



RELISE

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE E RADIAÇÃO SOLAR EM SANTA MARIA/RS¹

Patrícia de Andrade Paines²

Carlos Roberto Cauduro³

Osmar Possamai⁴

RESUMO

O estudo tem por finalidade analisar a concentração de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico a partir de uma torre micrometeorológica instalada no município de Santa Maria/RS durante o período de fevereiro, mês de maior concentração de CO₂ no local. Inicialmente foi feita a análise dos dados disponíveis de concentração de CO₂ e das variáveis ambientais que influenciam diretamente, tais como a temperatura do ar, radiação solar, pressão atmosférica e umidade do ar. Constatou-se durante o período diurno a elevada concentração média diária de $3632 \pm 422 \mu\text{mol/m}^3$ devido às mudanças climáticas na cidade. Este índice de CO₂ está relacionado à geração de energia por fontes fósseis e a falta de conscientização de uso eficiente de energia.

Palavras-chave: Concentração de dióxido de carbono; Torre micrometeorológica; Variáveis ambientais.

ABSTRACT

The study aims to analyze the concentration of carbon dioxide (CO₂) from an micrometeorological atmospheric tower installed in the municipality of Santa Maria/RS during the period of February, month of greatest concentration of CO₂ in the place. It was initially made analysis of available data on concentration of CO₂ and environmental variables that influence directly, such as air temperature, solar radiation, atmospheric pressure and humidity of the air. It was noted during the daytime period the high concentration daily average of

¹ Recebido em 08/01/2019.

² Universidade Federal de Santa Maria. paines_sm@hotmail.com

³ Universidade Federal de Santa Maria. cr.cauduro@hotmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Maria. osmar.possamai@ufsc.br



RELISE

215

$3632 \pm 422 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ due to climate changes the city. This CO₂ content is related to the generation of energy by fossil sources and the lack of awareness of the efficiency use of energy.

Keywords: Carbon dioxide concentration; Micrometeorological tower, Environmental variables.

INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono (CO₂) é um composto químico gasoso e um dos gases que mais pode contribuir para o efeito estufa, em torno de 60%, juntamente com o vapor d' água (H₂O), Metano (CH₄), Óxido de nitroso (N₂O) e Ozônio (O₃) (BRUUN et al., 2016). São componentes naturais capazes de evitar que ocorram grandes oscilações de temperatura e também de absorver parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra conhecidos como Gases de Efeito Estufa (SZPUNAR, 2014).

O efeito estufa é um fenômeno natural que interfere diretamente na temperatura da Terra, implicando na sua elevação maior do que seria na ausência de atmosfera. Na ausência do efeito estufa, a temperatura média da Terra seria de -18°C ao invés dos 15°C que temos atualmente (SORENSEN, 2015).

Atualmente as altas concentrações de CO₂ na atmosfera, de acordo com Cordeiro, Castro e Maria (2017), estão contribuindo para o aquecimento/resfriamento global devido a algumas fontes, usos e processos. No processo da respiração celular de animais, seres humanos e organismos vivos, o CO₂ é produzido a partir da reação de oxigênio com a glicose e liberado por meio da expiração para a atmosfera no processo de degradação da matéria orgânica realizada por microrganismos decompositores. Posteriormente, os vegetais absorvem esse gás para a realização da fotossíntese, processo pelo qual moléculas orgânicas são produzidas a partir da energia solar. Tais processos são partes fundamentais do ciclo do carbono.



RELISE

Além disso, esse gás também é liberado durante erupções vulcânicas.

De acordo com os Cadernos NAE (2015), outro processo contribuinte é a queima de combustíveis fósseis, o carbono armazenado é oxidado e liberado para a atmosfera em forma de CO₂. Eles são responsáveis por cerca de 75% da energia primária mundial. Os principais combustíveis fósseis utilizados como energia primária consumida mundialmente, a saber, são o petróleo (32%), o carvão (26%), o gás (17%), a biomassa (14%), a hidroeletricidade (6%) e fissão nuclear (5%).

Nos últimos anos a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 27% como “fruto” da crescente queima de combustíveis fósseis na geração elétrica, e principalmente, a participação da atividade humana no setor industrial e de transporte para o desenvolvimento econômico tende atualmente a ser um dos mais elevados emissores de CO₂ do mundo. Outros fatores preocupantes são o desmatamento e queimas das florestas e mudanças no uso do solo.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (2014), a quantidade de CO₂ na atmosfera aumentou, em média, duas partes por milhão por ano desde 2002, implicando no aumento na temperatura mundial de 3°C a 5°C.

Segundo estudos de Grace et al. (2006), o CO₂ apresenta um fluxo cíclico levando em consideração as 24 horas do dia. Durante o período diurno o fluxo é predominantemente negativo, significando assimilação do CO₂ atmosférico pelo ecossistema, e durante a noite o fluxo torna-se positivo, significando a emissão de CO₂ para atmosfera. Ambos os fluxos variam conforme as condições meteorológicas. Essas variações de fluxos de CO₂ são influenciadas por variáveis climáticas, como temperatura, umidade e radiação solar disponível na atmosfera, e também variáveis ambientais, como tipo de vegetação, relevo, clima, cultivo e solo do local.

