



AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Análise de riscos toxicológicos e ambientais na exposição ocupacional aos resíduos de armas de fogo (GSR/ firing ranges): Uma proposta de normalização

Ernesto Díaz Rocha

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Eduardo de Sousa Sarkis

São Paulo

2015

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**Análise de riscos toxicológicos e ambientais na exposição ocupacional aos resíduos
de armas de fogo (GSR/ firing ranges): Uma proposta de normalização**

Ernesto Díaz Rocha

**Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Materiais**

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Eduardo de Sousa Sarkis

São Paulo
2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

DIAZ, R.E. Análise de riscos toxicológicos e ambientais na exposição ocupacional aos resíduos de armas de fogo (GSR/ firing ranges): Uma proposta de normalização. Tese apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Programa de Tecnologia Nuclear para obtenção do título de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____
Julgamento: _____ Assinatura: _____

À minha esposa Virginia, que sempre foi o meu motivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jorge Eduardo de Souza Sarkis, meu orientador, pela oportunidade de trabalhar com uma equipe Profissional e solidaria.

Ao Dr. Oswaldo Negrini Neto por ter apoiado e autorizado a execução dos trabalhos iniciais no Instituto de Criminalística e pelas ideias aportadas, importantes e experientes.

Á pesquisadora Renata Bazante Yamaguishi, pela ajuda com as questões burocráticas do projeto, no começo, quando mais o necessitava.

Ao MSc. André Rinaldi Fukushima pelo apoio na amostragem do sangue dos peritos balísticos do IC.

Á Dra Sônia Viebig pelo apoio constante no laboratório de balística do Instituto de Criminalística.

Á pesquisadora Talita Oliveira pela ajuda e apoio no trabalho de laboratório especialmente com a preparação das amostras.

Aos pesquisadores, corpo técnico e colegas do Laboratório de Caracterização Química, pela amizade e apoio constantes.

Á o Instituto Adolfo Lutz pela colaboração nos autorizando o uso do espectrômetro de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).

Á Escola de Educação Física da Polícia Militar do Estado de São Paulo, pela decidida participação e colaboração no projeto, especialmente pelo entusiasmo dos voluntários participantes do projeto.

RESUMO

DIAZ, R.E. **Análise de riscos toxicológicos e ambientais na exposição ocupacional aos resíduos de armas de fogo (GSR/ firing ranges): Uma proposta de normalização.** 2015. 102 folhas. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Diariamente milhares de profissionais da área de segurança utilizam armas de fogo, quer em ações de combate a criminalidade; quer em treinamentos obrigatórios que a atividade exige. Apesar disso a quantidade de informação sobre os riscos à saúde desses profissionais devido da exposição aos resíduos de disparos, especialmente quando são usadas armas de grosso calibre, ainda é escassa. Este trabalho pretendeu trazer uma contribuição às discussões sobre o tema com uma proposta de normalização para ser observada no planejamento dos procedimentos de treinamento e atividades desses profissionais. Para tanto foram estudados dois grupos de profissionais: o primeiro, profissionais militares da Polícia Militar do Estado de São Paulo durante intensas jornadas de treinamento com esforço físico e grande número de disparos com armas de fogo de grosso calibre. O segundo grupo envolvendo peritos criminais do núcleo de balística do Instituto de Criminalística da Secretaria de Segurança do Estado de São Paulo. Foram utilizadas amostras de materiais biológicos (sangue, urina e saliva) e amostras do ar dos ambientes fechados onde estas rotinas de trabalho ocorrem. No caso dos profissionais militares, os níveis dos metais monitorados no ar variaram de acordo com o tipo de arma e munição utilizada, sendo ultrapassado o limite de tolerância estabelecido na NR-15 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) após o uso de espingarda ($216 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A média e desvio padrão dos níveis de chumbo no sangue antes ($3,3 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0,7$) e depois ($18,2 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 5,1$) do curso indicam que houve um aumento importante num curto período de tempo, também houve aumento nos níveis de chumbo e antimônio na urina. No segundo caso de exposição ocupacional aos resíduos de disparo no núcleo dos peritos balísticos se verificou uma baixa quantidade de resíduos no ambiente de trabalho, se comparado com o Limite de Tolerância preconizado na norma NR-15, e uma baixa quantidade de chumbo no sangue ($3,9 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0,8$) se comparado com o Índice Biológico Máximo Permitido IBMP ($60 \mu\text{g}/\text{dL}$) estabelecido na NR-7, sem embargo quando comparado o grupo de balísticos com o grupo controle ($1,8 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0,7$) estabeleceu-se uma diferença. O estudo dos cenários de exposição permitiu gerar uma proposta para trabalho seguro nestes ambientes e recomendações para o desenho e uso de estantes fechados de disparo. Os câmbios que se introduzam nos costumes e comportamentos dos profissionais levaram a uma diminuição do risco associado ao uso de armas de fogo nestes estantes. As conclusões do presente trabalho contribuem para a adequação das medidas de proteção dos trabalhadores de segurança, e na adequação da legislação relativa aos limites de tolerância e índices biológicos empregados no controle de saúde ocupacional.

Palavras chave: Saúde ocupacional, metais tóxicos, chumbo, antimônio, resíduos de disparo.

