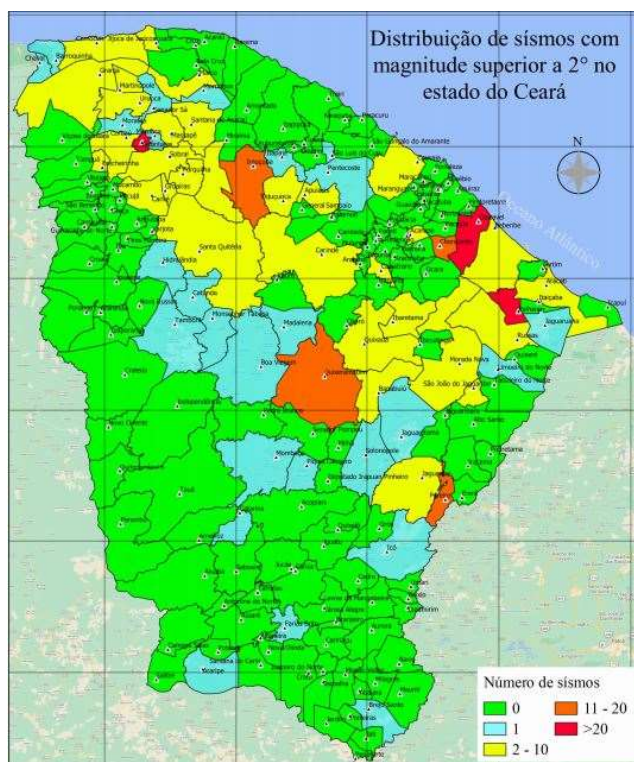
A maioria dos sismos que ocorrem nessas regiões não apresentam magnitude ou intensidade considerada relevante. Para muitos pesquisadores, sismos com magnitude acima de 5 na escala Richter são considerados como passíveis de causar danos relevantes. A tabela 2.2, contém listado alguns sismos que atingiram magnitude acima de 5.

Sabe-se quanto a relação de imprevisibilidade de um sismo, muito embora dentre os 5 estados com as maiores quantidades de registros de sismos, com exceção de Minas Gerais os outros 4 tiveram registros de grandes sismos. Sobretudo podemos observar que muitos desses sismos ocorreram em zonas classificadas como zona 0 e zona 1.

Analisando a literatura e tomando como exemplo os sismos ocorridos em Pacajus – CE em 1980 com magnitude de 5,2 mb e o de João Câmara – RN em 1986 de 5,1 mb para ambos é atribuída a intensidade VII na escala Mercalli modificada, até então nenhum outro evento atingiu essa intensidade no Brasil, por conta principalmente da proximidade com áreas habitadas. Esse valor de intensidade na classificação Mercalli Modificada corresponde a regiões sujeitas a acelerações sísmicas na faixa de 0,15g, onde podem resultar em danos a construções bem concebidas com colapso parcial podendo estender-se até a queda de monumentos, torres e caixas d'água. (Nóbrega e Nóbrega, 2016)

Prosseguindo com a análise do Ceará, podemos também realizar um estudo da distribuição dos sismos para observar o comportamento dentro de uma zona específica como a zona 1. Utilizando os dados presentes no BSB até o ano de 2013 e para os demais anos utilizando dados dos portais de monitoramento da USP e da UNB para complementar os dados até o fim de 2020, foi elaborado um mapa para visualizar melhor a distribuição dos sismos dentro do estado, representado na figura 42. O mapa completo está no Anexo D.

Figura 42 – Distribuição de sismos no estado do Ceará com magnitude superior a 2 mb.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que a distribuição dos sismos foi a partir das coordenadas geográficas disponibilizadas pelo BSB e não pelo registro atribuído, assim alguns sismos registrados podem acabar sendo contabilizados no mapa acima, em um município diferente ao atribuído no registro, isso acontece principalmente por conta de emancipações de municípios ou também podem ocorrer casos onde os efeitos gerados pelo sismo afloraram em uma região urbana mais próxima, pertencente a outro município.

Percebe-se que há uma maior concentração de eventos no Sertão de Sobral, e uma faixa que cruza parcialmente o Vale do Curu, Sertão do Canindé, Maciço de Baturité, Sertão Central, a Grande Fortaleza, o Vale do Jaguaribe e Litoral Leste. Chamando atenção especialmente para uma porção do litoral norte e do Sertão de Sobral que estão dentro da zona 0, mas apresentam uma parcela significativa dos registros e em muitas cidades diferentes.

Avaliando as microrregiões mais afetadas, não se pode deixar de citar possíveis fatores que possam ter contribuído, no período de gênese de toda essa região. Dentre esses principais fatores temos o lineamento Sobral - Pedro II, e o lineamento Jaguaribe, que estão inseridos respectivamente na microrregião de Sobral e na faixa do Baixo Jaguaribe.

O lineamento Sobral – Pedro II localizado na região noroeste do estado, possui cerca de 155 km de extensão, ao qual tem o sentido de movimento atribuído como provavelmente lateral. O lineamento faz parte da porção nordeste do lineamento Transbrasiliano, o qual possui uma extensão de 3500 km, ao qual se estende da região central do Brasil até o continente africano (Carvalho, 2003).

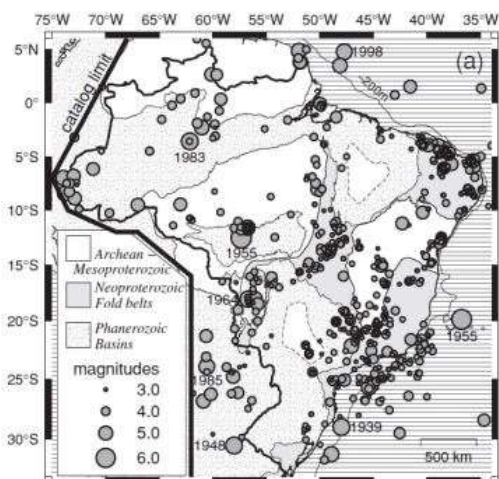
O lineamento Jaguaribe, situado na região nordeste do estado do Ceará, distribui-se ao longo da bacia do Baixo Jaguaribe até o encontro com falha de Farias Brito. É considerada com uma zona de cisalhamento a qual teve sua provável origem durante a parte inicial da era Proterozoica (Saadi, 2002).

Tratando sobre a distribuição de sismos, mas agora a escala de Brasil, Assumpção (2014), elaborou um mapa com a distribuição das atividades sísmicas com magnitude superior a 3 na escala m_b , figura 43, permitindo visualizar melhor os dados do boletim sísmico. Percebe-se a elevada concentração de registros no Ceará e Rio Grande do Norte, com visualização dificultada devido sobreposição de símbolos, e em outras regiões do território brasileiro uma quantidade considerável de eventos.

É fundamental entender também que apenas a distribuição dessas atividades não consolida uma análise forte sobre o mapeamento das acelerações sísmicas, uma vez que quase que a maior parte desses eventos se quer foram sentidos pelas pessoas, apenas foram registrados. O que acaba não configurando um risco imediato ou que vá acontecer algo, por isso é compreensível que não exista uma atenção elevada a essas questões.

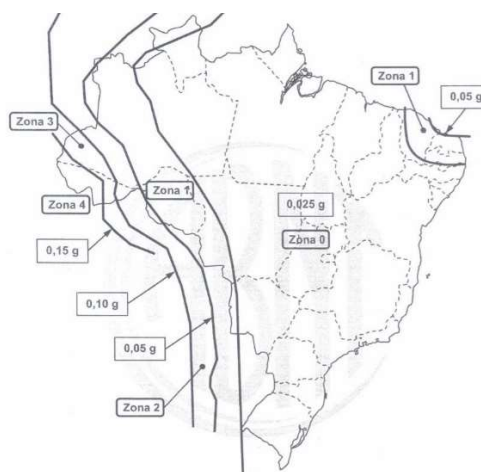
Ao comparar a quantidade de sismos ocorridos em algumas as quais são atribuídas como zona 0 conforme a figura 44, em especial podemos citar a região de Mato Grosso, devido ao evento ocorrido em 1959 e uma série de outros eventos de magnitude relevante, fica a indagação se realmente alguns desses locais necessitariam de mais estudos e análises para saber o potencial risco ao qual aquela região poderia estar suscetível.

Figura 43 – Distribuição de sismos no Brasil



Fonte: Adaptado de Assumpção, 2014.

Figura 44 – Mapeamento da aceleração sísmica horizontal característica para terrenos classe B



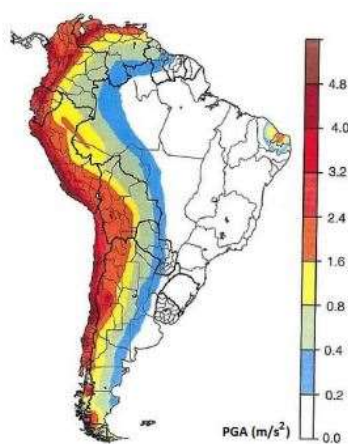
Fonte: ABNT NBR 15421:2006.

A esse ponto da análise sobre o mapa de perigo sísmico é necessário buscar compreender melhor como se deu a origem e os critérios utilizados na elaboração do mapa de perigo sísmico da NBR 15421:2006. Nóbrega (2019), indica que o mapa é substancialmente, um mapa de perigo sísmico, elaborado a partir dos resultados do programa GSHAP, o qual está

representado na figura 10, e que perante a falta de uma referência genuinamente nacional quando o normativo foi elaborado, tomou-se este documento como base.

Nóbrega realiza uma análise entre os mapeamentos base para a norma (figura 45), o mapa proposto na primeira versão da norma (figura 46), antes da publicação, comparando-os com o mapa final, em vigor até então. É evidente que os dois mapeamentos anteriores apresentam valores mais conservadores aos utilizados pelo normativo e que os valores de aceleração para Ceará e Rio Grande do Norte e a Zona 0 foram minorados.

