

INALAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO E AVALIAÇÃO DA ENZIMA GPx EM TRABALHADORES DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.IV-004>

Daniela Philippsen Goelzer (*), Daniela Muller de Quevedo, Daiane Bolzan Berlese

* Universidade Feevale, goelzerdaniela@gmail.com

RESUMO

A produção do carvão vegetal está associada a poluição atmosférica e a diversos processos envolvendo o estresse oxidativo na população. Portanto, o principal objetivo deste projeto é avaliar a relação entre a inalação de material particulado e a enzima glutatona peroxidase (GPx) em trabalhadores que atuam na produção de carvão vegetal. Foram coletadas as partículas atmosféricas, utilizando um amostrador de partículas e as coletas de material biológico dos trabalhadores para a análise laboratorial. O grupo controle foi selecionado a partir de um banco de dados já existente, sendo composto por indivíduos saudáveis e não expostos ao material particulado. Os resultados das concentrações de material particulado tiveram média de 16,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material particulado fino e de 300,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o material particulado grosso. Os resultados das análises sócio-demográficas do grupo controle apresentam prevalência do sexo feminino que possuem ensino médio completo, com renda mensal média de até dois salários mínimos. Já no grupo exposto encontra-se uma prevalência de indivíduos do sexo masculino, com ensino fundamental e médio completos, renda mensal superior a dois salários-mínimos, a maioria dos trabalhadores sem o hábito de fumar. No grupo exposto verificou-se um aumento na GPx comparado ao grupo controle. Assim, podemos concluir que os trabalhadores expostos ao material particulado têm níveis de GPx mais elevados quando comparados ao grupo não exposto diretamente ao material particulado proveniente da produção de carvão vegetal.

PALAVRAS-CHAVE: Material particulado, estresse oxidativo, glutatona peroxidase.

INTRODUÇÃO

Atualmente, mais de 50% da população do planeta vive em cidades urbanas e estão expostas a altos níveis de poluentes do ar (SALVI *et al.*, 2009). O acelerado crescimento da urbanização e o desenvolvimento da industrialização contribuíram significativamente para o aumento das emissões antrópicas, como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis (WHO, 2005). O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de carvão vegetal, onde grande parte desta produção é consumida no próprio país (OLIVEIRA *et al.*, 2014). E essa produção de carvão vegetal vincula-se a setores diversos. No contexto socioeconômico, esta atividade é caracterizada por gerar empregos, mas sempre se associando a péssimas condições de trabalho (MOURA *et al.*, 2011). E no cenário ambiental, produção de carvão vegetal está intrínseca ao desmatamento, monocultura, geração de resíduos sólidos e a poluição atmosférica (SABLOWSKI, 2008).

A produção de carvão vegetal ainda ocorre, na grande maioria, em fornos rudimentares de alvenaria, onde há necessidade de mão de obra humana, expondo os trabalhadores a fumaça e calor. O trabalhador inala constantemente material particulado, gases tóxicos, fuligem, cinzas e pó do carvão e produtos volatizados da queima da biomassa (KATO *et al.*, 2005).

Um dos principais poluentes atmosféricos é o material particulado (MP), que pode ser de origem primária emitida por fontes naturais diretamente na atmosfera, ou secundária, por fontes antropogênicas, ou seja, derivada de atividades humanas (ARBEX *et al.*, 2012). É classificado de acordo com seu tamanho aerodinâmico, podendo também ser classificado pelas partículas inaláveis ou grossas (MP₁₀), cujo diâmetro é menor que 10 μm e maior que 2,5 μm , e partículas finas (MP_{2,5}) de até 2,5 μm (BRAGA *et al.*, 2001). O MP com maior diâmetro fica retido nas vias aéreas superiores, enquanto os de menor diâmetro chegam aos alvéolos (CANÇADO *et al.*, 2006).