ABSTRACT

DIAZ, R.E. **Analysis of toxicological and environmental risks of occupational exposure to residues of firearms (GSR / firing ranges): A proposal for normalization.** 2015. 102 folhas. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Daily thousands of military officers from security forces use fire arms, sometimes in actions against crime or in mandatory training seasons. Despite of this, there is a few information about the risk associated with firing ranges, especially when heavy weapons are used in a hard training seasons with hard physical work and elevated number of rounds, the security forces might be under risk of intoxication. Other types of exposure with less frequency and intensity, but using a high lead containing ammunition and different types of weapons, like in the ballistics forensic cases are not yet sufficiently studied. Data from these types of occupational exposure in these environments are important in order to establish safety working procedures. The goal in this research is to study the occupational exposure in the police department and the ballistics laboratories in personal who are under the risk of this exposure in their routinely daily work and during the training courses in the Sao Paulo's Military Police Department. In order to reach this, some biological materials were sampled (blood, urine and saliva) as well as air samples from the environment in the firing ranges during routinely daily work. In the two studied cases the monitored airborne lead varied in accordance with the type of weapon and ammunition used, and was ultra passed the limit of exposure established in the norm NR-15 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) after the shot gun was used during the training season ($216 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The average and standard deviation of lead content in blood before ($3,3 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0,7$) and after ($18,2 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 5,1$) de training season shows a significant rise of the lead levels in a very short period of time. An increment of the lead and antimony levels in urine was demonstrated. The other studied case, in the ballistics laboratory showed minor increments of lead in blood and airborne residues when compared with the limits established in the norm NR- 7 ($60 \mu\text{g}/\text{dL}$) but when compared in a cohort study the data lead to establish a significant difference between the exposed group from the ballistics and the control group. These results let us to design a proposal to safely work in these environments and to give the recommendations in the engineering design of the indoor ranges. The implemented changes will lead to minimize the risk associated with the use of weapons and lead containing ammunitions. The conclusions of the present work contribute to adequateness of the related legislation and the tolerance limits of exposure used in the occupational health practice.

KEY WORDS: gunshot residues, heavy weapons, occupational health, toxic metals, lead, antimony.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Imagens da bomba utilizada na amostragem do ar. Fonte: André .2008.....	36
figura 2. Esquema das posições das bombas de amostragem do ar no laboratório de balística. Fonte: Díaz, 2014.....	38
figura 3. Esquema das posições das bombas de amostragem durante o curso de treinamento no estande de disparo da policia militar. Fonte: Díaz, 2014.....	40
figura 4. Comparação das médias de concentrações de chumbo no sangue de indivíduos expostos (peo) e não expostos ocupacionalmente (pneo). Teste <i>t student</i> não pareado, $t_{(df=17)}=5,743$, $p<0,0001$	49
figura 5. Comparação dos níveis de chumbo no ar coletado no período diurno e noturno durante o curso	50
figura 6. Conteúdo de chumbo no sangue total dos instrutores da policia militar.....	52
figura 7. Concentrações de chumbo no sangue no grupo dos instrutores e alunos antes do curso de proteção da vida da polícia militar. Teste <i>t student</i> , $t_{(df=38)}=3,367$, $p=0,0018$	52
figura 8. Comparação da concentração do chumbo no sangue dos alunos antes e depois do curso de proteção da vida da polícia militar.....	54
figura 9. Comparação das médias de concentrações de chumbo no sangue dos alunos antes e depois do curso de proteção da vida da polícia militar. Teste <i>t student</i> , $t_{(df=18)}=12,81$, $p<0,0001$	54
figura 10. Comparação das concentrações de antimônio no sangue dos policiais (alunos) antes e depois do curso de proteção da vida da polícia militar.	55
figura 11. Comparação das concentrações de antimônio no sangue dos alunos antes e depois do curso de proteção da vida da polícia militar. Teste <i>t student</i> , $t_{(df=18)}=4,90$, $p=0,0001$	55
figura 12. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com espingarda.	56
figura 13. Concentrações de chumbo nas urinas coletadas antes e depois do curso de tiro com espingarda. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=18)}=4,3$, $p=0,0005$	57

figura 14. Resultados do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela espingarda.	57
figura 15. Diferenças nas médias do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela espingarda. Teste <i>t student</i> , $t_{(df=17)}=7,15$, $p<0,0001$. A diferença resultou significativa.....	58
figura 16. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com pistola .40.....	59
figura 17. Comparação das concentrações de chumbo na urina antes e depois do curso de tiro com pistola .40. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=15)}=1,3$, $p=0,23$	59
figura 18. Conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela pistola .40.	60
figura 19. Diferenças nas médias do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela pistola .40 teste <i>t student</i> , $t_{(df=15)}=6,36$, $p<0,0001$. A diferença resultou significativa.....	60
figura 20. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40.....	61
figura 21. Comparação das concentrações de chumbo na urina antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=16)}=0,169$, $p=0,87$	61
figura 22. Os resultados do conteúdo de antimônio na urina de cada individuo coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela metralhadora .40.	62
figura 23. Resultados do teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de antimônio nas urinas coletadas antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela metralhadora .40. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=16)}=7,94$, $p<0,0001$. A diferença foi significativa.	62
figura 24. Conteúdo de chumbo na saliva coletada antes e depois do curso de tiro com espingarda.....	63
figura 25. Resultados do conteúdo de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da pistola.....	64