Figura 45 – Mapa perigo da América do Sul



Fonte: SHEDLOCK; TANNER, 1999.
Disponível em Nóbrega, 2019.

Figura 46 – Proposta inicial do mapa para o Brasil



Fonte: SANTOS; LIMA, 2005. Disponível em Nóbrega, 2019.

Ainda assim, todos os trabalhos anteriormente expostos partem de prerrogativas semelhantes, as quais guiam o formato das curvas que indicam a aceleração sísmica o que mais uma vez vai em divergência com a distribuição das atividades sísmicas e todos tratam grande parcela do Brasil como se fosse prevista a mesma magnitude de ações e critérios de avaliação.

Indicando possivelmente que fatores locais das regiões não foram bem avaliados ou o potencial atribuído aos fatores locais não apresentavam significância, uma vez que a base para o mapa da norma parte de um estudo global, realizado por diferentes entidades internacionais. E somado ao baixo monitoramento, a falta de registros e até o estigma de ser uma região estável da placa sul-americana podem ter contribuído de forma negativa para uma avaliação menos precisa.

6. CONCLUSÃO

A atividade sísmica no Brasil não deve ser negligenciada, apesar de relativamente baixa, existem regiões que apresentam uma frequência considerável de eventos, devendo assim ser prevista em projeto, a NBR15421:2006 é o instrumento regulador quanto a necessidade de análise e quantificação das ações sísmicas.

É fundamental o conhecimento dos profissionais de engenharia sobre as possíveis solicitações geradas pelos mecanismos sísmicos e este trabalho serve como veículo de informação, sobre os aspectos normativos além de fomentar discussões sobre fatores ligados aos mapas de perigo sísmico, aplicando mesmo que em menor escala conhecimento de geoprocessamento para analisar questões importantes como a distribuição sísmica e as determinações da norma.

Assumpção (2014), mostrou uma distribuição sísmica em locais aos quais a norma não previa nenhum tipo de avaliação. Fazendo essa análise em menor escala, apenas no estado do Ceará foi possível perceber que embora a norma preveja necessidade de análise para a maior parte do estado, existem regiões que necessitam serem melhor avaliadas, a região de Sobral e do Litoral Norte cearense possui uma faixa de municípios que são classificados como zona 0, não havendo necessidade de análise, mesmo a região apresentando semelhante distribuição sísmica com a região nordeste do estado que está bem mais próxima a zona 2, a qual são indicados por normas métodos mais complexos de análise.

O trabalho também busca servir de suporte aos projetistas fornecendo um passo a passo para determinação da Aceleração sísmica característica de forma que o mesmo seja de fácil aplicação e que sirva para aplicação mesmo que em mapas diferentes. A partir dessas premissas também é feito um exemplo numérico para a cidade de Aracati.

Não se pode prever um terremoto, porém pode-se estimar locais que são mais suscetíveis a enfrentarem essa adversidade, na posse de conhecimentos e meios para antever possíveis consequências é dever dos profissionais de engenharia resguardar a sociedade desse perigo. Muito se discute sobre os projetos estruturais convencionais serem suficientes para suportar as ações sísmicas, porém devido ao conjunto de fatores que influenciam diretamente nas ações sísmicas como o tipo de solo, método de concepção estrutural, zona sísmica,

combinação de cargas, os profissionais de engenharia não podem agir de forma imprudente em não avaliar os impactos de um terremoto em regiões suscetíveis.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se estender este trabalho, realizando a determinação da Aceleração Sísmica para os demais municípios nos estados que possuem seu território situados entre as zonas 1 e 3, como também uma análise da distribuição de sismos nessas regiões. Pode-se ainda a partir da determinação da Aceleração Sísmica, simular os efeitos dessas ações em edificações que correspondam a realidade predial de cada região, partindo de mais simples a mais complexas, além de avaliar as consequências em edificações más concebidas. É oportuno também avaliar possíveis ações em edificações históricas, visando o resguardo e possíveis intervenções para sua preservação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15241**: projeto de estruturas resistentes sismos: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSUMPÇÃO, M. et al. **Intraplate seismicity in Brazil**. In: P. Talwani. (Org.). *Intraplate earthquakes*. 1ed. Cambridge. Cambridge University Press, 2014, v. 1, p. 50-71.

ASSUMPÇÃO, Marcelo et al. **Terremotos no Brasil: Preparando-se para eventos raros**. Boletim SBGf, n. 96, p. 25-29, 2016. Disponível em: <Boletim 96-2016.indd (sbgf.org.br)>.

CARVALHO, M. J. de. **Estruturação do grupo Serra Grande n região de Santana do Acaraú (CE) e a reativavção do lineamento Sobral-Pedro II: Integração com dados geofísicos**. Dissertação de Mestrado. – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003

BRANDÃO, F. Da S. **Análise do comportamento sísmico de uma construção histórica do patrimônio sobralense**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2017.

DANTAS, R. O de O. **Subsídios para o projeto de estruturas sismo resistentes**. 2013. 201 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

DIAS, J. A. **Geologia Ambiental, Sismos**. Disponível em: <<http://w3.ualg.pt/~jldias/GEOLAMB/>>. Acessado em 09/01/2020.

FERREIRA, J.M. & ASSUMPÇÃO, M. **Sismicidade no Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Geofísica, v.1, p.67-88. 1983.

FERREIRA, J.M.; OLIVEIRA, R.T.; TAKEYA, M.K.; Assumpção, M. **Superposition of local and regional stresses in northeast Brazil: evidence from focal mechanisms around the Potiguar marginal basin**. *Geophysics Journal International*, v.134, p.341-355. 1998.

FERREIRA, C. **Implementação e Aplicação de Transdutores Piezoeléctricos na Determinação de Velocidades de Ondas Sísmicas em Provetes. Avaliação da Qualidade da Amostragem em Solos Residuais**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003.

GIARDINI, Domenico. **The global seismic hazard assessment program (GSHAP) – 1992/1999**. *Annali di Geofísica*, v. 42, n. 6, p.957-974. 1999. Disponível em: <https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/3784/3848>

JOHNSTON, A. C. & SCHWEIG, E. S. **The Enigma of the New Madrid Earthquakes of 1811-1812**. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Volume 24, pp. 339-384, 1996.

JÚNIOR, H. J da S. **Avaliação da estabilidade global de edifícios altos no município de Caruaru com consideração da ação do vento e de sismo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal do Pernambuco, Caruaru, 2017.

NÓBREGA, P. G. B. da [et al.]. Sobre os mapas de perigo sísmico para o projeto de estruturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 61., 2019, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: IBRACON, 2019. Disponível: <<http://www.researchgate.net/publication/336672092>>. Acesso em: (28/02/2020).

NÓBREGA, Petrus Gorgônio Bulhões da; NÓBREGA, Selma Hissae Shimura da. **Perigo sísmico no Brasil e a responsabilidade da engenharia de estruturas**. HOLOS, v. 4, n. 32, p.162-175, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4703>.

OLIVEIRA, Paulo Henrique Sousa de. **Sismicidade e esforços tectônicos na zona sísmica Acaraú, Nordeste do Brasil**. 2015. 135f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

PEÑA, L. A. P. **Análise dos efeitos provocados por abalos sísmicos em estruturas irregulares**. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília, 2012.

RSBR, Rede Simografica Brasileira. <<http://www.rsbr.gov.br/>>.

SAADI, A.; MACHETTE, M. N.; HALLER, K. M.; DART, R. L.; BRADLEY, L. A.; SOUZA, A. M. P. D de. **Map and Database of Quaternary Faults and Lineaments in Brazil**. Denver/Colorado: U.S. Geological Survey, 2002.

SANTOS S. H. C.; LIMA S. S. **Estimativa do Impacto no Projeto de Edificações da Proposta de Norma Brasileira de Sismos** - Revista IBRACON, n48. 2006.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

ANEXOS.

Anexo A: Cálculo da Aceleração sísmica para os municípios situados na Zona 1.

Anexo B: Mapeamento da Aceleração sísmica no estado do Ceará segundo a NBR 15421:2006. Para terrenos classe B.

Anexo C: Principais parâmetros do Espectro de Resposta dos municípios cearenses.

Anexo D: Distribuição de sismos com magnitude superior a 2 ml no estado do Ceará.

Anexo A

Município	Distância 0-1	Distância 1-2	Zero	Distância total	ag 0-1 (g)	ag 1-2 (g)	ag (g)
Acarape	203515,03	69095,91	0	272610,95	0,025	0,050	0,0437
Acaraú	51190,65	220114,85	0	271305,50	0,025	0,050	0,0297
Acopiara	68542,47	249386,45	0	317928,93	0,025	0,050	0,0304
Alcântaras	3461,55	252134,62	0	255596,18	0,025	0,050	0,0253
Alto Santo	202886,33	111779,80	0	314666,12	0,025	0,050	0,0411
Amontada	83948,54	175110,46	0	259059,00	0,025	0,050	0,0331
Apuiarés	125456,33	133004,27	0	258460,60	0,025	0,050	0,0371
Aquiraz	242070,77	24046,93	0	266117,70	0,025	0,050	0,0477
Aracoiaba	190340,87	85801,21	0	276142,08	0,025	0,050	0,0422
Aratuba	163678,11	112242,29	0	275920,40	0,025	0,050	0,0398
Aurora	27431,01	282219,45	0	309650,45	0,025	0,050	0,0272
Baixio	61029,50	246896,94	0	307926,44	0,025	0,050	0,0300
Banabuiú	162677,74	149316,73	0	311994,47	0,025	0,050	0,0380
Barreira	210002,79	64984,90	0	274987,69	0,025	0,050	0,0441
Barro	12771,14	292692,11	0	305463,25	0,025	0,050	0,0260
Baturité	183537,54	91022,20	0	274559,74	0,025	0,050	0,0417
Beberibe	267858,53	8384,01	0	276242,54	0,025	0,050	0,0492
Bela Cruz	45694,82	220065,45	0	265760,27	0,025	0,050	0,0293
Boa Viagem	79535,92	215125,52	0	294661,43	0,025	0,050	0,0317
Canindé	134558,86	138248,50	0	272807,36	0,025	0,050	0,0373
Capistrano	179037,20	99768,26	0	278805,46	0,025	0,050	0,0411
Caridade	149076,43	120743,49	0	269819,92	0,025	0,050	0,0388
Cariré	9408,68	247046,75	0	256455,43	0,025	0,050	0,0259
Caririaçu	1404,92	311932,00	0	313336,92	0,025	0,050	0,0251
Cariús	32648,04	286896,16	0	319544,20	0,025	0,050	0,0276
Cascavel	255991,94	16955,26	0	272947,20	0,025	0,050	0,0484
Catarina	26451,17	289246,79	0	315697,95	0,025	0,050	0,0271
Catunda	34074,35	241173,38	0	275247,73	0,025	0,050	0,0281
Caucaia	212593,93	43364,25	0	255958,18	0,025	0,050	0,0458
Cedro	55418,61	259184,72	0	314603,33	0,025	0,050	0,0294
Choró	148972,98	142320,46	0	291293,44	0,025	0,050	0,0378