O material particulado é relacionado com o surgimento de diversos efeitos deletérios à saúde (PEARSON *et al.*, 2010). As partículas podem causar, principalmente, indução ao estresse oxidativo, iniciando uma resposta inflamatória que atinge a circulação sistêmica, que pode causar efeitos sistêmicos (KÜNZLI *et al.*, 2010; GROCHANKE, 2015). Quando

o MP entra em contato com o epitélio respiratório, ocorre formação de radicais livres de nitrogênio e de oxigênio, o que leva ao estresse oxidativo nas vias aéreas. A constante exposição ao MP, principalmente fino, induz o estresse oxidativo e produção de citocinas pró-inflamatórias no organismo (KIM *et al.*, 2019).

O processo de produção de estresse oxidativo é decorrente de um desequilíbrio entre compostos oxidantes e antioxidantes, favorecendo a geração em excesso de radicais livres ou em diminuição da velocidade de remoção desses. Esse processo leva à oxidação de biomoléculas que perdem suas funções biológicas e/ou um desequilíbrio na homeostase (HALLIWELL e WHITEMAN, 2004). Quando esse processo se cronifica, cita-se consequências como a diabetes, aterosclerose, obesidade, transtornos neurodegenerativos e câncer (GREEN *et al.*, 2004; FERRARI, 2004). O estresse oxidativo pode ser avaliado a partir de dosagens de enzimas oxidativas, como por exemplo, a glutatona peroxidase (GPx).

OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos causados pelo material particulado (MP₁₀ µm e MP_{2,5} µm) sobre a produção da enzima glutatona peroxidase (GPx) em trabalhadores que atuam na produção de carvão vegetal em um município do Rio Grande do Sul (RS).

METODOLOGIA

DESCRIÇÃO DO LOCAL

A cidade de Barão do Triunfo está localizada na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, fazendo divisa com os municípios Arroio dos Ratos, São Jerônimo, Mariana Pimentel, Sertão Santana e Cerro Grande do Sul. A distância até a capital do estado é de 101 km e a cidade possui aproximadamente 7.454 habitantes (IBGE, 2018), tendo como densidade demográfica 16,08 hab/km² (IBGE, 2010). O PIB per capita de Barão do Triunfo é de R\$13.146,71, ocupando as últimas colocações em comparação com os outros municípios do estado (IBGE, 2017). O município apresenta apenas 29,2% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,610 o menor valor encontrado em todo o RS (IBGE, 2010).

AMOSTRA

A amostra é composta por dois grupos: 44 indivíduos que trabalham na atividade de carvoaria e residem na cidade em questão e 54 indivíduos (grupo controle) que não residam em locais próximos e não atuem na atividade. O grupo controle foi selecionado a partir de um banco de dados já existente em projetos de pesquisa da Universidade Feevale, sendo composto por indivíduos saudáveis e não expostos ao material particulado. Já para o grupo exposto, conta-se com o apoio da EMATER- RS para a captação de voluntários, a qual já trabalha em parceria no município com os carvoeiros.

Os trabalhadores selecionados e que aceitaram participar do estudo têm mais de 18 anos e responderam um questionário sociodemográfico ocupacional. Após a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade CAAE 94634418.5.0000.5348) foi realizada a coleta do material biológico.

COLETA DO MATERIAL PARTICULADO

As amostragens de material particulado foram realizadas no município de Barão do Triunfo/RS, e coletadas próximas a duas escolas do município. Foram coletadas cinco amostras no município e o período de avaliação foi de

vinte quatro horas, nos meses de abril, agosto, setembro e outubro. Foram coletadas as partículas atmosféricas, finas ($MP_{2,5}$ μm) e grossas (MP_{10} μm) utilizando um amostrador de partículas atmosféricas, que possui filtros de quartzo ou borossilicato, colocados em série, permitindo a separação das partículas em duas faixas de tamanho das partículas. Após cada coleta, a análise química do material particulado dos filtros foi feita por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite e espectrometria de absorção atômica de chama.

COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO

O material foi coletado dos trabalhadores expostos ao material particulado a partir de punção venosa, em um tubo EDTA, totalizando dois ml. Estes foram centrifugados a 2500 rpm durante 10 minutos e separados em alíquotas de plasma em ependorfes para a determinação. As amostras foram identificadas e armazenadas a $-80^{\circ}C$ para análise dos marcadores de estresse oxidativo. Como citado anteriormente, a coleta do material biológico do grupo controle foi realizada no primeiro semestre de 2019, seguindo o mesmo protocolo mencionado acima.