figura 26. Resultados do conteúdo de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da metralhadora.	64
figura 27. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da espingarda. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=14)}=2,85$, $p=0,0128$. A diferença foi significativa.	65
figura 28. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da pistola. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=13)}=2,24$, $p=0,0435$. A diferença foi significativa.	65
figura 29. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da metralhadora. Teste pareado <i>t student</i> , $t_{(df=15)}=4,44$, $p=0,0005$. A diferença foi significativa.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de armas, munições e quantidade de disparos realizados.	41
Tabela 2. Concentrações dos metais obtidas na monitoramento ambiental do Laboratório de Balística. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47
Tabela 3. Conteúdo de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) no sangue	48
Tabela 4. Concentrações (valores expressos em média \pm desvio padrão) dos metais medidas no ar durante o Curso de Treinamento da Proteção da Vida da Polícia Militar.....	49
Tabela 5. Resultados das respostas aos questionários no grupo de instrutores (comparação) e o grupo dos alunos e os resultados para PbS e SbS.	51
Tabela 6. Conteúdo de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) no sangue dos alunos antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ALA	acido δ -aminolevulinico
ALAD	acido δ -aminolevulinico desidratase
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
CETESB	Companhia de Tecnologia Saneamento Ambiental de São Paulo
CDC	Center for Disease Control
CDR	Cartridge Discharge Residue
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
CQMA	Centro de Química e Meio Ambiente
DNA	Desoxirribonucleic Acid
EDTA	Acido etilenodiamino tetra-acético
FBI	Federal Bureau of Investigation
FDR	Firearms Discharge Residue
GF-AAS	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer
GSR	Gunshot Residues
HHE	Health Hazard Evaluation
HR ICP MS	High Resolution Inductively coupled Plasma Mass Spectrometer
IBMP	Índice Biológico Máximo Permitido
IC	Instituto de Criminalistica
ICP MS	Inductively coupled Plasma Mass Spectrometer
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer
IPCh	Intoxicação Profissional pelo Chumbo
LAPAt	Laboratório de Análises de Processos Atmosféricos
LT	Limite de tolerância
LTBs	Limites de tolerância biológica
NHANES	National Health and Nutrition Examination Survey
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NIST	National Institute of Standards and Technology
NRs	Normas Regulamentadoras
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional

PE	Protoporfirina eritrocitária
PELs	Permissible Exposure Limits
PEO	Pessoal Exposto Ocupacionalmente
PNEO	Pessoal Não Exposto Ocupacionalmente
RNA	Ribonucleic Acid
SN	Sistema Nervoso
SRM	Standard Reference Material
SSST	Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho
VR	Valor de Referência
WHO	World Health Organization
ZPP	Zinco protoporfirina

LISTA DE SÍMBOLOS

Pb	chumbo
Sb	antimônio
Ba	bário
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	micrograma por metro cúbico
$\mu\text{g}/\text{dL}$	micrograma por decilitro
mg	miligrama
Kg	quilograma
Si	silício
Ca	cálcio
Al	alumínio
Cu	cobre
Fe	ferro
S	enxofre
P	fósforo
Zn	zinco
Ni	níquel
K	potássio
Cl	Cloro
Mg	Magnésio
Hg	Mercúrio
°C	graus Celsius
%	porcentagem
μm	micrometro
Na	sódio
Mn	manganês
-SH	grupo sulfidrila
SbH_3	estibina
Sb_2O_3	trióxido de antimônio
Sb_2S_3	trissulfeto de antimônio
SbCl_3	triclureto de antimônio
Sb_2S_5	pentassulfeto de antimonio
$\text{C}_8\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{12}\text{Sb}_2$	tartrato de potássio e antimônio

Sb ₂ O ₅	pentóxido de antimônio
mm	milímetro
In	índio
Ir	irídio
ppb	partes por bilhão
mL	mililitro
rpm	Revoluções por minuto
W	Watt
L	Litro
cps	contas por segundo
ms	milisegundo
μL	microlitro
SbS	Conteúdo de antimônio no sangue
PbS	Conteúdo de chumbo no sangue
sd	standard deviation
μg/g creat	micrograma por grama de creatinina
mmHg	milímetros de mercúrio
h	horas
Kg	quilograma

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Aspectos legais e técnicos da saúde ocupacional.....	17
2.2 Resíduos de disparo de armas de fogo	21
2.3 Exposição ocupacional aos GSR nos estantes de disparo	22
2.4 Efeitos na saúde pela exposição aos metais	24
2.4.1 Chumbo	25
2.4.2 Antimônio.....	30
2.4.3 Bário	31
2.5 Matrizes biológicas para o estudo dos efeitos dos resíduos de disparo.	32
3. OBJETIVOS.....	34
3.1 Objetivo geral:.....	34
3.2 Objetivos Específicos:	34
4. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	35
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1 Monitoramento ambiental	36
5.1.1 Bombas e filtros	36
5.1.2 Laboratório de Balística do Instituto de Criminalística (IC) de São Paulo.....	37
5.1.3 Centro de Treinamento na preservação da vida - Polícia Militar do Estado de São Paulo	38
5.1.4 Preparação das amostras.....	41
5.2 Monitoramento biológico	42
5.2.1 Laboratório de Balística do IC de São Paulo	42
5.2.2 Centro de Treinamento da Polícia Militar de São Paulo	43
6. RESULTADOS.....	47
6.1 Monitoramento ambiental do Laboratório da Balística	47

6.2 Monitoramento biológico dos peritos balísticos	48
6.3 Monitoramento ambiental do Centro de Treinamento da Polícia Militar	49
6.4 Monitoramento biológica dos participantes do Curso da Polícia Militar	51
6.4.1 Sangue	51
6.4.2 Urina	56
6.4.3 Saliva	63
7. DISCUSSÃO	66
7.1 Monitoramento ambiental do Laboratório de Balística do IC	66
7.2 Monitoramento biológica dos peritos balísticos.....	67
7.3 Monitoramento ambiental do Centro de Treinamento da Polícia Militar	68
7.4 Monitoramento biológica dos participantes do Curso da Polícia Militar	69
7.4.1 Sangue	70
7.4.2 Urina	72
7.4.3 Saliva	73
7.5 Comparação dos resultados com as normas vigentes	74
8. CONCLUSÕES	76
9. PROPOSTA	77
10. REFERÊNCIAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

A exposição aos resíduos das armas de fogo representa um risco à saúde dos profissionais que no exercício laboral manipulam ou disparam estas armas, produzindo gases ricos em bário (Ba) e metais potencialmente tóxicos, tais como chumbo (Pb) e antimônio (Sb). Nos ambientes fechados dos estantes de disparo os resíduos podem se acumular no ar atingindo patamares inaceitáveis e oferecendo risco ocupacional.

