



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

FERRAMENTAS COMPUTACIONAS PARA TRATAR A QUALIDADE PARA
DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE SENSORES

Guilherme Alvarenga Dias

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pelo Dr.
Alan James Peixoto Calheiros.

INPE
São José dos Campos
2020



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

FERRAMENTAS COMPUTACIONAS PARA TRATAR A QUALIDADE PARA
DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE SENSORES

Guilherme Alvarenga Dias

Relatório de Iniciação Científica do
Programa PIBIC, orientada pelo Dr.
Alan James Peixoto Calheiros.

INPE
São José dos Campos
2020

RESUMO

Dados meteorológicos coletados através de sensores *in situ* (e.g. perfis verticais temperatura, umidade do na coluna atmosférica, precipitação, entre outros) são insumos para as pesquisas de estudos de tempo e clima, melhorando assim, a compreensão dos fenômenos que afetam o clima e o dia-a-dia das pessoas. No entanto, para que os modelos e análises realizadas nesses estudos apresentem resultados consistentes e confiáveis, é necessário que os dados utilizados sejam adequados e confiáveis, ou, em outras palavras, possuam boa qualidade, permitindo que os estudos sejam realizados com dados que representem fielmente os fenômenos meteorológicos observados. Neste sentido, este projeto teve como objetivo definir, a partir de equipamentos similares aos adquiridos pelo INPE, critérios e ferramentas computacionais que permitam ao mentor do equipamento do INPE aplicar conceitos de qualidade de dados e sua disponibilização, mas especificadamente, aos sensores que medem nuvens e chuva. Vários aspectos foram considerados neste estudo que estão associados a qualidade de dados: necessidade de verificações de exatidão e validade das medições coletadas, identificação de outliers/anomalias/ruídos, dados faltantes e quantificação de diferentes fontes de erros. Estas informações foram coletadas para diferentes equipamentos nos repositórios do ARM (EUA, *Atmospheric Radiation Measurement*) e serão aplicadas no futuro em instrumentos do INPE sobre a região Amazônica. Além disso, foram construídos algoritmos de leitura e visualização dos dados dos instrumentos deste estudo: Radiômetro Perfilado; Disdrômetros e Pluviômetros. Tais ferramentas irá suportar o controle de dados de diversos experimentos do INPE e colaboradores, tanto aqueles que já ocorreram (GoAmazon) como aqueles que estão sendo executados (ATTO).

Palavras-chave: Qualidade de dados; Instrumentação; ARM; GoAmazon; ATTO

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
FIGURA 2.1 - REFLETIVIDADE RADAR CALCULADA PELO DISDRÔMETRO DE IMPACTO PARA DIVERSAS REGIÕES.	7
FIGURA 2.2 – VARIÁVEIS APRESENTADAS NO INSTRUMENTO DISDRÔMETRO A LASER PARA SPG (A) E MAO (B).....	11
FIGURA 2.3 – VARIÁVEIS APRESENTADAS NO INSTRUMENTO RADIÔMETRO NÃO PERFILADOR PARA MAO: ESTIMATIVAS DE CONTEÚDO DE ÁGUA PRECIPITÁVEL E ÁGUA LÍQUIDA (A) E DAS TEMPERATURAS DE BRILHO (B).....	14
FIGURA 2.4 - VARIÁVEIS APRESENTADAS NO INSTRUMENTO RADIÔMETRO NÃO-PERFILADOR PARA SGP NO QUE DIZ RESPEITO AS ESTIMATIVAS DE CONTEÚDO DE ÁGUA PRECIPITÁVEL E ÁGUA LÍQUIDA.	15
FIGURA 2.5 – PERFIS DE ÁGUA LÍQUIDA DE NUVENS E DE ÁGUA PRECIPITÁVEL PARA NSA (A) E ENA (B).....	18
FIGURA 2.6 – PRECIPITAÇÃO OBSERVADA (MM) EM (A) MAO, (B) COR E (C) SGP PELOS PLUVIÔMETROS. (C) REFERENCIE AO PRECIPMET.	21
FIGURA 2.7 – VARIÁVEIS DO AMBIENTE MEDIDAS POR SENSORES ACOPLADOS AO PLUVIÔMETRO NO PRECIPMET: (A) TEMPERATURA, (B) PRESSÃO, (C) UMIDADE RELATIVA E (D) INTENSIDADE DO VENTO EM SGP.....	22

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
TABELA A.1 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO DISDRÔMETRO DE IMPACTO... 27	
TABELA A.2 – CLASSES DE GOTAS DO DISDRÔMETRO DE IMPACTO..... 28	
TABELA A.3 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO DISDRÔMETRO A LASER..... 29	
TABELA A.4 – CLASSES DE GOTAS DO DISDRÔMETRO A LASER..... 30	
TABELA A.5 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO RADIÔMETRO NÃO PERFILADOR..... 31	
TABELA A.6 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO RADIÔMETRO PERFILADOR..... 31	
TABELA A.7 – CLASSES DE ALTURA DO RADIÔMETRO PERFILADOR..... 32	
TABELA A.8 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO PLUVIÔMETRO..... 33	
TABELA A.9 – VARIÁVEIS PRIMÁRIAS DO PRECIPMET. 33	
TABELA B.1 – VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS DO DISDRÔMETRO DE IMPACTO / DISDRÔMETRO A LASER. 34	
TABELA B.2 – VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS DO RADIÔMETRO NÃO PERFILADOR..... 34	
TABELA B.3 – VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS DO RADIÔMETRO PERFILADOR. 35	
TABELA B.4 – VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS DO PLUVIÔMETRO.35	
TABELA B.5 – VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS DO PRECIPMET. 35	

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa.....	2
2 DESENVOLVIMENTO	2
2.1 CONVENÇÕES DE NOMENCLATURA DE ARQUIVOS ARM	3
2.2 REPRESENTAÇÃO DAS FLAGS DE QUALIDADE DE DADOS	4
2.3 DISDRÔMETRO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO	5
2.3.1 Dados analisados	5
2.3.2 Metadados	6
2.3.3 Ingestão de dados	6
2.3.4 Leitura de dados	7
2.4 DISDRÔMETRO A LASER – DESCRIÇÃO	7
2.4.1 Dados analisados	8
2.4.2 Metadados	9
2.4.3 Ingestão de dados	9
2.4.4 Leitura de dados	10
2.5 RADIÔMETRO NÃO PERFILADOR – DESCRIÇÃO	11
2.5.1 Dados analisados	12
2.5.2 Metadados	13
2.5.3 Ingestão de dados	13
2.5.4 Leitura de dados	14
2.6 RADIÔMETRO PERFILADOR – DESCRIÇÃO	15
2.6.1 Dados analisados	16
2.6.2 Metadados	16
2.6.3 Ingestão de dados	17
2.6.4 Leitura de dados	18
2.7 PLUVIÔMETRO – DESCRIÇÃO	19
2.7.1 Dados analisados	19
2.7.2 Metadados	20
2.7.3 Ingestão de dados	21
2.7.4 Leitura de dados	21
3 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	24
APÊNDICE A - TABELAS DAS VARIÁVEIS PRIMÁRIAS.....	27
APÊNDICE B – TABELAS DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS... 	34

1 INTRODUÇÃO

Este relatório visa analisar uma série de instrumentos meteorológicos utilizados pelo programa de Medição de Radiação Atmosférica (ARM – *Atmospheric Radiation Measurement*) do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE – *Department of Energy*), especificamente em relação à forma como diferentes instrumentos tratam da ingestão e da qualidade de seus dados.

Os instrumentos analisados foram: disdrômetros de impacto, disdrômetros a laser, radiômetros, tanto não perfiladores quanto perfiladores e, por fim, pluviômetros. Inicialmente, o funcionamento desses equipamentos será descrito brevemente, em seguida, dados provenientes de uma semana de funcionamento desses dispositivos serão estudados, sendo obtidos do repositório de dados do programa ARM.

Os principais pontos que serão observados nessa análise serão as diferenças entre os metadados de cada instrumento e as possíveis diferenças na ingestão de dados por cada um deles. Por fim, será uma leitura de algumas dessas variáveis, com os gráficos resultantes desses dados. A leitura dos dados em si será feita pela plataforma Jupyter Notebook, com uso da linguagem Python.

1.1 Objetivo

Os objetivos deste estudo foram definir requisitos de qualidade de dados, a partir do estudo das ferramentas do ARM (*Atmospheric Radiation Measurement*), apresentando ferramentas adaptadas (algoritmos) ao cenário brasileiro que tratem a qualidade de dados coletados pelo INPE para quatro tipos de sensores, baseando-se em equipamento similares instalados em diferentes locais do globo disponibilizados pelo ARM, incluindo a região Amazônica. Dentre os sensores estão:

- Radiômetro Perfilador (MP3000A): é um instrumento de superfície que mede a radiação passiva nos comprimentos de onda do infravermelho e micro-onda. Este equipamento incorpora dois subsistemas de radiofrequência na mesma cabine que dividem a mesma antena e sistema de apontamento, como pode ser notado no diagrama de bloco dos componentes do sistema primário. Sendo um total de 35 canais, que vão desde 22 ao 30 GHz (21 canais) associados à emissão por vapor d'água, e de 51 a 59 GHz (14 canais) relacionados à emissão por

moléculas de oxigênio. Além de medidas na superfície que são realizadas constantemente a partir de sensores de temperatura, pressão, umidade e binário de chuva [0 (sem chuva) ou 1 (chuva)],

- Disdrômetro a Lazer (PARSIVEL): é um disdrômetro utilizado para definir a taxa de chuva na superfície a partir da estimativa do tamanho e velocidade terminal dos hidrometeoros que impactam sobre uma película hidrofóbica,
- Disdrômetro de impacto (Joss-Waldvogel): é um disdrômetro utilizado para definir a taxa de chuva na superfície a partir da estimativa do tamanho e velocidade terminal dos hidrometeoros que atravessam a área de detecção do laser (52 cm²) e a suas concentrações,
- Pluviômetro de báscula: é um sensor que define o total de precipitação ocorrido em um determinado período a partir de medidas realizadas por uma báscula instalada ao final de um coletor.

1.2 Atividades desenvolvidas durante o período da bolsa

Durante os 3 meses de bolsa foram executadas as seguintes atividades:

- Levantamento bibliográfico sobre *Data Quality* e dos sensores apresentados na seção anterior, considerados nesse estudo,
- Levantamento das funcionalidades de qualidade de dados para os sensores selecionados,
- Estudo das ferramentas computacionais de *data quality* utilizadas no ARM,
- Especificação das funcionalidades de qualidade de dados a serem adotadas,
- Construção de algoritmos para leitura e exibição (gráficos) dos dados em diferentes sensores e locais disponibilizados pelo ARM.