O objetivo principal do trabalho é estudar a concentração de CO₂ do ar



RELISE

217

na cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, a partir de dados de variáveis ambientais para quantificar o saldo de CO₂ atmosférico, evidenciando a eficiência energética nos processos produtivos e a preservação do meio ambiente. Para isso é de suma importância estudar o perfil de concentração de CO₂ no município de Santa Maria/RS:

- a) Verificar a influência das variáveis climáticas: temperatura atmosférica, umidade do ar, radiação ativa incidente e pressão atmosférica;
- b) Utilizar o número mínimo de variáveis ambientais atmosféricas que influenciam diretamente no perfil de concentração de CO₂; e
- c) Analisar a faixa de variação diária do CO₂ do ar no mês de fevereiro.

Tem como justificativa avaliar e relatar as mudanças nas condições climáticas atribuíveis à adição induzida pelo homem de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e mudanças nas práticas da produção agrícola. E mostrar o quanto um ecossistema local contribui para o aumento do dióxido de carbono na atmosfera.

REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho é uma pesquisa de campo, uma vez que avaliou as principais variáveis climáticas em Santa Maria/RS, sendo a temperatura atmosférica, umidade do ar, radiação ativa incidente e pressão atmosférica. A abordagem do problema é de caráter quantitativo, pois realiza a coleta de dados numéricos como a concentração diária de CO₂ do ar no mês de fevereiro (maior faixa de variação de CO₂). Para isso, faz-se o uso de ferramentas e recursos estatísticos para análise e interpretações dos dados, além de observar as variáveis climáticas que influenciam na variabilidade do perfil de CO₂ e emissão de gases do efeito estufa no local.

A ferramenta utilizada para a aquisição e armazenamento dos dados foi por uma central principal Datalogger durante os meses de fevereiro de 2012



RELISE

218

a 2017. Neste período foi coletado um total de 27 amostras de cada variável, sendo que cada amostra é dividida em 24 horas, que correspondem aos turnos manhã, tarde e noite. Para análise dos dados coletados foi utilizado o software Excel[®] versão 2010, por possuir ferramentas básicas de estatísticas descritivas, tais como média, desvio padrão e gráficos de controle – utilizados para identificar, interpretar e representar as principais variáveis de variação de CO₂ em Santa Maria/RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma melhor compreensão e representação das possíveis mudanças climáticas associadas ao aumento da concentração de carbono e medidas dos fluxos de CO₂ entre a superfície e a atmosfera em diferentes biomas e ecossistemas, são fundamentais o monitoramento de áreas, como cultivo agrícola, pecuária, silvicultura, mata atlântica e reserva ambiental.

No Brasil diversas instituições de estudo e pesquisa possuem equipamentos de investigação. No RS conjunto de torres micrometeorológicas, instrumentadas com sensores padrões, efetuam medidas a uma alta taxa amostral em importantes ecossistemas da região visando à criação e manutenção de uma Rede de Fluxos Superficiais no Sul do Brasil (SULFLUX).

O presente estudo pretende obter informações a partir de observações de longo período de dados climáticos e suas interações entre a superfície e a atmosfera para quantificar o saldo de transferência de CO₂ e outras grandezas físicas no estado. As observações fornecem dados de alta qualidade para inicializarem e validarem modelos numéricos, de clima e superfície, para o estado mais meridional do Brasil.

A Rede Sul-brasileira de Fluxos Superficiais e Mudança Climática tem a sua sede nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS - INPE) localizado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O



RELISE

219

município de Santa Maria está localizado na Região Sul do Brasil, chamada de Depressão Central do Rio Grande do Sul, com coordenadas geográficas de latitude Sul 29°41'02", longitude Oeste 53°48'25" e altitude média comparando com o nível do mar, de 113 metros ao Norte do município, variando a altitude máxima de 485 metros na região de Arroio Grande, divisa com município de Silveira Martins próximo a localidade de Val de Buia.

Os dados meteorológicos e medidas de CO₂ atmosférico foram coletados a partir de uma torre micrometeorológica de 3 metros de altura (cerca de 6 metros do nível do solo), durante o período de 01 a 27 de fevereiro de 2012 a 2017, instalado no prédio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e de referência ao projeto de instalação de um sítio experimental no local.

O princípio de funcionamento da torre micrometeorológica consiste na composição de sensores de alta precisão e qualidade que garante o estudo e validação dos dados, por meio de comparação das medições realizadas em outros locais.

Para quantificar as grandezas de concentração de CO₂ e registro das medidas diárias das variáveis explicativas de maior interesse, utiliza-se a torre micrometeorológica com estrutura metálica com 3 metros de altura. O método é utilizado para o cálculo dos fluxos de energia e massa, constituído pelos seguintes instrumentos e sensores (Figura 1): Temperatura do ar (°C) e Umidade do ar (%); Anemômetro (m/s); Piranômetro (Kj/m²); Analisador de CO₂ do ar e H₂O do ar (µmol/m³); e Barômetro (mbar).