Os profissionais que estão mais relacionados com armas de fogo são os agentes de segurança tanto pública como privada que na prática profissional realizam treinamentos no manejo de armas de fogo. Todos eles devem passar por um treinamento, pelo menos uma vez ao ano, e neste treinamento devem efetuar vários disparos e, em alguns casos, usar diferentes armas e munições. Dentre estes profissionais os instrutores destes cursos são os mais frequentemente expostos, pois estão presentes nos cursos de treinamento várias vezes ao ano.

Os exercícios que ocorrem em locais fechados aumentam o risco de exposição aos metais associados com os resíduos de disparo. No caso dos profissionais da polícia militar estes treinamentos são feitos usando armas de grosso calibre e ainda usando munições contendo altos teores de chumbo. Um aspecto pouco estudado é o fato de estes cursos exigirem um esforço físico alto, o que altera a taxa de respiração e por consequência, a quantidade de ar introduzido aos pulmões junto com os resíduos contidos nele, a respiração pela boca é um fenômeno comum nestes casos o que pode aumentar a quantidade de resíduos inalada e favorecer a ingestão destes metais.

Os peritos balísticos são profissionais encarregados de avaliar o estado das armas de fogo envolvidas em crimes ou fatos delituosos. Por norma geral, a arma deve ser testada disparando três vezes, em alguns casos o disparo tem por fim estabelecer se a arma funciona corretamente; em outros casos o que se objetiva é obter projeteis disparados pela arma com fins de comparação. Em qualquer caso o profissional balístico estará exposto aos resíduos destes disparos e aos riscos decorrentes desta atividade, principalmente quando esta é desenvolvida em ambientes fechados e usando munições com chumbo, pois o uso de munições livres de chumbo nem sempre é possível. A intensidade e a frequência de exposição são

diferentes em cada caso, portanto medidas de prevenção e proteção adequadas devem ser tomadas.

A exposição ao Pb proveniente de atividades ocupacionais na indústria tem sido estudada amplamente (CARELLI *et al.*, 1999; CORDERO, LIMA-FILHO, 1995; DRISCOLL *et al.*, 2004; HERNBERG, 2000; HUA, 1995; GERHARDSSON *et al.*, 2005; GIDLOW, 2004; ATSDR, 2009; AL-SALEH *et al.*, 2008; QUITÉRIO, 2001; RICHMONT-BRYANT, 2013), assim como a exposição ao Sb, ainda que em menor extensão (KENTNER *et al.*, 1995; IAVICOLI, 2002; VÁSQUEZ, 2006) e alguns poucos relacionados á exposição ao Pb nos resíduos de disparo (SVENSSON *et al.*, 1992; OZONOFF, 1994; CHANG *et al.*, 2010; DEMMELER *et al.*, 2009; GULSON, 2002; NIOSH, 2009). No entanto, não foram achados estudos ocupacionais que avaliem o grau de exposição em face de um treinamento intensivo, relacionados a exposição concomitante aos metais Pb, Sb e Ba oriundos de resíduos produzidos por armas pesadas como espingarda ou metralhadora e muito menos os efeitos na saúde para os trabalhadores quando expostos a estes resíduos.

Existem algumas recomendações e normas para estantes fechados de disparo nos Estados Unidos (NIOSH, 2009) mas estão adaptados para as rotinas de treinamento que geralmente não utilizam armas pesadas e o uso intenso das armas em um curto período de tempo. No Brasil ainda não há trabalhos sobre o tema da exposição aos resíduos de disparo nos estantes fechados e o controle ocupacional ainda carece de normas e recomendações de conduta nestes ambientes. Desta forma, estudos relacionados a este tipo de exposição contribuirão para o controle do risco ocupacional que envolve os profissionais expostos aos resíduos de disparo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos legais e técnicos da saúde ocupacional

A exposição às substâncias químicas no ambiente laboral está regulamentada no Brasil pelo Ministério do Trabalho e Emprego a través das Normas Regulamentadoras (NR) de Segurança e Saúde no Trabalho que fornecem parâmetros e instruções sobre saúde e segurança do trabalho. A Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho - SSST é o órgão de âmbito nacional competente

para coordenar, orientar, controlar e supervisionar as atividades relacionadas com a segurança e medicina do trabalho. As NR são elaboradas por uma Comissão composta por representantes do governo, dos empregadores e dos empregados e são atualmente de grande importância como parâmetros nacionais de segurança e saúde no trabalho. Apesar de serem consideradas como recomendações, são obrigatórias às empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Como diretriz, as NR não desobrigam as empresas do cumprimento de outras disposições as quais, com relação à matéria, estejam incluídas em códigos de obras ou regulamentos sanitários dos estados ou municípios e outras oriundas de convenções e acordos coletivos de trabalho (DELLA ROSA in SEIZI *et al.*, 2008).

Em 8 de junho de 1936, o Brasil firmou o “Convênio sobre as doenças profissionais (revisado), 1934” da Organização Internacional do Trabalho (OIT), neste Convênio, a doença decorrente da exposição ao chumbo foi a primeira a ser descrita, sendo referida a intoxicação produzida pelo chumbo, suas ligas ou seus compostos (CORDEIRO *et al.*, 1995). Entretanto, apenas a partir de 1997 a regulamentação sobre saúde ocupacional no Brasil, relativa às atividades com exposição ao chumbo e outros metais tóxicos foi definida através da Norma Regulamentadora No.15 (NR-15) que trata das Atividades e Operações Insalubres (BRASIL, 1977).