2 DESENVOLVIMENTO

Análises foram realizadas em uma série de instrumentos meteorológicos utilizados pelo programa de Medição de Radiação Atmosférica (ARM – *Atmospheric Radiation Measurement*) do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE – *Department of Energy*), especificamente em relação à forma como diferentes instrumentos tratam da

ingestão e da qualidade de seus dados. Tais instrumentos são semelhantes aqueles usadas durante as campanhas do GoAmazon e ATTO pertencentes ao INPE, e servem como exemplo a implementação de controles de qualidade dos dados gerados por estes equipamentos em aplicação futura.

Os instrumentos analisados foram: disdrômetros de impacto, disdrômetros a laser, radiômetros, tanto não perfiladores quanto perfiladores e, por fim, pluviômetros. Inicialmente, o funcionamento desses equipamentos será descrito brevemente, em seguida, dados provenientes de uma semana de funcionamento desses dispositivos serão estudados, sendo obtidos do repositório de dados do programa ARM.

Os principais pontos que serão observados nessa análise serão as diferenças entre os metadados de cada instrumento e as possíveis diferenças na ingestão de dados por cada um deles. Por fim, será uma leitura de algumas dessas variáveis, com os gráficos resultantes desses dados. A leitura dos dados em si será feita pela plataforma Jupyter Notebook, com uso da linguagem Python.

2.1 CONVENÇÕES DE NOMENCLATURA DE ARQUIVOS ARM

Todos os instrumentos analisados neste relatório seguem a mesma convenção de nomenclatura para os arquivos de seus dados processados. Exceto aqueles que foram ingestados antes da definição do netCDF como formato a ser seguido pelo ARM/DOE, ou por questões excepcionais.

Notadamente, apenas os caracteres “a-z”, “A-Z”, “0-9” e “.” são permitidos, sendo 60 o número máximo de caracteres permitido, o formato geral de nomenclatura é (1):

(sss)(inst)(qualifier)(temporal)(Fn).(dl).(yyyymmdd).(hhmmss).cdf

De tal forma que:

- (sss) é o identificador do local onde o instrumento se encontra (e.g. SGP – *Southern Great Plains*, MAO – Manacapuru, Amazonas, Brasil; Mobile Facility),
- (inst) é a abreviação do instrumento utilizado (e.g. mwr, ld),
- (qualifier) é um qualificador opcional que diferencia diferentes conjuntos de

dados obtidos pelo mesmo instrumento,

- (temporal) é um qualificador opcional que indica o intervalo de tempo em que dados são obtidos (resolução temporal),
- (Fn) é a designação da instalação do ARM onde os dados foram obtidos (e.g. S1, C1, B4),
- (dl) é um qualificador de dois caracteres que indica o nível de processamento pelo qual passaram os dados, indo de 00 para os dados brutos até o nível máximo s2,
- (yyyymmdd) é a data em UTC indicando o ponto de início de coleta de dados no arquivo,
- (hhmmss) é o horário em UTC indicando o ponto de início e coleta de dados no arquivo.

Note que as convenções citadas acima referem-se à extensão “.cdc”, não mais usada como padrão, ao invés, o netCDF (“.nc”) tomou seu lugar.

2.2 REPRESENTAÇÃO DAS *FLAGS* DE QUALIDADE DE DADOS

Os instrumentos analisados neste relatório contam com uma série de *flags* de qualidade de dados (*Quality Control – QC*) para algumas ou todas suas medições que representam na forma de bits valores de verdadeiro ou falso para testes que possam ter sido aplicados aos dados, sendo representados da seguinte maneira:

$$\text{bit}_1 = 00000001 = 0x01 = 2^0 = 1$$

- qc_bit_1_description = Valor igual a -999 (*missing_value*),

$$\text{bit}_2 = 00000010 = 0x02 = 2^1 = 2$$

- qc_bit_2_description = Valor é menor do que *valid_min* (Valores disponíveis no apêndice B),

$$\text{bit}_3 = 00000100 = 0x04 = 2^2 = 4$$

- qc_bit_3_description = Valor é maior do que *valid_max* (Valores disponíveis no apêndice B),

$$\text{bit}_4 = 00001000 = 0x08 = 2^3 = 8$$

- `qc_bit_4_description` = Diferença entre valor atual e anterior excede `valid_delta` (Valores disponíveis no apêndice B).

Dessa forma, um valor nulo para todos os bits de uma variável `qc_<nome da variável>` indica que todos os testes de qualidade foram bem sucedidos. Por outro lado, se essa mesma variável tiver valor 10, por exemplo, isso indicaria que essa medição falhou tanto o teste de valor mínimo quanto o de delta máximo.

Por fim, vale notar ainda que operações *bitwise* podem ser utilizadas para selecionar erros específicos nos dados para serem analisados.

2.3 DISDRÔMETRO DE IMPACTO – DESCRIÇÃO

O disdrômetro de impacto é um instrumento capaz de determinar a distribuição de tamanho de gotas da precipitação em um certo local ao transformar o impacto mecânico da queda de uma gota de água no sensor do dispositivo em um pulso elétrico. A amplitude desse pulso relaciona-se diretamente ao diâmetro da gota, permitindo que a distribuição seja obtida.

Além da distribuição de tamanho de gotas, o disdrômetro também é capaz de analisar uma série de dados relacionados à precipitação, como a velocidade de queda de cada gota, a taxa de precipitação e a refletividade radar. Tabelas completas das variáveis primárias e de qualidade de dados do disdrômetro de impacto estão disponíveis no apêndice A e B deste relatório, respectivamente. (2)

2.3.1 Dados analisados

Para análise, foram selecionados dados de disdrômetros de impacto em duas localizações, um deles localizado na cidade de Lamont, no estado americano de Oklahoma (Código SGP-*Southern Great Plains ARM*) e o segundo localizado na cidade de Darwin, na Austrália (Código TWP-*Tropical Western Facility ARM*). Em ambos os casos, foram obtidos dados de uma semana de sensoriamento, entre 11/04/2015 a 18/04/2015 no caso do disdrômetro em SGP e entre 11/11/2014 a 18/11/2014 para o disdrômetro em TWP.(3)
(4)

Para o disdrômetro em SGP, o arquivo de dados foi nomeado da seguinte forma:

sgpdisdrometerC1.b1.20150411.000000..20150418.000000.custom.cdf

Seguindo as especificações do ARM, (sgp) refere-se ao local onde o instrumento se encontra, (disdrometer) refere-se ao instrumento em si, (C1) diz respeito à instalação do ARM na qual as medições foram feitas, nesse caso na instalação central de Lamont, (b1) indica que pelo menos uma das medidas passou por checagens de qualidade que foram então armazenadas no documento e, por fim, os números em seguida representam a data e hora das medições. Note que a palavra “.custom” antes de “.cdf” apenas indica que o fluxo de dados do dia 11/04/2015 até 18/04/2015 foi unido em um só arquivo do formato netCDF.

As mesmas regras valem para o disdrômetro em TWP, inclusive tendo o mesmo nível de processamento de dados.

twpdisdrometerC3.b1.20141111.000020..20141118.000020.custom.cdf

2.3.2 Metadados

No caso dos disdrômetros avaliados, em ambos as variáveis envolvidas nas medições são taxa de chuva, precipitação e refletividade radar, portanto, suas variáveis de qualidade são *qc_rain_rate* e *qc_precip_dis*, sendo que *radar_reflectivity* não possui uma variável de qualidade.

Como, em termos de variáveis primárias, os disdrômetros analisados apresentam a mesma quantidade de informação, a quantidade de variáveis de qualidade criadas em ambos foi igual. Após serem analisadas, verificou-se que, em ambos os instrumentos, as variáveis de qualidade citadas acima apenas retornaram valores nulos, ou seja, os dados avaliados passaram pelos testes de qualidade.

2.3.3 Ingestão de dados

Em termos de dimensionalidade, todas as variáveis de ambos os disdrômetros possuem pelo menos a dimensão tempo, nesse caso variando de 1 até 11520 minutos, pois os intervalos de amostragem são de 1 minuto cada (11520 minutos = 7 dias). Para outras variáveis, como *mean_diam_drop_class*, *fall_velocity*, *drop_class*, *delta_diam*, *num_drop* e *number_density*, uma segunda dimensão é adicionada, a *drop_class* (classe de gota), que varia da classe 1 até a classe 20, cada uma contendo diâmetros médios, velocidades de queda e intervalos de diâmetro para cada classe de gota (tabela disponível

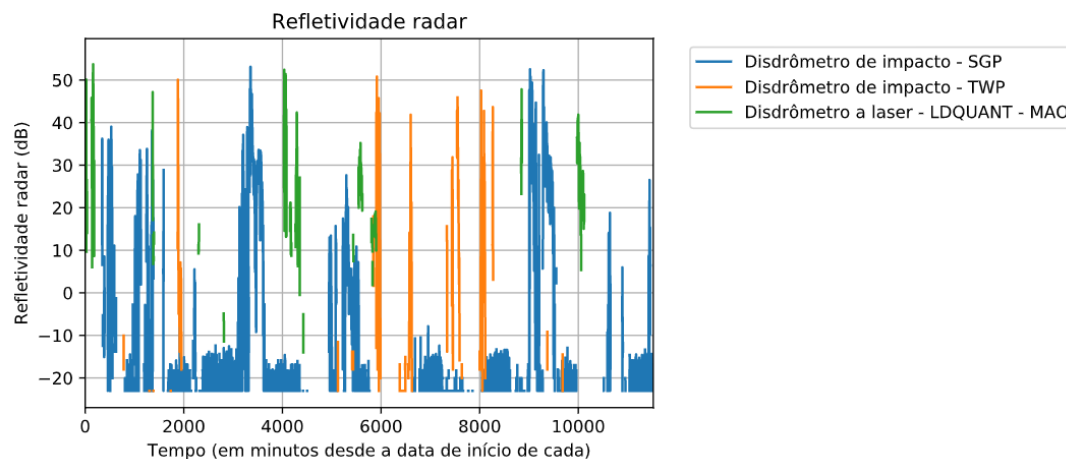
no apêndice A).

Com essas informações, é possível criar um programa que leia e represente graficamente os dados armazenados pelos disdrômetros no período escolhido.

2.3.4 Leitura de dados

Dessa maneira, organizando todos esses dados em um programa capaz de lê-los, nesse caso programado na linguagem Python, e com bibliotecas para a análise de dados (pandas, numpy) e para o gerenciamento de arquivos netCDF (netCDF4), é possível a criação de gráficos (Figuras 1) que representem as variáveis primárias dos disdrômetros. Na Figura 2.1 é possível verificar os valores de refletividade para diferentes localidades, incluindo aquela onde existem equipamentos do INPE, como é o MAO. Nota-se que os valores são realísticos ao que se encontra na literatura.

Figura 2.1 - Refletividade radar calculada pelo disdrômetro de impacto para diversas regiões.



Fonte: produção do próprio autor.