RELISE

220

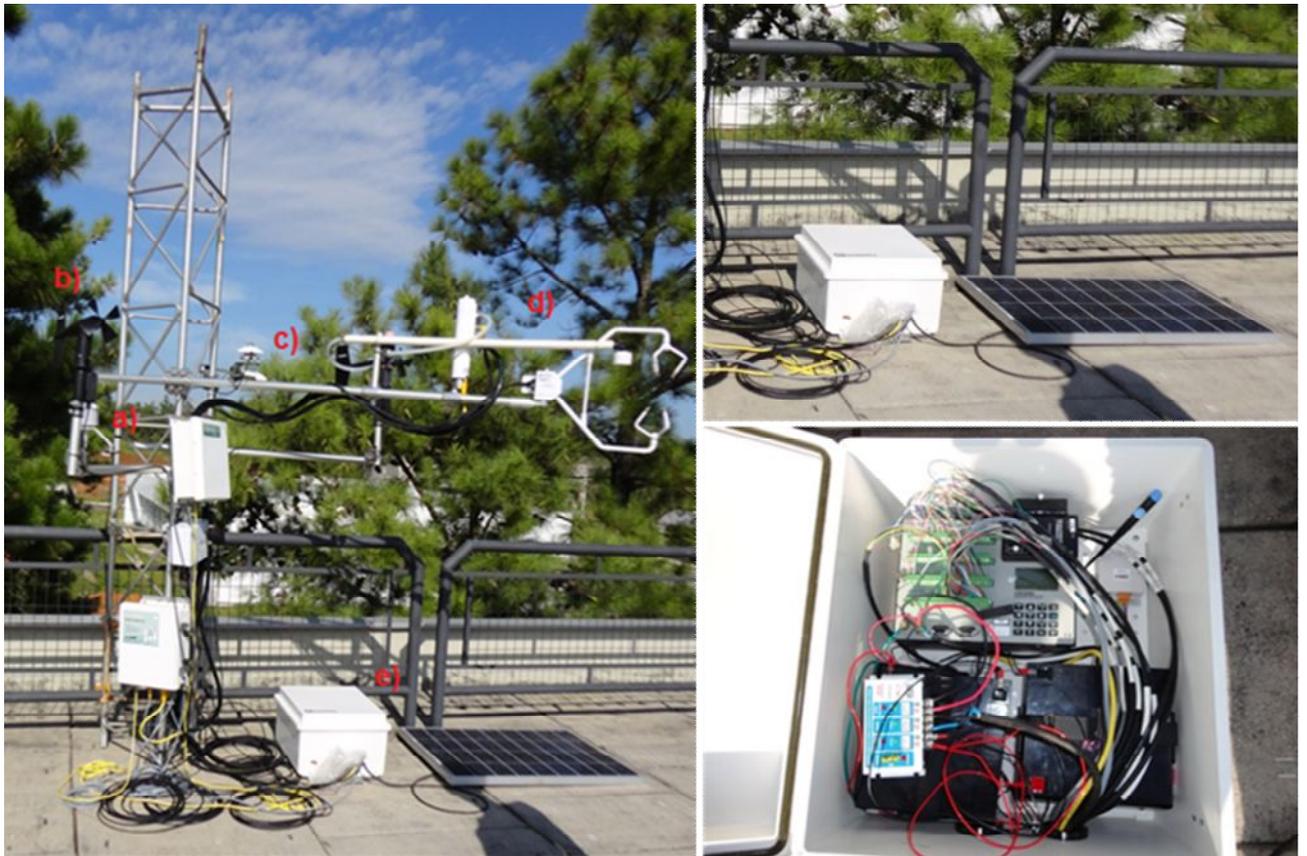


Figura 1: Torre micrometeorológica (à esquerda) e a central de aquisição e armazenamento de dados (à direita).

Fonte: Autores.

Os instrumentos de medição utilizados são dispositivos para realizar medições individualmente ou associado a um ou mais dispositivos suplementares, por exemplo, os sensores que foram utilizados para aquisição de informações sobre fenômenos no local. A descrição dos principais sensores utilizados no estudo, a saber:

a) Sensor de temperatura e umidade relativa do ar: As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram feitas a partir do sistema de covariância de vórtices, composto por um anemômetro sônico tridimensional, que mede as duas componentes horizontais e uma componente vertical do vento, e a temperatura virtual do ar. Para suporte e comparação dos dados



RELISE

221

registrados, foram instalados os sensores de temperatura e umidade absoluta do ar.

b) Sensor de pressão atmosférica: Utilizou-se como auxílio o sensor de pressão atmosférica que permite o registro de medições precisas da pressão barométrica em temperatura ambiente e o monitoramento da pressão ambiental geral em um amplo intervalo de temperaturas.

c) Sensor de radiação solar: Para as medidas de radiação solar de onda curta incidente foi utilizado um piranômetro, com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$, formado por um conjunto composto de sensores de radiação solar global (resultante da total e difusa) e fotossinteticamente ativa, instalado a 8 m de altura do solo.

d) Analisador de CO₂ e H₂O do ar: Já para as medidas de concentração CO₂ e H₂O do ar, ou seja, medição das densidades molares de CO₂, vapor d'água e a pressão atmosférica, foi utilizado um analisador de gás infravermelho de caminho aberto e fechado, instrumento para medidas instantâneas das concentrações de dióxido de carbono e vapor d'água na atmosfera, instalado a 8 m de altura do solo. Esse analisador é uma unidade com dupla interface para conexão dos cabos dos sensores, assim como coleta de dados de entrada e saída, permitindo comunicação a computador via USB, facilitando o acesso de softwares específicos do analisador e planilhas eletrônicas.

As variáveis ambientais temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e a densidade molar de vapor d'água e CO₂ foram amostradas a uma frequência de 10 Hz, ou seja, 10 dados registrados por segundo. A aquisição e armazenamento dos dados utilizados no estudo foram realizados por um Datalogger (Figura 1- à direita), central principal de coleta de dados correspondente ao período 01 a 27 de fevereiro de 2012 a 2017.