Anexo A

Município	Distância 0-1	Distância 1-2	Zero	Distância total	ag 0-1 (g)	ag 1-2 (g)	ag (g)
Chorozinho	225144,88	51610,77	0	276755,65	0,025	0,050	0,0453
Cruz	44616,63	225346,48	0	269963,10	0,025	0,050	0,0291
Deputado Irapuan Pinheiro	96745,79	220942,08	0	317687,87	0,025	0,050	0,0326
Ererê	147836,15	160209,62	0	308045,78	0,025	0,050	0,0370
Eusébio	234625,35	28865,42	0	263490,77	0,025	0,050	0,0473
Forquilha	33537,51	221817,25	0	255354,76	0,025	0,050	0,0283
Fortaleza	225676,58	33293,03	0	258969,61	0,025	0,050	0,0468
General Sampaio	122415,02	138509,84	0	260924,86	0,025	0,050	0,0367
Granjeiro	20264,96	293568,53	0	313833,49	0,025	0,050	0,0266
Groaíras	19492,91	236681,23	0	256174,15	0,025	0,050	0,0269
Guaiúba	212847,22	55420,28	0	268267,49	0,025	0,050	0,0448
Guaramiranga	177148,89	95243,58	0	272392,48	0,025	0,050	0,0413
Hidrolândia	13918,81	251432,54	0	265351,36	0,025	0,050	0,0263
Horizonte	228256,57	42070,44	0	270327,01	0,025	0,050	0,0461
Ibaretama	183995,59	110147,15	0	294142,75	0,025	0,050	0,0406
Ibicuitinga	202172,83	102396,32	0	304569,14	0,025	0,050	0,0416
Icó	85507,41	228165,07	0	313672,47	0,025	0,050	0,0318
Iguatu	61029,67	258382,35	0	319412,03	0,025	0,050	0,0298
Independência	11819,10	285239,92	0	297059,02	0,025	0,050	0,0260
Ipaumirim	54785,83	252605,77	0	307391,59	0,025	0,050	0,0295
Iracema	172291,47	138101,33	0	310392,80	0,025	0,050	0,0389
Iraúçuba	87091,36	168144,26	0	255235,61	0,025	0,050	0,0335
Itaicaba	295745,67	10584,83	0	306330,49	0,025	0,050	0,0491
Itaitinga	226339,81	38999,06	0	265338,87	0,025	0,050	0,0463
Itapajé	109359,09	145755,34	0	255114,44	0,025	0,050	0,0357
Itapipoca	111047,39	145645,28	0	256692,67	0,025	0,050	0,0358
Itapiúna	176252,69	106407,26	0	282659,96	0,025	0,050	0,0406
Itarema	74247,18	197514,27	0	271761,45	0,025	0,050	0,0318
Itatira	99014,70	176496,21	0	275510,91	0,025	0,050	0,0340
Jaguaretama	161884,78	156834,34	0	318719,12	0,025	0,050	0,0377
Jaguaribara	197064,07	121994,10	0	319058,17	0,025	0,050	0,0404

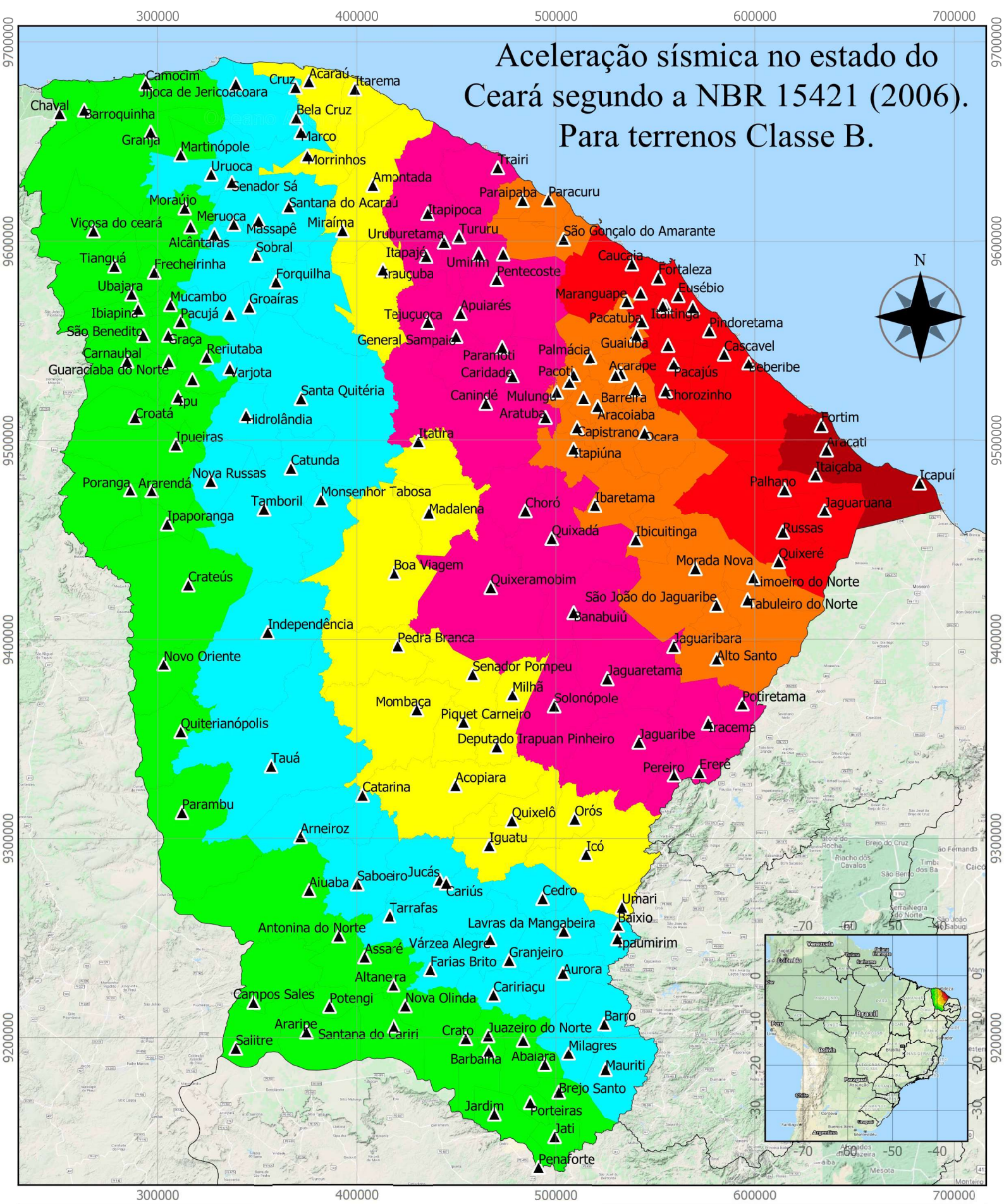
Anexo A

Município	Distância 0-1	Distância 1-2	Zero	Distância total	ag 0-1 (g)	ag 1-2 (g)	ag (g)
Jaguaribe	147658,24	168844,37	0	316502,61	0,025	0,050	0,0367
Jaguaruana	292894,08	20303,84	0	313197,92	0,025	0,050	0,0484
Jijoca de Jericoacoara	14537,57	254273,43	0	268811,00	0,025	0,050	0,0264
Jucás	31382,38	288018,15	0	319400,53	0,025	0,050	0,0275
Lavras da Mangabeira	46308,37	264949,82	0	311258,18	0,025	0,050	0,0287
Limoeiro do Norte	247954,88	69238,75	0	317193,63	0,025	0,050	0,0445
Madalena	100718,21	185617,31	0	286335,52	0,025	0,050	0,0338
Maracanaú	216506,67	44666,87	0	261173,54	0,025	0,050	0,0457
Maranguape	209236,39	52863,43	0	262099,83	0,025	0,050	0,0450
Marco	48187,75	215927,04	0	264114,79	0,025	0,050	0,0296
Massapê	26102,39	230027,99	0	256130,38	0,025	0,050	0,0275
Meruoca	13459,63	242527,36	0	255986,98	0,025	0,050	0,0263
Milhã	117154,65	198505,34	0	315659,99	0,025	0,050	0,0343
Miraíma	67763,03	187922,52	0	255685,55	0,025	0,050	0,0316
Mombaça	71136,10	241710,89	0	312846,99	0,025	0,050	0,0307
Monsenhor Tabosa	47495,77	232414,91	0	279910,68	0,025	0,050	0,0292
Morada Nova	227843,32	86832,68	0	314676,00	0,025	0,050	0,0431
Morrinhos	51718,68	210025,35	0	261744,03	0,025	0,050	0,0299
Mulungu	170375,33	102832,26	0	273207,59	0,025	0,050	0,0406
Ocara	212706,99	70838,79	0	283545,79	0,025	0,050	0,0438
Orós	97674,03	219145,62	0	316819,65	0,025	0,050	0,0327
Pacajús	230406,13	42345,73	0	272751,86	0,025	0,050	0,0461
Pacatuba	216063,27	50209,74	0	266273,01	0,025	0,050	0,0453
Pacoti	179641,24	91949,59	0	271590,83	0,025	0,050	0,0415
Palhano	279461,81	27260,70	0	306722,52	0,025	0,050	0,0478
Palmácia	188621,67	81280,53	0	269902,20	0,025	0,050	0,0425
Paracuru	171978,47	87028,41	0	259006,88	0,025	0,050	0,0416
Paraipaba	158978,46	99592,04	0	258570,51	0,025	0,050	0,0404
Paramoti	145040,87	119242,79	0	264283,66	0,025	0,050	0,0387
Pedra Branca	73787,89	231103,43	0	304891,32	0,025	0,050	0,0311
Pentecoste	144416,99	111507,31	0	255924,30	0,025	0,050	0,0391