2.4 DISDRÔMETRO A LASER – DESCRIÇÃO

Um disdrômetro a laser tem como função principal medir a distribuição de tamanhos de gotas da precipitação em um local, bem como suas velocidades, além de dados adicionais como a refletividade radar, visibilidade e precipitação nessa região. A medição das gotas é feita quando elas interrompem o feixe de um laser horizontal projetado pelo disdrômetro, quando isso ocorre, a intensidade óptica do laser medida pelo instrumento

cai, de tal forma que o diâmetro da gota é proporcional a essa redução. (5)

Com essas informações, o instrumento é capaz de determinar a distribuição de classes de gotas, além de caracterizar o tipo de precipitação, como chuvisco, granizo, neve, dentre outros. Tabelas completas das variáveis primárias, das classes de gotas e de qualidade de dados estão disponíveis nos apêndices A e B deste relatório, respectivamente.

2.4.1 Dados analisados

Os disdrômetros a laser selecionados para análise encontram-se em duas localizações diferentes, um deles no estado americano de Oklahoma (Código SGP-*Southern Great Plains* ARM) e os outros dois (“pars2” e “ldquant”) em Manacapuru, no estado brasileiro do Amazonas (Código MAO – Manacapuru *Mobile Facility*), fazendo parte do projeto GOAMAZON realizado em conjunto pelo ARM e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (6)

Para os três disdrômetros, foi analisada uma semana de dados, no caso do disdrômetro em SGP entre as datas de 05/10/2018 e 12/10/2018, para o disdrômetro pars2 em MAO entre 10/04/2015 e 17/04/2015 e, para ldquant, entre 09/04/2015 e 16/04/2015, escolhidas pelo período de funcionamento de cada instrumento e pela ausência de dados incorretos ou perdidos.

O disdrômetro localizado em SGP tem como variáveis principais a distribuição de tamanho dos hidrometeoros dividida em seis categorias e a precipitação (7 variáveis). Já para o disdrômetro pars2, além desses dois últimos, também conta com medições de visibilidade, conteúdo de água líquida e velocidade de queda dos hidrometeoros (10 variáveis). Por fim, ldquant conta com variáveis de conteúdo de água líquida, tamanho dos hidrometeoros, precipitação e refletividade radar (4 variáveis). (7) (8) (9)

Para o disdrômetro a laser em SGP, o arquivo de dados foi nomeado da seguinte forma:

sgpldC1.b1.20181005.000000..20181012.000000.custom.cdf

Seguindo as especificações do ARM, (sgp) refere-se ao local onde o instrumento se encontra, (ld) refere-se ao instrumento em si, (C1) diz respeito à instalação do ARM na qual as medições foram feitas, nesse caso na instalação central de Lamont, (b1) indica que pelo menos uma das medidas passou por checagens de qualidade que foram então armazenadas no documento e, por fim, os números em seguida representam a data e hora

das medições.

As mesmas regras valem para o disdrômetro pars2 e ldquant em MAO:

maopars2S10.b1.20150410.000000..20150417.000000.custom.cdf

maoldquantsS10.c1.20150409.000000..20150416.000000.custom.cdf

Note, entretanto, que o disdrômetro ldquant conta com um nível de processamento de dados (c1) maior do que dos outros dois (b1). Isso significa que em C1 foram utilizados dados externos ou algoritmo para calcular alguma variável.

2.4.2 Metadados

Ao contrário do disdrômetro de impacto, tanto o disdrômetro em SGP quanto o pars2 em MAO não contam com variáveis de qualidade de dados para todas as suas variáveis primárias, mas apenas a variável “*qc_time*”, relacionada com testes de qualidade na medição do tempo, como pôde-se avaliar em seus arquivos de dados.

É interessante notar isso, adicionalmente, pois os dois instrumentos, em termos de variáveis primárias, contam com quantidades de informações diferentes, o que poderia fazer com que um tivesse mais metadados do que o outro, algo que não ocorreu neste caso.

O disdrômetro ldquant, por outro lado, sequer conta com variáveis de qualidade de dados, possivelmente por ter um nível de processamento de dados mais alto ou pela falta de dados de comparação, tratando-se de um “*value-added data product*” (VAP).

Para o disdrômetro em SGP, a variável *qc_time* retornou o valor 4 um total de oito vezes, ou seja, em oito medições temporais o valor medido excedeu o máximo. Já para pars2, esse mesmo valor foi retornado, mas apenas em uma medição.

2.4.3 Ingestão de dados

Em relação à dimensionalidade dos dados, para o disdrômetro a laser em SGP, o momento da distribuição de tamanho das partículas tem uma única dimensão no tempo, o mesmo ocorre para a variável precipitação, entretanto, a distribuição bruta (*raw_distribution*) é definida em três dimensões, em relação ao tempo, ao tamanho da partícula e à velocidade de queda.

Como o disdrômetro a laser pars2 em MAO apresenta essas mesmas variáveis, todas elas

apresentam a mesma dimensionalidade. Dentre as variáveis exclusivas a este instrumento, ou seja, visibilidade, conteúdo de água líquida e velocidade de queda, tanto a primeira quanto a segunda apresentam apenas uma dimensão no tempo, já a última conta com apenas com a própria velocidade de queda bruta (*raw_fall_velocity*).

O disdrômetro *ldquant*, enfim, possui apenas a dimensionalidade de tempo para todas as suas variáveis. Vale notar que, por ser um VAP como dito anteriormente, esse disdrômetro possui certas diferenças no processo de ingestão de dados, notadamente, podemos observar em seu fluxo de dados que valores médios, medianos e diferenciais são calculados para suas variáveis, indicando, novamente, um maior nível de processamento.

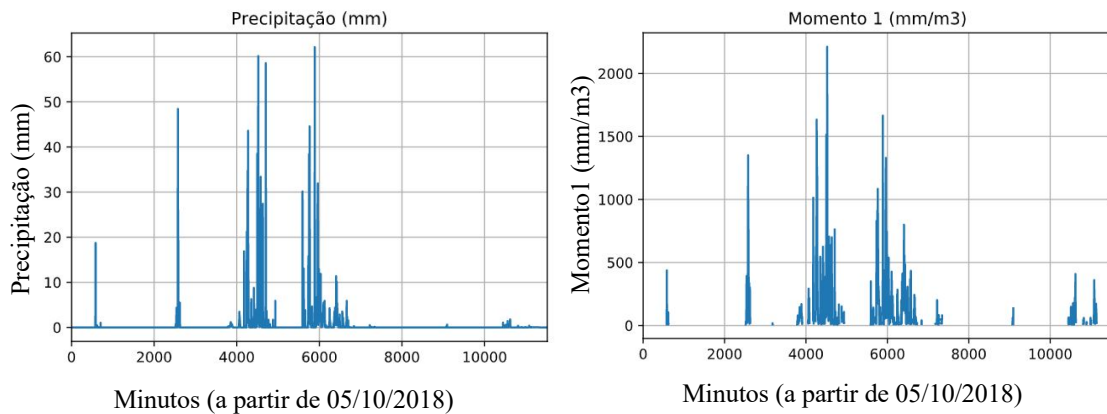
Por fim, vale ressaltar que a dimensão de tempo varia de 1 a 11520 minutos, correspondendo aos sete dias contemplados pelos dados, a de tamanho da partícula conta com 32 classes possíveis, bem como a dimensão de velocidade de queda (Tabela completa disponível no apêndice A deste relatório).

2.4.4 Leitura de dados

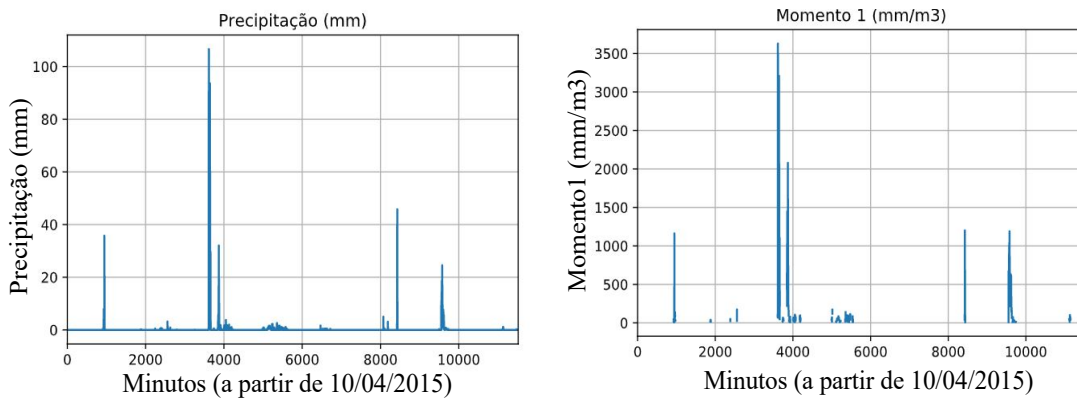
Dessa maneira, organizando todos esses dados em um programa capaz de lê-los, nesse caso programado na linguagem Python, e com bibliotecas para a análise de dados (*pandas*, *numpy*) e para o gerenciamento de arquivos *netCDF* (*netCDF4*), é possível a criação de gráficos que representem as variáveis primárias dos disdrômetros.

Para os disdrômetros em SGP e MAO temos os seguintes gráficos de precipitação (Figura 2.2a) e um dos gráficos de momento da distribuição de tamanho das partículas (Figura 2.2b). Observa-se que os valores estão dentro da mesma variação de magnitude, o que mostra que os controles de qualidade aplicados foram bem-sucedidos. A análise do comportamental destas variáveis não faz parte dos objetivos deste estudo preliminar, uma vez que apenas foi direcionado os esforços na sua aquisição, leitura e exibição a partir de ferramentas computacionais. Estudos posteriores serão executados para verificar outros parâmetros que possam ser usados para definir um bom controle de qualidade dos dados e seu significado físico para a região amazônica.

Figura 2.2 – Variáveis apresentadas no instrumento disdrômetro a laser para SPG (a) e MAO (b)



(a)



(b)

Fonte: produção do próprio autor.

2.5 RADIÔMETRO NÃO PERFILADOR – DESCRIÇÃO

A principal função de um radiômetro de micro-ondas é de estimar a quantidade de vapor de água e de água líquida na atmosfera, fazendo isso por meio de um receptor de micro-ondas sensível que mede as emissões em micro-ondas de moléculas de água em duas frequências, 23,8 GHz e 31,4 GHz. A partir dessas medições, o instrumento pode deduzir o conteúdo total de água líquida (*liquid water path*) e de vapor de água (*water vapor path*). (10)

2.5.1 Dados analisados

Foram selecionados para análise três radiômetros distintos, o primeiro deles localiza-se no estado brasileiro do Amazonas, em Manacapuru (Código MAO – Manacapuru *Mobile Facility*), fazendo parte do projeto GOAMAZON realizado em conjunto pelo ARM e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (3). O segundo encontra-se na instalação central do ARM no estado americano do Alaska, em Barrow (Código NSA – *North Slope Alaska*). Por fim, o último radiômetro está na instalação central do ARM em Lamont, Oklahoma (Código SGP – *Southern Great Plains*).