RELISE

222

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dados meteorológicos visam às variações diárias das variáveis climáticas foram registradas em intervalos de tempo horas para todo o período de operação da torre. A Tabela 1 apresenta as médias diárias das variáveis climáticas consideradas no mês fevereiro.

Tabela 1: Médias diárias de cada variável climática no mês de fevereiro de 2012 a 2017.

Dias	Temperatura	CO2	H2O	Pressão	Radiação
	°C	μmol/m ³	μmol/m ³	mbar	Kj/m ²
1	17,721	3051,208	1181,100	995,758	390,000
2	27,671	4059,416	1176,755	989,358	100,000
3	31,263	3867,697	1212,163	994,033	193,335
4	25,944	2749,154	1209,356	991,999	390,000
5	24,235	2684,119	1105,903	995,228	396,668
6	22,233	2281,773	891,559	990,954	326,668
7	17,729	2592,828	910,885	998,849	390,000
8	18,799	3064,183	1090,891	993,324	316,668
9	25,835	2427,886	1062,164	1002,357	213,333
10	19,464	2692,095	1075,265	995,910	266,665
11	23,639	3146,673	1226,869	992,282	106,668
12	22,326	3146,749	1121,355	990,137	316,668
13	24,552	2995,121	1235,075	992,946	190,000
14	28,969	3152,579	1273,458	991,568	233,335
15	25,456	2868,910	1293,894	993,556	173,335
16	21,483	3283,189	1267,938	992,611	246,665
17	27,704	3439,832	1283,380	990,260	116,668
18	25,279	3399,044	1310,225	990,186	159,998
19	24,841	2875,546	1216,488	992,925	143,333
20	26,756	3279,801	1196,337	997,158	300,000
21	26,076	2298,120	1256,646	988,306	226,668
22	27,272	2800,827	1388,106	996,662	323,333
23	18,328	3295,429	1274,246	989,914	366,668
24	24,615	2405,362	1022,939	998,263	296,668
25	25,412	2789,174	1066,867	995,736	333,333
26	29,533	3060,984	1197,260	991,295	306,665
27	27,026	2362,610	1248,505	994,152	373,333

Fonte: Autores.



RELISE

223

Segundo estudos de Oliveira et al. (2014), em “trocas de CO₂ em uma floresta de araucária, as análises a partir de dados micrometeorológicos”, a média máxima diária de concentração de CO₂ do ar para o mês de fevereiro é de 3500 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ durante o período diurno e média anual de 2300 $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ até 11 metros na floresta de araucária em São João do Triunfo no estado do Paraná.

Logo, para análise de concentração de CO₂ do ar em Santa Maria/RS, é de suma importância investigar o comportamento diário e ao longo do mês.

A partir dos dados registrados no período de fevereiro, foram observadas as médias a cada 6 horas de cada variável meteorológica no local, com intervalo inicial de zero hora do dia 1 de fevereiro e término em 24h00min de 27 de fevereiro. Assim, foram atribuídas as médias de cada variável no intervalo de 00h01min as 06h00min; 06h01min às 12h00min; 12h01min às 18h00min e 18h01min às 24h00min.

Os maiores valores diários de temperatura do ar ocorreram no intervalo das 12h01min às 18h00min (Figura 2), registrando uma média superior de 29°C, índice de ocorrência superior a 60% durante o mês. E temperaturas mínimas registrados nesse intervalo foram médias superiores a 24°C devido à consequência de nebulosidade e chuvas.

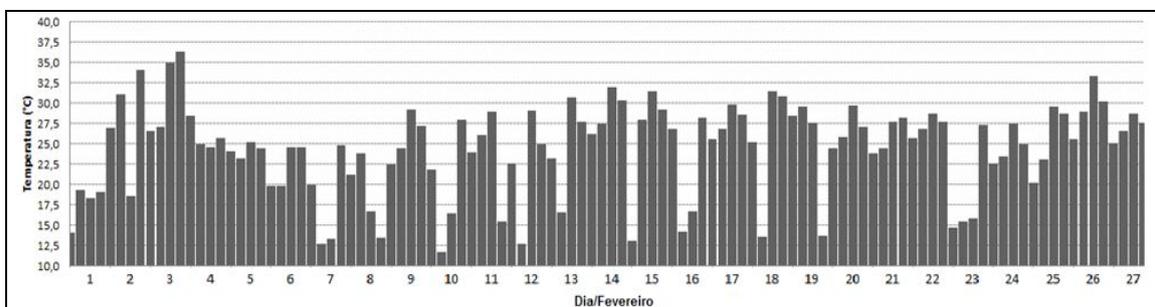


Figura 2: Médias de temperatura do ar registradas a cada 6 horas.

Fonte: Autores.