ANÁLISES LABORATORIAIS

A atividade enzimática da glutathione peroxidase foi realizada pelo método descrito por Pleban e colaboradores (1982). Primeiramente, é preparada a reação de trabalho com 50 mmol/l de tampão Tris em pH 7,6, contendo por litro 1 mmol de Na_2EDTA , 2 mmol de glutathione reduzida, 0,2 mmol de NADPH, 4 mmol de azida de sódio e 1000 U de glutathione redutase. A mistura é incubada por 5 minutos a $37^{\circ}C$ e após, para determinar a atividade enzimática no plasma, é adicionado 50 μL de plasma não diluído para 950 μL da reação de trabalho. A atividade da GSH-Px é expressa em U/L de plasma. Após 30 segundos, a diminuição da absorbância será linear com o tempo. Para o início da reação foi adicionado 10 μL de H_2O_2 8,8 mmol/L em seguida acompanhada a descida do NADPH em absorbância de 340 nm para 3 minutos. Foi feito o tubo branco, e ao invés de plasma foi adicionado água.

A partir dos resultados obtidos, os cálculos foram realizados conforme equação:

$$K = [2.3 / (t_2^* - t_1^*)] \times \log [GSH^* \text{ at } t_1 (1 \text{ min}) / GSH \text{ at } t_2 (3 \text{ min})] \text{ (FARAJI } et \text{ al., 1987)}$$

* t_1 = leitura no tempo 1; * t_2 = leitura após três minutos; *GSH = glutathione reduzida.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a classificação e tabulação dos dados coletados, foram realizadas análises descritivas. Foi testada a normalidade dos dados através do teste estatístico de Shapiro-Wilk, e como o resultado foi não paramétrico utilizamos o teste estatístico Mann-Whitney U Test. Com nível de significância de 5%. Para o estudo estatístico, foi utilizado o software *Statistical Package for the Social Sciences* SPSS for Windows, v. 26.0.

RESULTADOS

Na tabela 1 constam os dados das coletas de material particulado, diferenciando em fino ($MP_{2,5}$) e grosso (MP_{10}), juntamente com os valores máximos permitidos pelo CONAMA (BRASIL, 2018). Têm-se os valores adquiridos a partir de filtros de amostragem de material particulado fino e grosso. Juntamente com esses valores, se tem também a concentração máxima permitida pela legislação ambiental. Nota-se que os valores de material particulado fino estão todos dentro do limite permitido, por outro lado o material particulado grosso, está acima dos valores permitidos pela legislação em quatro das cinco análises. É provável que em um período maior de amostragem, o $MP_{2,5}$ também possa estar alterado, devido ao seu menor tamanho aerodinâmico.

Tabela 1 – Concentrações de material particulado fino e grosso na cidade de Barão do Triunfo. Fonte: Autores. CONAMA (BRASIL, 2018).

Início	Fim	MP _{2,5} (ug/m ³)	CONAMA 491/2018 MP _{2,5}	MP ₁₀ (ug/m ³)	CONAMA 491/2018 MP ₁₀
24/04/2019	25/04/2019	18,61	60,00	209,33	120,00
29/04/2019	30/04/2019	4,64	60,00	41,01	120,00
28/08/2019	30/08/2019	15,06	60,00	250,23	120,00
25/09/2019	27/09/2019	11,57	60,00	208,34	120,00
10/10/2019	11/10/2019	32,41	60,00	791,70	120,00

Nas amostragens de material particulado, os valores de material particulado fino (MP_{2,5}) encontraram-se todos dentro dos valores estipulados pelo CONAMA (BRASIL, 2018). Isso se pode justificar pelo fato de que o tempo de amostragem foi curto, indicando que o material particulado fino demora mais para se acumular tanto nos filtros quanto no epitélio respiratório. Já os valores de material particulado grosso (MP₁₀), tiveram a grande maioria das concentrações acima do permitido pelo CONAMA (BRASIL, 2018).