Foi analisada uma semana de dados de cada radiômetro citado acima, sendo que para todos esses a análise teve início em 01/01/2015 e término em 08/01/2015, datas escolhidas pelo período de funcionamento dos instrumentos e pela ausência de dados incorretos ou perdidos.

Em relação ao número de variáveis primárias, o radiômetro em MAO conta com quatro dessas, sendo elas o conteúdo total de água líquida, água precipitável e temperatura de brilho de micro-ondas banda curta (frequências de 23.8 GHz e 31.4 GHz). O radiômetro em NSA possui com seis variáveis primárias, dentre as quais o conteúdo de água líquida, água precipitável e temperatura de brilho no micro-ondas banda curta (nas frequências de 23.8 e 31.4 GHz). E, por fim, o radiômetro em SGP apresenta apenas duas, o conteúdo total de água líquida e de água precipitável. (11) (12) (13)

O arquivo de dados do radiômetro em MAO foi nomeado da seguinte forma:

maomwrlosM1.b1.20150101.000003..20150108.000010.custom.cdf

Seguindo as especificações do ARM, (mao) refere-se ao local onde o instrumento se encontra, (mwrlos) refere-se ao instrumento em si, (M1) diz respeito à instalação do ARM na qual as medições foram feitas, nesse caso na instalação móvel em Manacapuru, (b1) indica que pelo menos uma das medidas passou por checagens de qualidade que foram então armazenadas no documento e, por fim, os números em seguida representam a data e hora das medições.

O mesmo vale para os radiômetros em NSA e em SGP:

nsamwrlosC1.b1.20150101.000011..20150108.000005.custom.cdf

sgpmwrlosC1.b1.20150101.000011..20150108.000005.custom.cdf

Vale notar que todos os radiômetros analisados têm o mesmo nível de processamento de dados (b1). Especificamente, isso significa que ao menos uma medição passou por verificações de qualidade, no caso deste instrumento, todas as medições passaram por essa verificação.

2.5.2 Metadados

Os radiômetros analisados apresentam variáveis de qualidade de dados para todas as suas respectivas variáveis principais, portanto, o radiômetro em NSA terá a maior quantidade de metadados a ser analisada, seguido pelo radiômetro em MAO e por aquele em SGP.

Inicialmente, foram analisados os metadados do radiômetro em MAO, com quatro variáveis. A variável de água precipitável e a de conteúdo total de água líquida apresentaram ambas 333 medições com valores “1” para as variáveis de qualidade, ou seja, indicando valores perdidos. Já a variável de temperatura de brilho a 23.8 GHz apresentou 1574 medições que foram marcadas com a flag “4”, indicando que os dados excederam o valor máximo admitido. O mesmo valor de flag foi atribuído à variável de temperatura de brilho a 31.4 GHz, mas para 926 medições.

Para o radiômetro em SGP, com duas variáveis, o conteúdo total de água líquida apresentou 13 medições com erros de valores perdidos e a água precipitável, igualmente, 13 valores para essa mesma variável de qualidade de dados. Por fim, o disdrômetro em NSA não apresentou qualquer erro em seus dados.

Assim, podemos dizer que o número de variáveis impactou na quantidade de metadados obtidos, mas não necessariamente nos seus valores.

2.5.3 Ingestão de dados

Em termos de dimensionalidade de dados, todos os radiômetros analisados, a despeito das diferentes quantidades de variáveis, apresentaram a mesma dimensionalidade para todas as suas variáveis, a dimensão tempo.

Entretanto, é válido ressaltar que, diferentemente de outros instrumentos, como o disdrômetro, o radiômetro realiza medições de suas variáveis em intervalos de vinte segundos ao invés de a cada um minuto, sendo então mais granular na obtenção de dados. (De acordo com o manual do instrumento, existe inclusive, dentre outras mudanças, um modo de amostragem mais rápido de 15 segundos, disponível graças a modificações no

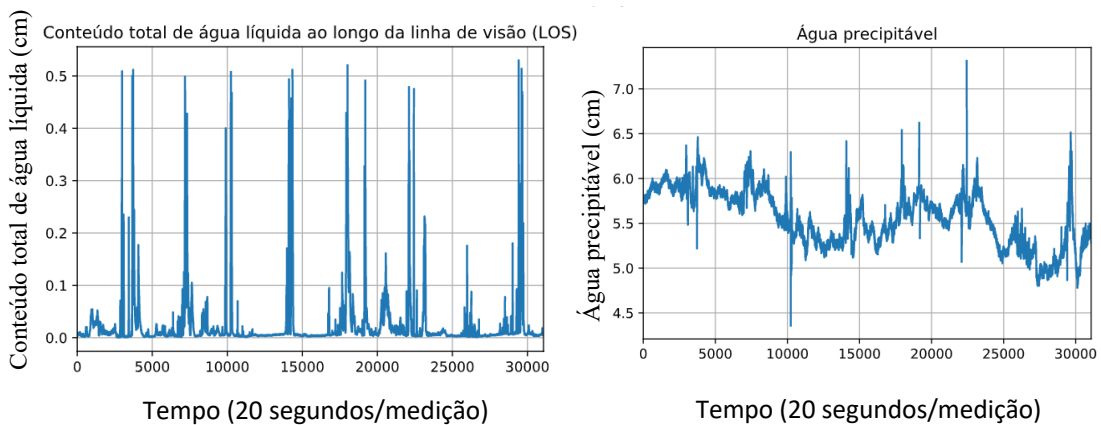
software de ingestão de dados do MWR) (10).

Por essa razão, a dimensão temporal nos arquivos analisados varia de 0 a cerca de 30000 (30000 intervalos de 20 segundos \approx 7 dias). Algumas medições foram automaticamente removidas pelo sistema do ARM devido a dados suspeitos ou incorretos.

2.5.4 Leitura de dados

Para o radiômetro em MAO, os seguintes gráficos representam o conteúdo total de água líquida e água precipitável (Figura 2.3a) e temperatura de brilho nas frequências de 23,8 e 31,4 GHz (Figura 2.3b), com o gráfico dado em intervalos de vinte segundos desde 01/01/2015. Nota-se pelas Figuras 2.3 e 2.4 (assim como para Figura 2.3a, mas para SGP), que padrões adotados de qualidade dos dados, mesmo para regiões diferentes (MAO-Amazônia e SGP – EUA), são equivalentes e o comportamento dos dois seguem padrões realísticos deste tipo de informação.

Figura 2.3 – Variáveis apresentadas no instrumento radiômetro não perfilador para MAO: estimativas de conteúdo de água precipitável e água líquida (a) e das temperaturas de brilho (b).

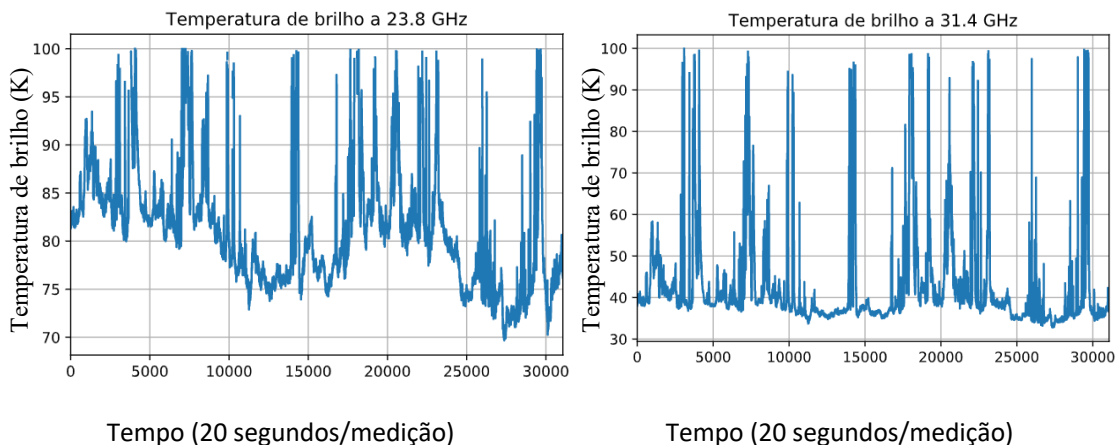


(a)

(Continua)

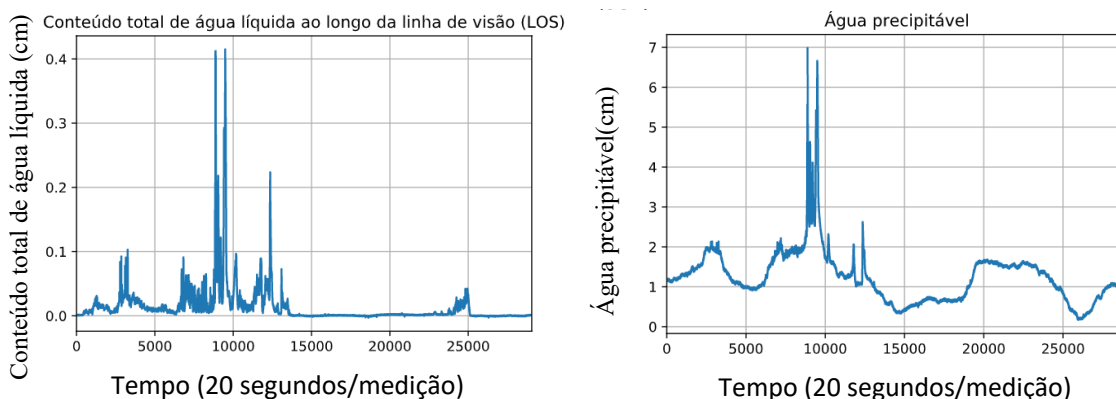
Figura 2.3 – Conclusão

(b)



Fonte: produção do próprio autor.

Figura 2.4 - Variáveis apresentadas no instrumento radiômetro não-perfilador para SGP no que diz respeito as estimativas de conteúdo de água precipitável e água líquida.



Fonte: produção do próprio autor.

2.6 RADIÔMETRO PERFILADOR – DESCRIÇÃO

O radiômetro de micro-ondas perfilador fornece perfis verticais de umidade, temperatura e conteúdo de água líquida como funções de temperatura ou pressão atmosférica, tais perfis são obtidos a partir de um receptor que recebe as emissões em micro-ondas de moléculas de água (“temperaturas de brilho”) nos 12 canais referidos anteriormente, entre

22.235 e 58.80 GHz. (14)

2.6.1 Dados analisados

Dois radiômetros perfiladores foram selecionados para a análise, um deles localiza-se na instalação central do ARM em Barrow, no estado americano do Alaska (Código NSA – *North Slope Alaska*), o outro está na ilha de Graciosa, em Açores, Portugal (Código ENA – *Eastern North Atlantic*).