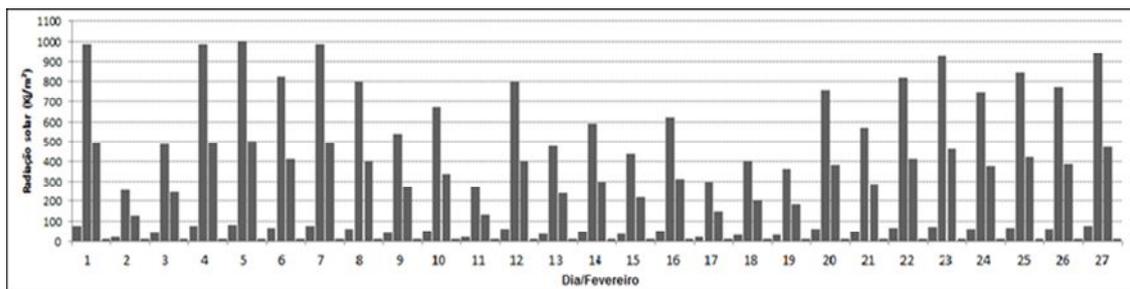
Já as variações diárias de radiação ativa incidente (Figura 3a), observados durante o intervalo de 06h01min as 18h00min, coincidiram com as



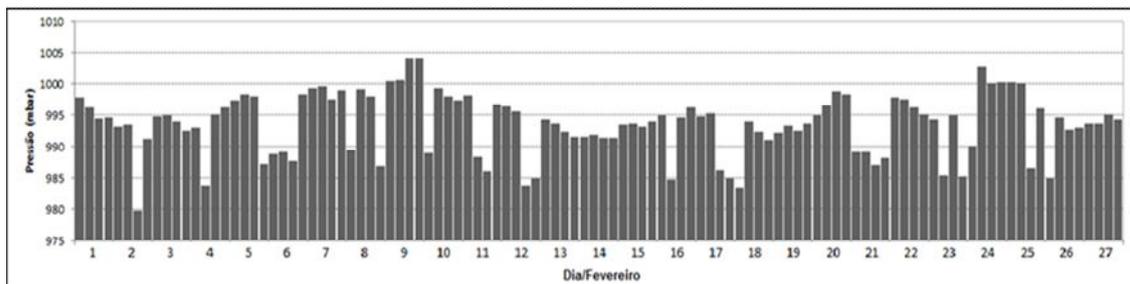
RELISE

224

médias máximas temperaturas e pressões de 993 ± 5 mbar (Figura 3b), chegando a valores superiores de 650 KJ/m^2 por hora e mínimos de 252 KJ/m^2 por hora em dias ocorrentes a presença de nuvens e chuvas.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Médias de radiação ativa incidente registradas a cada 6 horas e (b) Médias de pressão atmosférica registradas a cada 6 horas.

Fonte: Autores.

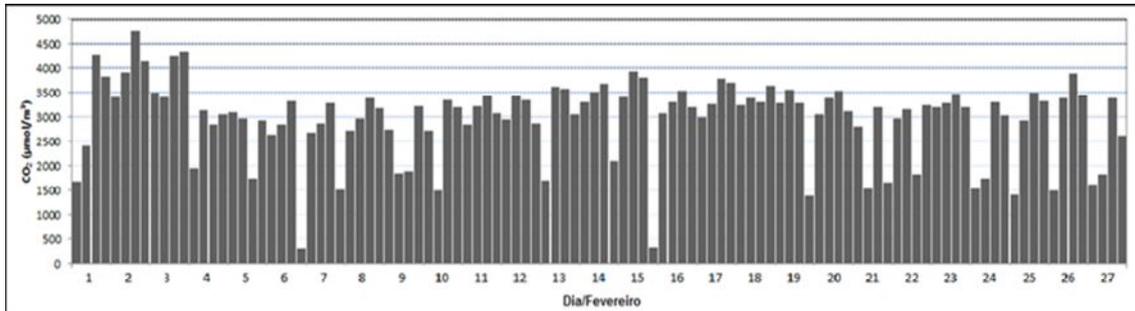
Ao analisar a concentração de CO_2 do ar, a Figura 4 (a) mostra que a faixa de variação média noturna foi de $2430 \pm 762 \mu\text{mol/m}^3$ ocorrido no intervalo de 00h01min as 06h00min e faixa de variação média diurna foi de $3632 \pm 422 \mu\text{mol/m}^3$ no intervalo de 12h01min as 18h00min, superior ao ambiente de floresta. Sequencialmente, foi analisada a concentração de H_2O do ar comparado ao mesmo intervalo de tempo do CO_2 do ar.

A faixa de variação máxima de $1218 \pm 139 \mu\text{mol/m}^3$ e faixa de variação mínima de $1101 \pm 106 \mu\text{mol/m}^3$, com amplitude de $118 \mu\text{mol/m}^3$, para o período de oscilações de temperatura e radiação, conforme Figura 4 (b).

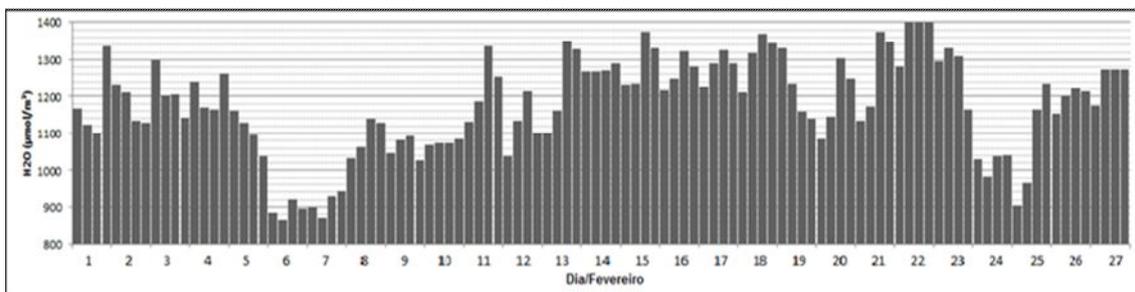


RELISE

225



(a)



(b)

Figura 4: (a) Médias de CO₂ do ar registradas a cada 6 horas e(b) Médias de H₂O do ar registradas a cada 6 horas.