Anexo A

Município	Distância 0-1	Distância 1-2	Zero	Distância total	ag 0-1 (g)	ag 1-2 (g)	ag (g)
Pereiro	141459,76	169150,08	0	310609,84	0,025	0,050	0,0364
Pindoretama	249459,07	20134,12	0	269593,19	0,025	0,050	0,0481
Piquet Carneiro	88998,68	226461,24	0	315459,92	0,025	0,050	0,0321
Potiretama	187602,97	119899,03	0	307502,00	0,025	0,050	0,0403
Quixada	160283,00	137209,97	0	297492,97	0,025	0,050	0,0385
Quixelô	77888,86	241487,97	0	319376,83	0,025	0,050	0,0311
Quixeramobim	126204,23	176019,25	0	302223,48	0,025	0,050	0,0354
Quixeré	260927,56	54732,54	0	315660,10	0,025	0,050	0,0457
Redenção	200834,51	71857,98	0	272692,49	0,025	0,050	0,0434
Russas	274961,09	42620,62	0	317581,72	0,025	0,050	0,0466
Santa Quitéria	42232,96	222567,77	0	264800,73	0,025	0,050	0,0290
Santana do Acaraú	41590,23	215350,38	0	256940,60	0,025	0,050	0,0290
São Gonçalo do Amarante	178665,69	76637,42	0	255303,11	0,025	0,050	0,0425
São João do Jaguaribe	226747,35	92083,77	0	318831,12	0,025	0,050	0,0428
São Luís do Curu	148095,77	107020,25	0	255116,01	0,025	0,050	0,0395
Senador Pompeu	104103,36	208522,27	0	312625,63	0,025	0,050	0,0333
Senador Sá	13445,70	245241,56	0	258687,26	0,025	0,050	0,0263
Sobral	24046,37	231100,29	0	255146,66	0,025	0,050	0,0274
Solonópole	131978,09	185887,15	0	317865,24	0,025	0,050	0,0354
Tabuleiro do Norte	236605,60	79414,82	0	316020,42	0,025	0,050	0,0437
Tamboril	18638,12	260885,87	0	279523,99	0,025	0,050	0,0267
Tarrafas	654,10	318685,86	0	319339,96	0,025	0,050	0,0251
Tejuçuoca	108740,40	150065,63	0	258806,03	0,025	0,050	0,0355
Trairi	147359,91	116010,87	0	263370,78	0,025	0,050	0,0390
Tururu	126389,97	129022,16	0	255412,13	0,025	0,050	0,0374
Umari	70489,54	237941,46	0	308431,00	0,025	0,050	0,0307
Umirim	135869,75	119244,63	0	255114,38	0,025	0,050	0,0383
Uruburetama	118725,04	136534,23	0	255259,27	0,025	0,050	0,0366
Uruoca	3189,91	256073,54	0	259263,45	0,025	0,050	0,0253
Varjota	7681,33	252299,50	0	259980,83	0,025	0,050	0,0257
Várzea Alegre	24037,90	292048,15	0	316086,04	0,025	0,050	0,0269

Aceleração sísmica no estado do Ceará segundo a NBR 15421 (2006). Para terrenos Classe B.



Escala 1:2400000

0 20 40 km










Sistema de coordenadas UTM
Datum SIRGAS 2000
- Fuso 24 S



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Aceleração sísmica

$ag = 0,025$		$0,040 \leq a_g \leq 0,045$	
$0,025 \leq a_g \leq 0,030$		$0,045 \leq a_g \leq 0,050$	
$0,030 \leq a_g \leq 0,035$		$a_g = 0,05$	
$0,035 \leq a_g \leq 0,040$			

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Abaiara	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Aiuaba	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
altaneira	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Antonina do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Ararendé	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Araripe	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Arneiroz	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Assaré	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Barbalha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Borroquinha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Brejo Santo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Camocim	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Campos Sales	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Carnaubal	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Chaval	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Coreaú	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Crateús	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Crato	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Croatá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Farias Brito	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Frecheirinha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Graça	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Granja	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Guaraciaba do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Ibiapina	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Iporanga	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Ipu	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Ipueiras	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Jardim	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Jati	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Juazeiro do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Martinópolis	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Mauriti	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Milagres	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Missão Velha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Moraújo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Mucambo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Nova Olinda	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Nova Russas	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Novo Oriente	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Pacujá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Parambu	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Penaforte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Pires Ferreira	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Poranga	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Porteiras	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Potengi	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Quiterianópolis	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Reriutaba	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Saboeiro	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Salitre	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Satana do Cariri	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
São Benedito	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Tauá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Tiangua	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Ubajara	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Viçosa do ceará	Zona 0	0,0250	0,2453	0,1962	0,1962	0,4905	0,2453	0,2453	0,6132	0,2943	0,4170	0,7357
Acaraú	Zona 1	0,0292	0,2865	0,2292	0,2292	0,5730	0,2865	0,2865	0,7162	0,3438	0,4870	0,8595
Acarape	Zona 1	0,0307	0,3012	0,2409	0,2409	0,6022	0,3012	0,3012	0,7530	0,3614	0,5120	0,9035
Acopiara	Zona 1	0,0431	0,4228	0,3382	0,3382	0,8455	0,4228	0,4228	1,0570	0,5073	0,7187	1,2682
Alcântaras	Zona 1	0,0299	0,2933	0,2346	0,2346	0,5865	0,2933	0,2933	0,7332	0,3519	0,4986	0,8797
Alto Santo	Zona 1	0,0406	0,3983	0,3186	0,3186	0,7965	0,3983	0,3983	0,9957	0,4779	0,6771	1,1947

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Amontada	Zona 1	0,0438	0,4297	0,3437	0,3437	0,8592	0,4297	0,4297	1,0742	0,5156	0,7304	1,2890
Apuiarés	Zona 1	0,0327	0,3208	0,2566	0,2566	0,6415	0,3208	0,3208	0,8020	0,3849	0,5453	0,9622
Aquiraz	Zona 1	0,0461	0,4522	0,3617	0,3617	0,9042	0,4522	0,4522	1,1305	0,5426	0,7687	1,3565
Aracoiaba	Zona 1	0,0453	0,4444	0,3555	0,3555	0,8887	0,4444	0,4444	1,1110	0,5332	0,7554	1,3330
Aratuba	Zona 1	0,0415	0,4071	0,3256	0,3256	0,8140	0,4071	0,4071	1,0177	0,4885	0,6920	1,2212
Aurora	Zona 1	0,0272	0,2668	0,2134	0,2134	0,5335	0,2668	0,2668	0,6670	0,3201	0,4535	0,8002
Baixio	Zona 1	0,0343	0,3365	0,2692	0,2692	0,6730	0,3365	0,3365	0,8412	0,4038	0,5720	1,0095
Banabuiú	Zona 1	0,0264	0,259	0,2072	0,2072	0,5180	0,2590	0,2590	0,6475	0,3108	0,4403	0,7770
Barreira	Zona 1	0,0473	0,464	0,3712	0,3712	0,9280	0,4640	0,4640	1,1600	0,5568	0,7888	1,3920
Barro	Zona 1	0,0398	0,3904	0,3123	0,3123	0,7807	0,3904	0,3904	0,9760	0,4684	0,6636	1,1710
Baturité	Zona 1	0,0298	0,2923	0,2338	0,2338	0,5845	0,2923	0,2923	0,7307	0,3507	0,4969	0,8767
Beberibe	Zona 1	0,0425	0,4169	0,3335	0,3335	0,8337	0,4169	0,4169	1,0422	0,5002	0,7087	1,2505
Bela Cruz	Zona 1	0,0417	0,4091	0,3272	0,3272	0,8180	0,4091	0,4091	1,0227	0,4909	0,6954	1,2272
Boa Viagem	Zona 1	0,0295	0,2894	0,2315	0,2315	0,5787	0,2894	0,2894	0,7235	0,3472	0,4919	0,8680
Canindé	Zona 1	0,0457	0,4483	0,3586	0,3586	0,8965	0,4483	0,4483	1,1207	0,5379	0,7621	1,3447
Capistrano	Zona 1	0,0290	0,2845	0,2276	0,2276	0,5690	0,2845	0,2845	0,7112	0,3414	0,4836	0,8535
Caridade	Zona 1	0,0311	0,3051	0,2440	0,2440	0,6100	0,3051	0,3051	0,7627	0,3661	0,5186	0,9152
Cariré	Zona 1	0,0271	0,2659	0,2127	0,2127	0,5317	0,2659	0,2659	0,6647	0,3190	0,4520	0,7975
Caririaçu	Zona 1	0,0300	0,2943	0,2354	0,2354	0,5885	0,2943	0,2943	0,7357	0,3531	0,5003	0,8827
Cariús	Zona 1	0,0253	0,2482	0,1985	0,1985	0,4962	0,2482	0,2482	0,6205	0,2978	0,4219	0,7445
Cascavel	Zona 1	0,0416	0,4081	0,3264	0,3264	0,8160	0,4081	0,4081	1,0202	0,4897	0,6937	1,2242
Catarina	Zona 1	0,0428	0,4199	0,3359	0,3359	0,8397	0,4199	0,4199	1,0497	0,5038	0,7138	1,2595
Catunda	Zona 1	0,0378	0,3708	0,2966	0,2966	0,7415	0,3708	0,3708	0,9270	0,4449	0,6303	1,1122
Caucaia	Zona 1	0,0269	0,2639	0,2111	0,2111	0,5277	0,2639	0,2639	0,6597	0,3166	0,4486	0,7915
Cedro	Zona 1	0,0263	0,258	0,2064	0,2064	0,5160	0,2580	0,2580	0,6450	0,3096	0,4386	0,7740
Choró	Zona 1	0,0466	0,4571	0,3656	0,3656	0,9140	0,4571	0,4571	1,1427	0,5485	0,7770	1,3712
Chorozinho	Zona 1	0,0377	0,3698	0,2958	0,2958	0,7395	0,3698	0,3698	0,9245	0,4437	0,6286	1,1092
Cruz	Zona 1	0,0260	0,2551	0,2040	0,2040	0,5100	0,2551	0,2551	0,6377	0,3061	0,4336	0,7652
Dep. Irapuam Pinheiro	Zona 1	0,0425	0,4169	0,3335	0,3335	0,8337	0,4169	0,4169	1,0422	0,5002	0,7087	1,2505
Ererê	Zona 1	0,0338	0,3316	0,2652	0,2652	0,6630	0,3316	0,3316	0,8290	0,3979	0,5637	0,9947
Eusébio	Zona 1	0,0383	0,3757	0,3005	0,3005	0,7512	0,3757	0,3757	0,9392	0,4508	0,6386	1,1270