Em ambos os instrumentos, foram analisados dados de uma semana de funcionamento, entre as datas de 09/01/2015 a 16/01/2015 para o radiômetro em NSA e entre 01/02/2019 e 08/02/2019 para aquele em ENA. Em relação ao número de variáveis, o radiômetro em NSA conta com três variáveis primárias: conteúdo de água líquida, conteúdo total de água líquida e água precipitável. Já aquele em ENA possui uma quantidade significativamente maior de variáveis, sendo oito: conteúdo de água líquida, trajeto de água líquida, água precipitável, convecção, altura de base de nuvens, umidade atmosférica, pressão atmosférica e temperatura atmosférica. (15) (16)

O arquivo de dados do radiômetro em NSA foi nomeado da seguinte forma:

`nsamwrpC1.b1.20150109.000904..20150116.000904.custom.cdf`

Seguindo as especificações do ARM, (nsa) refere-se ao local onde o instrumento se encontra, (mwrp) refere-se ao instrumento em si, (C1) diz respeito à instalação do ARM na qual as medições foram feitas, nesse caso na instalação central em Barrow, (b1) indica que pelo menos uma das medidas passou por checagens de qualidade que foram então armazenadas no documento e, por fim, os números em seguida representam a data e hora das medições.

Isso também vale para o radiômetro em ENA:

`enamwrpC1.b1.20190201.000137..20190208.000237.custom.cdf`

Novamente, os dois radiômetros analisados têm o mesmo nível de processamento de dados (b1).

2.6.2 Metadados

Os radiômetros perfiladores analisados apresentam variáveis de qualidade de dados (*flags*) para todas suas variáveis principais. Sendo assim, o radiômetro em ENA terá um

total e oito variáveis a serem analisadas, enquanto aquele em NSA terá apenas três.

Primeiramente, foi analisado o radiômetro em NSA, com três variáveis primárias. Percebeu-se que nos seus dados houve uma grande quantidade de valores perdidos (*missing_value*), tanto na variável de água precipitável quanto na de trajeto de água líquida, sendo equivalente a um dia de operação do instrumento. Esses dados provavelmente foram removidos automaticamente pelo serviço de busca de dados do ARM por conter dados incorretos. De qualquer forma, isso acabou gerando um impacto na aparência dos gráficos dessas grandezas quando comparados aos gráficos do radiômetro em ENA.

Em relação ao radiômetro em ENA, com oito variáveis primárias, uma medição de água precipitável excedeu o valor máximo de 4 cm e o mesmo ocorreu para medições de trajeto de água líquida. O maior número de erros ocorreu com as medidas de convecção, que tiveram flags de “*missing_value*” por aproximadamente um dia de medições, da mesma forma como o trajeto de água líquida para o disdrômetro em NSA.

É interessante notar que, apesar do radiômetro em NSA ter menos informações (em termos de variáveis primárias) do que aquele em ENA, o que foi mais impactado pela perda de dados indicada pelos metadados foi o primeiro.

2.6.3 Ingestão de dados

No que diz respeito à dimensionalidade dos dados, a maior parte das variáveis primárias analisadas apresentam uma única dimensão, a temporal, entretanto, as variáveis de temperatura e de conteúdo de água líquida possuem, além dessa, uma dimensão de altitude, pois, como dito anteriormente, o radiômetro perfilador fornece perfis verticais de alguns dados. Isso fará com que essas variáveis multidimensionais sejam representadas com um gráfico do tipo “mapa de calor” na próxima seção.

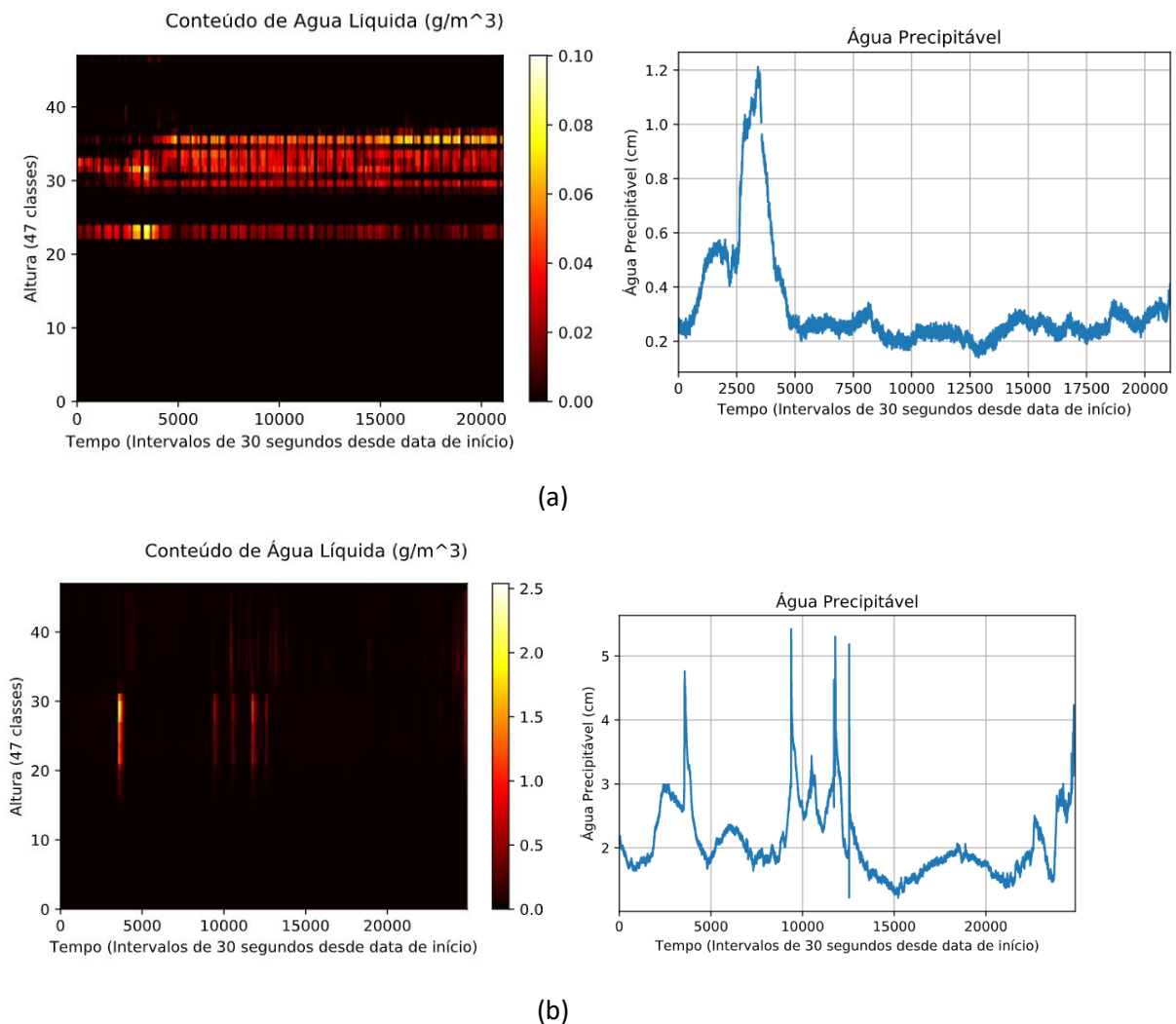
A dimensão do tempo é dividida em intervalos de 30 segundos, enquanto as alturas da classe de altitude são divididas em 47 classes diferentes, que estão disponíveis no apêndice A deste relatório.

Dessa maneira, o radiômetro perfilador apresenta uma taxa de amostragem um pouco menor do que a do não perfilador, que realiza medições a cada 20 segundos.

2.6.4 Leitura de dados

A Figura 2.5 mostra os perfis de água líquida de nuvens e água precipitável na coluna atmosférica estimadas a partir de dados medidos pelos radiômetros perfilados em duas localidades. Os primeiros dois gráficos referem-se ao radiômetro em NSA, com as medidas do tempo dadas do dia 09/01/2015 até o dia 16/01/2015. Já os últimos dois estão associados a ENA. Novamente, nota-se que os dados apresentavam valores coerentes com a literatura e demonstram condições amigáveis de leitura e reprodução. Características importantes a sua reprodução científica.

Figura 2.5 – Perfis de água líquida de nuvens e de água precipitável para NSA (a) e ENA (b).



Fonte: produção própria do autor.

2.7 PLUVIÔMETRO – DESCRIÇÃO

O pluviômetro de balança, fornece informações sobre a precipitação em um local ao coletar a água de chuva por meio de um funil que a direciona para um dispositivo no formato de uma “gangorra”. Esse dispositivo rotaciona quando uma quantidade pré-definida de água é armazenada nele, o que envia um sinal elétrico para um dispositivo que armazena essa informação. (17)

O PRECIPMET, por sua vez, fornece leituras de umidade, pressão e temperatura atmosférica, do vento horizontal e da precipitação, sendo composto por diferentes dispositivos, como seu próprio *tipping bucket rain gauge* e um transmissor climático (WXT520) que realiza as outras medições (18).

2.7.1 Dados analisados

Para o pluviômetro, dois instrumentos foram selecionados para análise, um deles localizado em Manacapuru, no estado do Amazonas (Código MAO – *Manacapuru Mobile Facility*) e com dados do dia 01/01/2015 até o dia 08/01/2015, enquanto o outro localiza-se em Córdoba, na Argentina (Código COR – *Cordoba Mobile Facility*), com dados retirados durante o dia 01/11/2018 até 08/11/2018 (19).

Em termos de variáveis primárias, todos os pluviômetros do tipo *tipping bucket* disponíveis no site do ARM apresentam apenas duas: precipitação (mm) e taxa de chuva (mm/h).

Também foram escolhidos dois instrumentos para serem analisados no caso do PRECIPMET, todos os dispositivos dessa categoria estão localizados em SGP e contam com a mesma quantidade de variáveis, contudo, estão em cidades diferentes: o primeiro encontra-se em Lamont, enquanto o segundo está em Billings (20). As variáveis primárias mencionadas são: precipitação (total e média) (mm), temperatura (°C), pressão (kPa) e umidade atmosférica (%) e vento horizontal (velocidade aritmética e vetorial médias, direção vetorial média) (m/s, graus). Note que o vento é caracterizado com vetores por ser descrito em magnitude e direção.

O intervalo em que os dados foram obtidos, para os dois PRECIPMET, vai do dia 01/04/2017 até 08/04/2017.

