

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Química de Araraquara

Determinação do fluxo de deposição seca de material particulado proveniente da
queima de bagaço de cana-de-açúcar em processo com lavador Venturi

Eduardo de Almeida Penteado

Araraquara,

2023

EDUARDO DE ALMEIDA PENTEADO

Determinação do fluxo de deposição seca de material particulado proveniente da queima de
bagaço de cana-de-açúcar em processo com lavador Venturi

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de
Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” – Campus de Araraquara, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Angélica Martins Costa

ARARAQUARA
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

P419d

Penteado, Eduardo de Almeida

Determinação do fluxo de deposição seca de material particulado proveniente da queima de bagaço de cana-de-açúcar em processo com lavador Venturi / Eduardo de Almeida Penteado. -- Araraquara, 2023

54 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Química) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química, Araraquara
Orientadora: Maria Angélica Martins Costa

1. Poluentes. 2. Biomassa. 3. Lavador Venturi. 4. Potássio. 5. Ar - Qualidade.
I. Título.

EDUARDO DE ALMEIDA PENTEADO

Determinação do fluxo de deposição seca de material particulado proveniente da queima de
bagaço de cana-de-açúcar em processo com lavador Venturi

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de
Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” – Campus de Araraquara, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Araraquara, 07 de julho de 2023

Banca examinadora

Profa. Dra. Maria Angélica Martins Costa

Profa. Dra. Kelly Johana Dussán Medina

Profa. Dra. Lorena Oliveira Pires

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UNESP pelo ensino público e de qualidade.

Agradecimento a CAPES pela bolsa e financiamento do projeto da minha iniciação científica.

À minha namorada, Leticia Betim Barbieri, por todos os momentos vividos juntos, todo o suporte e pelos ótimos momentos vivenciados durante a graduação.

Aos meus amigos da república Alambik, pela convivência diária, pelas amizades e ensinamentos.

Aos meus amigos da graduação pelos ótimos momentos.

Ao meu pai, a minha mãe e aos meus irmãos por todo o suporte durante os anos de graduação.

RESUMO

A queima do bagaço de cana-de-açúcar tem-se consolidado na matriz energética brasileira como fonte de energia renovável. Essa geração de energia é neutra em carbono, entretanto, ocorre emissão de poluentes atmosféricos que afetam a qualidade do ar, entre eles o material particulado, o qual possui diversas características de tamanho e concentração, sendo danoso para o meio ambiente e para a saúde humana. O material particulado com diâmetros menores que $2,5 \mu\text{m}$ é denominado de material particulado fino, enquanto que a denominação de particulado grosso refere-se as partículas com diâmetros na faixa de $2,5$ a $10 \mu\text{m}$. Quanto menor for a partícula, mais danosa ela é para a saúde humana. O trajeto do particulado da atmosfera até o solo é regido por diversas interações, e quando não ocorre contato com gotículas de água na trajetória, esse fenômeno é denominado como deposição seca. Para mensurar os impactos da deposição do material particulado, analisa-se o fluxo de deposição seca, o qual é obtido pela relação entre a velocidade de deposição e a concentração iônica. O trabalho consistiu-se na simulação de queimadas em uma fonte fixa, utilizando bagaço de cana-de-açúcar como combustível, com variação da velocidade dos gases e da vazão de água de um sistema de lavagem. Na amostragem do material particulado dois amostradores foram utilizados, impactador de Cascata e MOUDY, os quais possuem diferentes faixas de diâmetro de corte. Coletou-se o material particulado antes e após o sistema de lavagem, em que foi utilizado um lavador Venturi e a sua eficiência na limpeza do gás foi calculada. Para o cálculo da velocidade de deposição, utilizou-se a parametrização de Zhang et al (2001) e calculou-se os seguintes parâmetros: LUC 6 (grama), LUC 7 (plantações e culturas mistas) e LUC 15 (urbano), nas estações do ano SC1 (solstício de verão), SC2 (outono), SC3 (final de outono) e SC5 (primavera). As concentrações iônicas foram identificadas por meio de cromatografia. Os resultados mostraram que as concentrações do íon potássio no material particulado, principalmente no fino, o evidenciaram como um indicador de queima de biomassa e, os íons nitrato, sulfato, cálcio, cloreto e sódio também foram identificados e suas concentrações relacionadas com as concentrações do íon potássio. Para o fluxo de deposição seca, obteve-se os maiores fluxos para os terrenos de grama, plantações e culturas mistas, nas estações solstício de verão e outono, seguido pelo terreno urbano em qualquer estação do ano amostrada. Além disso, os fluxos foram maiores para as partículas finas, portanto ocorre deposição de partículas mais danosas a saúde ao meio ambiente. Por fim, o lavador Venturi mostrou ser eficiente principalmente para o material particulado grosso, o qual atingiu 90 % de eficiência para algumas faixas de diâmetro e eficiência de 70 % para o particulado fino.

Palavras-chave: poluentes; biomassa; lavador Venturi; potássio, ar-qualidade.

ABSTRACT

The burning of sugarcane bagasse has consolidated itself in the Brazilian energy matrix as a source of renewable energy. This energy generation is neutral in carbon, however, has emission of atmospheric pollutants which affects the air-quality, including particulate matter, which has different sizes and concentration characteristics, being harmful to the environment and human health. Particulate matter with diameters smaller than 2.5 μm is called fine particulate matter, while coarse particulate matter refers to particles with diameters in the range of 2.5 to 10 μm . The smaller the particle, the more harmful it is to human health. The path of the particulate from the atmosphere to the ground is governed by several interactions, and when there is no contact with water droplets on the path, this phenomenon is called dry deposition. To measure the impacts of the deposition of particulate matter, the dry deposition flux is analyzed, which is obtained by the relationship between the deposition velocity and the ionic concentration. The work consisted of the simulation of fires in a burner, using sugarcane bagasse as fuel, with a variation of the gas velocity and the water flow of a washing system. In the sampling of particulate matter, two samplers were used, Cascade impactor and MOUDY, which have different ranges of cutting diameter. The particulate matter was collected before and after the scrubbing system, in which a Venturi scrubber was used and its efficiency in cleaning the gas was calculated. For the calculation of the deposition speed, the parameterization of Zhang et al (2001) was used and the following parameters were calculated: LUC 6 (grass), LUC 7 (plantations and mixed cultures), and LUC 15 (urban), in the seasons SC1 (summer solstice), SC2 (autumn), SC3 (late autumn) and SC5 (spring). The concentrations were characterized qualitatively utilizing a chromatography. The results showed that the concentrations of potassium ion in the particulate material, mainly in the fine particulate matter, was as an indicator of biomass burning, and nitrate, sulfate, calcium, chloride and sodium ions were also identified and their concentrations related to potassium ion concentrations. For the dry deposition flux, the highest fluxes were obtained for grass, plantations and mixed crops, in the summer and autumn solstice seasons, followed by urban terrain in any season of the year sampled. Finally, the Venturi scrubber proved to be efficient mainly for coarse particulate matter, which reached 90 % efficiency for some diameter ranges and 70 % efficiency for fine particulate.

Keywords: polluting; biomass; Venturi scrubber; potassium, air-quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de um lavador Venturi.....	19
Figura 2. Foto do impactador MOUDI.....	21
Figura 3. Amostra 1 com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.....	23
Figura 4. Amostra 2 com velocidade de 8 m/s e Venturi com 2,5 L.min ⁻¹	23
Figura 5. Amostra 4 com velocidade de 2 m/s e Venturi com 6,0 L.min ⁻¹	23
Figura 6. Amostra 3 com velocidade de 2 m/s e sem Venturi.....	23
Figura 7. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 1 e 2	25
Figura 8. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 3.....	26
Figura 9. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 5.....	26
Figura 10. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 1 e 2.....	27
Figura 11. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 3.....	27
Figura 12. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 5.....	28
Figura 13. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 15 e SC 1, 2, 3 e 5.....	28
Figura 14. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 8 m/s.....	30
Figura 15. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 8 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.....	30
Figura 16. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 8 m/s.....	31
Figura 17. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 10 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.....	31
Figura 18. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 3 m/s.....	32
Figura 19. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 3 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.....	32
Figura 20. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 5 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.....	33
Figura 21. Concentração do íon potássio em função das concentrações de sódio, amônio, magnésio e cálcio, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).....	34

Figura 22. Concentração do íon potássio em função das concentrações de acetato, formiato, cloreto e nitrito, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).....	35
Figura 23. Concentração do íon potássio em função das concentrações de nitrato, sulfato, oxalato, fosfato, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).....	36
Figura 24. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon potássio e o íon sulfato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.....	41
Figura 25. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon potássio e o íon nitrato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.....	42
Figura 26. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon nitrato e o íon sulfato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de eficiência em porcentagem para a velocidade do gás correspondente a 2, 3 e 8 m/s com vazão do Venturi em 6.0, 2.5 e 2.5 L.min-1, respectivamente.....	24
Tabela 2. Concentração média dos íons nitrato, potássio e sulfato no material particulado. ...	37
Tabela 3. Concentração dos íons nitrato, potássio e sulfato no material particulado fino.	38
Tabela 4. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 nas estações SC1 e SC2 e para LUC 15 em todas as estações.	39
Tabela 5. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 na estação SC3.....	40
Tabela 6. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 na estação SC5.....	40
Tabela 7. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.....	49
Tabela 8. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.....	49
Tabela 9. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 3 m/s e sem Venturi.....	50
Tabela 10. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 10 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.	50
Tabela 11. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.	51
Tabela 12. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 5 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.	51
Tabela 13. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 3 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.	52
Tabela 14. Média do fluxo de deposição para o particulado fino e o particulado grosso sem Venturi, nos íons nitrato, potássio e sulfato, nas LUCs 6, 7 e 15 e nas estações 1, 2, 3 e 5.....	53
Tabela 15. Média do fluxo de deposição para o particulado fino e o particulado grosso com Venturi, nos íons nitrato, potássio e sulfato, nas LUCs 6, 7 e 15 e nas estações 1, 2, 3 e 5.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Contexto Geral.....	14
3.2. Material Particulado.....	14
3.3. Deposição Seca	16
3.4. Fluxo de Deposição Seca.....	17
3.5. Lavador Venturi.....	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1. Análise de pesagem	23
5.2. Curvas de velocidade de deposição seca	25
5.3. Análise de composição química	29
5.4. Fluxo de Deposição Seca	39
6. CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXO A – Concentração iônica	49
ANEXO B – Fluxo de deposição seca	53

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem sido destaque no Brasil o uso de fontes de energias renováveis na matriz energética brasileira, dentre elas o uso de biomassa. A energia da biomassa é proveniente de um processo de combustão, o qual ocorre emissão de poluentes atmosféricos, dentre eles o material particulado (PM) (APARECIDA, A, A. et al., 2020).

O material particulado possui diferentes tamanhos e compostos químicos em sua composição e, devido a toda a sua complexidade, nos últimos anos tem crescido o número de pesquisas voltadas a entender o seu impacto na saúde humana e no meio ambiente. Para isso, faz-se necessário caracterizar o PM, pela sua composição, diâmetro, trajetória e os impactos com o sistema respiratório humano e o meio ambiente (WU, YANG. et al, 2021).

A composição do material particulado proveniente da queima de biomassa pode resultar na emissão de diferentes íons, sendo o íon potássio em partículas de diâmetros menores, um indicador da queima de biomassa (KANTOVÁ, N. et al, 2017). Em relação ao diâmetro, o material particulado é dividido em dois diâmetros. Partículas menores que 2,5 μm , são denominadas como material particulado fino enquanto que as partículas com diâmetro entre 2,5 μm e 10 μm , são denominadas como material particulado grosso. O particulado fino é mais danoso para a saúde humana e para o meio ambiente (FENN, M. E. et al, 2003).

A trajetória do material particulado também denominada como deposição, é impactada pelo tamanho da partícula e das condições do meio ambiente (HUANG, C. W. et al, 2016). A deposição do PM pode ser mensurada com a velocidade da deposição, a qual possui diversos modelos de parametrização, como por exemplo, o modelo de Zhang et. al, (2001). Além disso, obtendo-se a composição do material particulado, pode-se mensurar o seu fluxo de deposição por composto iônico e por faixa de diâmetro.

Uma forma de diminuir a emissão dos poluentes gerados pela queima de biomassa é a utilização de equipamentos industriais, como por exemplo o lavador Venturi. O equipamento em questão consiste no gotejamento de líquido, o qual colide com o material particulado e resulta na remoção do PM no fluxo de água (PAK, S. I.; CHANG, K.S., 2006).

Dessa forma, esse trabalho, tem o intuito de determinar a velocidade de deposição, o fluxo de deposição seca e a concentração da composição química, de acordo com as distribuições de diâmetro do material particulado, através da parametrização da velocidade de deposição para os modelos de Zhang et al., (2001) e a análise de eficiência de um lavador Venturi.

2. OBJETIVOS

Analisar a velocidade de deposição, o fluxo de deposição seca e a composição do material particulado coletado em fonte fixa pela queima de bagaço de cana-de-açúcar, utilizando para a velocidade de deposição a parametrização de Zhang et al (2001) para as condições de LUC 6 (grama), 7 (plantações mistas agrícolas) e 15 (urbano) nas estações SC1 (solstício de verão), SC2 (outono), SC3 (final de outono) e SC5 (primavera) para os íons nitrato, potássio e sulfato.

Caracterizar o material particulado amostrado antes e após o lavador Venturi, em relação a concentração iônica conforme a faixa de diâmetro dos amostradores e análise da eficiência do lavador Venturi variando-se a velocidade dos gases e a vazão de água no lavador.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Contexto Geral

A geração de energia proveniente de fontes alternativas têm sido destaque mundial nos últimos anos, sendo a geração com emissão neutra de carbono, também denominada como carbono neutro ou carbono zero, a geração com maior crescimento. Uma fonte de carbono neutro indica que no processo de geração de energia não houve emissão de nenhuma fonte extra de carbono além da que foi consumida (APARECIDA, A, A. et al., 2020).

O uso de biomassa tem se destacado como fonte de energia renovável e carbono zero na matriz energética brasileira. A energia da biomassa é proveniente de um processo de combustão, o qual ocorre emissão de poluentes atmosféricos, dentre eles o material particulado (PM) (APARECIDA, A, A. et al., 2020).

A queima do bagaço de cana-de-açúcar emite poluentes gasosos tais como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e material particulado para a atmosfera. Esses poluentes lançados na atmosfera em grandes quantidades podem causar sérios problemas para a saúde humana e para o meio ambiente. O PM é a principal causa de poluição das áreas urbanas industrializadas (WU YANG, 2020).

Os poluentes atmosféricos são um risco para a saúde humana, de acordo com dados da OMS, em 2017, cerca de 5 milhões de pessoas vieram a óbito devido a poluição do ar ambiental. No Brasil, dados de 2015, indicam uma estimativa de 50 mil óbitos causados pela poluição do ar, sendo a nona maior causa de óbitos no Brasil (SANTOS, P. U. et al, 2021).

3.2. Material Particulado

O material particulado de acordo com a U.S. EPA, é uma mistura de partículas sólidas e gotículas de água, o qual possui dispareas características, como: concentração, tamanho, composição e alterações temporais (MKOMA STELYUS, 2014).

A concentração do PM pode ser um parâmetro para a caracterização, controle das emissões e avaliação dos seus efeitos na saúde humana (OBAIDULLAH, M. et al, 2012). Dois dos conceitos de concentração mais utilizados para avaliar as emissões de PM são: concentração mássica e concentração em número de partículas, as quais estão relacionadas com massa de PM por unidade de volume de ar e número de partículas por unidade de volume, respectivamente (CHENG-WEY HUANG, 2014). O tamanho é uma propriedade que se relaciona com os danos à saúde humana, em que menores diâmetros são mais danosos para a saúde humana. Além

disso, a distribuição do tamanho tem maior influência quando as partículas estão dispersas num gás (OLIVEIRA, L, P. et al, 2013).

A U.S. EPA caracteriza as partículas com diâmetros entre 2,5 µm e 10 µm de PM grosso, enquanto que as partículas com diâmetro menor ou igual a 2,5 µm de PM fino (FENN, M. E. et al, 2003). Por possuírem amplas faixas de diâmetros, há dificuldade na amostragem do material particulado provenientes da queima da biomassa (CHERUBIN, M. R. et al, 2015). A composição iônica, está relacionada com as atividades antropogênicas e com os processos naturais ocorridos na região (KANTOVÁ, N. et al, 2017).

O material particulado pode ser danoso para a saúde humana ao ser inalado, em que as partículas maiores acabam acumulando-se no nariz, as partículas menores possuem um poder penetrante maior, atingindo os pulmões (FRANCISCO, 2017).

Em relação aos impactos ambientais, de acordo com a U.S. EPA, o PM impacta causando redução de visibilidade, alteração na acidez de lagos, alteração da concentração de nutrientes presentes no solo e contribuição para a chuva ácida.