Fonte: Autores.

Os maiores valores de concentração de CO₂ do ar foram durante o período diurno com maiores elevações da temperatura do ar e menores valores de concentração no período noturno com temperaturas amenas, e sucessivamente devido à variação de radiação ao longo do ciclo de 24 horas. A Figura 5 (a) apresenta os 18 dias de maior concentração de CO₂ do ar em relação à variação da temperatura do ar no intervalo de 12h01min as 18h00min.



RELISE

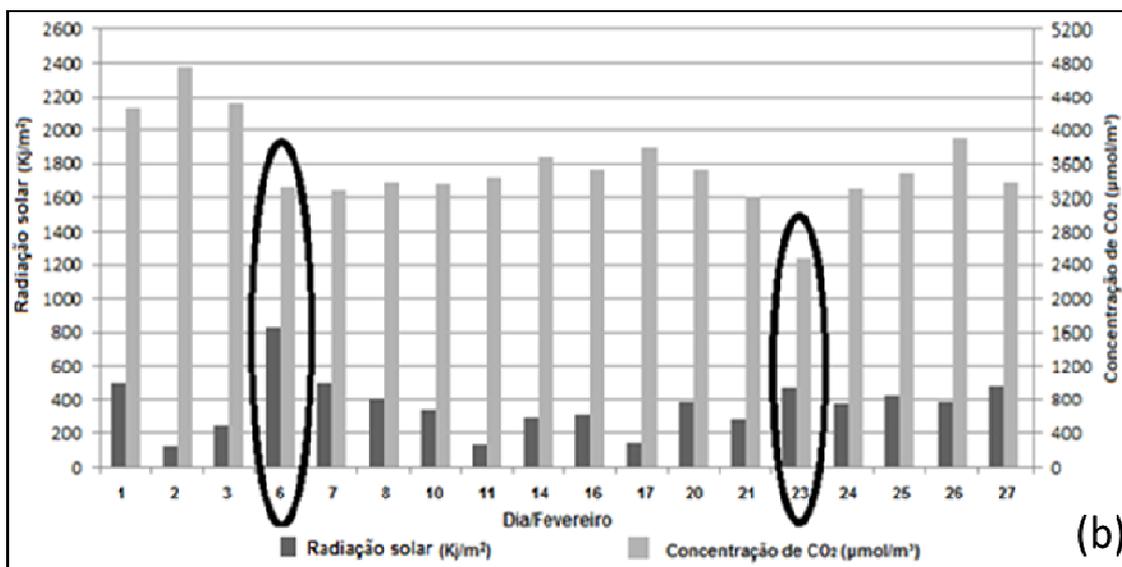
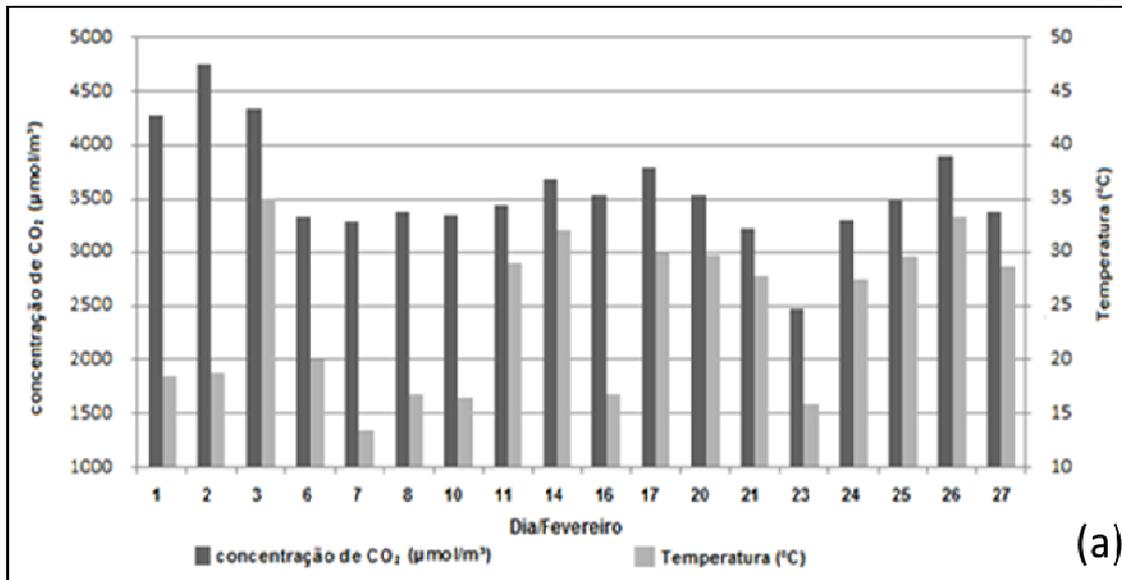


Figura 5: (a) Dias de maiores concentrações de CO₂ do ar e(b) Médias de radiação ativa incidente e CO₂ do ar.

Fonte: Autores.