O material particulado grosso atinge as vias aéreas superiores, podendo desencadear um processo de aumento de produção de radicais livres. Um estudo realizado pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente sugere que há necessidade de atenção quando a concentração de MP₁₀ for igual a 250 µg/m³. Quando as concentrações chegam a 420 µg/m³, deve ser encarado como um alerta de risco a saúde e situações de emergências serão necessárias quando os níveis alcançarem 500 µg/m³ (SANTANA *et al.*, 2012).

Ainda sobre exposição, comprovou-se que a inalação diária do material particulado fino está associada a efeitos adversos à saúde. Por ser menor, o material particulado fino deposita-se profundamente nos pulmões e subsequentemente é distribuído por todo o organismo via sistema circulatório, atingindo órgãos secundários, como cérebro, coração e fígado. Já a nível celular, a exposição ao MP, ativa diversas vias de sinalização que desencadeiam respostas patológicas caracterizadas pela produção de mediadores inflamatórios e espécies reativas de oxigênio. A consequência final desses eventos é a morte celular tanto por apoptose, quanto por necrose e autofagia. O acúmulo dessas partículas em longo prazo está associado a doenças inflamatórias crônicas, como a doença pulmonar obstrutiva crônica (TRABOUSLI *et al.*, 2017).

Há estudos que associam, também, a exposição ao material particulado e perturbações da barreira dérmica por meio da produção de estresse oxidativo e citocinas inflamatórias. Dentre as principais patologias relatadas na literatura, encontram-se dermatites atópicas, alopecias e envelhecimento cutâneo. Também se relata que crianças são o grupo mais afetado e sensível ao material particulado (LEITE e PEREIRA, 2017; KIM *et al.*, 2016).

Os dados categóricos específicos de distribuição da amostra do grupo controle (frequência relativa e o percentual das variáveis para as categorias quanto ao sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo) estão apresentados na Tabela 2. Nota-se uma prevalência de voluntários do sexo feminino com percentual de 77,8%, que possuem ensino fundamental incompleto (44,4%) e que não são fumantes, representando 83,3%. O sexo masculino representa apenas 22,2%, bem como 16,7% também é o percentual de fumantes. Ressalta-se que apenas 1,9% dos voluntários possuem ensino superior completo. Referindo-se a renda mensal dos voluntários, a maioria deles (40,8%), recebe até dois salários-mínimos.

Tabela 2 – Distribuição da frequência absoluta e do percentual das variáveis: sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo nos trabalhadores não expostos ao carvão. Fonte: Autores. Dados são expressos em frequência e percentual (%), com n=54 para o grupo controle, nas variáveis sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo.

Variáveis	Categoria	Frequência	Percentual (%)
Sexo	Feminino	42	77,8
	Masculino	12	22,2
Escolaridade	Fundamental incompleto	24	44,4
	Fundamental completo	8	14,8
	Médio incompleto	9	16,7
	Médio completo	11	20,4
	Superior incompleto	1	1,9
	Superior completo	1	1,9
	<1 salário mínimo	0	0
Renda mensal	1 salário mínimo	17	31,5
	Até 2 salários mínimos	22	40,8
	+2 salários mínimos	15	27,7
Tabagismo	Fumante	9	16,7
	Não fumante	45	83,3

Na tabela 3 é apresentada a frequência relativa e o percentual das variáveis para as categorias quanto ao sexo, escolaridade, renda mensal, tabagismo e tempo de profissão dos voluntários expostos ao carvão vegetal.

Podemos destacar a prevalência do sexo masculino (70,5%). Quando analisada a escolaridade, a maioria dos voluntários possui ensino fundamental completo e ensino médio completo, representando 15,9% do total. A renda mensal mais frequente é de até dois salários-mínimos (93,2%). 70,5% dos participantes não possuem o hábito de fumar. Ainda, o tempo de profissão dos carvoeiros é de principalmente menos de cinco anos, representando 61,4% da amostra estudada. Quando se refere à idade média dos dois grupos, apresenta-se no grupo controle uma média de 52 anos com desvio padrão de aproximadamente sete anos. Já no grupo exposto ao carvão vegetal, encontrou-se uma prevalência de idade de 39 anos, com desvio padrão de aproximadamente treze anos (Tabela 3).