Os seis principais poluentes atmosféricos são: Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Dióxido de Enxofre (SO₂), Material Particulado (PM), Monóxido de Carbono (CO) e Chumbo (Pb). Todos esses compostos podem sofrer deposição, e possuem padrões de qualidade do ar (FENN, M. E. et al, 2003). Em relação ao PM são comumente identificadas as espécies iônicas SO₄²⁻, NO₃⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺ e outras (OLIVEIRA, L, P. et al, 2013). Os íons potássio e cálcio quando identificados no material particulado fino, é um indicativo de queima de biomassa (KANTOVÁ, N. et al, 2017).

Estudos realizados em Beijing, relacionaram os dados da concentração do íon potássio em dia com queima de biomassa e sem queima de biomassa, sendo que a concentração foi maior nos dias em que houve a queima (CHENG, Y. et al, 2013). No Brasil, estudo realizado na região sudeste, correlacionou a queima de palha de cana-de-açúcar com a concentração de íons no particulado fino, em que as maiores concentrações obtidas foram de: sulfato (SO₄²⁻), oxalato (C₂O₄²⁻), nitrato (NO₃⁻), formiato (HCOO⁻), acetato (CH₃COO⁻) e cloreto (Cl⁻). Em relação as partículas grossas apresentaram um déficit de ânions (ROCHA, G. O, 2005). A relação da composição iônica com o tamanho da partícula pode fornecer informações sobre a possível fonte dessa emissão, por exemplo: os íons sulfato, nitrato e potássio, usualmente encontrados no PM fino. Entretanto, mesmo liberando outros íons, o potássio é o melhor indicador da poluição por queima de biomassa (SOUZA, M. D, 2016).

3.3. Deposição Seca

Quando a partícula está suspensa na atmosfera, ela sofre vários processos até que ocorra a sua deposição no solo, a qual pode ser por via seca ou úmida. A deposição seca está relacionada com as partículas serem absorvidas pela superfície terrestre, enquanto que a deposição úmida as partículas são incorporadas as gotas e precipitam na superfície terrestre (PELLERINA, G. et al, 2017).

A deposição seca é um fenômeno natural da atmosfera, a qual funciona como um procedimento de limpeza, atuando na remoção de gases e partículas provenientes das: emissões industriais, poeira natural, metais vestigiais, produtos químicos (WUA, Y. et al., 2018). A comunidade científica tem dado um enfoque maior à deposição seca por causa dos impactos causados ao meio ambiente pela deposição de compostos contendo PM, porém, há dificuldade na quantificação desses impactos devido à dependência do tamanho da partícula, da densidade, do terreno, da vegetação, das características do local e da composição química (MOHAN, S. M, 2016)

O fenômeno da deposição seca é regido por complexas interações de processos do transporte turbulento, sedimentação gravitacional e Browniana (HUANG, C.-W. et al, 2016). Por conta da dependência com o tamanho, as partículas finas possuem comportamento semelhante a uma molécula gasosa, em que a sua deposição ocorre por difusão, já as partículas grossas estão mais sujeitas a ação gravitacional, ou seja, elas depositam por meio de sedimentação (JANHÄLL, S. et al, 2010). Esses mecanismos de deposição são indispensáveis para a determinação da velocidade de deposição (ZHU, L. et al, 2013).

Uma explicação detalhada das interações complexas de sedimentação e difusão Browniana podem ser consultados em Fogarin, H. M., 2018. Os efeitos da difusão Browniana e da turbulência, possuem maior contribuição para a velocidade de deposição das partículas com diâmetros variando entre 0,01 μm a aproximadamente alguns micrômetros. Já as condições atmosféricas, características da superfície e o tamanho da partícula são fortemente relacionadas com a velocidade de deposição de partículas entre 0,1 e 1 μm . Enquanto que as partículas com diâmetro acima dessa faixa, a deposição é dominada por impactação inercial e turbulenta. Na impactação inercial, a inércia da partícula é grande, fazendo com que ela não consiga seguir o fluxo gasoso, colidindo com um obstáculo e permanecendo na superfície. Por outro lado, na impactação turbulenta ocorre a formação de redemoinhos turbulentos gerados pela alta velocidade, fazendo com que a partícula tenha impulso suficiente para alcançar a superfície (GIARDINA, M.; BUFFA, P. A, 2018).

3.4. Fluxo de Deposição Seca

O fluxo de deposição seca ocorre pela relação entre a velocidade de deposição seca com a concentração da espécie química. Devido à limitada compreensão teórica da deposição seca das partículas, modelos foram elaborados para prever a deposição das partículas, tendo como base a velocidade e o fluxo de deposição para partículas. Os modelos que obtiveram melhores resultados foram propostos por Zhang et al. (2001) e Nho-Kim e Peuch (2004).

No modelo de Zhang a velocidade de deposição seca é uma função do tamanho da partícula, densidade e variações meteorológicas, enquanto que a de Nho-Kim como uma função do tamanho da partícula, densidade, propriedades da superfície e condições meteorológicas próximas a superfície. Um fator importante do modelo de Zhang é a propriedade da superfície a qual foram divididas em 15 áreas, denominadas como LUC (*Land use category*). As LUCs abrangem áreas de florestas, gramas, lagos, oceano, zona urbana, deserto, etc. Além disso, as condições meteorológicas foram divididas em 5 denominadas como SC (*Seasonal categories*), as quais abrangem: verão, outono, outono sem neve, inverno e primavera (ZHANG et al, 2001).

As LUCs e as SC no modelo de Zhang foram uma junção de definições de superfície e de condições meteorológicas da *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) e do *Canadian Aerosol Module* (CAM). Esses parâmetros são essenciais para se estimar variáveis no modelo de Zhang a fim de se obter uma melhor precisão no cálculo da velocidade de deposição seca, pois a mesma é extremamente dependente da superfície (ZHANG et al, 2001).

No modelo de Zhang, de acordo com as propriedades da superfície, a velocidade de deposição seca é obtida através da relação com três resistências: resistência aerodinâmica (r_a), a resistência da subcamada quasi-laminar (r_b) e a resistência da superfície (r_c), sendo a velocidade de deposição o inverso da soma das resistências (SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N., 2006).

Segundo um estudo de Giardina et. al (2019), efetuou-se um comparativo entre diferentes modelos matemáticos que calculam a velocidade de deposição seca. Os modelos estudados foram: Noll et al. (2001), Chen et al. (2012), Zhang et al. (2001). Também foi proposto alterações nos cálculos de algumas resistências propostas pelos modelos, as quais foram realizadas por Giardina et. al (2018) e comparados com os outros modelos (GIARDINA et. al, 2019).

Os dados foram coletados em quatro cidades Italianas: Maglie, Veneza, Lecce e Bolonha. Plotou-se um gráfico a fim de se comparar os modelos em relação a velocidade de

fricção e a velocidade de deposição, sendo mantido o diâmetro da partícula em 2,5 μm . Os modelos de Zhang e de Noll possuíram uma boa previsão até 0,2 m/s na velocidade de fricção, sendo que após esse valor, a previsão foi maior do que a esperada experimentalmente. O modelo de Chen, superestimou a velocidade de deposição em todas as velocidades de fricção, porém, a partir da velocidade de fricção de 0,4 m/s, os valores se assemelharam com os modelos de Zhang e Noll (GIARDINA et. al, 2019).

Então, mudou-se o valor do diâmetro da partícula para 0,045 μm a fim de se analisar novamente os modelos. Dessa vez, o modelo de Noll subestimou os dados experimentais e o modelo de Chen superestimou em uma ordem de grandeza, ambos ao ser avaliadas todas as velocidades de fricção. Nesse caso, uma boa modelagem foi obtida por Zhang e por Giardina (GIARDINA et. al, 2019).

Os dados comparados na cidade de Maglie, todos os modelos subestimaram os dados experimentais para as velocidades de fricção 0,1 m/s. Em velocidade de fricção baixa, há baixa turbulência o que torna o transporte menos eficiente, sendo que nesse caso há maior influência de termoforese (Efeito Soret) e eletrostática, fenômenos os quais não são considerados nos modelos matemáticos (GIARDINA et. al, 2019). Também foi avaliada o diâmetro das partículas em relação a velocidade de deposição para os modelos em um gráfico de log, em que a rugosidade foi mantida em 0,5 m e a velocidade de fricção igual a 0,15 m/s para todos os modelos. O modelo de Zhang mostrou valores próximos aos dados experimentais nos diâmetros menores que 1 μm e nos diâmetros maiores que 10 μm , havendo um leve distanciamento dos dados experimentais entre 1 e 10 μm (GIARDINA et. al, 2019). Além disso, analisou-se os dados coletados nos Estados Unidos, em Detroit, para partículas com diâmetro de 0,1 μm e 1 μm . A modelagem de Zhang mostrou superestimar os dados experimentais para as partículas com 1 μm de diâmetro, enquanto que para as partículas com 0,1 μm , mostrou uma boa correlação com os dados experimentais (GIARDINA et. al, 2019).

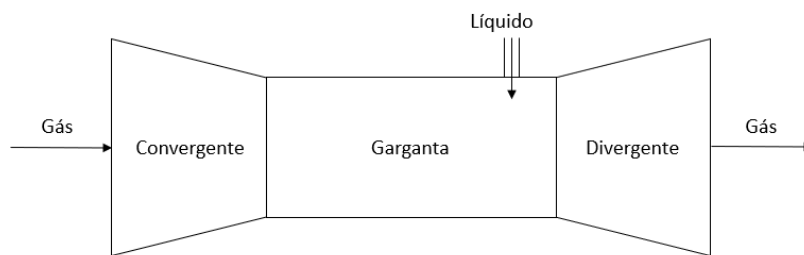
3.5. Lavador Venturi

O uso de biomassa com a finalidade de geração energética tem ganhado enfoque nos últimos anos, mostrando ser uma excelente alternativa na substituição da queima de combustíveis fósseis. Entretanto, devido aos poluentes atmosféricos emitidos, principalmente o material particulado, o qual sofre os processos de deposição, podendo impactar na saúde humana e nas características do ambiente, faz-se necessário um tratamento no processo. Esse

tratamento pode ocorrer através do emprego de diversas tecnologias, todas com a finalidade de diminuir a concentração de material particulado emitido (BIANCHINI, A. et al. 2016).

Uma dessas tecnologias empregadas nas indústrias é o lavador Venturi. É um sistema de lavagem de gases, no qual utiliza-se um líquido como componente de lavagem, em que o gás gerado na queima de biomassa, por exemplo, será direcionado para uma zona de convergência, uma garganta e uma zona de divergência. Na garganta, ocorre uma diminuição de área, a qual resulta no aumento da velocidade do gás e no aumento da queda de pressão, de acordo com a equação de Bernoulli. A Figura 1 ilustra o esquema explicado do lavador Venturi (BIANCHINI, A. et al. 2016).

Figura 1. Ilustração de um lavador Venturi.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

É na garganta que ocorre a injeção de líquido, na forma de gotículas, a qual irá coletar as partículas no gás por meio de colisão. À medida que essa mistura de gás líquido segue da garganta para a zona de divergência, ocorre um aumento de área e conseqüentemente, uma diminuição na velocidade, que ocasiona aglomeração das partículas na garganta. Após a etapa do lavador Venturi, adiciona-se um separador como por exemplo um ciclone, separando a mistura de líquido e partículas do gás limpo (GEOFFREY, D. S, 2004).

Os lavadores Venturi possuem sua eficiência de acordo com a variação da vazão de água injetada, velocidade dos gases gerados e, ademais, a eficiência também está relacionada com a construção do Venturi, em que o comprimento da garganta e a queda de pressão na mesma, estão estritamente relacionados entre si. Portanto, para otimizar um lavador Venturi, espera-se uma máxima eficiência na coleta das partículas com o mínimo de queda de pressão, a qual está relacionada com custos operacionais (PAK, S. I.; CHANG, K.S., 2006).

As partículas na faixa de 0,5 – 10 μm são coletadas pelo lavador Venturi, portanto, esse sistema possui uma alta eficiência na remoção das partículas grossas e consegue remover uma parcela das partículas finas (PAK, S. I.; CHANG, K.S., 2006).

O fluxo em um lavador Venturi é bastante complexo, pois envolve as gotículas de líquido, os particulados e o gás e, portanto, ocorre colisão e interação entre todas essas fases. O principal mecanismo de coleta das partículas no Venturi é a impactação inercial. Também ocorre a difusão Browniana, entretanto, não é o mecanismo mais impactante no processo. Por fim, diversas pesquisas são efetuadas com o intuito de prever a eficiência na coleta de material particulado de um lavador Venturi por meio de modelos matemáticos (PAK, S. I.; CHANG, K.S., 2006).

De acordo com Bianchini, A. et al (2016), os testes realizados utilizando o lavador Venturi resultaram em uma eficiência na remoção de material particulado proveniente da queima de bagaço de cana em torno de 60 %. Também, estudo realizado por Surjosatyo, A. et al (2019) utilizando casca de arroz como biomassa, obteve-se uma eficiência de 60 %.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As análises do material particulado emitido pela queima de biomassa foram efetuadas semanalmente em um queimador utilizando bagaço de cana-de-açúcar como combustível. O bagaço de cana-de-açúcar foi cedido pela usina Santa Cruz, localizada na cidade de Américo Brasiliense, estado de São Paulo.

O queimador utilizado foi obtido pelo projeto Fapesp n° 2016/23209-0, o qual possui um lavador Venturi com vazão de água variável. O combustível utilizado, continha uma mistura de 50 % palha de cana e 50 % bagaço de cana em massa. A frequência do queimador variou-se em 20, 30, 40, 50 e 60 hertz e mediu-se a velocidade do gás na saída da chaminé a cada variação de frequência, a qual resultou em 2, 3, 5, 8 e 10 m/s, respectivamente. A vazão de água do lavador Venturi também foi variada entre 2,5 L.min⁻¹ e 6,0 L.min⁻¹. Durante as amostragens, a temperatura média do queimador ficou em aproximadamente 198°C.

As amostragens foram efetuadas em dois amostradores: Impactador de Cascata de Andersen e MOUDI. Junto aos amostradores estava acoplada uma bomba de sucção com vazão de 28,7 L.min⁻¹. O material particulado foi coletado em filtros de teflon ou de fibra de vidro, os quais estavam dispostos nos estágios dos amostradores. O Impactador possui 8 estágios e um filtro “backup”, variando de 10 a 0,4 µm, com os estágios dispostos da seguinte maneira: estágio 0 (9,0-10 µm), estágio 1 (5,8-9,0 µm), estágio 2 (4,7-5,8 µm), estágio 3 (3,3-4,7 µm), estágio 4 (2,1-3,3 µm), estágio 5 (1,1-2,1 µm), estágio 6 (0,7-1,1 µm), estágio 7 (0,4-0,7 µm), filtro backup (0-0,4 µm). O MOUDI possui 12 estágios, sendo o último estágio o backup, variando de 18 a 0,056 µm, os quais estão dispostos da seguinte maneira: estágio 1 (>18 µm), estágio 2 (10-18 µm), estágio 3 (5,6-10 µm), estágio 4 (3,2-5,6 µm), estágio 5 (1,8-3,2 µm), estágio 6 (1,0-1,8 µm), estágio 7 (0,56-1,0 µm), estágio 8 (0,32-0,56 µm), estágio 9 (0,18-0,32 µm), estágio 10 (0,1-0,18 µm), estágio 11 (0,056-0,1 µm) e estágio 12 (< 0,056 µm). Na Figura 2 consta o impactador MOUDI.

Figura 2. Foto do impactador MOUDI.



Fonte: Elaboração Própria, 2020.

A coleta do material particulado na saída da chaminé teve uma duração de 10 minutos a partir do momento em que a temperatura dos gases atingiu por volta de 160 °C. Após a coleta do material particulado, os filtros foram guardados separadamente em alumínio e em um plástico e foram armazenados em freezer a uma temperatura de -14 °C. Então os filtros foram tratados para determinação das espécies iônicas por meio de cromatografia de troca iônica utilizando-se um cromatógrafo de íons Thermo Scientific ICS 5000. As espécies iônicas a serem quantificadas foram: sódio (Na^+), amônio (NH_4^+), potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), acetato (H_3CCOO^-), formiato (HCOO^-), cloreto (Cl^-), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{2-}), sulfato (SO_4^{2-}) e oxalato ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$).

A determinação do fluxo de deposição seca foi obtida pela parametrização de Zhang et al (2001), sendo utilizado as categorias do uso da terra (LUC) do modelo, LUC 6 (grama), 7 (plantações e culturas mistas) e 15 (urbano). E as estações do ano (SC): 1, 2, 3 e 5. Então, com as concentrações de cada espécie iônica contidas em cada estágio dos amostradores e com a respectiva velocidade dos gases medida de acordo com a frequência de operação do queimador, obteve-se a velocidade de deposição e o fluxo de deposição seca, focando nos íons nitrato, fosfato e sulfato, de acordo com a Equação 1:

$$F = v_d \cdot C \quad (1)$$

Em que F é o fluxo de deposição, v_d é a velocidade de deposição e C a concentração da espécie iônica.