Podemos observar na Figura 5 (b) que nos dias 6/02 e 23/02, destacados em elipses, a concentração de CO₂ do ar durante o ciclo diário apresentou uma diminuição, associada à elevação da radiação solar e diminuição da temperatura do ar devido à ocorrência de ventos fortes com céu limpo. E à diminuição da radiação e temperatura do ar devido à ocorrência de

Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 4, n. 5, p. 214-231, set-out, 2019
ISSN: 2448-2889



RELISE

227

ventos fortes com precipitação, respectivamente. Com os valores amenos de temperatura do ar durante o intervalo das 12h01min às 18h00min, a concentração de CO₂ do ar nesses dois dias, teve uma redução média de 33 % em relação ao restante dos dias, que apresentaram maiores concentrações de CO₂ do ar nesse mesmo intervalo.

Em condições de ocorrência de ventos, chuvas e saturação de umidade de ar que influenciam, posteriormente na concentração de CO₂, deve-se considerar em uma experimentação futura, a variação da velocidade nas três direções (componentes da velocidade), assim como o índice de variação de precipitação pluviométrica durante todo o período. Essa alta variação de concentração de CO₂ é resultante da variação das demais variáveis ambientais durante as 24 horas analisadas, que registram valores médios diários entre $24 \pm 13,5^{\circ}\text{C}$ para a temperatura do ar; $1177,7 \pm 118,2 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ para concentração de H₂O; $993 \pm 3,3 \text{ mbar}$ para a pressão atmosférica e $266,5 \pm 94,5 \text{ kJ}/\text{m}^2$ para a radiação ativa incidente, para o mês de fevereiro em Santa Maria.

A Figura 6 mostra as variáveis ambientais medidas em Santa Maria durante o mês de fevereiro, com a apresentação dos valores médios diários da temperatura do ar, radiação ativa incidente, pressão atmosférica, CO₂ do ar e H₂O do ar.

Constata-se que devido à atividade humana, desenvolvimento das indústrias e a formação de conglomerados urbanos, a temperatura do ar costuma ser mais elevada, assim como a produção de energia e acumulação de calor pelas superfícies pavimentadas interferem no clima em zonas povoadas. Outro fator é a poluição atmosférica, um importante desencadeante de inversões térmicas em centros urbanos. Partículas poluentes capturam as radiações emitidas pela superfície terrestre e aquecem o ar circundante, que adquire temperatura mais elevada que suas camadas mais baixas. Isso provoca menor deslocamento vertical do ar e acúmulo de agentes poluentes.



RELISE

Estas alterações de concentração de CO₂ e aumento do número de partículas suspensas no ar interferem na redução da precipitação pluviométrica e partículas de água no ar.