A Norma estabelece o valor limite de tolerância (LT) ao chumbo em $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no ar, para 48 horas semanais de exposição ocupacional. Este valor esta baseado nas publicações da American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) na década dos 70s e hoje esta desatualizado pois o limite recomendado para o chumbo pela mesma organização reduziu-o pela metade a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ACGIH, 2004).

O anexo No. 13 (Agentes Químicos) desta norma estabelece insalubridade de grau máximo para diversas atividades e operações envolvendo chumbo, dentre elas a fabricação de compostos a base de chumbo inorgânico e orgânico (BRASIL, 1977). No que tange ao Monitoramento Biológico, a Norma Regulamentadora No. 7 (NR-7) que trata do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) adota o Índice Biológico Máximo Permitido (IBMP) em concentrações de $60 \mu\text{g}/\text{dL}$ em sangue total e Valor de Referência da Normalidade (VR) em concentrações de $40 \mu\text{g}/\text{dL}$ para chumbo inorgânico em sangue total. Explique-se que o IBMP

representa o valor máximo do indicador biológico para o qual se supõe que a maioria das pessoas ocupacionalmente expostas não corre risco de dano à saúde.

Valores maiores que o IBMP significam exposição excessiva, enquanto o VR representa o valor possível de ser encontrado em populações não expostas ocupacionalmente. Semelhante ao LT expresso na NR-15, os valores expressos na NR-7 estão desatualizados, pois foram tomados dos valores preconizados pelas agências internacionais nas décadas de 1970 e 1980 e precisam ser atualizados, no caso do IBMP para chumbo no sangue total o recomendado atualmente pela ACGIH é 30 µg/dL (ACGIH, 2004). O estabelecimento destes limites para a proteção do trabalhador é uma das finalidades da Saúde Ocupacional exigindo estudos atualizados e pesquisas nestes ambientes (CORDEIRO et al., 1995; PRISTA; UVA, 2006) .

Em comparação com outros países, a Agência de Segurança e Saúde Ocupacional dos Estados Unidos da América (OSHA) estabelece como limite de exposição ao chumbo 50 µg/m³ no ar (OSHA, 2001), considerando uma exposição de 8 horas/dia. Esta mesma Agência recomenda para o monitoramento biológico, que se o nível de Pb em sangue ultrapassar o valor de 40 µg/dL devem ser iniciadas imediatamente medidas de intervenção para proteção do trabalhador, dentre as medidas cita-se o afastamento das atividades e a verificação dos métodos de proteção individual e coletivo. Note-se que tal valor, 40 µg/dL, coincide com o Valor de Referência da Normalidade (VR) estabelecido no Brasil.

Nos EUA o controle das fontes de poluição de chumbo e outros metais tóxicos vêm sendo implementado gradativamente, com uma intensa atuação dos órgãos ambientais e da saúde pública (SCHOBER *et al.*, 2006). No Brasil esse controle é praticamente inexistente, devido à falta de dados sobre a real exposição da população e aos escassos trabalhos publicados neste tema (NEVES *et al.*, 2009).

Em geral o cálculo da quantidade da exposição é estimada pela exposição total ou parcial, expressa em termos de dose por unidade de peso do indivíduo ou organismo por dia (mg/Kg/dia) ou Dose Potencial (ATSDR, 2005). Com relação às amostragens de ar nos ambientes com perigo de exposição ocupacional aos metais tóxicos, estas podem ser feitas nos postos de trabalho onde se suspeita haver maior exposição; em alguns casos é possível utilizar bombas de amostragem individual.

$$\text{Dose Potencial} = (C \times \text{TI} \times \text{TA} \times \text{FE} \times \text{DE}) / (\text{PC} \times \text{TP}) \quad (1)$$

Onde,

C = concentração média do agente estressor no meio (exemplo: mg/m³ no ar);

TI = taxa de ingresso do contaminante no organismo (exemplo: Litros ar/dia);

TA = taxa de absorção da substância em %

FE = frequência da exposição (dias/ano);

DE = duração da exposição (horas, dias, anos);

PC = peso corpóreo (Kg);

TP= tempo ponderado.

A Exposição Acumulada **E** para um trabalho de 8 horas pode se calcular assim (OSHA, 2006):

$$E = (C_a T_a + C_b T_b + \dots + C_n T_n) / 8 \quad (2)$$

Onde:

E = Exposição equivalente;

C = Concentração durante qualquer período de tempo onde a concentração permanece constante;

T = tempo de exposição.

O termo Intoxicação Profissional pelo Chumbo (IPCh) é utilizado para designar enfermidades decorrentes da exposição ao chumbo no ambiente laboral. Enquanto as ocorrências da IPCh diminuíram nos países desenvolvidos, nos países em desenvolvimento ainda está longe de ser controlada afetando muitos trabalhadores de indústrias (SPÍNOLA *et al.*, 1980; FU; BOFFETTA, 1995), isto pode ser ilustrado pelas ocorrências no Brasil, entre 1985 e 1987, na cidade de Bauru (SP) onde foram diagnosticados 800 casos desta doença em trabalhadores de duas indústrias de acumuladores elétricos, ainda na região da Grande Belo Horizonte em 1987, encontrou-se 5296 casos de prevalência da IPCh em trabalhadores que atuavam na fabricação e reformas de acumuladores elétricos (CORDEIRO, 1988). Na maior fábrica de acumuladores elétricos da cidade de Campinas em 1989 registrou-se prevalência de IPCh de 38% e, mais recentemente foi estudada a exposição ocupacional ao chumbo numa oficina de recuperação de armamento

(NEVES *et al.*, 2009) onde se concluiu que cinco dos nove trabalhadores expostos apresentavam níveis de chumbo no sangue que sugerem exposição ao chumbo.