O cálculo da eficiência do lavador Venturi foi obtido pela relação entre a amostragem com lavador Venturi e a amostragem sem uso de lavador Venturi, de acordo com a Equação 2:

$$E_f(\%) = \frac{\text{Amostragem}_{(\text{Com venturi})} - \text{Amostragem}_{(\text{Sem venturi})}}{\text{Amostragem}_{(\text{Sem venturi})}} \quad (2)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de pesagem

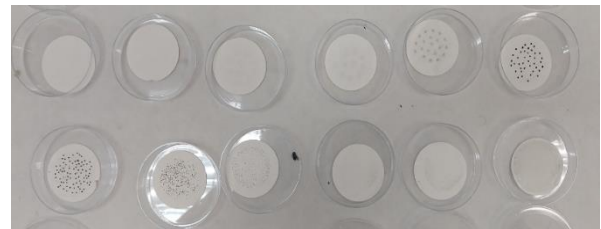
Com as amostragens antes e após o lavador Venturi com o uso do amostrador Moudy, pode-se alcançar uma eficiência inicial do lavador na coleta de material particulado de acordo com a menor quantidade de material coletado nos filtros. As Figuras 3 e 4 são relacionadas a amostragens 1 e 2, com o queimador operando a uma velocidade de 8 m/s e o sistema de lavagem com uma vazão de água de 2,5 L.min⁻¹. Os estágios estão dispostos da esquerda para a direita, começando com o estágio 1 no canto superior esquerdo e terminando com o “backup” no canto inferior direito.

Figura 3. Amostra 1 com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.



Fonte: Elaboração Própria, 2020

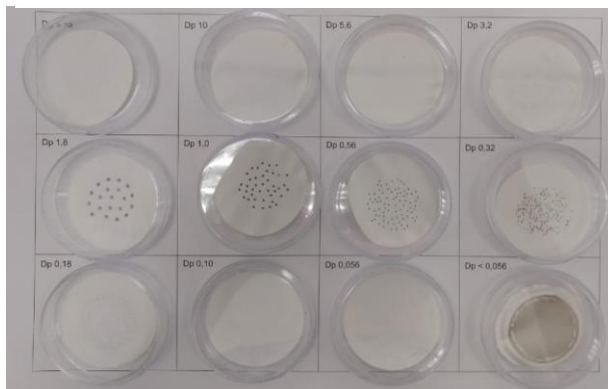
Figura 4. Amostra 2 com velocidade de 8 m/s e Venturi com 2.5 L.min⁻¹



Fonte: Elaboração Própria, 2020

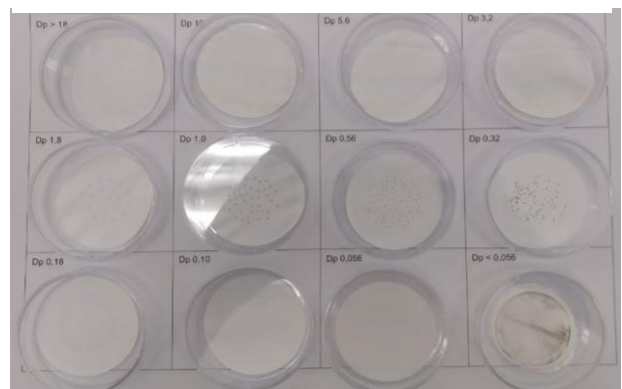
Além das amostragens contida nas Figuras 3 e 4, as Figuras 5 e 6 são referentes a amostragens 3 e 4, porém, com o queimador operando com 2 m/s e o Venturi com vazão de água de 6,0 L.min⁻¹. A Figura 6 é referente a amostragem sem Venturi e a Figura 5 refere-se a amostragem com Venturi, em que os filtros estão dispostos da esquerda para a direita, em três linhas de filtros em sequência, do maior diâmetro até o filtro “backup” no canto inferior direito.

Figura 6. Amostra 3 com velocidade de 2 m/s e sem Venturi.



Fonte: Elaboração Própria, 2020

Figura 5. Amostra 4 com velocidade de 2 m/s e Venturi com 6,0 L.min⁻¹



Fonte: Elaboração Própria, 2020

Analisando as Figuras 3, 4, 5 e 6, fica evidente a atuação do lavador Venturi na coleta do material particulado, pois todos os estágios do MOUDI após o lavador apresentaram uma diminuição visualmente de pó contido no filtro, evidenciado principalmente pelo último estágio, o filtro “backup”, nota-se uma grande diferença na coloração do filtro. A diferença quantitativa na amostragem dos filtros é denominada eficiência, e foi obtida pela Equação 2.

A eficiência foi calculada para todos os testes realizados e foram divididas de acordo com a frequência e a vazão de água na operação do Venturi. Então, os resultados de eficiência calculados constam na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de eficiência em porcentagem para a velocidade do gás correspondente a 2, 3 e 8 m/s com vazão do Venturi em 6,0, 2,5 e 2,5 L.min⁻¹, respectivamente.

Moudy Estágios	Velocidade (m/s)		
	2	3	8
1 (>18 µm)	52 %	65 %	71 %
2 (10-18 µm)	30 %	82 %	-
3 (5,6-10 µm)	49 %	25 %	30 %
4 (3,2-5,6 µm)	-	27 %	94 %
5 (1,8-3,2 µm)	42 %	96 %	91 %
6 (1,0-1,8 µm)	87 %	72 %	89 %
7 (0,56-1,0 µm)	88 %	76 %	39 %
8 (0,32-0,56 µm)	72 %	30 %	13 %
9 (0,18-0,32 µm)	86 %	30 %	72 %
10 (0,1-0,18 µm)	35 %	10 %	33 %
11 (0,056-0,1 µm)	55 %	-	52 %
12 (< 0,056 µm)	70 %	43 %	68 %
PM _{2,5µm}	70 %	44 %	52 %

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Pelos dados da Tabela 1, pode-se comparar a eficiência obtida em cada velocidade do gás, com a respectiva vazão de água de lavagem. Para o material particulado grosso, ou seja, acima do estágio 6, as melhores eficiências foram obtidas com a velocidade do gás em 8 m/s, seguida por 3 m/s. Já para o material particulado fino, ou seja, a partir do estágio 6, na velocidade de 2 m/s obteve-se os melhores resultados de eficiência, atingindo uma média de 70 % seguida pela velocidade de 8 m/s com 52 % e 3 m/s com 44 %.

Então, o Venturi foi mais eficiente na lavagem de particulado fino em vazões maiores de água e também com o aumento da frequência do queimador, ou seja, maior velocidade do gás. E para o particulado grosso, o contrário foi evidenciado, sendo melhor coletado em vazões de água menor e também no aumento da velocidade do gás.

Os dados obtidos com o Venturi, estão de acordo com os resultados de Bianchini, A. et al (2016), o qual obteve uma eficiência média de 60 % na remoção de particulado fino. Além disso, Surjosatyo, A. et al (2019), também obteve uma eficiência em torno de 60 %.

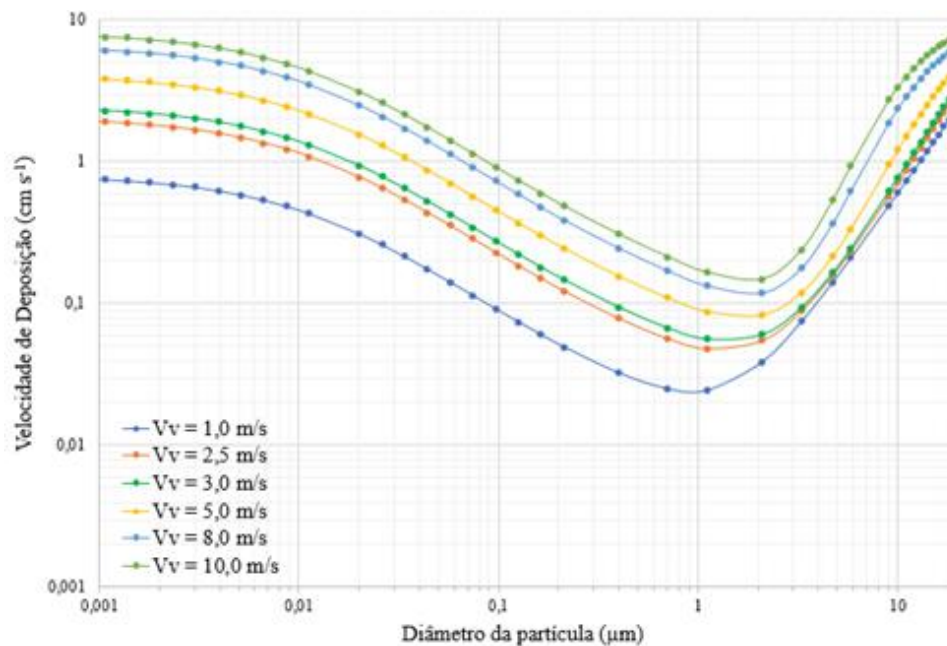
Portanto, os melhores parâmetros do lavador Venturi no quesito eficiência, foram com 2 m/s e 6,0 L/min de água, os quais retornaram uma maior eficiência de particulado fino que é mais danoso para o meio ambiente e para a saúde humana, ou seja, os finos são mais importantes de serem tratados.

5.2. Curvas de velocidade de deposição seca

Com os dados coletados, por meio da parametrização de Zhang et al. (2001), calculou-se a velocidade de deposição para LUC 6, 7 e 15 nas estações do ano SC 1, 2, 3 e 5. A velocidade do vento está relacionada com a variação da frequência da velocidade do Venturi, em que pelas medições realizadas no bocal da chaminé, obteve-se uma velocidade de gás entre 1,0 m/s, e 10 m/s para as frequências de 20 e 60 hertz respectivamente.

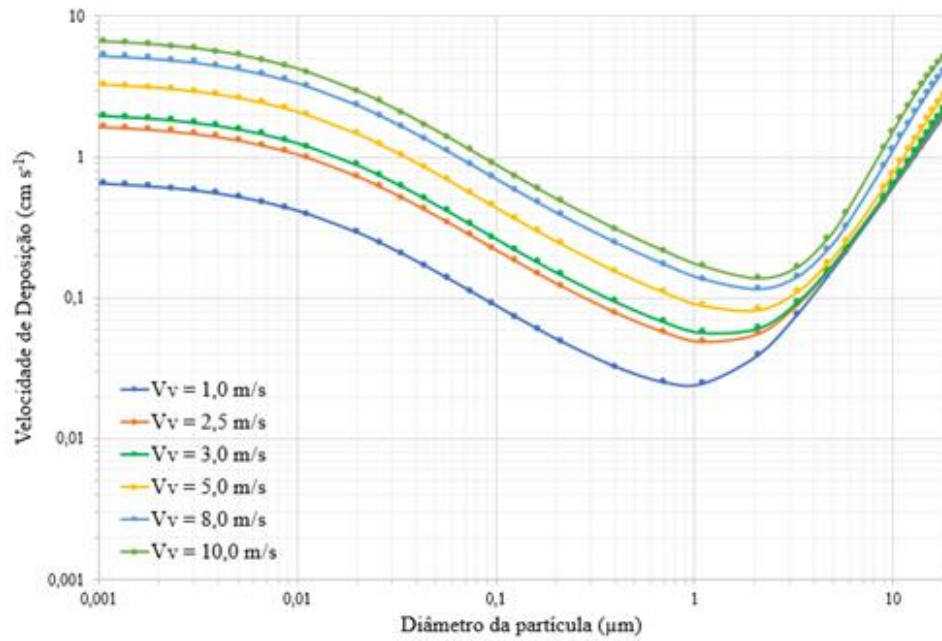
As Figuras 7, 8 e 9 contém a velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula, para a categoria de uso da terra, LUC 6 (grama), nas estações (SC) 1 e 2, 3 e 5, respectivamente. Enquanto que as Figuras 10, 11 e 12 correspondem ao LUC 7 (plantações) nas estações (SC) 1 e 2, 3 e 5 respectivamente. E, por fim, a Figura 13 condensa o LUC 15 (urbana) para todas as estações, SC 1, 2, 3 e 4.

Figura 7. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 1 e 2



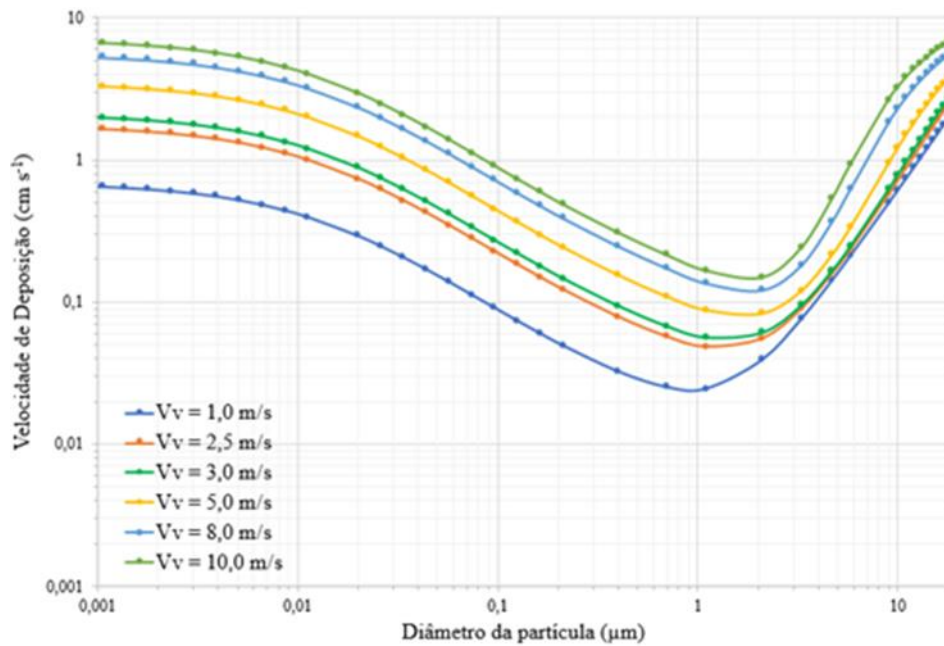
Fonte: Elaboração Própria, 2020

Figura 8. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 3.



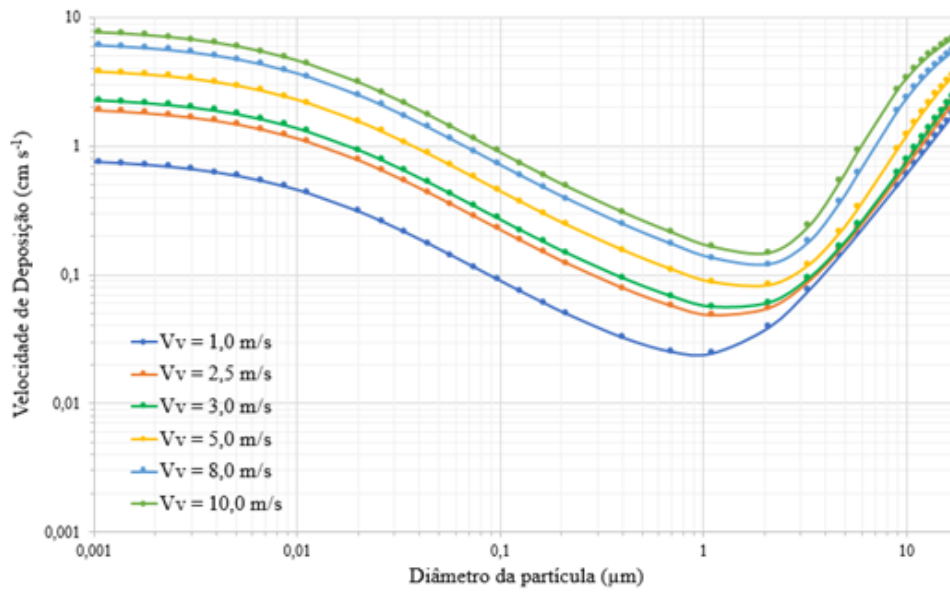
Fonte: Elaboração Própria, 2020

Figura 9. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 6 e SC 5.