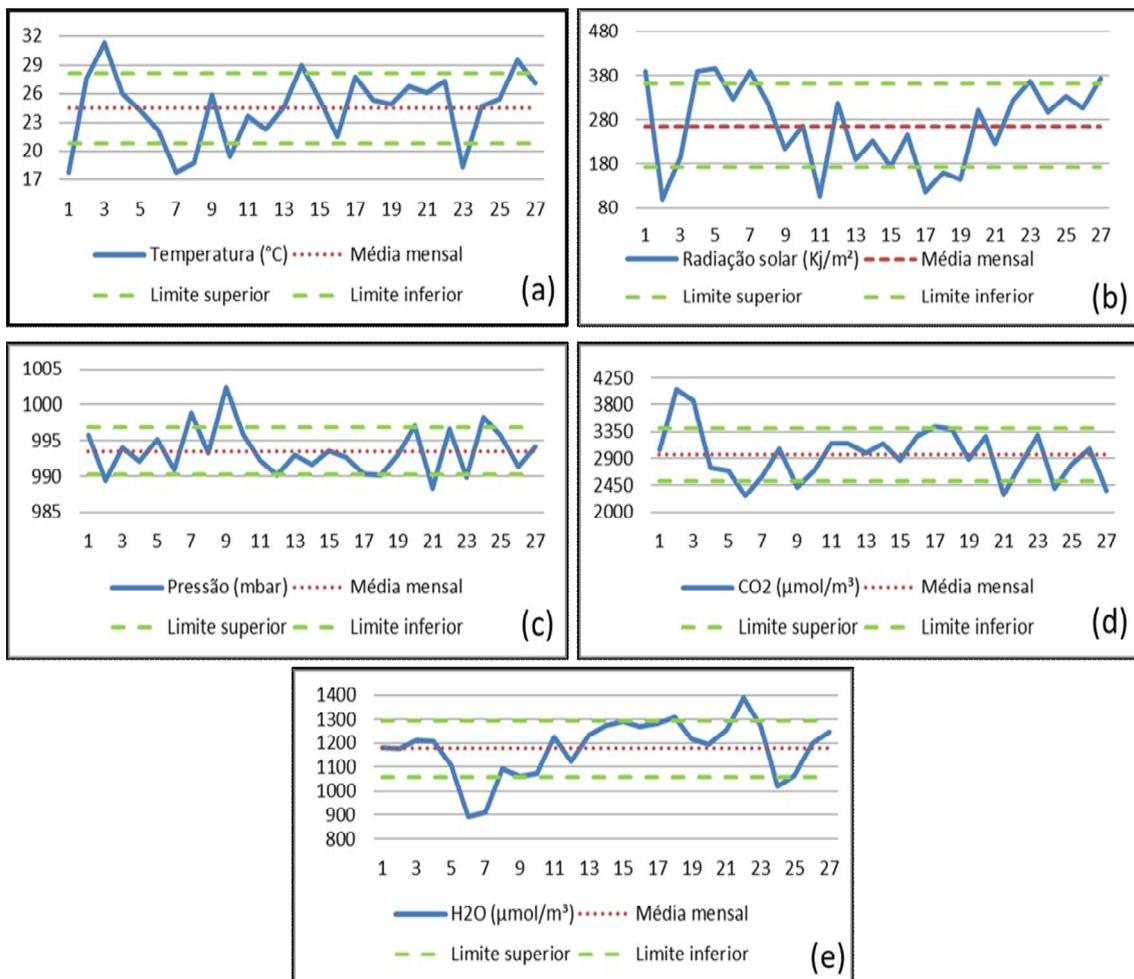


Figura 6: (a) Médias diárias de temperatura do ar; (b) Médias diárias de radiação ativa incidente; (c) Médias diárias de pressão atmosférica; (d) Médias de concentração de CO₂ do ar; e (e) Médias diárias de concentração de H₂O do ar.

Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período de análises, os valores médios diários de concentração de CO₂ mostram ser altos ao longo do mês de fevereiro no centro urbano de Camobi em Santa Maria/RS. As maiores concentrações de CO₂ do ar permaneceram na faixa de $3632 \pm 422 \mu\text{mol/m}^3$ no intervalo de



RELISE

229

12h01min as 18h00min, superior à média máxima diária para o mês de fevereiro de ambiente de floresta de valor máximo de $3500 \mu\text{mol}/\text{m}^3$ durante o dia.

A elevada concentração diária de CO_2 do ar está relacionada diretamente às baixas oscilações de temperatura do ar, umidade do ar, radiação solar e pressão atmosférica durante o período diurno. E principalmente devido a altas temperaturas e radiação solar para todo o mês de fevereiro em Santa Maria.

Com uma torre micrometeorológica e instrumentação adequada, pode-se efetuar medidas de alta taxa amostral em diferentes ecossistemas. Além do monitoramento de longo período de interações entre a superfície e a atmosfera visando quantificar o saldo de transferência de CO_2 e outras grandezas físicas no Estado do RS.

Este estudo pode avaliar e acompanhar as emissões diretas de CO_2 no consumo final energético do uso não energético de combustíveis fósseis e a participação de todos os setores da economia na emissão do CO_2 . Assim como o processo tecnológico para redução de perdas de energia e investimentos em eficiência energética de maneira a reduzir custos, através da produção e utilização de energia primária proveniente de fontes fósseis renováveis e aproveitamento de resíduos. Essas ações contribuem para a preservação do meio ambiente, melhor qualidade de vida para as pessoas, uso racional de energia, estudos associados sobre eficiência energética e emissão de gases do efeito estufa no local.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a Julio Sena, pelo suporte com as fotografias. A Rede Sul-brasileira de Fluxos Superficiais e Mudança Climática (SULFLUX), sede integrada nas dependências do Centro Regional Sul de Pesquisas



RELISE

230

Espaciais (CRS - INPE) localizado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no acesso ao local de instalação da torre micrometeorológica. E aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade Federal de Santa Maria pela orientação no curso de especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos e no doutorado em Engenharia de Produção, a qual este trabalho faz parte.

REFERÊNCIAS

BRUUN, E., CROSS, A., HAMMOND, J., NELISSEN, V., RASSE, D. P., & HAUGGAARD-NIELSEN, H. Biochar carbon stability and effect on greenhouse gas emissions. In *Biochar in European Soils and Agriculture*, p. 187-205, 2016:Routledge.

CORDEIRO, P. F., CASTRO, S. R., & MARIA, M. A. Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa: uma Análise da Divulgação Voluntária Brasileira no ano de 2014. *Revista Geografias*, p. 23-30, 2017.

CADERNOS NAE. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República– nº 3(v. 2). Estudos estratégicos do Brasil: Mudança do clima e Créditos de carbono, 2015.

GRACE, J., JOSÉ, J. S., MEIRE, P., MIRANDA, H. S., & MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography*, 33(3), p. 387-400, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisas.php>>. Acesso em: abril 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Mudanças Ambientais Globais. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acessado em: abril 2017.

OLIVEIRA, P. E. S., ACEVEDO, O. C., ROBERTI, D. R., DIAZ, M. B., & MORAES, O. L. L. Trocas de CO₂ em uma Floresta de Araucária: Análise a partir de dados micrometeorológicos. In: *Floresta com Araucária: Pesquisas Ecológicas de longa duração*. 1 ed. Curitiba: Multi-Graphic, v.1, p. 271-296, 2014.



RELISE

231

OMM. Organização Meteorológica Mundial. Concentração de CO2 sofreu maior aumento anual dos últimos 30 anos. Disponível em: <<http://www.publico.pt/mundo/jornal/concentracao-de-co2-sofreu-maior-aumento-anual-dos-ultimos-30-anos-28812934>>. Acesso em: abril 2017.

SORENSEN, B. Greenhouse Warming Research, 2015.

SULFLUX (2017). Rede de Fluxos Superficiais no Sul do Brasil. Disponível em: <<http://www.sulflux.ufsm.br/sulflux/index.php?lang=br>>. Acesso em: abril 2017.

SZPUNAR, D. Radiative Forcing and the Greenhouse Gases. Global Environmental Change, p. 9-21, 2014.