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Forquilha	Zona 1	0,0293	0,2874	0,2299	0,2299	0,5747	0,2874	0,2874	0,7185	0,3448	0,4885	0,8620
Fortaleza	Zona 1	0,0257	0,2521	0,2016	0,2016	0,5040	0,2521	0,2521	0,6302	0,3025	0,4285	0,7562
General Sampaio	Zona 1	0,0263	0,258	0,2064	0,2064	0,5160	0,2580	0,2580	0,6450	0,3096	0,4386	0,7740
Granjeiro	Zona 1	0,0380	0,3728	0,2982	0,2982	0,7455	0,3728	0,3728	0,9320	0,4473	0,6337	1,1182
Groaíras	Zona 1	0,0373	0,3659	0,2927	0,2927	0,7317	0,3659	0,3659	0,9147	0,4390	0,6220	1,0975
Guaiúba	Zona 1	0,0283	0,2776	0,2220	0,2220	0,5550	0,2776	0,2776	0,6940	0,3331	0,4719	0,8327
Guaramiranga	Zona 1	0,0251	0,2462	0,1969	0,1969	0,4922	0,2462	0,2462	0,6155	0,2954	0,4185	0,7385
Hidrolândia	Zona 1	0,0458	0,4493	0,3594	0,3594	0,8985	0,4493	0,4493	1,1232	0,5391	0,7638	1,3477
Horizonte	Zona 1	0,0267	0,2619	0,2095	0,2095	0,5237	0,2619	0,2619	0,6547	0,3142	0,4452	0,7855
Ibaretama	Zona 1	0,0358	0,3512	0,2809	0,2809	0,7022	0,3512	0,3512	0,8780	0,4214	0,5970	1,0535
Ibicuitinga	Zona 1	0,0371	0,364	0,2912	0,2912	0,7280	0,3640	0,3640	0,9100	0,4368	0,6188	1,0920
Icó	Zona 1	0,0450	0,4415	0,3532	0,3532	0,8830	0,4415	0,4415	1,1037	0,5298	0,7505	1,3245
Iguatu	Zona 1	0,0297	0,2914	0,2331	0,2331	0,5827	0,2914	0,2914	0,7285	0,3496	0,4953	0,8740
Independência	Zona 1	0,0326	0,3198	0,2558	0,2558	0,6395	0,3198	0,3198	0,7995	0,3837	0,5436	0,9592
Ipaumirim	Zona 1	0,0311	0,3051	0,2440	0,2440	0,6100	0,3051	0,3051	0,7627	0,3661	0,5186	0,9152
Iracema	Zona 1	0,0287	0,2815	0,2252	0,2252	0,5630	0,2815	0,2815	0,7037	0,3378	0,4785	0,8445
Irauçuba	Zona 1	0,0317	0,311	0,2488	0,2488	0,6220	0,3110	0,3110	0,7775	0,3732	0,5287	0,9330
Itaiçaba	Zona 1	0,0331	0,3247	0,2597	0,2597	0,6492	0,3247	0,3247	0,8117	0,3896	0,5519	0,9740
Itaitinga	Zona 1	0,0366	0,359	0,2872	0,2872	0,7180	0,3590	0,3590	0,8975	0,4308	0,6103	1,0770
Itapajé	Zona 1	0,0413	0,4052	0,3241	0,3241	0,8102	0,4052	0,4052	1,0130	0,4862	0,6888	1,2155
Itapiúna	Zona 1	0,0290	0,2845	0,2276	0,2276	0,5690	0,2845	0,2845	0,7112	0,3414	0,4836	0,8535
Itapipoca	Zona 1	0,0263	0,258	0,2064	0,2064	0,5160	0,2580	0,2580	0,6450	0,3096	0,4386	0,7740
Itarema	Zona 1	0,0441	0,4326	0,3460	0,3460	0,8650	0,4326	0,4326	1,0815	0,5191	0,7354	1,2977
Itatira	Zona 1	0,0387	0,3796	0,3036	0,3036	0,7590	0,3796	0,3796	0,9490	0,4555	0,6453	1,1387
Jaguaretama	Zona 1	0,0275	0,2698	0,2158	0,2158	0,5395	0,2698	0,2698	0,6745	0,3237	0,4586	0,8092
Jaguaribara	Zona 1	0,0437	0,4287	0,3429	0,3429	0,8572	0,4287	0,4287	1,0717	0,5144	0,7287	1,2860
Jaguaribe	Zona 1	0,0445	0,4365	0,3492	0,3492	0,8730	0,4365	0,4365	1,0912	0,5238	0,7420	1,3095
Jaguaruana	Zona 1	0,0481	0,4719	0,3775	0,3775	0,9437	0,4719	0,4719	1,1797	0,5662	0,8022	1,4155
Jijoca de Jericoaquara	Zona 1	0,0354	0,3473	0,2778	0,2778	0,6945	0,3473	0,3473	0,8682	0,4167	0,5904	1,0417
Jucás	Zona 1	0,0304	0,2982	0,2385	0,2385	0,5962	0,2982	0,2982	0,7455	0,3578	0,5069	0,8945
Lavras da Mangabeira	Zona 1	0,0316	0,31	0,2480	0,2480	0,6200	0,3100	0,3100	0,7750	0,3720	0,5270	0,9300