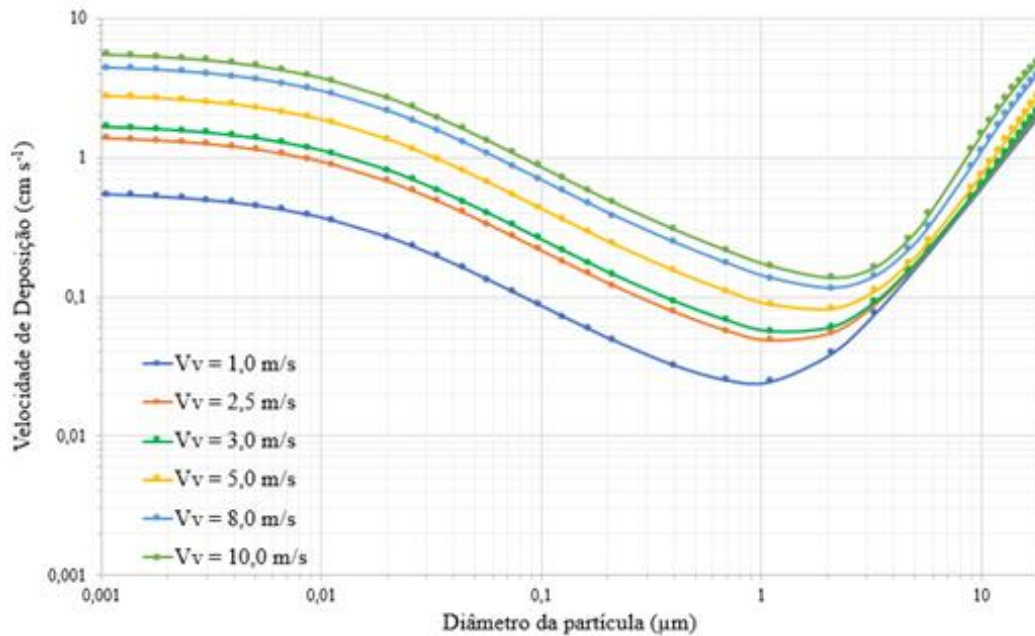
Fonte: Elaboração Própria, 2020

Figura 10. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 1 e 2.



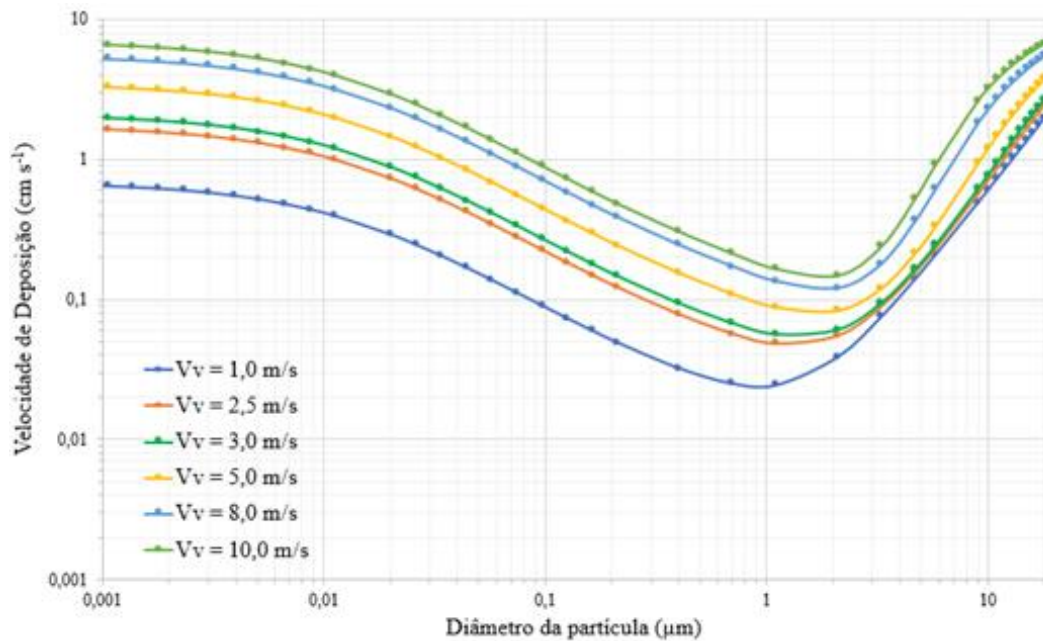
Fonte: Elaboração Própria, 2020

Figura 11. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 3.



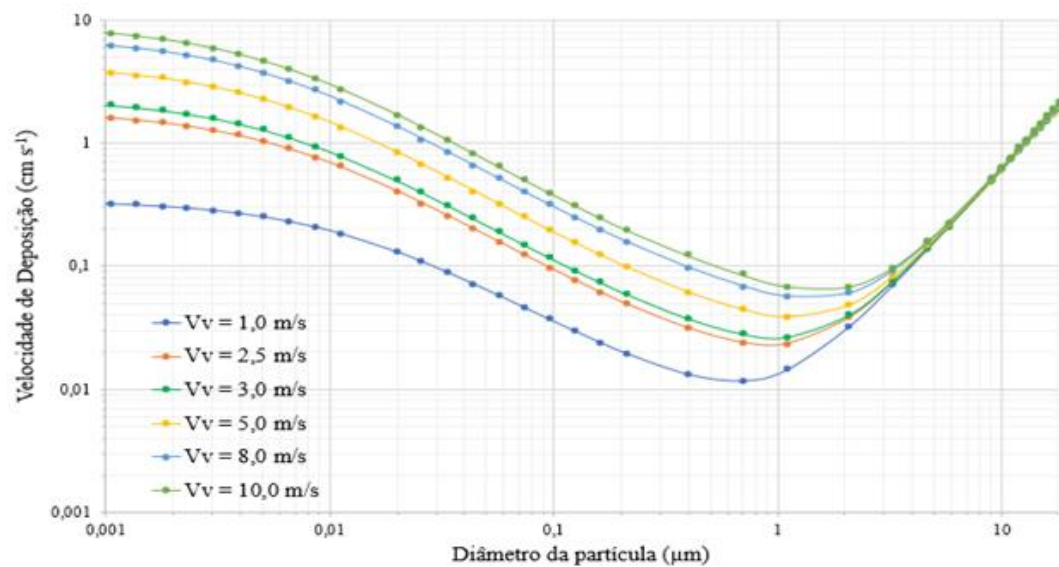
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 12. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 7 e SC 5.



Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 13. Velocidade de deposição em função do diâmetro da partícula para LUC 15 e SC 1, 2, 3 e 5.



Fonte: Elaboração própria, 2020

Ao analisar as figuras supracitadas, em relação a velocidade de deposição seca e o diâmetro da partícula pelo método de Zhang et al (2001), nota-se um comportamento semelhante na velocidade de deposição de acordo com o diâmetro da partícula, em que a velocidade de deposição se torna maior à medida que a velocidade do vento aumenta.

A velocidade de deposição atinge um valor mínimo em partículas com diâmetro próximo a 1 μm , e a velocidade de deposição aumenta até atingir um máximo para as partículas

com diâmetro menor do que $1 \mu\text{m}$ e, também, a velocidade aumenta para partículas com diâmetro maior que $1 \mu\text{m}$.

Em relação a categoria do uso da terra do método, as curvas obtidas no LUC 6 e LUC 7 são iguais, enquanto que para o LUC 15, há uma diferença considerável apenas na velocidade do vento de $1,0 \text{ m/s}$. Comparando-se então as estações do ano, no LUC 15, todas possuem a mesma velocidade de deposição, com o diferencial para as partículas maiores, as quais independem da velocidade do vento, ao contrário do LUC 6 e LUC 7, em que a velocidade de deposição de partículas maiores varia com a velocidade do vento.

As maiores velocidades de deposição são obtidas no LUC 6 e 7 nas estações SC 1 e 2, as quais podem atingir 10 cm.s^{-1} para partículas de diâmetro $0,001 \mu\text{m}$ na maior velocidade do vento analisada, de 10 m.s^{-1} , enquanto que para a velocidade do vento em $1,0 \text{ m.s}^{-1}$, a velocidade de deposição é de aproximadamente 1 cm.s^{-1} . e as estações 3 e 5 possuem uma pequena diferença mais evidenciada em velocidades do vento menores.

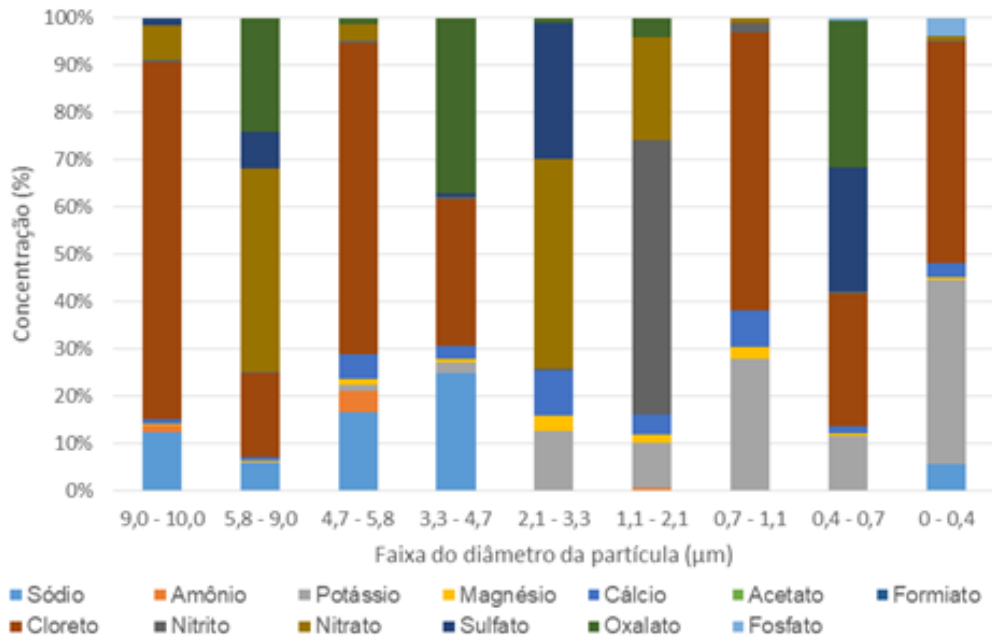
5.3. Análise de composição química

Foi analisada a composição química de 7 amostragens realizadas no impactador de Cascata, sendo 3 delas sem o sistema de lavagem e as outras 4 com o sistema de lavagem. Com os valores das concentrações das espécies iônicas obtidas para as 7 amostragens pode-se caracterizar qualitativamente o material particulado amostrado. Portanto, com esses valores obteve-se gráficos para melhor visualização dos resultados.

Os dados das composições químicas para todas as amostragens efetuadas no projeto estão contidos no Anexo A, em forma de tabelas os quais serão detalhados em forma de figuras com o intuito de facilitar o entendimento dos dados coletados.

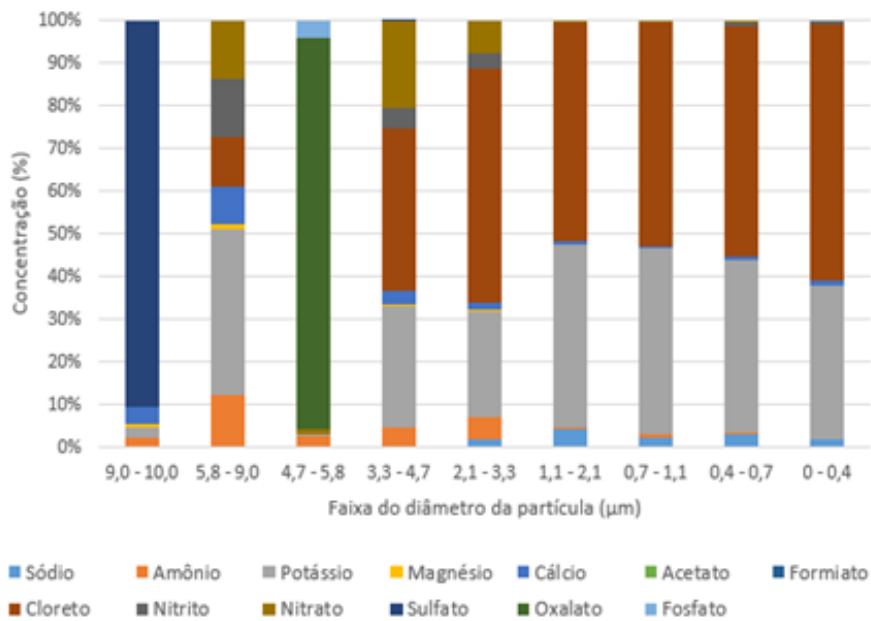
As Figuras 14, 15 e 16 são referentes as amostragens coletadas com uma velocidade de 8 m/s , sendo a Figura 15 amostrada com lavador Venturi com vazão de água de $3,5$ litros por minuto. A Figura 17 refere-se a amostragem com 10 m/s e $3,5$ litros por minuto. A Figura 18 e 19 referem-se a amostragem com velocidade de 3 m/s e a Figura 19 com sistema de lavagem com vazão de água em $3,5$ litros por minuto. Por fim, a Figura 20 refere-se à frequência de 5 m/s e vazão de água em $3,5$ litros por minuto.

Figura 14. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 8 m/s.



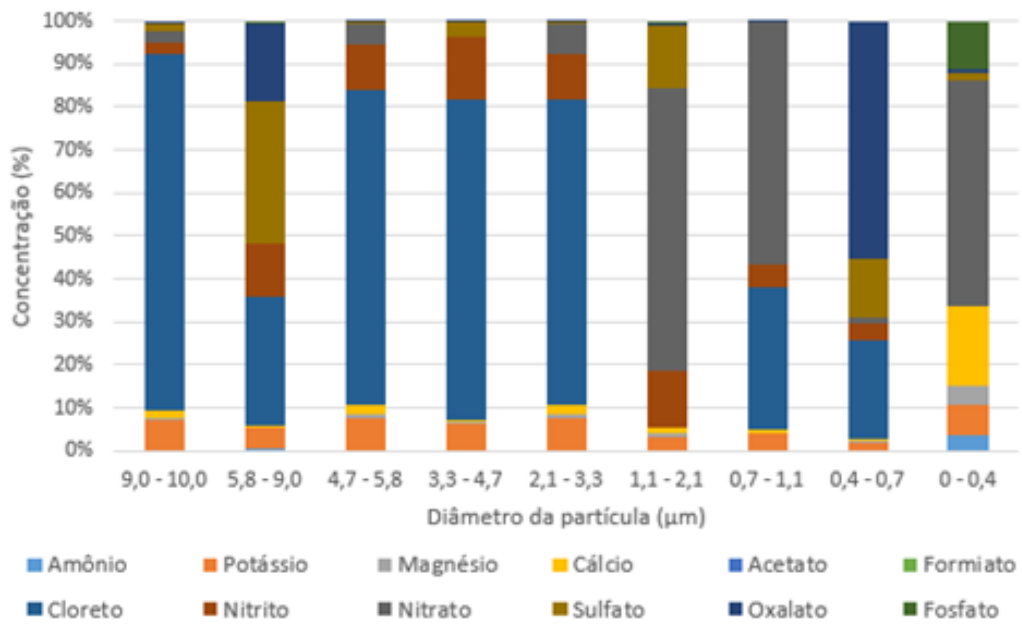
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 15. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 8 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.



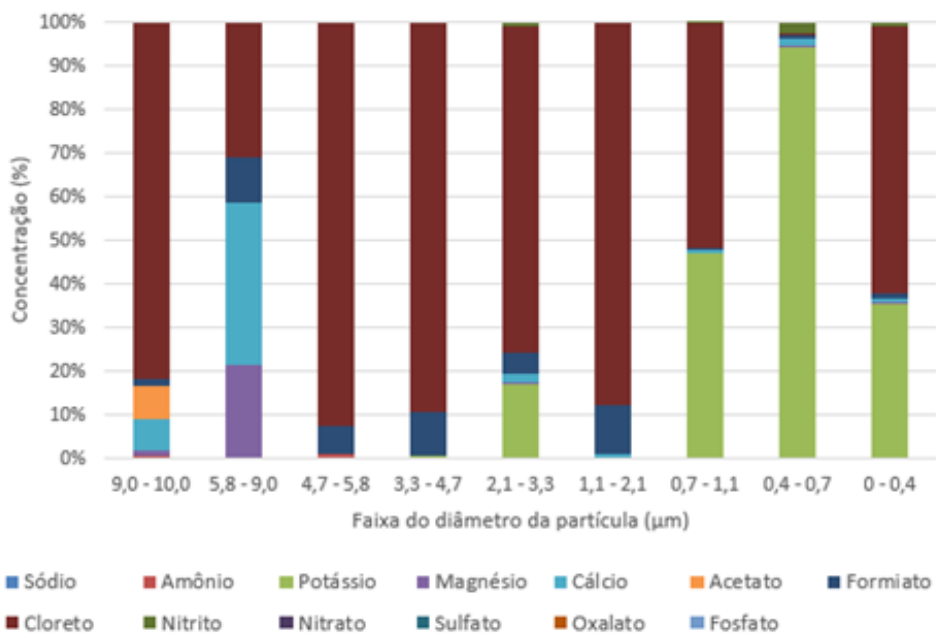
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 16. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 8 m/s.