Considerando o cenário multivariado da prática laboral, estabelecer critérios para diagnosticar a IPCh torna-se mais complexo; não sendo adequado simplificar a questão apenas pelo estabelecimento de Limites de Tolerância Biológica (LTB). Embora se saiba que os LTB constituem ferramenta para a confirmação da IPCh, na prática o diagnóstico é confirmado só quando o trabalhador apresenta valores de indicadores biológicos que excedem os LTBs definidos a partir da Consolidação das Leis do Trabalho, nos artigos 189 e 192 e posteriormente disciplinados na NR-7, aprovada pela portaria 3214, do Ministério do Trabalho, em 8 de junho de 1978 (BRASIL, 1983). Sendo desta forma necessária a atualização dos valores dos LTBs para que os critérios de diagnóstico da IPCh sejam aprimorados (BARBOSA *et al.*, 2005). Se recomenda também o acompanhamento laboratorial dos trabalhadores com risco de IPCh como a realização periódica de pelo menos um exame do indicador conhecido como de dose interna que reflete a dose real do xenobiótico (neste caso do Pb) no sítio onde ele exerce sua ação, pode ser a concentração de Pb no sangue (Pb-S) (CORDEIRO; LIMA FILHO, 1995).

Sobre Sb e Ba há pouca referência quanto a norma e os níveis permitidos de exposição (Permissible Exposure Limits-PELs) são $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ num período de oito horas (ATSDR, 1992; ATSDR, 2007). No caso do Ba deve-se considerar somente os compostos solúveis. Importante notar que no caso dos resíduos de disparo de armas de fogo (GSR) não foi estabelecido quanto de Ba produzido nos disparos é solúvel e não foram mensurados níveis de Ba no sangue ou na urina após exposição aos GSR o que poderia dar uma base para determinar quanto do Ba produzido nos GSR é solúvel. No caso do Sb tem se estudado alguns casos de contaminação na indústria (KENTNER *et al.*, 1995; IAVICO *et al.*, 2002) e no uso farmacêutico (VÁSQUEZ *et al.*, 2006), mas no caso dos resíduos de disparo não foram encontrados na literatura dados de medições feitas no ar nem em matrizes biológicas.

2.2 Resíduos de disparo de armas de fogo

Os Resíduos de Disparo de Armas de Fogo, mais conhecidos na literatura técnica internacional como Gunshot Residues (GSR), também são citados em

algumas poucas publicações com outras nomenclaturas, como por exemplo: Cartridge Discharge Residue – CDR e Firearms Discharge Residue – FDR. Estes termos são mais utilizados na área de pesquisas forenses e criminalísticas, pois é através da qualificação e quantificação destes resíduos que é possível a identificação dos possíveis autores de delitos, distâncias de disparos e outras variáveis (JAMES, 2008; KOONS; BUSCAGLIA, 2005).

Os principais resíduos produzidos em um disparo são compostos de partículas que apresentam características morfológicas e características químicas determinadas principalmente pela presença dos elementos antimônio (Sb), bário (Ba) e chumbo (Pb) presentes no cartucho e na espoleta que contém o fulminante (JAMES, 2008). Outros elementos encontrados nos resíduos são silício (Si), cálcio (Ca), alumínio (Al), cobre (Cu), ferro (Fe), enxofre (S), fósforo (P) raramente, zinco (Zn) somente se o cobre também estiver presente, níquel (Ni) raramente e somente com cobre e zinco, potássio (K) e cloro (Cl), magnésio (Mg) e mercúrio (Hg) (KOONS; BUSCAGLIA, 2005).

Em temperaturas atmosféricas os gases produzidos pelo disparo ocupariam um espaço 300 vezes maior que o tamanho da pólvora usada, mas pelo intenso calor que a pólvora pode desenvolver, os mesmos gases ocupam um espaço cerca de 1.500 vezes maior que o volume da pólvora usada o que explica a intensa energia liberada durante um disparo. Nestas condições os resíduos tomam a forma esférica o que também é uma característica dos GSR, além da composição (ROMOLO; MARGOT, 2001).

2.3 Exposição ocupacional aos GSR nos estantes de disparo

As exposições aos GSR ocorrem principalmente nos ambientes fechados ou abertos dos laboratórios de perícias balísticas, estandes de tiros (Firing Ranges) de caráter esportivo ou profissional, estandes de tiros dos centros de instrução e treinamento das Polícias Civas e Militares dos Estados e das Polícias Federal, Rodoviária e Ferroviária, bem como as Forças Armadas (Exército, Marinha e Aeronáutica). Nestes ambientes, diariamente são realizados vários testes e cursos de treinamento com disparos de armas de fogo. No disparo são expelidos além do projétil, diversos resíduos sólidos (provenientes do atrito do projétil com o cano da arma, da detonação da mistura iniciadora do fulminante e da pólvora) e produtos

gasosos (monóxido e dióxido de carbono, vapor d'água, óxidos de nitrogênio e outros). Partes desses resíduos sólidos permanecem dentro do cano, ao redor do tambor e da câmara de percussão da própria arma, porém, o restante é projetado para fora, atingindo mãos, braços, cabelos e roupas da pessoa que dispara.