Os resultados apresentados na tabela 3 revelam que o grupo controle foi composto principalmente por mulheres, contrapondo o grupo exposto, composto na sua maioria por homens. Como Teodoro e colaboradores já citaram em 2010, o trabalho envolvendo carvão vegetal é desenvolvido em maior quantidade pelo sexo masculino, por ser um trabalho braçal, necessitando muitas vezes de força excessiva.

No grupo controle, a maior prevalência de escolaridade foi nos voluntários que completaram o ensino médio completo. Já no grupo exposto, a prevalência tanto para voluntários que completaram o ensino fundamental quanto para os mesmos que completaram o ensino médio. Essa diferença é analisada pelo fato de que, na maioria das vezes, faltam oportunidades que viabilizem o estudo para estes profissionais. Muitas vezes, as carvoarias são localizadas no interior, dificultando mais ainda o acesso ao ensino médio e superior. Demonstrou-se também que a principal renda dos voluntários expostos é de até dois salários-mínimos e dentre os voluntários do grupo controle, sua maioria recebe até dois salários-mínimos mensalmente.

Nota-se que a população que têm o carvão vegetal como fonte de renda é uma população sem grandes poderes aquisitivos, visto que ainda existem problemas de exploração da mão-de-obra e impactos ambientais decorrentes da exploração. De acordo com Bethonico (2009), há um ciclo vicioso que envolve a produção de carvão vegetal, que se inicia pelas dificuldades econômicas, juntamente com a deficiência do sistema educacional. Isso pode levar os moradores das cidades que exploram o carvão a trabalharem nas carvoarias.

Tabela 3 – Distribuição da frequência absoluta e do percentual das variáveis sexo, escolaridade, renda mensal e tabagismo, tempo de profissão nos trabalhadores expostos ao MP do carvão vegetal. Fonte: Autor. Dados são expressos em frequência e percentual (%), com n=44 para o grupo exposto, nas variáveis sexo, escolaridade, renda mensal, tabagismo e tempo de profissão.

Variáveis	Categoria	Frequência	Percentual (%)
Sexo	Feminino	13	29,5
	Masculino	31	70,5
Escolaridade	Fundamental incompleto	28	63,6
	Fundamental completo	7	15,9
	Médio incompleto	1	2,3
	Médio completo	7	15,9
	Superior incompleto	1	2,3
	Superior completo	0	0
	<1 salário mínimo	0	0
Renda mensal	1 salário mínimo	2	4,5
	Até 2 salários mínimos	41	93,2
	+2 salários mínimos	1	2,3
Tabagismo	Fumante	13	20,5
	Não fumante	31	70,5
Tempo de profissão	Até 5 anos	27	61,4
	Mais de 5 anos	17	38,6

Como consequência da exploração, existe a degradação ambiental, com a diminuição do volume hídrico, erosão, empobrecimento do solo e a diminuição da área de coleta de frutos nativos, dificultando, assim, a produção agrícola e levando os moradores a buscarem empregos nas carvoarias, fechando o ciclo (BETHONICO, 2009). A produção de carvão vegetal também pode representar um acréscimo na renda dos trabalhadores, justamente pela deficiência educacional e salarial.

O hábito de fumar atingiu a minoria tanto no grupo controle quanto no grupo exposto. Pelo fato da região de Barão do Triunfo ser conhecida pelo plantio do fumo e pelos trabalhadores inalarem fumaça provinda da queima do carvão vegetal, a prática do tabagismo é muito associada a estes trabalhadores, contrapondo os resultados obtidos.

O tempo de profissão dos carvoeiros se mostrou bem homogêneo, tendo uma pequena prevalência de profissionais com menos de cinco anos nas minas de carvão vegetal. Isso se pode justificar pelo fato de que trabalhar em minas de carvão vegetal submete os indivíduos a condições precárias de saúde, como já citaram Santos e colaboradores, em 2012. Porém, essa relação apresentada em alguns estudos não pode ser estabelecida, pois a exploração do carvão vegetal na região estudada teve início a aproximadamente 10 anos, explicando a presença de novos profissionais.