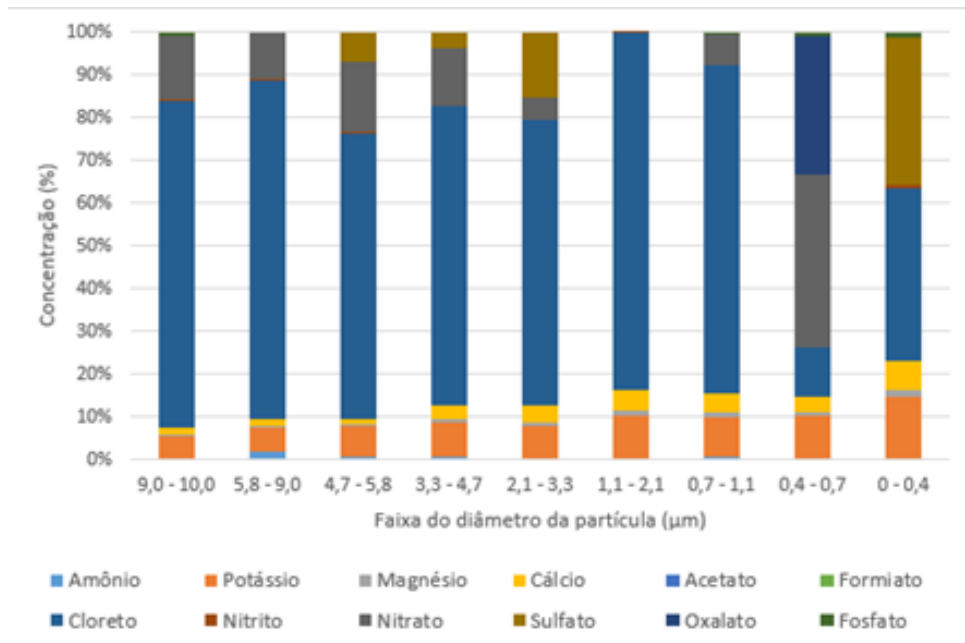
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 17. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 10 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.



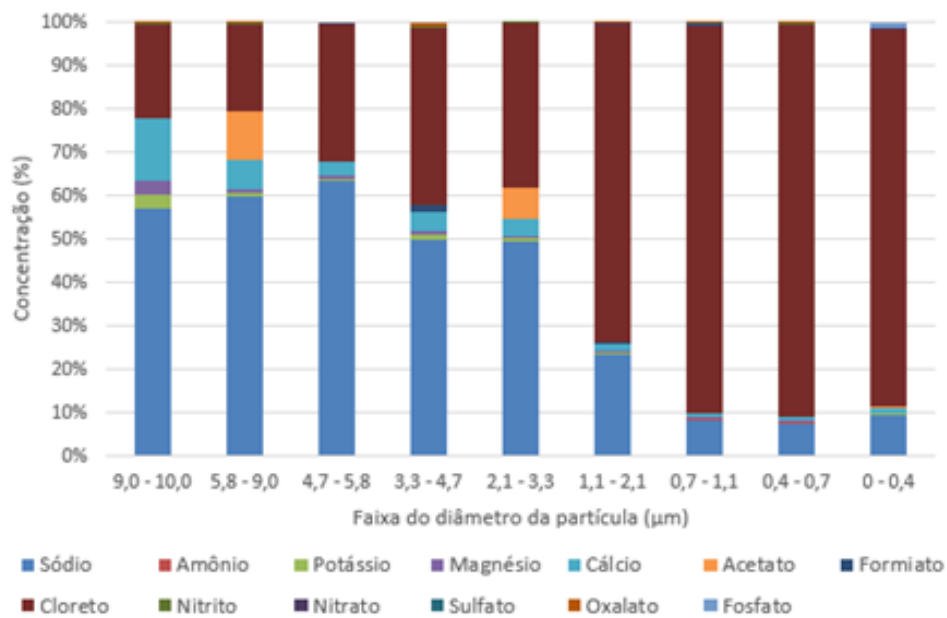
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 18. Análise da composição química sem Venturi e velocidade de 3 m/s.



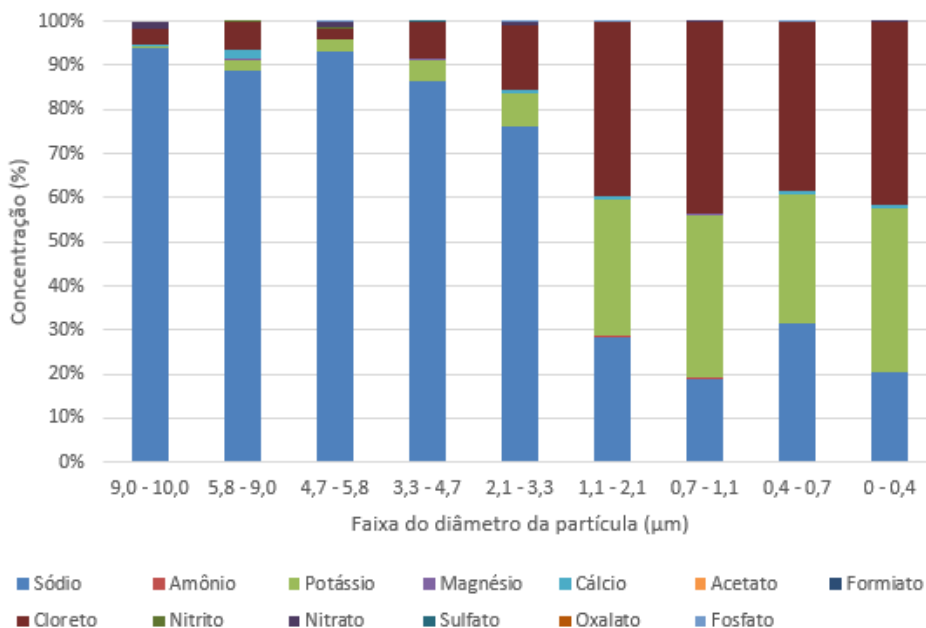
Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 19. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 3 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.



Fonte: Elaboração própria, 2020

Figura 20. Análise da composição química com Venturi e velocidade de 5 m/s e vazão de água de 3,5 litros por minuto.



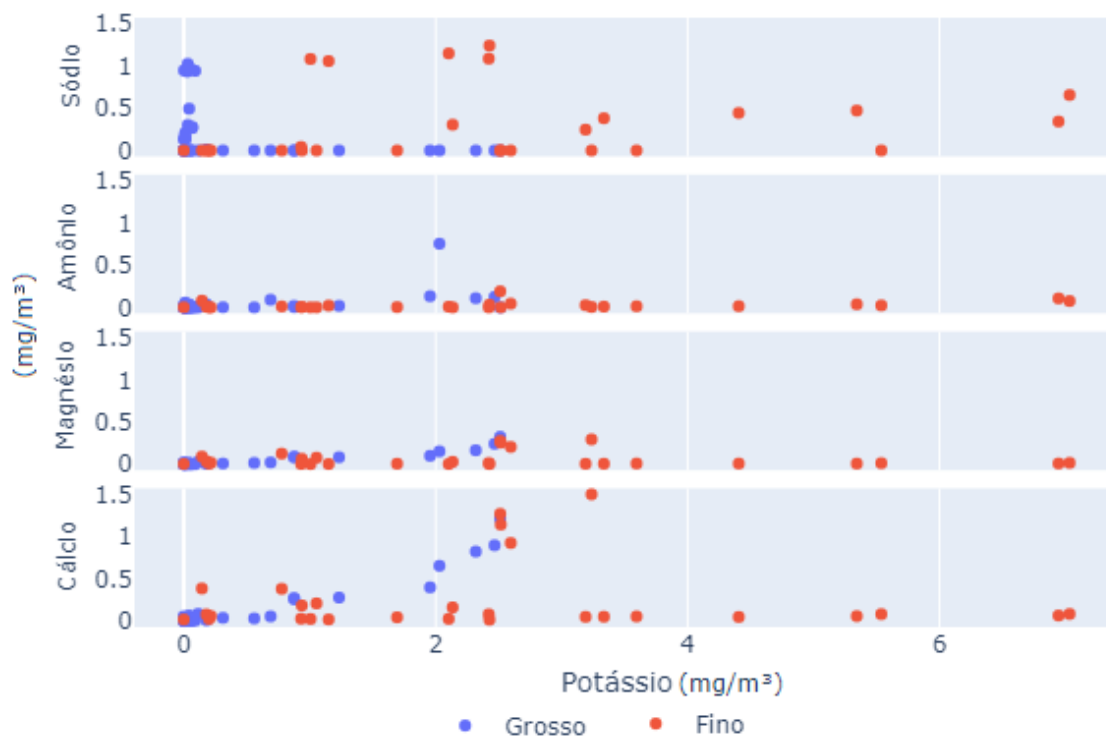
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Nota-se uma alta concentração dos íons sódio e cloreto na maioria das amostragens, atingindo 90 % de concentração. Nas amostragens com o lavador Venturi em funcionamento, a concentração desses íons foi maior para todas as faixas de diâmetro de corte. A concentrações desses íons pode ter sido ocasionada devido a água utilizada no sistema de lavagem, pois são íons presentes em abundância na água.

As amostragens coletadas no impactador de Cascata, evidenciaram a presença dos íons nitrato, potássio e sulfato no particulado fino, principalmente de potássio, o qual apresentou as maiores concentrações, sendo coletado em todas as amostragens realizadas. Em relação ao nitrato e sulfato, foram encontradas concentrações na faixa de 30 a 50 % em algumas amostragens no particulado fino antes do filtro backup (0 - 0,4 µm). Para o material particulado grosso, há uma maior incidência de cátions, com exceção do cloreto que já foi discutido.

De acordo com Bianchini, A. et al (2016), Álvarez, M, V. et al (2018) e Franzin, B, T (2019), o potássio é um indicador de queima de biomassa. Portanto, com o intuito de analisar a relação do íon potássio com os outros íons amostrados, ilustrou-se a concentração do potássio amostrado em função dos outros íons. A Figura 21 ilustra a relação da concentração do potássio com os cátions sódio, amônio, magnésio e cálcio amostrados.

Figura 21. Concentração do íon potássio em função das concentrações de sódio, amônio, magnésio e cálcio, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).

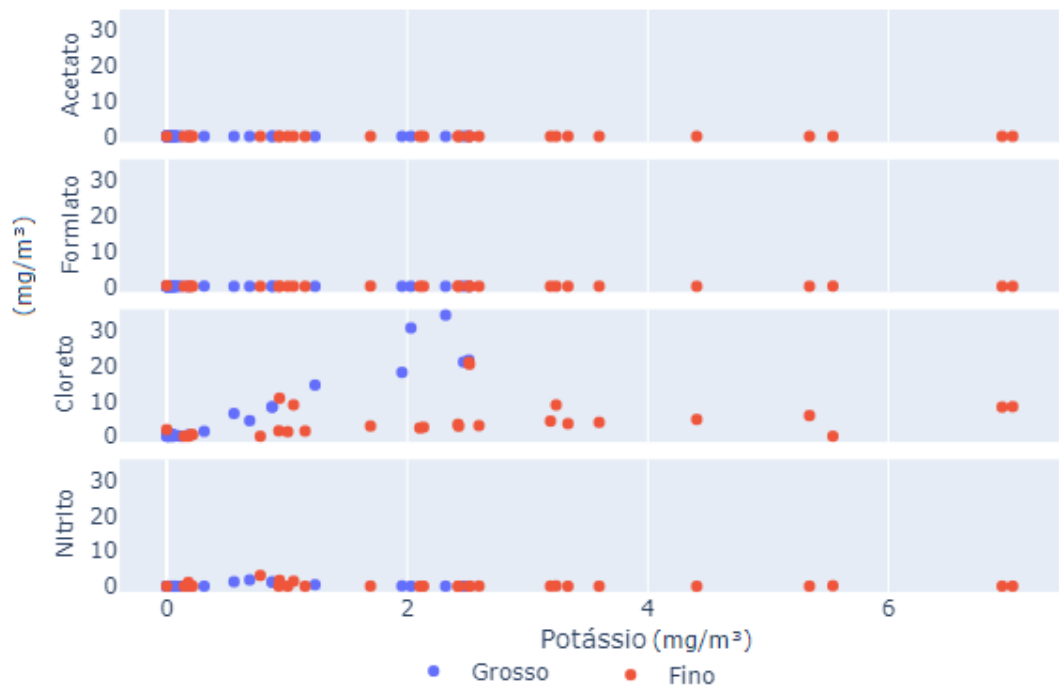


Fonte: Elaboração própria, 2020.

Analisando a Figura 21, nota-se uma maior concentração dos cátions na faixa de 0 a 2 mg/m^3 de potássio. E o íon que possui maior concentração em relação a concentração de potássio é o sódio, principalmente no particulado fino. Os dados obtidos condizem com os dados obtidos por Álvarez, M, V. et al (2018), com exceção do íon sódio, os quais obtiveram para a queima de bagaço de cana-de-açúcar, altas concentrações de potássio e baixas de sódio, magnésio, cálcio e amônio.

Os cátions amostrados também condizem com os dados obtidos por Mon, O, H. et al (2020) e com Franzin, B, T (2019), com exceção do sódio, os quais relacionaram concentrações de potássio com magnésio, cálcio, sódio e amônio no material particulado. Portanto, os dados condizem com as discussões supracitadas referentes ao sódio. Ademais, serão analisados os ânions em dois gráficos distintos, primeiramente, a Figura 22, ilustra a relação da concentração do potássio com os ânions acetato, formiato, cloreto e nitrito.

Figura 22. Concentração do íon potássio em função das concentrações de acetato, formiato, cloreto e nitrito, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).

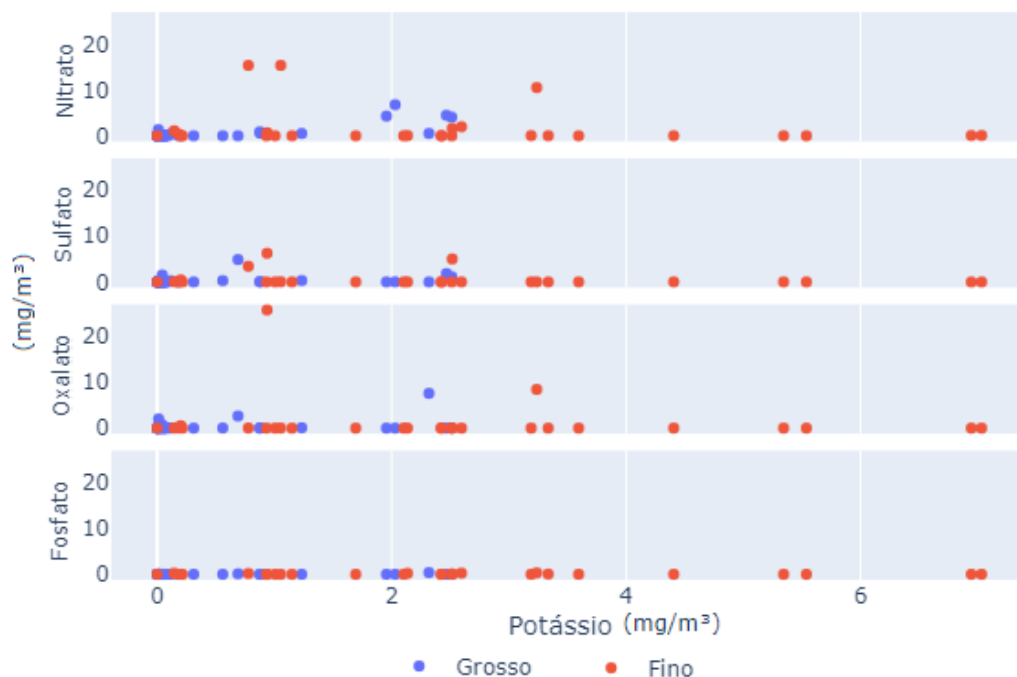


Fonte: Elaboração própria, 2020.

Os íons acetato e formiato não possuíram amostragens significativas de acordo com as concentrações de potássio, ficando em torno de 0 mg/m³. Por outro lado, o íon cloreto amostrado, obteve altas concentrações em várias faixas de concentrações de potássio. Por fim, o nitrito também não possuiu concentrações significativas em função da concentração de potássio.

Dados obtidos por Álvarez, M, V. et al (2018), retornaram valores similares de concentração de potássio e de cloreto, evidenciando que os dados obtidos em relação ao íon cloreto no projeto estão elevados e condizem com as discussões supracitadas. Por fim, para os outros íons restantes, a Figura 23 ilustra a relação entre a concentração de potássio com os ânions nitrato, sulfato, oxalato e fosfato.

Figura 23. Concentração do íon potássio em função das concentrações de nitrato, sulfato, oxalato, fosfato, divididos entre particulado fino (vermelho) e grosso (azul).



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Analisando os dados da Figura 23, os íons nitrato e sulfato possuíram uma relação considerável em concentrações baixas de potássio. O íon oxalato possuiu concentração de 10 e 20 mg/m^3 em duas amostragens, enquanto que o potássio possui aproximadamente 2 mg/m^3 , porém com certa similaridade com o nitrato e o sulfato, e por fim, o íon fosfato não possui relação com o íon potássio.