Os perigos ocupacionais relacionados às atividades de disparo com armas de fogo foram investigados principalmente no que concerne a exposição ao chumbo (NOVOTNY *et al.*, 1987; VALWAY *et al.*, 1989; TRIPHATI *et al.*, 1991; BARSAN *et al.*, 1996) e demonstram que a exposição aos GSR estão relacionados com aumento da pressão arterial e anemia (SCHOBER *et al.*, 2006; VIVANTE *et al.*, 2008), e o ruído produzido durante o disparo pode causar a perda de audição (NIOSH, 2009). O Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional dos EUA - National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) tem realizado numerosas avaliações do risco à saúde em estandes de tiros e documentado os perigos da exposição ao chumbo (sem avaliar outros metais), não somente para as pessoas que se dedicam à atividade de disparar armas de fogo, mas também para o pessoal de segurança e limpeza nestes lugares. Em 1975, o NIOSH publicou um documento técnico chamado "Lead exposure and design considerations for indoor firing ranges." (Exposição ao chumbo e considerações sobre delineamento de estantes fechados de tiro), onde define as recomendações para reduzir ou eliminar perigos associados à exposição ao chumbo nestes lugares (NIOSH, 1975).

Em 1985, o Departamento de Saúde do Colorado dos EUA iniciou um Programa de Vigilância Epidemiológica, monitorando a exposição aos metais tóxicos e outras exposições ambientais em lugares onde se fazem as provas de disparos. Foi observado que as pessoas que realizavam esta atividade e aquelas que frequentavam os estandes de tiro apresentavam sintomas de intoxicação como hipertensão arterial, o que determinou a necessidade de estudos dos níveis de chumbo no ar e no sangue do pessoal que usava frequentemente os estandes de tiro. Os resultados demonstraram que o nível do chumbo no ar estava acima dos $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, mais de 40 vezes o padrão da OSHA de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Além disso, foi observado que o nível de chumbo das pessoas expostas aumentou oito vezes durante o período que realizaram as provas de tiro (VALWAY *et al.*, 1989), mas não foram medidos outros metais além do chumbo e só foi utilizado um tipo de arma (revolver).

O NIOSH recebeu uma solicitação da Comissão de Avaliação de Perigo à Saúde - Health Hazard Evaluation (HHE) pertencente à administração da Polícia Federal dos EUA - Federal Bureau of Investigation (FBI) para realização da avaliação da exposição ao chumbo durante os treinamentos de tiro e as atividades associadas com o pessoal técnico, instrutores de tiro e outros. Além disso, a HHE manifestou sua preocupação pela contaminação por Pb que poderia ser transportada para a casa dos trabalhadores, através de suas vestimentas e veículos, expondo suas famílias a este metal. Uma das conclusões do estudo foi que o pessoal que se dedicava ao tiro esportivo se encontrava exposto e que seus níveis de chumbo no sangue eram muito altos devido a esta prática (NIOSH, 2009), embora outros metais produzidos pelos GSR não tenham sido avaliados.

Um estudo feito na Suécia com policiais encontrou uma correlação positiva dos níveis de Pb no sangue com o número de disparos efetuados durante o ano (LOFSTEDT *et al.*, 1999). Outro estudo (DEMMELEER *et al.* (2009) mostrou que disparos feitos em estantes fechados provocam aumentos nos níveis de Pb no sangue em indivíduos usando rifles calibre .22 e pistolas de grosso calibre. No Brasil tem se publicado muito pouco sobre a exposição ocupacional aos GSR, a pesar ter situações específicas de segurança onde o uso de armas pesadas é um fenômeno comum, não foram feitos estudos destes casos ate agora.

2.4 Efeitos na saúde pela exposição aos metais

Quando se avalia o potencial de efeito adverso da exposição aos metais é importante entender o mecanismo pelo qual são administrados estes metais e seus derivados no corpo humano. Do ponto de vista ocupacional a inalação de aerossóis e partículas metálicas é a de maior importância, pois causam danos tanto nos pulmões como em outros sistemas onde os metais são transportados (DRISCOLL *et al.*, 2004; KOMARNICKI, 2005). A formação de complexos, como metaloproteínas é mais interessante, pois estas afetam a atividade biológica nos fluidos intracelulares e extracelulares. O mecanismo de transporte destes metais através das membranas celulares ainda é tema de pesquisa na atualidade (GILLIS *et al.*, 2012), há pouco tempo acreditava-se que as espécies iônicas livres dos metais difundiam através da membrana da célula por difusão passiva, mas agora é mais aceito o mecanismo no qual os metais constituem substratos de proteínas carregadoras seletivas, algumas

destas proteínas são capazes de carregar só alguns metais essenciais, mas outras carregam outros substratos endógenos como aminoácidos ou anions inorgânicos. O termo “mímica iônica” ou “mímica molecular” é usado para descrever este tipo de transporte de metais não essenciais (NORDBERG *et al.*, 2007). Os metais tóxicos podem danificar qualquer atividade biológica existente e, por isso, há, teoricamente, tantos tipos de respostas quantas forem às atividades. Todos os sistemas enzimáticos são potencialmente suscetíveis aos metais tóxicos, embora a introdução no organismo vivo seja limitada por estruturas anatômicas, sendo que os sítios ligantes inertes podem competir pelo íon metálico e, ainda experimentos *in vivo* e *in vitro* indicam que as respostas típicas para envenenamento sofrem consideráveis variações em relação à sensibilidade entre diferentes órgãos e tecidos (CARELLI, 1999; NORDBERG, 2007; GRASHOW *et al.*, 2013).