A tabela 4 apresenta os dados referentes às dosagens laboratoriais realizadas no grupo controle do estudo, apresentando os valores de mediana e intervalo da glutatona peroxidase (GPx). A sua dosagem apresentou um aumento significativo no grupo dos carvoeiros quando comparado com o grupo controle. Esses dados indicam que houve um aumento da produção de radicais livres nos trabalhadores expostos ao material particulado. Com base na teoria estudada para a realização do estudo, este era o resultado esperado, visto que a inalação de material particulado provoca a produção de radicais livres no organismo dos indivíduos expostos.

A principal consequência de altas dosagens de enzimas oxidativas e baixas dosagens de defesas antioxidantes é o envelhecimento celular precoce, bem como a morte celular. Estudos realizados demonstram que a inalação de partículas de fumaça induz níveis mais altos de danos oxidativos ao DNA, bem como induzem uma resposta ao estresse oxidativo e genes pró-inflamatórios no fígado e pulmão. A utilização de fornos a lenha de madeira de maneira crônica expõe os indivíduos a altas concentrações de material particulado, o que aumenta a possibilidade de estresse oxidativo e até o desenvolvimento de câncer (PERNILLE *et al.*, 2010; LYKKE *et al.*, 2012; RABHA *et al.*, 2018). Prado e colaboradores relataram em cortadores de cana-de-açúcar uma diminuição da função pulmonar e aumento de marcadores de estresse oxidativo, decorrente da inalação de material particulado decorrente da fumaça da queima da cana (PRADO *et al.*, 2012).

Tabela 4 – Valores de glutatona peroxidase (GPx) do grupo não exposto (controle) e exposto (carvoeiros). Fonte: Autores. Dados expressos com média e intervalo interquartil (25 – 75), com n=54 para grupo controle e n=44 para carvoeiros. Teste Mann Whitney U Test *p<0,001.

	Controle Mediana (25-75)	Carvoeiros Mediana (25-75)
GPx (U/L)	11,2 1,7—53,2	54,12* 20,1—105,2

Existem diversos estudos relacionando o trabalho realizado por bombeiros e a inalação de fumaça, relatando que o combate a incêndios florestais e a exposição à fumaça de madeira estão associados a um nível aumentado de dano ao DNA, surgindo um potencial risco adverso à saúde. Além disso, os bombeiros apresentam maior dano oxidativo e maiores índices de purinas oxidadas quando comparados a trabalhadores de outras áreas (ABREU *et al.*, 2017; FERGUSON *et al.*, 2016). Sugere-se também que o uso de equipamentos de proteção individual auxilia na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo em bombeiros (PARK *et al.*, 2016). No entanto, novos estudos são necessários para avaliar o efeito da inalação do material particular e sua relação com o estresse oxidativo.

Após a inalação do material particulado, as células pulmonares liberam mediadores pró inflamatórios e moléculas vasoativas. Deste modo, a exposição a essas partículas pode abranger diversos mecanismos patológicos que envolvem o aumento de espécies reativas do oxigênio (EROS) e nitrogênio (ERNS), assim desencadeando o aumento do estresse oxidativo. O estresse oxidativo pode induzir a apoptose celular nos pulmões e induzir o processo inflamatório pulmonar. A resposta inflamatória sistêmica ocorre através da liberação de mediadores pró inflamatórios, como: citocinas, leucócitos e plaquetas, liberados pelos pulmões (CANÇADO *et al.*, 2006; BROOK, 2008; HUTTNER *et al.*, 2012; MARTINELLI *et al.*, 2013; YIN *et al.*, 2014).

Os principais efeitos biológicos do material particulado são o estresse oxidativo e processos inflamatórios, expressando citocinas inflamatórias que recrutam macrófagos e assim produzindo uma grande quantidade de espécies reativas de oxigênio (EROs) e de nitrogênio (ZHANG *et al.*, 2014). O estresse oxidativo, mesmo que com uma exposição aguda, está diretamente associado com o desenvolvimento primário de doença pulmonar obstrutiva crônica e

asma (HOGG, 2004). Ainda, pesquisas apontam que o material particulado interfere de forma negativa sobre a produção dos marcadores de estresse oxidativo (RAO *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2017).