Os dados referentes as concentrações dos íons nitrato e sulfato condizem com os dados obtidos por Álvarez, M, V. et al (2018) e com os dados de Franzin, B, T (2019), com exceções dos dados elevados de concentrações de nitrato, os quais evidenciam o nitrato e o sulfato possuindo as maiores concentrações em relação aos ânions relacionados a queima de biomassa.

Portanto, analisando com mais afinco a relação entre o potássio, o nitrato e o sulfato, obteve-se uma concentração média no PM_{10} e no material particulado fino para cada amostragem, as quais estão condensadas na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração média dos íons nitrato, potássio e sulfato no material particulado.

Velocidade (m/s)	Venturi	Material Particulado (μm)	Nitrato (mg/m^3)	Potássio (mg/m^3)	Sulfato (mg/m^3)	Concentração Total (mg/m^3)
8	Sem	PM _{2,5}	0,4674	2,7298	0,4495	9,8496
		PM ₁₀	2,3147	2,9079	0,9861	17,7745
8	Sem	PM _{2,5}	32,4419	2,9130	9,7376	98,7838
		PM ₁₀	34,3890	7,1481	15,2574	162,6960
3	Sem	PM _{2,5}	12,4704	10,8626	7,5665	99,6097
		PM ₁₀	33,6491	22,1459	15,5744	272,5480
10	Com	PM _{2,5}	0,0000	10,8266	0,0000	20,4908
		PM ₁₀	0,0000	11,1447	0,0000	24,9313
8	Com	PM _{2,5}	0,1832	18,1000	0,0000	42,7173
		PM ₁₀	0,3262	18,4542	1,5080	47,6728
5	Com	PM _{2,5}	0,0224	6,6860	0,0000	19,4416
		PM ₁₀	0,0684	6,8908	0,0021	24,9716
3	Com	PM _{2,5}	0,0778	15,5065	0,01419	36,1089
		PM ₁₀	0,0800	15,6979	0,01419	38,4368

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Ao analisar os dados da Tabela 2, nota-se que para a maioria dos dados, a quantidade de potássio emitido pela queima de biomassa, é quase em sua totalidade, particulado fino, enquanto que para os outros dois íons, a quantidade emitida foi bem distribuída entre particulado fino e particulado grosso.

Analisando os dados em relação ao uso do lavador Venturi, nota-se uma quantidade significativamente menor de nitrato e sulfato em ambos os materiais particulados, porém, o mesmo não foi evidenciado para o íon potássio, em que a concentração de potássio diminuiu apenas no particulado grosso. Por fim, ao analisar a concentração média total, nota-se que grande parte do particulado grosso foi coletado.

Segundo Surjosaty, A. et al (2019), a queima de biomassa após o lavador Venturi, resultou em uma concentração na faixa de 20 mg/m^3 em baixas vazões de água e 14 mg/m^3 em altas vazões de água e antes do Venturi na faixa de 50 mg/m^3 , os quais foram condizentes para o particulado coletado após o lavador Venturi neste trabalho.

Em relação a concentração média, algumas concentrações obtidas possuem valores muito superiores as outras amostragens, as quais obtiveram altas concentrações de cloreto e sódio. Carrol e Finnan (2017), obtiveram um PM emitido pela combustão de madeira na faixa de 22-51 mg/m^3 , valores os quais são próximos dos quais foram amostrados na queima de biomassa de cana. De acordo com Bianchini, A. et al (2016) a média de PM fino amostrado sem sistema de lavagem correspondeu a 78, 81 e 141 mg/m^3 com 20, 20 e 40 testes realizados,

respectivamente. Esses valores condizem com os contidos na Tabela 2. Ademais, com o intuito de realizar uma análise somente das partículas finas, os dados que relacionam somente as partículas finas estão contidos na Tabela 3.

Tabela 3. Concentração dos íons nitrato, potássio e sulfato no material particulado fino.

Velocidade (m/s)	Venturi	Material Particulado (μm)	Nitrato (mg/m^3)	Potássio (mg/m^3)	Sulfato (mg/m^3)	Concentração Total de finos (mg/m^3)
8	Sem	1,1 - 2,1	0,4079	0,1795	0,0000	9,8496
		0,7 - 1,1	0,0077	0,2149	0,0000	
		0,4 - 0,7	0,0000	0,2007	0,4495	
		0 - 0,4	0,0518	2,1346	0,0000	
8	Sem	1,1 - 2,1	15,3356	0,7777	3,4150	98,7838
		0,7 - 1,1	15,3356	1,0539	0,0367	
		0,4 - 0,7	0,6751	0,9374	6,2486	
		0 - 0,4	1,0955	0,1440	0,0374	
3	Sem	1,1 - 2,1	0,0000	2,5168	0,0000	99,6097
		0,7 - 1,1	1,9754	2,5125	0,0000	
		0,4 - 0,7	10,4951	2,5961	0,0000	
		0 - 0,4	0,0000	3,2373	7,5665	
10	Com	1,1 - 2,1	0,0000	0,0000	0,0000	20,4908
		0,7 - 1,1	0,0000	3,5950	0,0000	
		0,4 - 0,7	0,0000	5,5379	0,0000	
		0 - 0,4	0,0000	1,6938	0,0000	
8	Com	1,1 - 2,1	0,0728	7,0326	0,0000	42,7173
		0,7 - 1,1	0,0667	6,9450	0,0000	
		0,4 - 0,7	0,0437	3,1902	0,0000	
		0 - 0,4	0,0000	0,9319	0,0000	
5	Com	1,1 - 2,1	0,0030	1,1500	0,0000	19,4416
		0,7 - 1,1	0,0086	2,4269	0,0000	
		0,4 - 0,7	0,0044	1,0060	0,0000	
		0 - 0,4	0,0065	2,1032	0,0000	
3	Com	1,1 - 2,1	0,0243	2,4216	0,0000	36,1089
		0,7 - 1,1	0,0197	4,4060	0,0135	
		0,4 - 0,7	0,0114	5,3434	0,0000	
		0 - 0,4	0,0224	3,3355	0,0007	

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Analisando a concentração de material particulado fino na Tabela 3, nota-se que o íon potássio é bem distribuído entre as 4 faixas de diâmetro analisadas, enquanto que para os íons sulfato e nitrato, geralmente estão concentrados na faixa de diâmetro acima de 0,4 μm .

De acordo com Bianchini, A. et al (2016), com os dados do lavador Venturi realizados em 20 testes, a média da concentração de material particulado fino, após o Venturi, corresponde-se a 78 mg/m³, os quais estão condizentes com os dados obtidos. Os dados da Tabela 3 evidenciam uma diminuição considerável da concentração total de material particulado fino, em relação ao uso do lavador Venturi, em que a média sem lavador Venturi foi de aproximadamente 100 mg/m³, enquanto que com o lavador Venturi esse valor corresponde a aproximadamente 30 mg/m³.

5.4. Fluxo de Deposição Seca

Com as concentrações iônicas para cada íon amostrado na queima da biomassa e as velocidades de deposição de acordo com a frequência de operação do queimador, calcula-se o fluxo de deposição seca de acordo com a equação 1. Para as concentrações e condições de amostragem da Figura 12, ou seja, sem Venturi e com velocidade de 8 m/s, estão condensados na Tabela 4.

Tabela 4. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 nas estações SC1 e SC2 e para LUC 15 em todas as estações.

Faixa de Diâmetro (μm)	LUC 6 e 7 (SC1 e SC2)				LUC 15 (SC1, SC2, SC3 e SC5)			
	Vd (m/s)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Vd (m/s)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
9,0 - 10,0	0,02134	0,001601	0,000000	0,000366	0,00564	0,000423	0,000000	0,000097
5,8 - 9,0	0,01257	0,016752	0,000121	0,003040	0,00364	0,004854	0,000035	0,000881
4,7 - 5,8	0,00497	0,000148	0,000054	0,000000	0,00188	0,000056	0,000020	0,000000
3,3 - 4,7	0,00274	0,000007	0,000117	0,000032	0,00123	0,000003	0,000053	0,000014
2,1 - 3,3	0,00150	0,000613	0,000173	0,000400	0,00076	0,000310	0,000087	0,000202
1,1 - 2,1	0,00128	0,000521	0,000229	0,000000	0,00058	0,000238	0,000105	0,000000
0,7 - 1,1	0,00154	0,000012	0,000330	0,000000	0,00063	0,000005	0,000135	0,000000
0,4 - 0,7	0,00210	0,000000	0,000422	0,000944	0,00083	0,000000	0,000167	0,000374
0 - 0,4	0,04013	0,002077	0,085671	0,000000	0,03691	0,001910	0,078789	0,000000

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Pelos dados condensados na Tabela 4, nota-se que os fluxos de deposição para os parâmetros de Zhang et al (2001) analisados, são bem diferentes para as partículas grossas e são bem similares para as partículas finas, pois a velocidade de deposição possui um valor próximo. As LUC 6 e 7 nas estações SC1 e SC2 obtiveram os maiores fluxos de deposição seca de material particulado se comparados com os outros parâmetros estudados nesse projeto. A Tabela 5 condensa os dados dos fluxos para as LUC 6 e 7 na estação SC3.

Tabela 5. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 na estação SC3.

Faixa de Diâmetro (μm)	LUC 6 (SC3)				LUC 7 (SC3)			
	Vd (m/s)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Vd (m/s)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
9,0 - 10,0	0,00992	0,000744	0,000000	0,000170	0,00985	0,000739	0,000000	0,000169
5,8 - 9,0	0,00594	0,007921	0,000057	0,001438	0,00592	0,007884	0,000057	0,001431
4,7 - 5,8	0,00271	0,000081	0,000029	0,000000	0,00271	0,000081	0,000029	0,000000
3,3 - 4,7	0,00180	0,000005	0,000077	0,000021	0,00180	0,000005	0,000077	0,000021
2,1 - 3,3	0,00128	0,000520	0,000147	0,000340	0,00128	0,000519	0,000147	0,000339
1,1 - 2,1	0,00126	0,000512	0,000225	0,000000	0,00125	0,000511	0,000225	0,000000
0,7 - 1,1	0,00155	0,000012	0,000333	0,000000	0,00154	0,000012	0,000331	0,000000
0,4 - 0,7	0,00211	0,000000	0,000423	0,000947	0,00209	0,000000	0,000420	0,000940
0 - 0,4	0,03506	0,001815	0,074847	0,000000	0,03013	0,001560	0,064325	0,000000

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Na estação SC3, o material particulado possui um fluxo de deposição similar, havendo apenas uma diferença significativa para o filtro “backup”, no qual a velocidade do vento é maior para a LUC 6, que resulta em uma maior deposição de nitrato e potássio na faixa de diâmetro do filtro backup. Por fim, a Tabela 6 condensa os dados de fluxo para a estação SC5.

Tabela 6. Fluxo de deposição seca com velocidade de 8 m/s e sem Venturi, para os íons nitrato, potássio e sulfato nas LUC 6 e 7 na estação SC5.

Faixa de Diâmetro (μm)	LUC 6 e 7 (SC5)			
	Vd (m/s)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
9,0 - 10,0	0,02068	0,001551	0,000000	0,000354
5,8 - 9,0	0,01229	0,016378	0,000118	0,002973
4,7 - 5,8	0,00493	0,000147	0,000053	0,000000
3,3 - 4,7	0,00273	0,000007	0,000117	0,000032
2,1 - 3,3	0,00150	0,000611	0,000173	0,000399
1,1 - 2,1	0,00127	0,000520	0,000229	0,000000
0,7 - 1,1	0,00153	0,000012	0,000329	0,000000
0,4 - 0,7	0,00209	0,000000	0,000419	0,000939
0 - 0,4	0,03506	0,001814	0,074831	0,000000

Fonte: Elaboração própria, 2020.

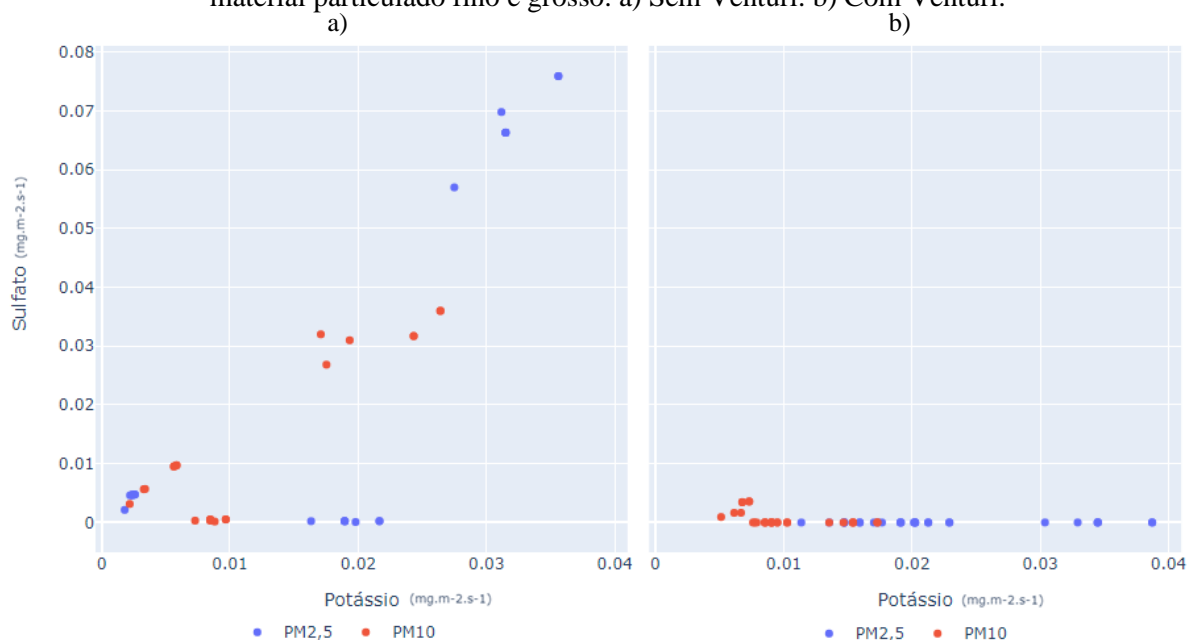
As LUC 6 e 7 na estação SC5 possuem os mesmos valores de deposição, os quais são similares ao da SC1 e SC2 para o material particulado grosso e similar ao SC3 para o material

particulado fino. Em comparação com a LUC 15, a qual possui os mesmos valores independente do SC, os fluxos de deposição são maiores na LUC 15 do que para as LUC 6 e 7 nas estações 3 e 5. Por fim, os maiores fluxos de deposição são obtidos para a LUC 6 e 7 nas estações SC1 e 2.

Em relação ao fluxo de deposição das outras amostragens, os dados para os particulados finos em cada LUC e SC estão contidos no Anexo B, em que a Tabela 6, condensa o fluxos de deposição médio do particulado fino e grosso, para os íons analisados, em todas as LUC e SC para os experimentos realizados sem o Venturi e a Tabela 7 condensa os mesmos dados, porém, com o lavador Venturi.

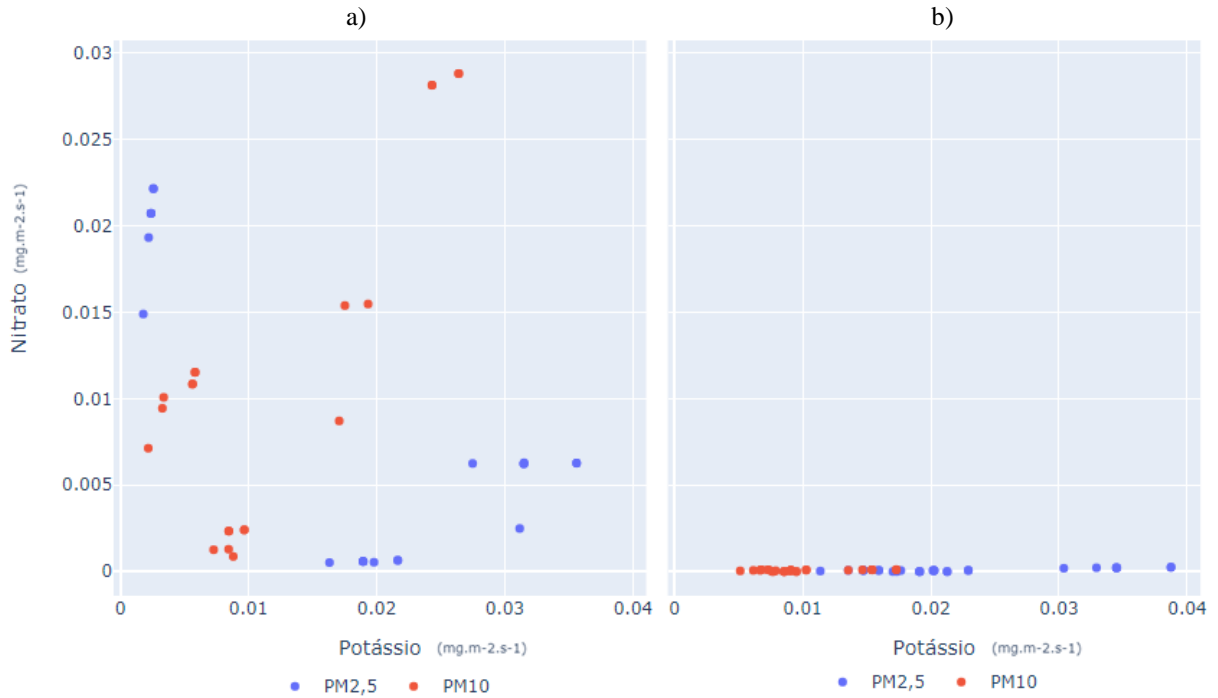
Analisando os dados do Anexo B, comprova-se as discussões supracitadas em relação as composições químicas e em relação as velocidades de deposição, pois o fluxo de deposição está diretamente relacionado com esses dois parâmetros. Para uma melhor visualização dos dados, plotou-se gráficos de pontos os quais estão ilustrados nas Figuras 24, 25 e 26. Esses gráficos ilustram a relação dos fluxos de deposição entre os potássio e sulfato, potássio e nitrato e nitrato e sulfato, nas Figuras 24, 25 e 26, respectivamente. Além disso, os dados estão separados entre material particulado fino e grosso, em que a coloração azul representa o $PM_{2,5}$ e a coloração vermelha o PM_{10} .