O arquivo de dados do pluviômetro em COR foi nomeado da seguinte forma:

corraintbM1.b1.20181101.000000..20181108.000000.custom.cdf

Seguindo as especificações do ARM, (cor) refere-se ao local onde o instrumento se encontra, (raintb) refere-se ao instrumento em si, (M1) diz respeito à instalação do ARM na qual as medições foram feitas, nesse caso na instalação móvel em Córdoba, (b1) indica que pelo menos uma das medidas passou por checagens de qualidade que foram então armazenadas no documento e, por fim, os números em seguida representam a data e hora das medições. Isso também vale para o pluviômetro em MAO:

maoraintbS10.b1.20150101.000000..20150108.000000.custom.cdf

Por fim, os PRECIPMET têm os seguintes nomes de arquivos, que também seguem esse formato:

sgpprecipmetI9.b1.20170401.000100..20170408.000100.custom.cdf

sgpprecipmetI10.b1.20170401.000100..20170408.000100.custom.cdf

Note que todos os instrumentos apresentam o mesmo nível de processamento de dados (b1). Especificamente, isso significa que ao menos uma medição passou por verificações de qualidade, no caso deste instrumento, todas as medições passaram por essa verificação.

2.7.2 Metadados

Os pluviômetros contam com duas variáveis principais, assim, deverão ser avaliadas duas variáveis (flags) de qualidade de dados. Os resultados da análise mostraram que em ambos os pluviômetros não houve erros demarcados pelas flags em seus arquivos, o fato dos metadados serem semelhantes está relacionado ao fato de que ambos os instrumentos apresentam as mesmas variáveis primárias.

Da mesma forma, cada variável principal do PRECIPMET conta com sua respectiva flag de qualidade de dados. É interessante notar que para o instrumento em Lamont, como será mostrado a seguir nos gráficos dos dados, houve menos dados no período escolhido do que para aquele em Billings, ocasionado por dados perdidos.

Dessa forma, nos metadados do primeiro instrumento, foram vistas várias flags de “*missing_value*” para as variáveis de temperatura, umidade, pressão, velocidade vetorial e aritmética do vento. De acordo com o relatório de qualidade de dados do próprio ARM, visto no seu site de busca de dados, isso ocorreu graças a um atraso na comunicação do

instrumento, levanto a curtos períodos de dados perdidos. O mesmo não ocorreu com o PRECIPMET em Billings, que teve algumas flags de dados perdidos, mas não tantas quanto outro instrumento. Por fim, vale notar que as regras para geração de flags de metadados são iguais ao do pluviômetro (valores máximos, mínimos e de delta máximo disponíveis no apêndice B).

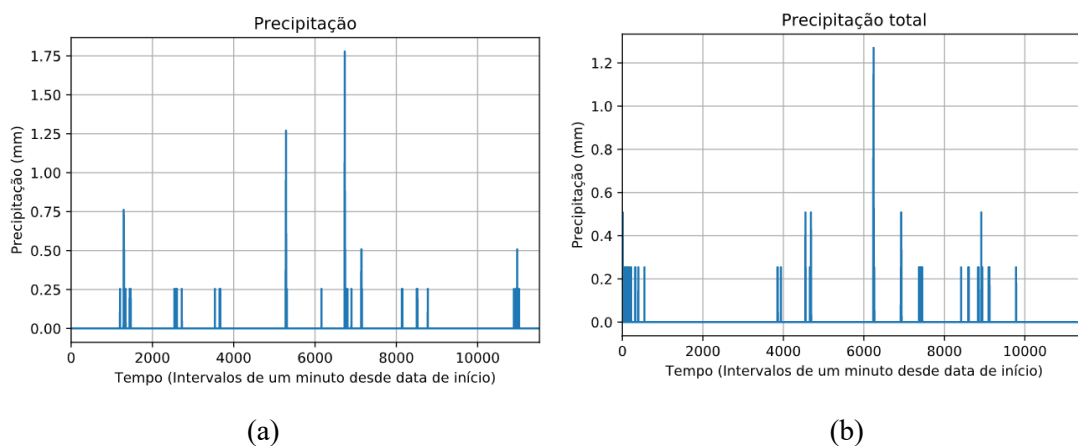
2.7.3 Ingestão de dados

Em relação à ingestão de dados, em ambos os pluviômetros se observa que todas as variáveis apresentam apenas dimensões temporais. Vale também ressaltar que os instrumentos apresentam uma taxa de amostragem de um minuto. De forma semelhante ao pluviômetro, todos os dados do PRECIPMET apresentam uma única dimensão temporal e eles são obtidos em intervalos de um minuto.

2.7.4 Leitura de dados

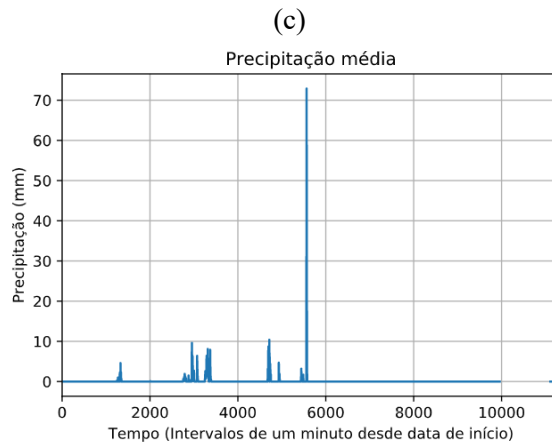
A Figura 2.6 apresenta uma das variáveis mais utilizadas em meteorologia, a precipitação. Neste caso, são os valores observados em diferentes regiões ((a) MAO, (b) COR e (c) SGP) pelo mesmo equipamento, um pluviômetro de báscula. Nota-se pela figura que os valores observados estão dentro do esperado, dada as devidas variações associadas as amostras, mas contidas dentro de amplitudes realísticas. Já a Figura 2.7 apresenta os valores (a) Temperatura, (b) pressão, (c) umidade relativa e (d) intensidade do vento em SGP. Cabe ressaltar, que este PRECIPMET é apenas a acoplamento de diversos sensores em um só equipamento, a chuva vem do mesmo pluviômetro de báscula.

Figura 2.6 – Precipitação observada (mm) em (a) MAO, (b) COR e (c) SGP pelos pluviômetros. (c) referencie ao PRECIPMET.



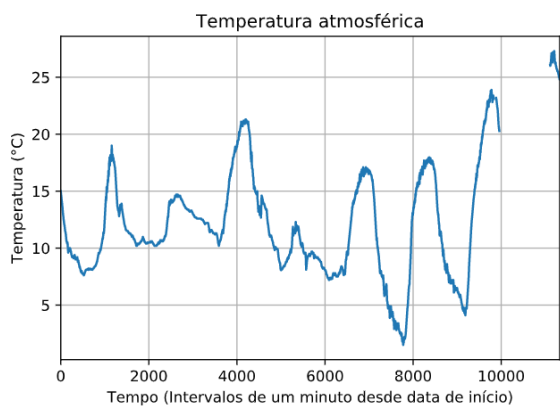
Continuação

Figura 2.6 - Conclusão

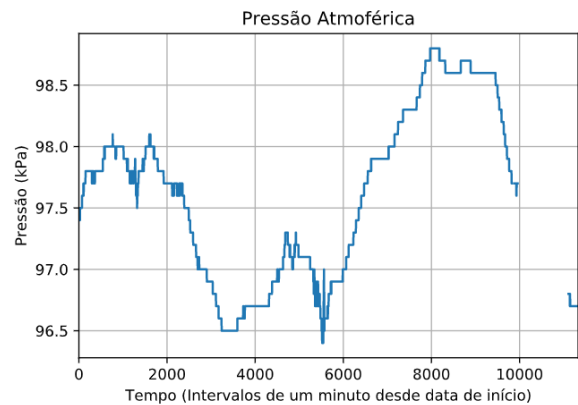


Fonte: produção própria do autor.

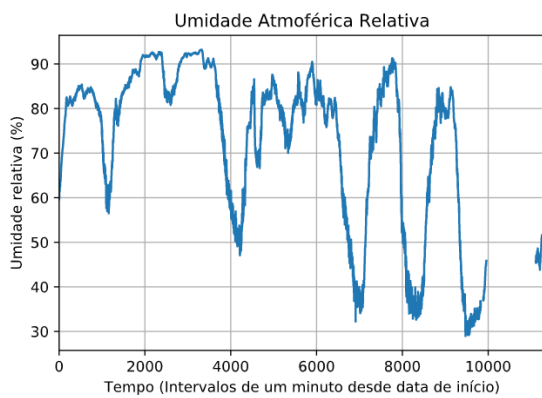
Figura 2.7 – Variáveis do ambiente medidas por sensores acoplados ao pluviômetro no PRECIPMET: (a) Temperatura, (b) pressão, (c) umidade relativa e (d) intensidade do vento em SGP.



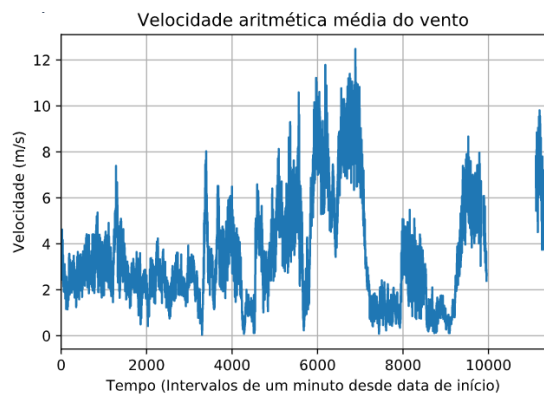
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: produção própria do autor.

3 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o objetivo de criar ferramentas computacionais que fossem capazes de ler os dados disponíveis na plataforma do ARM, seguindo os critérios internacionais de qualidade de dados. Apurar as informações contidas sobre aplicações de controle de qualidade nos instrumentos listados acima. Verificar a comparação entre as medidas realizadas em diferentes sítios. Construir algoritmos amigáveis aos mentores desses dados do lado brasileiro, de modo a facilitar não só o controle da qualidade, mas também a divulgação nas plataformas de distribuição de dados que o INPE oferece.

Com relação aos resultados apresentados anteriormente, é possível afirmar que medições de uma mesma variável, mesmo quando obtidas de instrumentos diferentes são semelhantes entre si em termos de dimensionalidade e no aspecto das curvas geradas, o que mostra um grau de qualidade aceitável. As maiores discrepâncias ocorrem quando dois instrumentos diferentes apresentam taxas de amostragem distintas, como ocorre com os radiômetros, resultado esperado, uma vez que este instrumento tem alta sensibilidade aos sistemas atuantes.

Em relação aos metadados de cada instrumento, relativos à qualidade de dados, a quantidade de variáveis entre equipamentos não altera a frequência de erros em leituras de dados. Por exemplo, no caso dos radiômetros perfiladores, aquele com menos variáveis sofreu com mais erros de dados perdidos, enquanto nos pluviômetros ocorreu o contrário. Isso se dá devido a características de medidas dos dados e robustez dos equipamentos. Tal resultado mostra que maiores cuidados devem ser dados a equipamentos específicos para garantir sua qualidade ao longo das medidas.