Como medida benéfica para esses profissionais pode-se utilizar compostos bioativos presentes nos vegetais que podem reverter o processo inflamatório causado pelos radicais livres no organismo. Estes compostos, especialmente compostos fenólicos, terpenóides e algumas vitaminas, apresentam atividade antioxidante e anti-inflamatória podendo, por exemplo, neutralizar os radicais livres, diminuindo o estresse oxidativo, ou até mesmo inibir a expressão de enzimas envolvidas na inflamação. A ingestão de alimentos ricos em antioxidantes, como por exemplo, frutas cítricas, pode também ajudar a amenizar o envelhecimento celular precoce (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Por fim, neste estudo pode-se observar que os trabalhadores expostos a fumaça do carvão vegetal já apresentam um prejuízo a saúde quando comparado com o grupo controle, especialmente no que tange ao objetivo do estudo. De fato, medidas de prevenção e educação nesta população são necessárias, ainda que haja a necessidade de mais estudos para avaliar os possíveis agravos a saúde destes trabalhadores, bem como estabelecer formas de minimizar a poluição atmosférica causada por esta atividade.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, notou-se um aumento nas concentrações de material particulado grosso diante dos valores estabelecidos pelo CONAMA. A concentração de material particulado na cidade analisada encontra-se acima dos valores permitidos e aceitáveis pelos órgãos ambientais, chamando atenção principalmente para o material particulado grosso.

A dosagem de GPx foi maior no grupo exposto do que no grupo controle, indicando que houve um aumento da produção de radicais livres nos trabalhadores de carvoarias. Os dados devem ser avaliados cuidadosamente, visto que não foram encontrados estudos anteriores relacionando dosagens de GPx em trabalhadores de carvão vegetal.

Sendo um assunto de grande cunho social, acredita-se que devam ser investidos mais recursos para estudos na área, buscando entender cada vez mais o risco que os profissionais que trabalham em carvoarias estão expostos. E ainda, procurar averiguar os riscos futuros dessa exposição, principalmente a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AEBI, H. *Catalase in vitro*. *Methods in Enzymology*, v. 105, p. 121-126, 1984.
2. AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE – AEA, 2013. *Poluição Atmosférica*. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>>. Acesso em: 03 mai. 2018.
3. BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. **The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay**. *Analytical Biochemistry*, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.
4. DANIELSEN, P. H. et al. **Oxidative stress, inflammation, and DNA damage in rats after intratracheal instillation or oral exposure to ambient air and wood smoke particulate matter**. *Toxicological Sciences*, v. 118, n. 2, p. 574-585, 2010.
5. DO SUL, RIO GRANDE. **Carvão vegetal**. In: *Atlas socioeconômico do Estado do Rio Grande do Sul*. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Coordenação e Planejamento, 2011.
6. HALLIWELL, B. **Free radicals and antioxidants—quo vadis?**. *Trends in Pharmacological Sciences*, v. 32, n. 3, p. 125-130, 2011.
7. PLEBAN, P. A.; MUNYANI, A.; BEACHUM, J. **Determination of Selenium Concentration and Glutathione Peroxidase Activity in Plasma and Erythrocytes**. *Clinical Chemistry*, v. 28, n. 2, p. 311-316, 1982.
8. TRABOULSI, H. et al. **Inhaled pollutants: the molecular scene behind respiratory and systemic diseases associated with ultrafine particulate matter**. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 18, n. 2, p. 243, 2017.
9. WANG, X. et al. **Novel optical instrument for estimating size segregated aerosol mass concentration in real time**. *Aerosol Science and Technology*, v. 43, n. 9, p. 939–950, 2009.

10. _____ . **Public health, environmental and social determinants of health.** WHO global urban ambient air pollution database. Geneva: WHO, 2016. Disponível em: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/>. Acesso em: 07 jun. 2018.
11. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO EUROPE. **Health effects of particulate matter.** WHO EUROPE, 2013. Disponível em: <<http://www.euro.who.int>>. Acesso em: 16 abr. 2018.
12. ZHOU, W. et al. **Exposure scenario: Another important factor determining the toxic effects of PM2.5 and possible mechanisms involved.** Environmental Pollution, v. 226, p. 412-425, 2017.