Figura 24. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon potássio e o íon sulfato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.



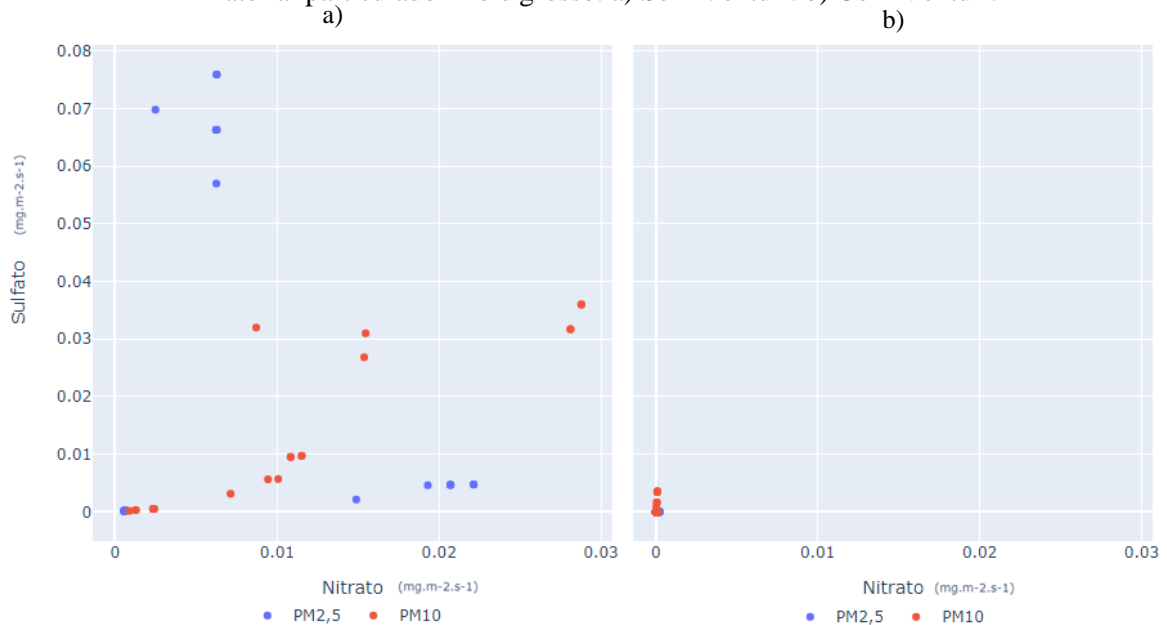
Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 25. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon potássio e o íon nitrato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Figura 26. Relação entre o fluxo de deposição seca entre o íon nitrato e o íon sulfato para o material particulado fino e grosso. a) Sem Venturi. b) Com Venturi.



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Analisando os dados inseridos nas Figuras 24, 25 e 26, conclui-se que sem o lavador Venturi, há uma deposição dos íons sulfato e nitrato se comparado com o íon potássio, valido para particulado fino e grosso. E, com o lavador Venturi em funcionamento, os fluxos de

deposição seca dos íons nitrato e sulfato são menores, principalmente em relação ao particulado fino, se comparado com o íon potássio.

Além disso, de maneira geral, o íon potássio foi identificado em todas as amostragens para a maiorias das faixas de diâmetro, e o seu maior fluxo de deposição ocorreu para o fino com o uso de Venturi. Para o íon nitrato, a amostragem foi maior para o particulado grosso e o maior fluxo de deposição foi obtido para o particulado grosso sem Venturi. Por fim, o sulfato, que igualmente ao íon nitrato, amostrou-se mais particulado grosso, entretanto, o maior fluxo de deposição ocorreu para os particulados finos sem Venturi.

Estudos realizados por Zhao, Z, Y. et al (2020), evidenciaram que no norte da China, há uma maior concentração de compostos nitratos no ar no outono se comparado as outras estações do ano, que é consistente com os resultados obtidos, pois o período do outono possui o maior fluxo de deposição de material particulado.

Liu, J. et al (2016), analisou os fluxos de deposição em Beijing – China, utilizando a parametrização de Zhang et al (2001), no qual obteve na primavera, as menores concentrações de particulado fino e grosso. Além disso, no período do outono, o fluxo de deposição seca foi o maior e no inverno, de acordo com a região, o fluxo de deposição para as partículas grossas era maior.

6. CONCLUSÕES

O uso de um lavador de gases tipo Venturi para a coleta de material particulado proveniente da queima de biomassa, no quesito quantitativo, mostrou ser eficiente na coleta de particulado fino, quando o queimador operava em baixas frequências e com altas vazões de água. Por outro lado, em altas frequências, porém com baixa vazão de água, também houve uma alta eficiência na coleta de particulado fino, na faixa de 70 % enquanto que para o particulado grosso obteve-se uma eficiência de 90 % para alguns estágios do amostrador.

As parametrizações da velocidade de deposição propostas por Zhang et al (2001), nas LUC 6 (grama) e 7 (plantações e culturas mistas), nas estações SC1 (solstício de verão) e SC2 (outono), obtiveram os maiores valores de deposição seca para o material particulado, em seguida, têm-se a LUC 15 (urbana) em todas as estações SC1, SC2, SC3 (final de outono) e SC5 (primavera)

No quesito qualitativo do material particulado amostrado, o íon potássio, mostrou ser um indicador de queima de biomassa, o qual estava presente em todas as análises feitas, e concentrado principalmente no particulado fino. Os outros íons, nitrato e sulfato também foram amostrados e ambos estavam presentes no particulado fino e no particulado grosso. Além disso, em algumas análises foram amostradas altas concentrações de sódio e cloreto, podendo ser ocasionadas por problemas na água utilizada no lavador Venturi.

Com o sistema de lavagem em funcionamento, analisando qualitativamente, houve uma diminuição na concentração de material particulado emitido, e para os íons nitrato e sulfato, a concentração no particulado fino não apresentou concentrações significativas desses íons.

Por fim, o fluxo de deposição seca do material particulado amostrado, no qual os maiores fluxos foram obtidos nas LUC 6 (grama) e 7 (plantações e culturas mistas) para o material particulado fino, principalmente para o íon potássio. Isso se deve a relação direta entre a concentração iônica e a velocidade de deposição no fluxo de deposição seca.

Então, com os dados amostrados pode-se inferir que o uso de um sistema de lavagem como o lavador Venturi pode ter bons resultados na remoção de material particulado emitido. E foi obtido um fluxo de deposição para o íon potássio no particulado fino podendo impactar o a concentração de nutrientes no solo de regiões com gramas ou plantações e a saúde humana em área urbana em todas as estações do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APARECIDA, A, A. et al. Estudo de mercado sobre o uso de biomassa para queima no Estado de São Paulo, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11. 2020.

ÁLVAREZ, M, V. et al. Sugarcane burning emissions: Characterization and emission factors. *Atmospheric Environment*, v. 193, p. 262-272, Nov. 2018.

BIANCHINI, A. et al. Performance analysis of different scrubber systems for removal of particulate emissions from a small size biomass boiler. *Biomass and Bioenergy*, v. 92, p. 31-39, Sep. 2016.

CHENG-WEY H, et al. Particle deposition to forest: An alternative to K-teory. *atmosenv.2014.05.072*

CHENG, Y. et al. Biomass burning contribution to Beijing aerosol. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 13, p. 7765–7781. 2013.

CHERUBIN, M.R., et al., Sugarcane expansion in Brazilian tropical soils—Effects of land use change on soil chemical attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015. 211: p. 173-184.

FENN, M. E. et al. Ecological effects of nitrogen deposition in the western United States. *BioScience*, v. 53, n. 4, p. 404-420, 2003.

FRANZIN, B , T. Caracterização Físico-Química De Aerossóis Atmosféricos Urbanos Do Interior Do Estado De São Paulo: Noroeste E Centro. Dissertação (Dissertação em Química) - UNESP. Araraquara, 2019.

FRANCISCO, K. C. A. **Avaliação da composição química e dos processos de transformação gás/partícula do aerossol atmosférico em uma região litorânea sob influência industrial no Estado de São Paulo.** 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2017.

FOGARIN, H. M. **Avaliação da deposição seca de partículas menores que 2,5 µm na zona urbana, agricultura e florestas - Instituto de Química**. 2018. 101 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2018.

GIARDINA, M.; BUFFA, P. A new approach for modeling dry deposition velocity of particles. **Atmospheric Environment**, v. 180, p. 11–22. 2018.

GIARDINA et al. “Atmospheric dry deposition processes of particles on urban and suburban surfaces: Modelling and validation works.” **Atmospheric Environment** 2019: 1-16.

GEOFFREY, D. S. "Hazardous Waste Incinerators", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2004.

HUANG, C.-W. et al. Particle deposition to forests: An alternative to K-theory. **Atmospheric Environment**, v. 05, p. 593-605, Sep. 2014.

JANHÄLL, S.; ANDREAE, M. O.; PÖSCHL, U. Biomass burning aerosol emissions from vegetation fires: particle number and mass emission factors and size distributions. **Atmos. Chem. Phys.**, v. 10, p. 1427–1439. 2010.

KANTOVÁ, N. et al. Comparison of particulate matters properties from combustion of wood biomass and brown coal. **Procedia Engineering**, v. 192, p. 416–420. 2017.

LIUT, J. et al. “Dry deposition of particulate matter at an urban forest, wetland and lake surface in Beijing.” **Atmospheric Environment.**, v. 125, p.178-187, Jan. 2016.

MKOMA, S, L. et al. Atmospheric particle dry deposition of major ions to the South Atlantic coastal area observed at Baía de Todos os Santos, Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 1, p. 37-55, Mar. 2014.

MOHAN, S. M. An overview of particulate dry deposition: measuring methods, deposition velocity and controlling factors. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v. 13, p. 387–402. 2016.

MON, O, H. et al. Physicochemical characterization of forest and sugarcane leaf combustion's particulate matters using electron microscopy, EDS, XRD and TGA. **Journal of Environmental Sciences.**, v.99, p.296-310, Jan, 2020.

NHO-KIM, E. -Y.; MICHOU, M.; PEUCH, V. -H. Parameterization of size-dependent particle dry deposition velocities for global modeling. **Atmospheric Environment**, v. 38, p. 1933–1942. 2004.

OBAIDULLAH, M. et al. A Review on Particle Emissions from Small Scale Biomass Combustion. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 2, p. 147-159. 2012.

OLIVEIRA, L, P. et al. Trace elements in atmospheric particulate matter from an agro-industrial region in southeastern Brazil. **Quím. Nova**, v. 36 no.4 São Paulo, 2013.

PAK, S. I.; CHANG, K.S. Performance estimation of a Venturi scrubber using a computational model for capturing dust particles with liquid spray. **Journal of Hazardous Materials**. v. 138. p. 560-573. 2006.

PELLERINA, G. et al. Aerosol particle dry deposition velocity above natural surfaces: Quantification according to the particles diameter. **Journal of Aerosol Science**. v. 114, p. 107–117. 2017.

ROCHA, G. O. D.; ALLEN, A. G.; CARDOSO, A. A. Influence of Agricultural Biomass Burning on Aerosol Size Distribution and Dry Deposition in Southeastern Brazil. **Environ. Sci. Technol.**, v. 39, n. 14, p. 5293-5301. 2005.

SANTOS, P. U. et al. Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. v. 47, n. 1, p. 1-13, 2021.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 1203 p.

SOUZA, M. D. L. **Estudo da distribuição de tamanho e composição iônica de aerossóis e seus efeitos na capacidade de nuclear gotas de nuvens**. 2016. 158 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2016.

SURJOSATYO, A. et al. Comparison between secondary thermal cracking methods and venturi scrubber filtering in order to reduce tar in biomass gasification. **Energy Procedia.**, v.158, p.749-754, 2019.

U.S. EPA. Clean Air Act Requirements and History. **United States Environmental Protection Agency**, 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-requirements-and-history>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

WUA, Y. et al. Aerosol concentrations and atmospheric dry deposition fluxes of nutrients over Daya Bay, South China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, p. 106–114. 2018.

WU, YANG. et al. An overview of inorganic particulate matter emission from coal/biomass/MSW combustion: Sampling and measurement, formation, distribution, inorganic composition and influencing factors. **Fuel Processing Technology**, v. 213, 2021.

ZHANG, L. et al. A size-segregated particle dry deposition scheme for an atmospheric aerosol module. **Atmospheric Environment**, v. 35, p. 549-560. 2001.

ZHAO, Z, Y. et al. Coal and biomass burning as major emissions of NO_x in Northeast China: Implication from dual isotopes analysis of fine nitrate aerosols. **Atmospheric Environment**, v. 242. 2020.

ZHU, L. et al. Estimate of dry deposition fluxes of nutrients over the East China Sea: The implication of aerosol ammonium to non-sea-salt sulfate ratio to nutrient deposition of coastal oceans. **Atmospheric Environment**, v. 69, p. 131-138. 2013.

ANEXO A – Concentração iônica

Tabela 7. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.

Faixa Diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,1320	0,0162	0,0000	0,0026	0,0086	0,0000	0,0000	0,8043	0,0065	0,0750	0,0171	0,0000	0,0000
5,8 - 9,0	0,1792	0,0000	0,0096	0,0050	0,0217	0,0000	0,0000	0,5537	0,0065	1,3329	0,2419	0,7424	0,0000
4,7 - 5,8	0,1408	0,0382	0,0108	0,0114	0,0440	0,0000	0,0000	0,5639	0,0034	0,0298	0,0000	0,0110	0,0000
3,3 - 4,7	0,4963	0,0000	0,0427	0,0155	0,0553	0,0000	0,0000	0,6184	0,0115	0,0025	0,0117	0,7408	0,0000
2,1 - 3,3	0,0000	0,0000	0,1150	0,0304	0,0872	0,0000	0,0000	0,0000	0,0061	0,4071	0,2658	0,0101	0,0000
1,1 - 2,1	0,0000	0,0083	0,1795	0,0352	0,0799	0,0000	0,0000	0,0000	1,0960	0,4079	0,0000	0,0780	0,0000
0,7 - 1,1	0,0000	0,0000	0,2149	0,0189	0,0600	0,0000	0,0000	0,4545	0,0152	0,0077	0,0000	0,0000	0,0000
0,4 - 0,7	0,0000	0,0000	0,2007	0,0081	0,0262	0,0000	0,0000	0,4811	0,0099	0,0000	0,4495	0,5340	0,0096
0 - 0,4	0,3061	0,0000	2,1346	0,0293	0,1633	0,0000	0,0000	2,5698	0,0135	0,0518	0,0000	0,0000	0,2059
PM 2,5	0,3061	0,0083	2,7298	0,0915	0,3295	0,0000	0,0000	3,5054	1,1346	0,4674	0,4495	0,6120	0,2155
PM 10	1,2544	0,0626	2,9079	0,1565	0,5463	0,0000	0,0000	6,0457	1,1686	2,3147	0,9861	2,1163	0,2155

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 8. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e sem Venturi.