Um ponto discrepante na análise dos metadados (dados sobre os dados), porém, seria que no disdrômetro de impacto, a variável de refletividade radar, apesar de ser uma variável primária, não apresenta *flags* de qualidade de dados. Este é um dos poucos casos dentre os instrumentos em que uma medição principal não apresenta essas *flags*, justificando uma análise futura. Geralmete este tipo de equipamento serve de referência para calibração de disdrometros a laser e radares meteorológicos, o que os torna muito importantes e manter sua qualidade é essencial. O outro caso em que isso ocorre (disdrômetro a laser LDQUANT) é facilmente explicado, por se tratar de um *value added data product* (VAP) com nível maior de processamento de dados, esse instrumento já foi

tratado por algum algoritmo prévio para calcular uma ou mais variáveis. Procedimentos esses que precisam ser adotados aos equipamentos do INPE para garantir sua qualidade.

Todos estes instrumentos são semelhantes aqueles utilizados durante a campanha GoAmazon, e alguns foram utilizados durante este evento, e serão também aplicados a o experimento de campo ATTO, ambos na região Amazônica e cujo INPE é um dos líderes. Cabe ressaltar que este trabalho, apesar de ter ocorrido durante apenas 3 meses, foi capaz de identificar parâmetros e metodologia de organização e qualidade dos dados que serão utilizados em informações geradas pelo INPE. Os trabalhos futuros serão associados a implementação destas técnicas nos dados dos experimentos supracitados. Garantindo assim a qualidade das informações e sua divulgação de maneira mais adequada aos padrões internacionais.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARM-DOE. Formatting and file naming protocols. **ARM**, 2016. Disponível em: <https://www.arm.gov/publications/programdocs/doe-sc-arm-15-004.pdf>. Acesso em: 9 abril 2020.

ARM-DOE. Impact Disdrometer Instrument Handbook. **ARM**, 2016. Disponível em: https://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/disdrometer_handbook.pdf. Acesso em: 2 abril 2020.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2006, updated hourly. Impact Disdrometer (DISDROMETER). 2015-04-11 to 2015-04-18, Southern Great Plains (SGP) Central Facility, Lamont, OK (C1). Compiled by M. Bartholomew and D. Wang. ARM Data Center. Data set accessed 2020-04-09 at <http://dx.doi.org/10.5439/1025181>.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2006, updated hourly. Impact Disdrometer (DISDROMETER). 2014-11-11 to 2014-11-18, Tropical Western Pacific (TWP) Central Facility, Darwin, Australia (C3). Compiled by M. Bartholomew and D. Wang. ARM Data Center. Data set accessed 2020-04-09 at <http://dx.doi.org/10.5439/1025181>.

ARM-DOE. Idis Handbook. **ARM**, 2014. Disponível em: https://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/ldis_handbook.pdf. Acesso em: 18 abril 2020.

ARM-DOE. Observations and modeling of the green ocean Amazon. **ARM**, 2015. Disponível em: <https://www.arm.gov/research/campaigns/amf2014goamazon>. Acesso em: 18 abril 2020.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2014, updated hourly. Laser Disdrometer (PARS2). 2015-04-10 to 2015-04-17, ARM Mobile Facility (MAO) Manacapuru, Amazonas, Brazil; Supplemental Site (S10). Compiled by M.

Bartholomew, D. Wang and Y. Shi. ARM Data Center. Data set accessed 2020-04-18
Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2016, updated hourly. Laser
Disdrometer (LD). 2018-10-05 to 2018-10-12, Southern Great Plains (SGP) Central
Facility, Lamont, OK (C1). Compiled by M. Bartholomew, D. Wang and Y. Shi. ARM
Data Center. Data set accessed 2020-04-18.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. , updated hourly. (). 2015-
04-09 to 2015-04-16, Manacapuru, Amazonas, Brazil. ARM Data Center. Data set
accessed 2020-04-21.

ARM-DOE. Microwave radiometer handook. **ARM**, 2016. Disponível em:
https://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/mwr_handbook.pdf. Acesso
em: 25 abril 2020.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2014, updated hourly.
Microwave Radiometer (MWRLOS). 2015-01-01 to 2015-01-08, ARM Mobile Facility
(MAO) Manacapuru, Amazonas, Brazil; AMF1 (M1). Compiled by M. Cadeddu and V.
Ghate. ARM Data Center. Data set accessed 2020-04-26 at
<http://dx.doi.org/10.5439/1046211>.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 1998, updated hourly.
Microwave Radiometer (MWRLOS). 2015-01-01 to 2015-01-08, North Slope Alaska
(NSA) Central Facility, Barrow AK (C1). Compiled by M. Cadeddu and V. Ghate. ARM
Data Center. Data set accessed 2020-04-26 at <http://dx.doi.org/10.5439/1046211>.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 1993, updated hourly.
Microwave Radiometer (MWRLOS). 2015-01-01 to 2015-01-08, Southern Great Plains
(SGP) Central Facility, Lamont, OK (C1). Compiled by M. Cadeddu and V. Ghate.
ARM Data Center. Data set accessed 2020-04-26 at <http://dx.doi.org/10.5439/1046211>.

ARM-DOE. Microwave radiometer profiler (MWRP) handbook. **ARM**, 2018.
Disponível em:
https://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/mwrp_handbook.pdf. Acesso
em: 1 maio 2020.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2014, updated hourly.
Microwave Radiometer Profiler (MWRP). 2019-02-01 to 2019-02-08, Eastern North
Atlantic (ENA) Graciosa Island, Azores, Portugal (C1). Compiled by M. Cadeddu and
V. Ghate. ARM Data Center. Data set accessed 2020-05-03
at <http://dx.doi.org/10.5439/1025254>.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2004, updated hourly.
Microwave Radiometer Profiler (MWRP). 2015-01-09 to 2015-01-16, North Slope
Alaska (NSA) Central Facility, Barrow AK (C1). Compiled by M. Cadeddu and V.
Ghate. ARM Data Center. Data set accessed 2020-05-02
at <http://dx.doi.org/10.5439/1025254>.

ARM-DOE. Rain gauge instrument handbook. **ARM**, 2016. Disponível em:
https://www.arm.gov/publications/tech_reports/handbooks/rain_handbook.pdf. Acesso
em: 8 maio 2020.

ARM-DOE. Precipitation meteorological instruments (PRECIPMET) handbook. **ARM**,
2019. Disponível em: https://www.arm.gov/publications/tech_reports/doe-sc-arm-tr-

226.pdf. Acesso em: 8 maio 2020.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2018, updated hourly. Rain Gauge (RAINTB). 2018-11-01 to 2018-11-08, ARM Mobile Facility (COR) Cordoba, Argentina; AMF1 (main site for CACTI) (M1). Compiled by M. Bartholomew and D. Wang. ARM Data Center. Data set accessed 2020-05-09.

Atmospheric Radiation Measurement (ARM) user facility. 2017, updated hourly. Precipitation Meteorological Instruments (PRECIPMET). 2017-04-01 to 2017-04-08, Southern Great Plains (SGP) Billings, OK (SE radar wind profiler site, Intermediate / Auxiliary) (I9). Compiled by J. Kyrouac and Y. Shi. ARM Data Center. Data set accessed 2020-05-09.

ARM-DOE. Data quality report. **ARM**, 2020. Disponível em: <https://www.archive.arm.gov/ArchiveServices/DQRService?orderid=218956>. Acesso em: 9 abril 2020.

APÊNDICE A - TABELAS DAS VARIÁVEIS PRIMÁRIAS

Tabela A.1 – Variáveis primárias do disdrômetro de impacto.

Tipo	Variável	Intervalo de Medição	Unidade
Tempo base em Epoch	base_time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em relação a base_time	time_offset	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em Relação à meia noite	time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Latitude norte	lat ^a	constante	graus
Longitude leste	lon ^a	constante	graus
Altitude	alt ^a	constante	metros acima do nível do mar
Número de série do instrumento	serial_number	constante	
Data de calibração	calib_date	constante	
Precipitação	precip_dis	1 min	milímetros
Número de gotas	num_drop	1 min	inteiro
Diâmetro médio da Classe de gotas	drop_class	1 min	milímetros
Taxa de chuva	rain_rate	1 min	milímetros/hora
Maior gota	d_max	1 min	milímetros
Densidade de número	nd	1 min	1/(m ³ . m)
Velocidade de queda	fall_vel	constante	m/s
Intervalo de diâmetro entre classes de tamanho de gota	delta_diam	constante	milímetros
Conteúdo de água Líquida	liq_water	1 min	gramas/metro ³
Refletividade de radar	zdb	1 min	dB
Fluxo de energia	ef	1 min	Joules/(metro ² .hora)
Curva de distribuição	lambda	1 min	1/milímetro
Interceptação de distribuição	n_0	1 min	1/(metros ³ . milímetros)

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela A.2 – Classes de gotas do disdrômetro de impacto.

Diâmetro médio da gota em cada classe, mm	Velocidade de uma gota em cada classe, m/s	Intervalo de diâmetro entre classes de gota, mm
0.359	0.455	0.551
0.656	0.771	0.913
1.116	1.331	1.506
1.665	1.912	2.259
2.584	2.869	3.198
3.544	3.916	4.350
4.859	5.373	1.435
1.862	2.267	2.692
3.154	3.717	4.382
4.986	5.423	5.793
6.315	7.009	7.546
7.903	8.258	8.556
8.784	8.965	9.076
9.137	0.092	0.100
0.091	0.119	0.112
0.172	0.233	0.197
0.153	0.166	0.329
0.364	0.286	0.284
0.374	0.319	0.423
0.446	0.572	0.455

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela A.3 – Variáveis primárias do disdrômetro a laser.

Tipo	Variável	Intervalo de Medição	Unidade
Tempo base em Epoch	base_time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em relação a base_time	time_offset	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em Relação à meia noite	time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Latitude norte	lat	constante	graus
Longitude leste	lon	constante/variável	graus
Altitude	alt	constante/variável	metros acima do nível do mar
Número de gotas/partículas	number_detected_particles	1 min	contagens
Código climático	weather_code	1 min	inteiro
Diâmetro médio da classe de partícula	particle_size	1 min	milímetros
Taxa de precipitação	precip_rate	1 min	milímetros/hora
Menor partícula	diameter_min	1 min	milímetros
Maior partícula	diameter_max	1 min	milímetros
Velocidade de queda bruta	raw_fall_velocity	conjunto de 32 constantes	m/s
Velocidade de queda após Lhermite	fall_velocity_calculated	conjunto de 32 constantes	m/s
Distribuição bruta de tamanho de partículas	raw_spectrum		Contagens
Largura de tamanho de classe	class_size_width		mm
Diâmetro de volume mediano	Median_volume_diameter		mm
Momentos de distribuição de tamanho de partícula	momento1... momento6	1 min	mm ³ /m ³ , mm ² /m ³ , mm ³ /m ³ , mm ⁴ /m ³ , mm ⁵ /m ³ , mm ⁶ /m ³
Densidade numérica	Number density	1 min	1/(m ³ . m)
Média da distribuição de água líquida	liquid_water_distribution_mean	1 min	milímetros
Conteúdo de água Líquida	liquid_water_content	1 min	mm ³ /m ³
Refletividade de radar (Banda S)	equivalent_radar_reflectivity	1 min	dBZ
Curva de distribuição (Supõe distribuição Marshall-Palmer)	lambda	1 min	1/mm
Interceptação de Distribuição (Supõe distribuição Marshall-Palmer)	intercept_parameter	1 min	1/(m ³ . mm)
Visibilidade Mor	mor_visibility	1 min	m
Amplitude de banda de laser	laser_band_amplitude	1 min	contagens
Temperatura do sensor	sensor_temperature	1 min	graus celsius
Corrente de aquecimento	heating_current	1 min	amps
Voltagem do sensor	Sensor_voltage	1 min	volts DC

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2014)

Tabela A.4 – Classes de gotas do disdrômetro a laser.