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Limoeiro do Norte	Zona 1	0,0404	0,3963	0,3170	0,3170	0,7925	0,3963	0,3963	0,9907	0,4755	0,6737	1,1887
Madalena	Zona 1	0,0434	0,4258	0,3406	0,3406	0,8515	0,4258	0,4258	1,0645	0,5109	0,7238	1,2772
Maracanaú	Zona 1	0,0253	0,2482	0,1985	0,1985	0,4962	0,2482	0,2482	0,6205	0,2978	0,4219	0,7445
Maranguape	Zona 1	0,0406	0,3983	0,3186	0,3186	0,7965	0,3983	0,3983	0,9957	0,4779	0,6771	1,1947
Marco	Zona 1	0,0492	0,4827	0,3861	0,3861	0,9652	0,4827	0,4827	1,2067	0,5792	0,8205	1,4480
Massapê	Zona 1	0,0388	0,3806	0,3044	0,3044	0,7610	0,3806	0,3806	0,9515	0,4567	0,6470	1,1417
Meruoca	Zona 1	0,0251	0,2462	0,1969	0,1969	0,4922	0,2462	0,2462	0,6155	0,2954	0,4185	0,7385
Milhã	Zona 1	0,0335	0,3286	0,2628	0,2628	0,6570	0,3286	0,3286	0,8215	0,3943	0,5586	0,9857
Miraíma	Zona 1	0,0276	0,2708	0,2166	0,2166	0,5415	0,2708	0,2708	0,6770	0,3249	0,4603	0,8122
Mombaça	Zona 1	0,0491	0,4817	0,3853	0,3853	0,9632	0,4817	0,4817	1,2042	0,5780	0,8188	1,4450
Monsenhor Tabosa	Zona 1	0,0291	0,2855	0,2284	0,2284	0,5710	0,2855	0,2855	0,7137	0,3426	0,4853	0,8565
Morada Nova	Zona 1	0,0484	0,4748	0,3798	0,3798	0,9495	0,4748	0,4748	1,1870	0,5697	0,8071	1,4242
Morrinhos	Zona 1	0,0355	0,3483	0,2786	0,2786	0,6965	0,3483	0,3483	0,8707	0,4179	0,5921	1,0447
Mulungu	Zona 1	0,0478	0,4689	0,3751	0,3751	0,9377	0,4689	0,4689	1,1722	0,5626	0,7971	1,4065
Ocara	Zona 1	0,037	0,363	0,2904	0,2904	0,7260	0,3630	0,3630	0,9075	0,4356	0,6171	1,0890
Orós	Zona 1	0,0296	0,2904	0,2323	0,2323	0,5807	0,2904	0,2904	0,7260	0,3484	0,4936	0,8710
Pacajús	Zona 1	0,034	0,3335	0,2668	0,2668	0,6670	0,3335	0,3335	0,8337	0,4002	0,5669	1,0005
Pacatuba	Zona 1	0,0354	0,3473	0,2778	0,2778	0,6945	0,3473	0,3473	0,8682	0,4167	0,5904	1,0417
Pacoti	Zona 1	0,0406	0,3983	0,3186	0,3186	0,7965	0,3983	0,3983	0,9957	0,4779	0,6771	1,1947
Palhano	Zona 1	0,0318	0,312	0,2496	0,2496	0,6240	0,3120	0,3120	0,7800	0,3744	0,5304	0,9360
Palmácia	Zona 1	0,0461	0,4522	0,3617	0,3617	0,9042	0,4522	0,4522	1,1305	0,5426	0,7687	1,3565
Paracuru	Zona 1	0,0318	0,312	0,2496	0,2496	0,6240	0,3120	0,3120	0,7800	0,3744	0,5304	0,9360
Paraipaba	Zona 1	0,0333	0,3267	0,2613	0,2613	0,6532	0,3267	0,3267	0,8167	0,3920	0,5553	0,9800
Paramoti	Zona 1	0,0391	0,3836	0,3068	0,3068	0,7670	0,3836	0,3836	0,9590	0,4603	0,6521	1,1507
Pedra Branca	Zona 1	0,0404	0,3963	0,3170	0,3170	0,7925	0,3963	0,3963	0,9907	0,4755	0,6737	1,1887
Pentecoste	Zona 1	0,0367	0,36	0,2880	0,2880	0,7200	0,3600	0,3600	0,9000	0,4320	0,6120	1,0800
Pereiro	Zona 1	0,0457	0,4483	0,3586	0,3586	0,8965	0,4483	0,4483	1,1207	0,5379	0,7621	1,3447
Pindoretama	Zona 1	0,0468	0,4591	0,3672	0,3672	0,9180	0,4591	0,4591	1,1477	0,5509	0,7804	1,3772
Piquet Carneiro	Zona 1	0,0463	0,4542	0,3633	0,3633	0,9082	0,4542	0,4542	1,1355	0,5450	0,7721	1,3625
Potiretama	Zona 1	0,0385	0,3777	0,3021	0,3021	0,7552	0,3777	0,3777	0,9442	0,4532	0,6420	1,1330
Quixadá	Zona 1	0,0437	0,4287	0,3429	0,3429	0,8572	0,4287	0,4287	1,0717	0,5144	0,7287	1,2860

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe A			Classe B			Classe C		
				Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,08 - 0,40)	Ags0	Ags1	Ags (0,113 - 0,566)
Quixelô	Zona 1	0,0275	0,2698	0,2158	0,2158	0,5395	0,2698	0,2698	0,6745	0,3237	0,4586	0,8092
Quixeré	Zona 1	0,0403	0,3953	0,3162	0,3162	0,7905	0,3953	0,3953	0,9882	0,4743	0,6720	1,1857
Quixeramobim	Zona 1	0,026	0,2551	0,2040	0,2040	0,5100	0,2551	0,2551	0,6377	0,3061	0,4336	0,7652
Redenção	Zona 1	0,0374	0,3669	0,2935	0,2935	0,7337	0,3669	0,3669	0,9172	0,4402	0,6237	1,1005
Russas	Zona 1	0,0321	0,3149	0,2519	0,2519	0,6297	0,3149	0,3149	0,7872	0,3778	0,5353	0,9445
Santa Quitéria	Zona 1	0,0294	0,2884	0,2307	0,2307	0,5767	0,2884	0,2884	0,7210	0,3460	0,4902	0,8650
Santana do Acaraú	Zona 1	0,0484	0,4748	0,3798	0,3798	0,9495	0,4748	0,4748	1,1870	0,5697	0,8071	1,4242
Senador Pompeu	Zona 1	0,0389	0,3816	0,3052	0,3052	0,7630	0,3816	0,3816	0,9540	0,4579	0,6487	1,1447
Senador Sá	Zona 1	0,0259	0,2541	0,2032	0,2032	0,5080	0,2541	0,2541	0,6352	0,3049	0,4319	0,7622
São Gonçalo do Amarante	Zona 1	0,0416	0,4081	0,3264	0,3264	0,8160	0,4081	0,4081	1,0202	0,4897	0,6937	1,2242
São João do Jaguaribe	Zona 1	0,0477	0,4679	0,3743	0,3743	0,9357	0,4679	0,4679	1,1697	0,5614	0,7954	1,4035
São Luís do Curu	Zona 1	0,0266	0,2609	0,2087	0,2087	0,5217	0,2609	0,2609	0,6522	0,3130	0,4435	0,7825
Sobral	Zona 1	0,0411	0,4032	0,3225	0,3225	0,8062	0,4032	0,4032	1,0080	0,4838	0,6854	1,2095
Solonópole	Zona 1	0,039	0,3826	0,3060	0,3060	0,7650	0,3826	0,3826	0,9565	0,4591	0,6504	1,1477
Tabuleiro do Norte	Zona 1	0,0367	0,36	0,2880	0,2880	0,7200	0,3600	0,3600	0,9000	0,4320	0,6120	1,0800
Tamboril	Zona 1	0,0453	0,4444	0,3555	0,3555	0,8887	0,4444	0,4444	1,1110	0,5332	0,7554	1,3330
Tarrafas	Zona 1	0,0357	0,3502	0,2801	0,2801	0,7002	0,3502	0,3502	0,8755	0,4202	0,5953	1,0505
Tejuçuoca	Zona 1	0,0364	0,3571	0,2856	0,2856	0,7140	0,3571	0,3571	0,8927	0,4285	0,6070	1,0712
Trairi	Zona 1	0,0274	0,2688	0,2150	0,2150	0,5375	0,2688	0,2688	0,6720	0,3225	0,4569	0,8062
Tururu	Zona 1	0,0269	0,2639	0,2111	0,2111	0,5277	0,2639	0,2639	0,6597	0,3166	0,4486	0,7915
Umari	Zona 1	0,0422	0,414	0,3312	0,3312	0,8280	0,4140	0,4140	1,0350	0,4968	0,7038	1,2420
Umirim	Zona 1	0,0307	0,3012	0,2409	0,2409	0,6022	0,3012	0,3012	0,7530	0,3614	0,5120	0,9035
Uruburetama	Zona 1	0,0448	0,4395	0,3516	0,3516	0,8790	0,4395	0,4395	1,0987	0,5274	0,7471	1,3185
Uruoca	Zona 1	0,0411	0,4032	0,3225	0,3225	0,8062	0,4032	0,4032	1,0080	0,4838	0,6854	1,2095
Varjota	Zona 1	0,0281	0,2757	0,2205	0,2205	0,5512	0,2757	0,2757	0,6892	0,3308	0,4686	0,8270
Várzea Alegre	Zona 1	0,0395	0,3875	0,3100	0,3100	0,7750	0,3875	0,3875	0,9687	0,4650	0,6587	1,1625
Aracati	Zona 2	0,05	0,4905	0,3924	0,3924	0,9810	0,4905	0,4905	1,2262	0,5886	0,8338	1,4715
Fortim	Zona 2	0,05	0,4905	0,3924	0,3924	0,9810	0,4905	0,4905	1,2262	0,5886	0,8338	1,4715
Icapuí	Zona 2	0,05	0,4905	0,3924	0,3924	0,9810	0,4905	0,4905	1,2262	0,5886	0,8338	1,4715

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Abaiara	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Aiuaba	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
altaneira	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Antonina do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Ararendé	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Araripe	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Arneiroz	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Assaré	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Barbalha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Borroquinha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Brejo Santo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Camocim	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Campos Sales	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Carnaubal	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Chaval	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Coreaú	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Crateús	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Crato	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Croatá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Farias Brito	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Frecheirinha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Graça	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Granja	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Guaraciaba do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Ibiapina	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Iporanga	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Ipu	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Ipueiras	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Jardim	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Jati	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Juazeiro do Norte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Martinópolis	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Mauriti	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Milagres	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Missão Velha	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Moraújo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Mucambo	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Nova Olinda	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Nova Russas	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Novo Oriente	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Pacujá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Parambu	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Penaforte	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Pires Ferreira	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Poranga	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Porteiras	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Potengi	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Quiterianópolis	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Reriutaba	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Saboeiro	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Salitre	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Satana do Cariri	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
São Benedito	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Tauá	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Tiangua	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Ubajara	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Viçosa do ceará	Zona 0	0,0250	0,2453	0,3924	0,5887	0,9810	0,6132	0,8585	1,5330
Acaraú	Zona 1	0,0292	0,2865	0,4584	0,6876	1,1460	0,7162	1,0027	1,7905
Acarape	Zona 1	0,0307	0,3012	0,4819	0,7228	1,2047	0,7530	1,0542	1,8825
Acopiara	Zona 1	0,0431	0,4228	0,6764	1,0147	1,6910	1,0570	1,4798	2,6425
Alcântaras	Zona 1	0,0299	0,2933	0,4692	0,7039	1,1730	0,7332	1,0265	1,8330
Alto Santo	Zona 1	0,0406	0,3983	0,6372	0,9559	1,5930	0,9957	1,3940	2,4892