Faixa Diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,0000	0,0183	1,2328	0,0831	0,2802	0,0000	0,0000	14,5173	0,4332	0,5141	0,3014	0,0865	0,0000
5,8 - 9,0	0,0000	0,0908	0,6895	0,0223	0,0566	0,0000	0,0000	4,4255	1,8151	0,0000	4,8713	2,6371	0,1125
4,7 - 5,8	0,0000	0,0032	0,8783	0,0901	0,2595	0,0000	0,0000	8,3352	1,1680	0,5747	0,0372	0,0199	0,0000
3,3 - 4,7	0,0000	0,0000	0,5591	0,0165	0,0322	0,0000	0,0000	6,4648	1,2868	0,0000	0,2770	0,0294	0,0000
2,1 - 3,3	0,0000	0,0177	0,8754	0,0835	0,2748	0,0000	0,0000	8,3021	1,2279	0,8583	0,0328	0,0199	0,0000
1,1 - 2,1	0,0000	0,0113	0,7777	0,1262	0,3840	0,0000	0,0000	0,0000	3,0686	15,3356	3,4150	0,0294	0,1614
0,7 - 1,1	0,0000	0,0000	1,0539	0,0780	0,2113	0,0000	0,0000	8,9006	1,4272	15,3356	0,0367	0,0193	0,0000
0,4 - 0,7	0,0000	0,0050	0,9374	0,0654	0,1862	0,0000	0,0000	10,7942	1,6805	0,6751	6,2486	25,7342	0,0000
0 - 0,4	0,0000	0,0799	0,1440	0,0916	0,3880	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0955	0,0374	0,0175	0,2315
PM 2,5	0,0000	0,0962	2,9131	0,3612	1,1695	0,0000	0,0000	19,6948	6,1763	32,4419	9,7376	25,8005	0,3929
PM 10	0,0000	0,2263	7,1481	0,6566	2,0729	0,0000	0,0000	61,7396	12,1074	34,3890	15,2574	28,5932	0,5054

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 9. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 3 m/s e sem Venturi.

Faixa de diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,0000	0,0035	0,0000	0,0086	0,0558	0,0562	0,0112	0,6093	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5,8 - 9,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0223	0,0390	0,0000	0,0106	0,0325	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4,7 - 5,8	0,0000	0,0101	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0515	0,7833	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3,3 - 4,7	0,0000	0,0001	0,0068	0,0000	0,0000	0,0000	0,0872	0,7920	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1 - 3,3	0,0000	0,0018	0,3113	0,0090	0,0399	0,0000	0,0894	1,3920	0,0172	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,1 - 2,1	0,0000	0,0012	0,0000	0,0042	0,0198	0,0000	0,2370	1,8842	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,7 - 1,1	0,0000	0,0133	3,5950	0,0091	0,0559	0,0000	0,0268	3,9623	0,0145	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,4 - 0,7	0,0000	0,0234	5,5379	0,0129	0,0833	0,0000	0,0624	0,0258	0,1425	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0 - 0,4	0,0000	0,0033	1,6938	0,0065	0,0457	0,0000	0,0666	2,9154	0,0479	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
PM 2,5	0,0000	0,0413	10,8266	0,0328	0,2048	0,0000	0,3928	8,7876	0,2050	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
PM 10	0,0000	0,0568	11,1447	0,0726	0,3394	0,0562	0,6427	12,3967	0,2221	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 10. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 10 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.

Faixa Diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 – 10,0	0,0000	0,1090	2,3181	0,1660	0,8265	0,0000	0,0000	34,3568	0,0309	6,7650	0,0276	0,0000	0,3635
5,8 – 9,0	0,0000	0,7557	2,0299	0,1533	0,6572	0,0000	0,0000	30,7007	0,0160	4,2926	0,0000	0,0000	0,0000
4,7 – 5,8	0,0000	0,1329	1,9556	0,1005	0,4015	0,0000	0,0000	18,1227	0,0931	4,4707	1,8262	0,0000	0,0000
3,3 – 4,7	0,0000	0,1241	2,4676	0,2429	0,9007	0,0000	0,0000	21,0582	0,0058	4,0550	1,1428	0,0000	0,0000
2,1 – 3,3	0,0000	0,0000	2,5120	0,3266	1,2196	0,0000	0,0000	21,6041	0,0000	1,5953	5,0114	0,0000	0,0000
1,1 – 2,1	0,0000	0,0000	2,5168	0,2567	1,1470	0,0000	0,0000	20,4159	0,0285	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,7 – 1,1	0,0000	0,1910	2,5125	0,2770	1,2741	0,0000	0,0000	20,9652	0,0000	1,9754	0,0000	0,0000	0,0989
0,4 – 0,7	0,0000	0,0444	2,5961	0,2058	0,9278	0,0000	0,0000	3,0324	0,0615	10,4951	0,0000	8,4307	0,2472
0 – 0,4	0,0000	0,0050	3,2373	0,2954	1,5056	0,0000	0,0000	8,8854	0,1045	0,0000	7,5665	0,0000	0,3103
PM 2,5	0,0000	0,2404	10,8626	1,0349	4,8545	0,0000	0,0000	53,2989	0,1945	12,4704	7,5665	8,4307	0,6564
PM 10	0,0000	1,3620	22,1459	2,0242	8,8600	0,0000	0,0000	179,1415	0,3403	33,6491	15,5744	8,4307	1,0199

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 11. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 8 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.

Faixa de diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,0000	0,0348	0,0427	0,0122	0,0664	0,0000	0,0000	0,0000	0,0020	0,0020	1,5075	0,0000	0,0000
5,8 - 9,0	0,0000	0,0183	0,0574	0,0016	0,0132	0,0000	0,0000	0,0171	0,0203	0,0203	0,0000	0,0000	0,0000
4,7 - 5,8	0,0000	0,0572	0,0119	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0212	0,0000	2,0127	0,0921
3,3 - 4,7	0,0000	0,0100	0,0623	0,0009	0,0067	0,0000	0,0000	0,0832	0,0105	0,0441	0,0005	0,0000	0,0000
2,1 - 3,3	0,0123	0,0378	0,1803	0,0045	0,0110	0,0000	0,0000	0,3964	0,0278	0,0553	0,0000	0,0000	0,0000
1,1 - 2,1	0,6589	0,0758	7,0326	0,0164	0,0851	0,0000	0,0000	8,4031	0,0240	0,0728	0,0000	0,0000	0,0000
0,7 - 1,1	0,3438	0,1064	6,9450	0,0089	0,0671	0,0000	0,0000	8,2809	0,0313	0,0667	0,0000	0,0000	0,0000
0,4 - 0,7	0,2476	0,0257	3,1902	0,0058	0,0513	0,0000	0,0000	4,3043	0,0500	0,0437	0,0000	0,0000	0,0000
0 - 0,4	0,0418	0,0034	0,9319	0,0036	0,0290	0,0000	0,0000	1,5453	0,0249	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
PM 2,5	1,2921	0,2114	18,0996	0,0347	0,2324	0,0000	0,0000	22,5336	0,1302	0,1833	0,0000	0,0000	0,0000
PM 10	1,3044	0,3694	18,4542	0,0538	0,3298	0,0000	0,0000	23,0303	0,1918	0,3262	1,5080	2,0127	0,0921

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 12. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 5 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.

Faixa de diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,9508	0,0000	0,0018	0,0008	0,0049	0,0000	0,0000	0,0338	0,0002	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000
5,8 - 9,0	0,9374	0,0000	0,0274	0,0025	0,0212	0,0000	0,0000	0,0672	0,0008	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4,7 - 5,8	1,0284	0,0000	0,0317	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0261	0,0006	0,0148	0,0001	0,0000	0,0014
3,3 - 4,7	0,9702	0,0000	0,0531	0,0003	0,0037	0,0000	0,0000	0,0898	0,0009	0,0000	0,0020	0,0000	0,0000
2,1 - 3,3	0,9459	0,0000	0,0907	0,0011	0,0071	0,0000	0,0000	0,1813	0,0000	0,0123	0,0000	0,0000	0,0005
1,1 - 2,1	1,0616	0,0215	1,1500	0,0033	0,0203	0,0000	0,0000	1,4831	0,0000	0,0030	0,0000	0,0000	0,0015
0,7 - 1,1	1,2455	0,0318	2,4269	0,0032	0,0167	0,0000	0,0000	2,8607	0,0000	0,0086	0,0000	0,0000	0,0000
0,4 - 0,7	1,0862	0,0000	1,0060	0,0025	0,0259	0,0000	0,0000	1,3117	0,0003	0,0044	0,0000	0,0000	0,0052
0 - 0,4	1,1525	0,0083	2,1032	0,0034	0,0270	0,0000	0,0000	2,3608	0,0000	0,0065	0,0000	0,0000	0,0000
PM 2,5	4,5458	0,0616	6,6860	0,0124	0,0898	0,0000	0,0000	8,0164	0,0003	0,0224	0,0000	0,0000	0,0067
PM 10	9,3786	0,0616	6,8908	0,0172	0,1269	0,0000	0,0000	8,4146	0,0028	0,0684	0,0021	0,0000	0,0085

Fonte: Elaboração própria, 2020.

Tabela 13. Concentração iônica amostradas no impactador de Cascata com velocidade de 3 m/s e Venturi com vazão de 3,5 litros por minuto.

Faixa de diâmetro	Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Acetato	Formiato	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Sulfato	Oxalato	Fosfato
9,0 - 10,0	0,1319	0,0000	0,0131	0,0074	0,0334	0,0000	0,0000	0,0502	0,0009	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000
5,8 - 9,0	0,2104	0,0000	0,0123	0,0026	0,0240	0,0394	0,0000	0,0696	0,0017	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000
4,7 - 5,8	0,3028	0,0000	0,0319	0,0024	0,0161	0,0000	0,0000	0,1507	0,0000	0,0022	0,0000	0,0000	0,0000
3,3 - 4,7	0,2673	0,0000	0,0665	0,0045	0,0247	0,0000	0,0076	0,2191	0,0007	0,0000	0,0000	0,0060	0,0000
2,1 - 3,3	0,2784	0,0000	0,0676	0,0039	0,0228	0,0387	0,0000	0,2156	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,1 - 2,1	1,0906	0,0001	2,4216	0,0143	0,0812	0,0000	0,0292	3,4047	0,0009	0,0243	0,0000	0,0001	0,0000
0,7 - 1,1	0,4457	0,0146	4,4060	0,0084	0,0499	0,0000	0,0000	4,7778	0,0000	0,0197	0,0135	0,0067	0,0000
0,4 - 0,7	0,4739	0,0371	5,3434	0,0080	0,0596	0,0060	0,0000	5,8735	0,0269	0,0114	0,0000	0,0010	0,0000
0 - 0,4	0,3827	0,0092	3,3355	0,0065	0,0526	0,0086	0,0000	3,5911	0,0007	0,0224	0,0007	0,0000	0,0491
PM 2,5	2,3929	0,0610	15,5065	0,0371	0,2433	0,0146	0,0292	17,6471	0,0285	0,0778	0,0142	0,0078	0,0491
PM 10	3,5838	0,0610	15,6979	0,0580	0,3643	0,0927	0,0368	18,3522	0,0325	0,0800	0,0142	0,0145	0,0491

Fonte: Elaboração própria, 2020.

ANEXO B – Fluxo de deposição seca

Tabela 14. Média do fluxo de deposição para o particulado fino e o particulado grosso sem Venturi, nos íons nitrato, potássio e sulfato, nas LUCs 6, 7 e 15 e nas estações 1, 2, 3 e 5.

Velocidade (m/s)	LUC	SC	Material Particulado (μm)	Nitrato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato (mg. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Vd (m/s)	
8	6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00065	0,02166	0,00024	0,01126	
			PM ₁₀	0,00241	0,00968	0,00053	0,00980	
	6	3	PM _{2,5}	0,00058	0,01896	0,00024	0,00999	
			PM ₁₀	0,00129	0,00846	0,00032	0,00685	
	7	3	PM _{2,5}	0,00052	0,01633	0,00023	0,00875	
			PM ₁₀	0,00126	0,00729	0,00032	0,00628	
	6 e 7	5	PM _{2,5}	0,00059	0,01895	0,00023	0,00999	
			PM ₁₀	0,00234	0,00847	0,00052	0,00912	
	15	1, 2, 3 e 5	PM _{2,5}	0,00054	0,01980	0,00009	0,00974	
			PM ₁₀	0,00087	0,00882	0,00017	0,00579	
	8	6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,02214	0,00259	0,00476	0,01126
				PM ₁₀	0,01152	0,00584	0,00974	0,00980
6		3	PM _{2,5}	0,02071	0,00241	0,00470	0,00999	
			PM ₁₀	0,01007	0,00339	0,00571	0,00685	
7		3	PM _{2,5}	0,01931	0,00222	0,00463	0,00875	
			PM ₁₀	0,00944	0,00329	0,00566	0,00628	
6 e 7		5	PM _{2,5}	0,02071	0,00240	0,00469	0,00999	
			PM ₁₀	0,01084	0,00564	0,00954	0,00912	
15		1, 2, 3 e 5	PM _{2,5}	0,01489	0,00180	0,00215	0,00974	
			PM ₁₀	0,00713	0,00219	0,00316	0,00579	
3		6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00627	0,03561	0,07592	0,00426
				PM ₁₀	0,02879	0,02641	0,03600	0,00361
	6	3	PM _{2,5}	0,00629	0,03151	0,06633	0,00379	
			PM ₁₀	0,01547	0,01934	0,03100	0,00318	
	7	3	PM _{2,5}	0,00625	0,02750	0,05700	0,00332	
			PM ₁₀	0,01538	0,01753	0,02685	0,00298	
	6 e 7	5	PM _{2,5}	0,00623	0,03149	0,06631	0,00378	
			PM ₁₀	0,02812	0,02433	0,03172	0,00339	
	15	1, 2, 3 e 5	PM _{2,5}	0,00249	0,03117	0,06982	0,00331	
			PM ₁₀	0,00871	0,01709	0,03201	0,00285	

Fonte: Elaboração Própria, 2020.

Tabela 15. Média do fluxo de deposição para o particulado fino e o particulado grosso com Venturi, nos íons nitrato, potássio e sulfato, nas LUCs 6, 7 e 15 e nas estações 1, 2, 3 e 5.

Velocidade (m/s)	LUC	SC	Material Particulado (μm)	Nitrato ($\text{mg. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Potássio ($\text{mg. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Sulfato ($\text{mg. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Vd (m/s)	
10	6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00000	0,02128	0,00000	0,01406	
			PM ₁₀	0,00000	0,00951	0,00000	0,01317	
	6	3	PM _{2,5}	0,00000	0,01916	0,00000	0,01247	
			PM ₁₀	0,00000	0,00856	0,00000	0,00865	
	7	3	PM _{2,5}	0,00000	0,01704	0,00000	0,01092	
			PM ₁₀	0,00000	0,00762	0,00000	0,00793	
	6 e 7	5	PM _{2,5}	0,00000	0,01911	0,00000	0,01247	
			PM ₁₀	0,00000	0,00855	0,00000	0,01224	
			PM _{2,5}	0,00000	0,01734	0,00000	0,01224	
			PM ₁₀	0,00000	0,00774	0,00000	0,00694	
	8	6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00007	0,01594	0,00000	0,01126
				PM ₁₀	0,00010	0,00732	0,00358	0,00980
6		3	PM _{2,5}	0,00007	0,01475	0,00000	0,00999	
			PM ₁₀	0,00007	0,00668	0,00166	0,00685	
7		3	PM _{2,5}	0,00007	0,01356	0,00000	0,00875	
			PM ₁₀	0,00007	0,00615	0,00165	0,00628	
6 e 7		5	PM _{2,5}	0,00007	0,01473	0,00000	0,00999	
			PM ₁₀	0,00010	0,00678	0,00346	0,00912	
			PM _{2,5}	0,00003	0,01138	0,00000	0,00974	
			PM ₁₀	0,00004	0,00513	0,00094	0,00579	
5		6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00007	0,02293	0,00000	0,00706
				PM ₁₀	0,00009	0,01028	0,00000	0,00567
	6	3	PM _{2,5}	0,00006	0,02027	0,00000	0,00627	
			PM ₁₀	0,00006	0,00906	0,00000	0,00452	
	7	3	PM _{2,5}	0,00006	0,01767	0,00000	0,00550	
			PM ₁₀	0,00005	0,00790	0,00000	0,00418	
	6 e 7	5	PM _{2,5}	0,00006	0,02025	0,00000	0,00627	
			PM ₁₀	0,00008	0,00909	0,00000	0,00530	
			PM _{2,5}	0,00006	0,02016	0,00000	0,00593	
			PM ₁₀	0,00004	0,00900	0,00000	0,00405	
	3	6 e 7	1 e 2	PM _{2,5}	0,00025	0,03874	0,00001	0,00426
				PM ₁₀	0,00011	0,01731	0,00001	0,00361
6		3	PM _{2,5}	0,00022	0,03452	0,00001	0,00379	
			PM ₁₀	0,00010	0,01540	0,00000	0,00318	
7		3	PM _{2,5}	0,00019	0,03038	0,00001	0,00332	
			PM ₁₀	0,00008	0,01356	0,00000	0,00298	
6 e 7		5	PM _{2,5}	0,00022	0,03448	0,00001	0,00378	
			PM ₁₀	0,00010	0,01542	0,00000	0,00339	
			PM _{2,5}	0,00022	0,03293	0,00001	0,00331	
			PM ₁₀	0,00010	0,01467	0,00000	0,00285	

Fonte: Elaboração Própria, 2020.