Diâmetro (mm)	Largura (mm)	Velocidade de queda Ott (m/s)	Velocidade Lhermite (m/s)
0.0620	0.1250	0.0500	0.2770
0.1870	0.1250	0.1500	0.8220
0.3120	0.1250	0.2500	1.3510
0.4370	0.1250	0.4500	2.3550
0.6870	0.1250	0.5500	2.8280
0.8120	0.1250	0.6500	3.2810
0.9370	0.2150	0.7500	3.7144
1.0620	0.1250	0.8500	4.1250
1.1870	0.1250	0.9500	4.5160
1.3750	0.2500	1.1000	5.0640
1.6250	0.2500	1.300	5.7210
1.8750	0.2500	1.500	6.2990
2.1250	0.2500	1.700	6.8010
2.3750	0.2500	1.900	7.2330
2.7500	0.5000	2.2000	7.7620
3.2500	0.5000	2.6000	8.2820
3.7500	0.5000	3.0000	8.6330
4.2500	0.5000	3.4000	8.8610
4.7500	0.5000	3.8000	9.0050
5.5000	1.0000	4.4000	9.1200
6.5000	1.0000	5.2000	9.1780
7.5000	1.0000	6.0000	9.1950
8.5000	1.0000	6.8000	9.1990
9.5000	1.0000	7.6000	9.2000
11.000	2.0000	8.8000	9.2000
13.000	2.0000	10.400	9.2000
15.000	2.0000	12.000	9.2000
17.000	2.0000	13.600	9.2000
19.000	2.000	15.200	9.2000
21.500	3.000	17.600	9.2000
24.000	3.000	20.800	9.2000

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2014)

Tabela A.5 – Variáveis primárias do radiômetro não perfilador.

Tipo	Variável	Unidade	Max	Min
Temperatura de brilho do céu a 23.8GHz	tbsky23	K	100	0.01
Temperatura de brilho do céu a 31.4GHz	tbsky31	K	N/A	N/A
Vapor de água total ao longo do campo de visão	vap	cm	N/A	N/A
Água líquida total ao longo do campo de visão	liq	cm	N/A	N/A
Temperatura de brilho infravermelho	sky_ir_temp	K	313	50
Temperatura de brilho do céu a 23.8Ghz obtida da tip curve	tbsky23tip	K	N/A	N/A
Temperatura de brilho do céu a 31.4Ghz obtida da tip curve	tbsky31tip	K	N/A	N/A
Vapor de água total ao longo do zênite usando temperaturas de brilho obtidas da tip curve	vaptip	cm	N/A	N/A
Água líquida total ao longo do zênite usando temperaturas de brilho obtidas da tip curve	liqtip	cm	N/A	N/A

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela A.6 – Variáveis primárias do radiômetro perfilador.

Tipo	Variável	Unidade	Incerteza(1σ)
Temperatura de brilho do céu a: NSA/AMF1 22.235 23.035 23.835 26.235 30.000 51.250 52.280 53.850 54.940 56.660 57.290 58.800 ENA 22.234 23.034 23.834 26.234 30.000 51.248 52.280 53.848 54.940 56.660 57.288 58.800	brightnessTemperature	K	~1 K
Vapor de água precipitável obtido de 12 canais	totalPrecitableWater	cm	~0.05 cm
Vapor de água precipitável obtido usando apenas 23.835 e 30.0 GHz	totalPrecitableWater2	cm	~0.05 cm
Perfil de temperatura obtido	Temperature	K	1-2 K através do perfil
Perfil de umidade obtido	waterVaporDensity	g/m ³	~20% através do perfil
Caminho de água líquida obtido de 12 canais	liquidWaterPath	mm	~0.015 mm
Caminho de água líquida obtido usando apenas 23.835 e 30.0 GHz	liquidWaterPath2	mm	~0.015 cm

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2018)

Tabela A.7 – Classes de altura do radiômetro perfilador.

Classe de altura	Altura (m)
0	0
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500
6	700
7	800
8	900
9	1000
10	1250
11	1500
12	1750
13	2000
14	2250
15	2500
16	2750
17	3000
18	3250
19	3500
20	3750
21	4000
22	4250
23	4500
24	4750
25	5000
26	5250
27	5500
28	5750
29	6000
30	6250
31	6500
32	6750
33	7000
34	7250
35	7500
36	7750
37	8000
38	8250
39	8500
40	8750
41	9000
42	9250
43	9500
44	9750
45	10000

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2018)

Tabela A.8 – Variáveis primárias do pluviômetro.

Tipo	Variável	Intervalo de Medição	Unidade
Tempo base em Epoch	base_time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em relação a base_time	time_offset	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Desvio de tempo em relação à meia noite	time	1 min	segundos desde YYYY-mm-dd XX:XX:XX X:XX
Latitude norte	lat ^a	constante	graus
Longitude leste	lon ^a	constante	graus
Altitude	alt ^a	constante	metros acima do nível do mar
Número de série do instrumento	serial_number	constante	-
Data de calibração	calib_date	constante	-
Precipitação	precip_tbrg	1 min	milímetros
Taxa de chuva	rain_rate	1 min	milímetros/hora

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela A.9 – Variáveis primárias do PRECIPMET.

Tipo	Variável	Unidade	Incerteza
Temperatura do ar	temp_mean	°C	±0.3 °C a 20 °C
Umidade relativa	rh_mean	%	±3% (de 0% a 90%) ±5% (de 90% a 100%)
Pressão atmosférica	atmos_pressure	kPa	±0.05 kPa de 0 °C A 30 °C
Velocidade do vento, média aritmética	wspd_arith_mean	m/s	±3% a 10 m/s
Velocidade do vento, média vetorial	wspd_vec_mean	m/s	±3% a 10 m/s
Taxa de precipitação média WTX	wxt520_precip_rate_mean	mm/hr	±5% (sem incluir erros induzidos pelo vento)
Precipitação cumulativa WTX	wxt520_cumul_precip	mm	±5% (sem incluir erros induzidos pelo vento)
Precipitação total do Tipping Bucket Rain Gauge (TBRG)	tbrg_precip_total	m	±1% de 1 até 3 pol/hr ±3% de 0 até 6 pol/hr
Precipitação total do TBRG (corrigida)	tbrg_precip_total_corr	mm	Indefinido, correção medida em laboratório
Direção do vento, média vetorial	wdir_vec_mean	graus	±3°

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2019)

APÊNDICE B – TABELAS DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DE DADOS

Tabela B.1 – Variáveis de qualidade de dados do disdrômetro de impacto / disdrômetro a laser.

Tipo	Variável	Intervalo de Medição	Mínimo	Máximo	Delta
Tempo de amostragem	qc_time	1 min	-	-	-
Precipitação total	qc_precip_dis	1 min	0	10	N/A
Número de gotas	qc_numdrop	1 min	0	nenhum	N/A
Taxa de chuva	qc_rainrate	1 min	0	nenhum	N/A
d_max		1 min	0	10	-
ef		1 min	0	4000	-
liq_water		1 min	0	100	-

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela B.2 – Variáveis de qualidade de dados do radiômetro não perfilador.

Field Name	Units	Min	Max	Delta
tknd	K	303	333	N/A
tkxc	K	303	333	0.5
tkbb	K	250	320	1
tkair	K	253	323	N/A
tnd23	K	163	353	N/A
bb23	counts	0	N/A	N/A
bbn23	counts	0	N/A	N/A
sky23	counts	0	N/A	N/A
tbsky23	K	2.73	100	0.01
tnd31	K	163	353	N/A
bb31	counts	0	N/A	N/A
bbn31	counts	0	N/A	N/A
sky31	counts	0	N/A	N/A
tbsky31	K	2.73	100	0.01
vap	cm	0.	N/A	N/A
liq	cm	-3*rms (see note 1)	N/A	N/A
sky_ir_temp	K	213	313	50
wet_window	unitless	(see note 2)	N/A	N/A
tnd_nom23	K	163	353	80
tnd_nom31	K	163	353	80
tc23	K/K	N/A	N/A	N/A
tc31	K/K	N/A	N/A	N/A

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela B.3 – Variáveis de qualidade de dados do radiômetro perfilador.

Tipo	Min	Max
brightnessTemperature	0	305
temperature	180	300
waterVaporDensity	0	188
surface temperature	220	300
surface pressure	965	1050
surface relative humidity	20	110
surfaceWaterVaporDensity	0	18
totalPrecipitableWater	0	4
liquidWaterPath	0	0.5

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2018)

Tabela B.4 – Variáveis de qualidade de dados do pluviômetro.

Tipo	Variável	Intervalo de medição	Mínimo	Máximo
Tempo de amostragem	qc time	1 min	-	-
Precipitação total	qc precip_tbrg	1 min	0	10
Voltagem da bateria	qc vbat	60 min	9.6	16
Mínimo da bateria	qc batt_min	60 min	9.6	16
Máximo da bateria	qc batt_max	60 min	9.6	nenhum
Temperatura do painel	qc panel_temp	60 min	-25.0	50.0
Temperatura mínima do painel	qc_panel_min	60 min	-25.0	50.0
Temperatura máxima do painel	qc_panel_max	60 min	-25.0	50.0

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2016)

Tabela B.5 – Variáveis de qualidade de dados do PRECIPMET.

Variável	Máximo	Mínimo	Delta
qc temp mean	50°C	-40°C	20°C
qc rh mean	104%	-2%	30%
qc atmos pressure	110 kPa	80 kPa	1 kPa
qc wspd arith mean	60 m/s	0 m/s	20 m/s
qc wspd vec mean	60 m/s	0 m/s	20 m/s
qc wdir vec mean	360°	0°	n/a
qc_wxt520_precip_rate_mean	200 mm/hr	0 mm/hr	n/a
qc_wxt520_cumul_precip	100 mm	0 mm	n/a
qc tbrg precip total	10 mm	0 mm	n/a
qc logger volt	15 V	10 V	5 V
qc logger temp	50°C	-10°C	10°C

Fonte: Atmospheric Radiation Measurement (ARM). (2019)