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Amontada	Zona 1	0,0438	0,4297	0,6875	1,0312	1,7187	1,0742	1,5039	2,6855
Apuiarés	Zona 1	0,0327	0,3208	0,5132	0,7699	1,2830	0,8020	1,1228	2,0050
Aquiraz	Zona 1	0,0461	0,4522	0,7235	1,0852	1,8087	1,1305	1,5827	2,8262
Aracoiaba	Zona 1	0,0453	0,4444	0,7110	1,0665	1,7775	1,1110	1,5554	2,7775
Aratuba	Zona 1	0,0415	0,4071	0,6513	0,9770	1,6282	1,0177	1,4248	2,5442
Aurora	Zona 1	0,0272	0,2668	0,4268	0,6403	1,0670	0,6670	0,9338	1,6675
Baixio	Zona 1	0,0343	0,3365	0,5384	0,8076	1,3460	0,8412	1,1777	2,1030
Banabuiú	Zona 1	0,0264	0,259	0,4144	0,6216	1,0360	0,6475	0,9065	1,6187
Barreira	Zona 1	0,0473	0,464	0,7424	1,1136	1,8560	1,1600	1,6240	2,9000
Barro	Zona 1	0,0398	0,3904	0,6246	0,9369	1,5615	0,9760	1,3664	2,4400
Baturité	Zona 1	0,0298	0,2923	0,4676	0,7015	1,1690	0,7307	1,0230	1,8267
Beberibe	Zona 1	0,0425	0,4169	0,6670	1,0005	1,6675	1,0422	1,4591	2,6055
Bela Cruz	Zona 1	0,0417	0,4091	0,6545	0,9818	1,6362	1,0227	1,4318	2,5567
Boa Viagem	Zona 1	0,0295	0,2894	0,4630	0,6945	1,1575	0,7235	1,0129	1,8087
Canindé	Zona 1	0,0457	0,4483	0,7172	1,0759	1,7930	1,1207	1,5690	2,8017
Capistrano	Zona 1	0,0290	0,2845	0,4552	0,6828	1,1380	0,7112	0,9957	1,7780
Caridade	Zona 1	0,0311	0,3051	0,4881	0,7322	1,2202	0,7627	1,0678	1,9067
Cariré	Zona 1	0,0271	0,2659	0,4254	0,6381	1,0635	0,6647	0,9306	1,6617
Caririaçu	Zona 1	0,0300	0,2943	0,4708	0,7063	1,1770	0,7357	1,0300	1,8392
Cariús	Zona 1	0,0253	0,2482	0,3971	0,5956	0,9927	0,6205	0,8687	1,5512
Cascavel	Zona 1	0,0416	0,4081	0,6529	0,9794	1,6322	1,0202	1,4283	2,5505
Catarina	Zona 1	0,0428	0,4199	0,6718	1,0077	1,6795	1,0497	1,4696	2,6242
Catunda	Zona 1	0,0378	0,3708	0,5932	0,8899	1,4830	0,9270	1,2978	2,3175
Caucaia	Zona 1	0,0269	0,2639	0,4222	0,6333	1,0555	0,6597	0,9236	1,6492
Cedro	Zona 1	0,0263	0,258	0,4128	0,6192	1,0320	0,6450	0,9030	1,6125
Choró	Zona 1	0,0466	0,4571	0,7313	1,0970	1,8282	1,1427	1,5998	2,8567
Chorozinho	Zona 1	0,0377	0,3698	0,5916	0,8875	1,4790	0,9245	1,2943	2,3112
Cruz	Zona 1	0,0260	0,2551	0,4081	0,6122	1,0202	0,6377	0,8928	1,5942
Dep. Irapuam Pinheiro	Zona 1	0,0000	0	0,6670	1,0005	1,6675	1,0422	1,4591	2,6055
Ererê	Zona 1	0,0338	0,3316	0,5305	0,7958	1,3262	0,8290	1,1606	2,0725
Eusébio	Zona 1	0,0383	0,3757	0,6011	0,9016	1,5027	0,9392	1,3149	2,3480

Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Forquilha	Zona 1	0,0293	0,2874	0,4598	0,6897	1,1495	0,7185	1,0059	1,7962
Fortaleza	Zona 1	0,0257	0,2521	0,4033	0,6050	1,0082	0,6302	0,8823	1,5755
General Sampaio	Zona 1	0,0263	0,258	0,4128	0,6192	1,0320	0,6450	0,9030	1,6125
Granjeiro	Zona 1	0,0380	0,3728	0,5964	0,8947	1,4910	0,9320	1,3048	2,3300
Groaíras	Zona 1	0,0373	0,3659	0,5854	0,8781	1,4635	0,9147	1,2806	2,2867
Guaiúba	Zona 1	0,0283	0,2776	0,4441	0,6662	1,1102	0,6940	0,9716	1,7350
Guaramiranga	Zona 1	0,0251	0,2462	0,3939	0,5908	0,9847	0,6155	0,8617	1,5387
Hidrolândia	Zona 1	0,0458	0,4493	0,7188	1,0783	1,7970	1,1232	1,5725	2,8080
Horizonte	Zona 1	0,0267	0,2619	0,4190	0,6285	1,0475	0,6547	0,9166	1,6367
Ibaretama	Zona 1	0,0358	0,3512	0,5619	0,8428	1,4047	0,8780	1,2292	2,1950
Ibicuitinga	Zona 1	0,0371	0,364	0,5824	0,8736	1,4560	0,9100	1,2740	2,2750
Icó	Zona 1	0,0450	0,4415	0,7064	1,0596	1,7660	1,1037	1,5452	2,7592
Iguatu	Zona 1	0,0297	0,2914	0,4662	0,6993	1,1655	0,7285	1,0199	1,8212
Independência	Zona 1	0,0326	0,3198	0,5116	0,7675	1,2790	0,7995	1,1193	1,9987
Ipaumirim	Zona 1	0,0311	0,3051	0,4881	0,7322	1,2202	0,7627	1,0678	1,9067
Iracema	Zona 1	0,0287	0,2815	0,4504	0,6756	1,1260	0,7037	0,9852	1,7592
Irauçuba	Zona 1	0,0317	0,311	0,4976	0,7464	1,2440	0,7775	1,0885	1,9437
Itaiçaba	Zona 1	0,0331	0,3247	0,5195	0,7792	1,2987	0,8117	1,1364	2,0292
Itaitinga	Zona 1	0,0366	0,359	0,5744	0,8616	1,4360	0,8975	1,2565	2,2437
Itapajé	Zona 1	0,0413	0,4052	0,6483	0,9724	1,6207	1,0130	1,4182	2,5325
Itapiúna	Zona 1	0,0290	0,2845	0,4552	0,6828	1,1380	0,7112	0,9957	1,7780
Itapipoca	Zona 1	0,0263	0,258	0,4128	0,6192	1,0320	0,6450	0,9030	1,6125
Itarema	Zona 1	0,0441	0,4326	0,6921	1,0382	1,7302	1,0815	1,5141	2,7037
Itatira	Zona 1	0,0387	0,3796	0,6073	0,9110	1,5182	0,9490	1,3286	2,3725
Jaguaretama	Zona 1	0,0275	0,2698	0,4316	0,6475	1,0790	0,6745	0,9443	1,6862
Jaguaribara	Zona 1	0,0437	0,4287	0,6859	1,0288	1,7147	1,0717	1,5004	2,6792
Jaguaribe	Zona 1	0,0445	0,4365	0,6984	1,0476	1,7460	1,0912	1,5277	2,7280
Jaguaruana	Zona 1	0,0481	0,4719	0,7550	1,1325	1,8875	1,1797	1,6516	2,9492
Jijoca de Jericoaquara	Zona 1	0,0354	0,3473	0,5556	0,8335	1,3890	0,8682	1,2155	2,1705
Jucás	Zona 1	0,0304	0,2982	0,4771	0,7156	1,1927	0,7455	1,0437	1,8637
Lavras da Mangabeira	Zona 1	0,0316	0,31	0,4960	0,7440	1,2400	0,7750	1,0850	1,9375

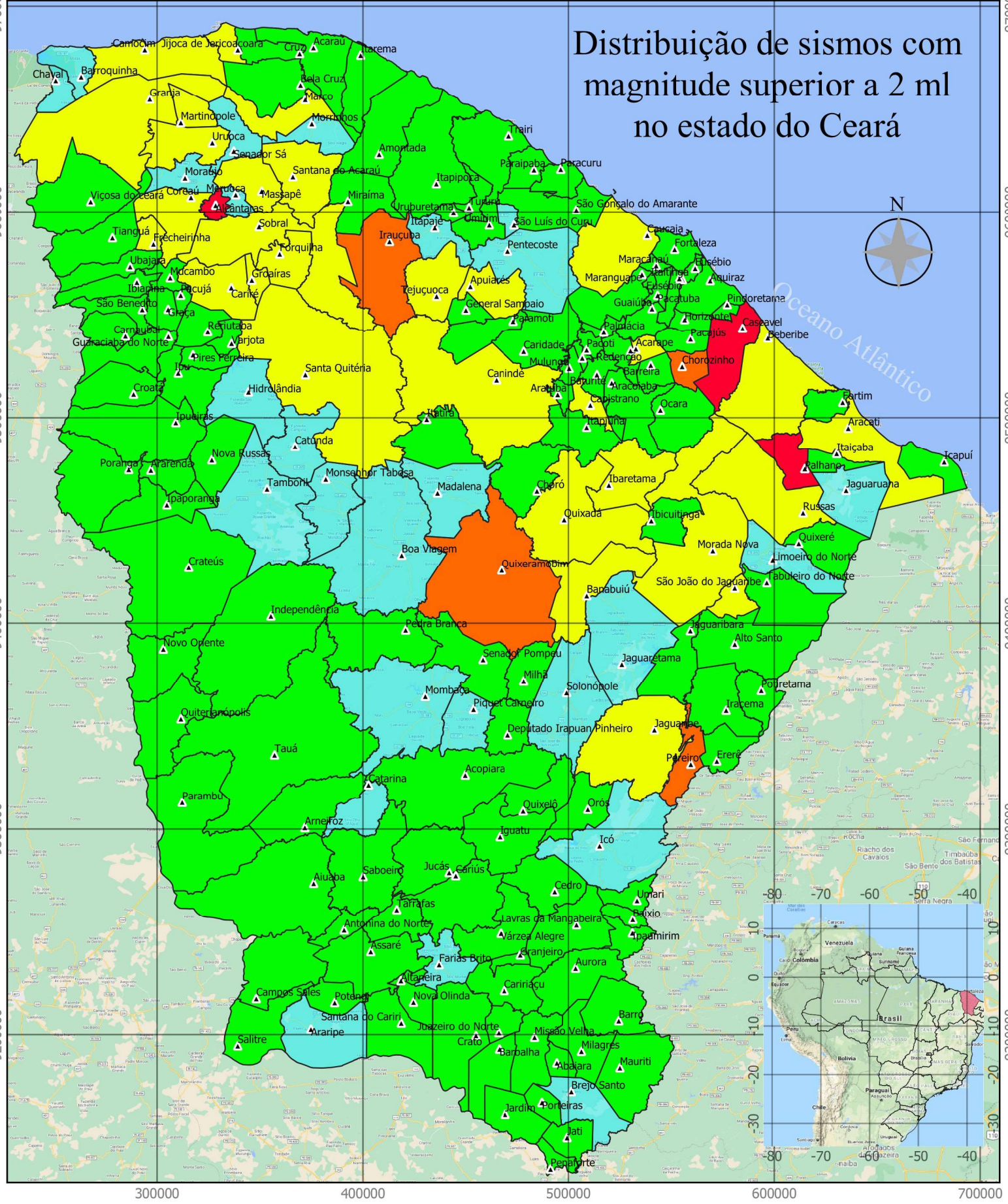
Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Limoeiro do Norte	Zona 1	0,0404	0,3963	0,6340	0,9511	1,5850	0,9907	1,3870	2,4767
Madalena	Zona 1	0,0434	0,4258	0,6812	1,0219	1,7030	1,0645	1,4903	2,6612
Maracanaú	Zona 1	0,0253	0,2482	0,3971	0,5956	0,9927	0,6205	0,8687	1,5512
Maranguape	Zona 1	0,0406	0,3983	0,6372	0,9559	1,5930	0,9957	1,3940	2,4892
Marco	Zona 1	0,0492	0,4827	0,7723	1,1584	1,9307	1,2067	1,6894	3,0167
Massapê	Zona 1	0,0388	0,3806	0,6089	0,9134	1,5222	0,9515	1,3321	2,3787
Meruoca	Zona 1	0,0251	0,2462	0,3939	0,5908	0,9847	0,6155	0,8617	1,5387
Milhã	Zona 1	0,0335	0,3286	0,5257	0,7886	1,3142	0,8215	1,1501	2,0537
Miraíma	Zona 1	0,0276	0,2708	0,4332	0,6499	1,0830	0,6770	0,9478	1,6925
Mombaça	Zona 1	0,0491	0,4817	0,7707	1,1560	1,9267	1,2042	1,6859	3,0105
Monsenhor Tabosa	Zona 1	0,0291	0,2855	0,4568	0,6852	1,1420	0,7137	0,9992	1,7842
Morada Nova	Zona 1	0,0484	0,4748	0,7596	1,1395	1,8990	1,1870	1,6618	2,9675
Morrinhos	Zona 1	0,0355	0,3483	0,5572	0,8359	1,3930	0,8707	1,2190	2,1767
Mulungu	Zona 1	0,0478	0,4689	0,7502	1,1253	1,8755	1,1722	1,6411	2,9305
Ocara	Zona 1	0,037	0,363	0,5808	0,8712	1,4520	0,9075	1,2705	2,2687
Orós	Zona 1	0,0296	0,2904	0,4646	0,6969	1,1615	0,7260	1,0164	1,8150
Pacajús	Zona 1	0,034	0,3335	0,5336	0,8004	1,3340	0,8337	1,1672	2,0842
Pacatuba	Zona 1	0,0354	0,3473	0,5556	0,8335	1,3890	0,8682	1,2155	2,1705
Pacoti	Zona 1	0,0406	0,3983	0,6372	0,9559	1,5930	0,9957	1,3940	2,4892
Palhano	Zona 1	0,0318	0,312	0,4992	0,7488	1,2480	0,7800	1,0920	1,9500
Palmácia	Zona 1	0,0461	0,4522	0,7235	1,0852	1,8087	1,1305	1,5827	2,8262
Paracuru	Zona 1	0,0318	0,312	0,4992	0,7488	1,2480	0,7800	1,0920	1,9500
Paraipaba	Zona 1	0,0333	0,3267	0,5227	0,7840	1,3067	0,8167	1,1434	2,0417
Paramoti	Zona 1	0,0391	0,3836	0,6137	0,9206	1,5342	0,9590	1,3426	2,3975
Pedra Branca	Zona 1	0,0404	0,3963	0,6340	0,9511	1,5850	0,9907	1,3870	2,4767
Pentecoste	Zona 1	0,0367	0,36	0,5760	0,8640	1,4400	0,9000	1,2600	2,2500
Pereiro	Zona 1	0,0457	0,4483	0,7172	1,0759	1,7930	1,1207	1,5690	2,8017
Pindoretama	Zona 1	0,0468	0,4591	0,7345	1,1018	1,8362	1,1477	1,6068	2,8692
Piquet Carneiro	Zona 1	0,0463	0,4542	0,7267	1,0900	1,8167	1,1355	1,5897	2,8387
Potiretama	Zona 1	0,0385	0,3777	0,6043	0,9064	1,5107	0,9442	1,3219	2,3605
Quixadá	Zona 1	0,0437	0,4287	0,6859	1,0288	1,7147	1,0717	1,5004	2,6792

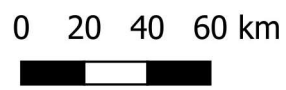
Anexo C

Município	Zona	ag (g)	ag (m/s ²)	Classe D			Classe E		
				Ags0	Ags1	Ags (0,12 - 0,60)	Ags0	Ags1	Ags (0,112 - 0,56)
Quixelô	Zona 1	0,0275	0,2698	0,4316	0,6475	1,0790	0,6745	0,9443	1,6862
Quixeré	Zona 1	0,0403	0,3953	0,6324	0,9487	1,5810	0,9882	1,3835	2,4705
Quixeramobim	Zona 1	0,026	0,2551	0,4081	0,6122	1,0202	0,6377	0,8928	1,5942
Redenção	Zona 1	0,0374	0,3669	0,5870	0,8805	1,4675	0,9172	1,2841	2,2930
Russas	Zona 1	0,0321	0,3149	0,5038	0,7557	1,2595	0,7872	1,1021	1,9680
Santa Quitéria	Zona 1	0,0294	0,2884	0,4614	0,6921	1,1535	0,7210	1,0094	1,8025
Santana do Acaraú	Zona 1	0,0484	0,4748	0,7596	1,1395	1,8990	1,1870	1,6618	2,9675
Senador Pompeu	Zona 1	0,0389	0,3816	0,6105	0,9158	1,5262	0,9540	1,3356	2,3850
Senador Sá	Zona 1	0,0259	0,2541	0,4065	0,6098	1,0162	0,6352	0,8893	1,5880
São Gonçalo do Amarante	Zona 1	0,0416	0,4081	0,6529	0,9794	1,6322	1,0202	1,4283	2,5505
São João do Jaguaribe	Zona 1	0,0477	0,4679	0,7486	1,1229	1,8715	1,1697	1,6376	2,9242
São Luís do Curu	Zona 1	0,0266	0,2609	0,4174	0,6261	1,0435	0,6522	0,9131	1,6305
Sobral	Zona 1	0,0411	0,4032	0,6451	0,9676	1,6127	1,0080	1,4112	2,5200
Solonópole	Zona 1	0,039	0,3826	0,6121	0,9182	1,5302	0,9565	1,3391	2,3912
Tabuleiro do Norte	Zona 1	0,0367	0,36	0,5760	0,8640	1,4400	0,9000	1,2600	2,2500
Tamboril	Zona 1	0,0453	0,4444	0,7110	1,0665	1,7775	1,1110	1,5554	2,7775
Tarrafas	Zona 1	0,0357	0,3502	0,5603	0,8404	1,4007	0,8755	1,2257	2,1887
Tejuçuoca	Zona 1	0,0364	0,3571	0,5713	0,8570	1,4282	0,8927	1,2498	2,2317
Trairi	Zona 1	0,0274	0,2688	0,4300	0,6451	1,0750	0,6720	0,9408	1,6800
Tururu	Zona 1	0,0269	0,2639	0,4222	0,6333	1,0555	0,6597	0,9236	1,6492
Umari	Zona 1	0,0422	0,414	0,6624	0,9936	1,6560	1,0350	1,4490	2,5875
Umirim	Zona 1	0,0307	0,3012	0,4819	0,7228	1,2047	0,7530	1,0542	1,8825
Uruburetama	Zona 1	0,0448	0,4395	0,7032	1,0548	1,7580	1,0987	1,5382	2,7467
Uruoca	Zona 1	0,0411	0,4032	0,6451	0,9676	1,6127	1,0080	1,4112	2,5200
Varjota	Zona 1	0,0281	0,2757	0,4411	0,6616	1,1027	0,6892	0,9649	1,7230
Várzea Alegre	Zona 1	0,0395	0,3875	0,6200	0,9300	1,5500	0,9687	1,3562	2,4217
Aracati	Zona 2	0,05	0,4905	0,7848	1,1772	1,9620	1,2262	1,7167	3,0655
Fortim	Zona 2	0,05	0,4905	0,7848	1,1772	1,9620	1,2262	1,7167	3,0655
Icapuí	Zona 2	0,05	0,4905	0,7848	1,1772	1,9620	1,2262	1,7167	3,0655

Distribuição de sismos com magnitude superior a 2 ml no estado do Ceará



Escala 1:2400000



Sistema de coordenadas UTM
Datum SIRGAS 2000 - Fuso 24 S



Número de sísmos