O componente mais perigoso nos GSR, do ponto de vista ocupacional é o chumbo devido a sua toxicidade e a sua alta concentração (NIOSH, 2009). Embora os três metais (Pb, o Sb e o Ba) sejam representativos dos GSR (JAMES, 2008; SCHWOEBLE, 2000; SILVA *et al.*, 2009), não há dados disponíveis sobre os níveis de Sb e Ba nos ambientes dos estandes fechados de disparo, também não há referências de medições de bioindicadores destes elementos no sangue ou na urina visando esclarecer a taxa de absorção no organismo e seus efeitos, especialmente o Sb que sempre acompanha o Pb nos resíduos (CHANG *et al.*, 2010). Uma exposição ocupacional e/ou ambiental continuada ao Pb em níveis relativamente baixos, pode causar diversas doenças neurológicas e degenerativas em adultos (EUM *et al.*, 2012; ROSIN, 2009), e o transporte desses resíduos, através das roupas, até a própria moradia pode expor também toda família, especialmente as crianças pela sua maior vulnerabilidade (RAGHUNATH *et al.*, 2000; LAVICOL *et al.*, 2002; ZENTNER *et al.*, 2006).

2.4.1 Chumbo

O chumbo (Pb) é um metal abundante na crosta terrestre amplamente distribuído é encontrado livre ou associado com outros elementos. Apresenta número atômico 82, peso atômico 207,19, ponto de fusão 327,5°C, e ponto de ebulição 1.740 °C, começando a emitir vapores a 550°C. Apenas um dos isótopos naturais estáveis do chumbo, ²⁰⁴Pb, não é radiogênico, considerando que os outros

isótopos são os produtos finais de três séries de decaimento radioativo: a série do urânio (produto final : ^{206}Pb), a série thorio (^{208}Pb), e a série actínio (^{207}Pb) e como consequência deste, a abundância destes quatro isótopos (^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb e ^{208}Pb) varia em diferentes amostras de chumbo e depende da origem da fonte geológica. Nos seus compostos o estado de oxidação é II, mas também pode ocorrer o IV. Associado com outros elementos origina composto como dióxido de chumbo, chumbo-tetraetila, chumbo tetrametila, sulfato de chumbo, arsenato de chumbo, litargirio, zarcão, alvaiade entre outros (NORDBERG *et al.*, 2007). É um metal dúctil e devido à intensa utilização do metal nos últimos séculos a mensuração diferenciada do conteúdo de chumbo proveniente de fontes naturais tornou-se um assunto controverso (QUITÉRIO, 2001). Existem compostos de chumbo dispersos na atmosfera em forma sólida e em forma gasosa. Estima-se que a concentração de chumbo atmosférico venha aumentando progressivamente. Camadas de neve da região Ártica, que se depositaram há cerca de 2000 anos, apresentam concentração de chumbo da ordem de 0,005 mg/kg. A concentração em camadas que se depositaram após 1750 – data que marca o início da Revolução Industrial – tem aumentado de forma acentuada, particularmente nas últimas décadas, atingindo 0,20 mg/kg em 1965, 400 vezes maior que os níveis “naturais” (HERNBERG, 2000). Estudos em esqueletos humanos enterrados antes da disseminação do uso do Pb sugerem um aumento de cerca de cem vezes na carga óssea do metal entre 3000 A.C. até o presente, os níveis pré-industriais do chumbo foram estimadas ao redor de 0,016 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (FLEGAL; SMITH, 1992), enquanto a concentração para os adultos nos Estados Unidos atualmente é estimada em 1,2 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (National Health and Nutrition Examination Survey IV, NHANES (IV), 2009).

O baixo ponto de fusão, a ductibilidade e a facilidade de formar ligas constituem a principal razão da ampla utilização do chumbo desde a antiguidade para fabricação de utensílios domésticos, armas e adornos, assim como as tubulações pelas quais se distribuía a água, tendo provocado inúmeros casos de intoxicações ocupacionais e ambientais (NORDBERG *et al.*, 2007).

Atualmente, as maiores fontes ambientais de chumbo e seus sais, que contribuem para a ingestão diária, são ar, poeira, alimentos, bebidas e tintas. A fumaça de cigarro também pode aumentar o total de chumbo ingerido por dia. A ingestão de tintas que contêm chumbo se constitui na maior fonte de exposição ambiental do metal para crianças e importante fonte para muitos adultos,

especialmente aqueles envolvidos com construção e reforma de casas e os que têm a pintura relacionada à sua profissão (DRISCOLL *et al.*, 2004).

Os riscos à saúde pela exposição ocupacional ou ambiental ao chumbo foram descritos há mais de 2000 anos (HERNBERG, 2000), mas é a partir da revolução industrial no século XVIII que o uso do metal atinge maior escala e, conseqüentemente as concentrações de chumbo atmosférico passam a crescer paulatinamente, assim como a concentração do metal no sangue dos indivíduos expostos (FLEGAL; SMITH, 1992). Esta exposição ambiental alcançou o ponto mais alto no século 20 devido ao uso de chumbo tetraetila na gasolina o que provocou um aumento nos níveis de chumbo no ar das grandes cidades em todo o mundo durante o século XX, especialmente na década de 70 quando foram registrados os níveis mais altos, sendo banido este uso, após décadas de campanhas realizadas pelas agências de saúde nos Estados Unidos (NRIAGU, 1998; KOVARIK, 2005). Os níveis de chumbo no ar e no sangue das populações diminuíram notoriamente nos chamados países desenvolvidos, enquanto em alguns países em desenvolvimento, nos quais ainda se usa a gasolina aditivada com chumbo tetraetila, os níveis de Pb no ar ainda são preocupantes.

O chumbo não apresenta nenhuma função fisiológica conhecida no organismo de seres humanos e animais. Diferentemente de outros metais, como o ferro ou o zinco, o chumbo, em qualquer quantidade, não cumpre nenhuma utilidade no metabolismo; Ao contrário, é uma neurotoxina para diversos tecidos e a partir de uma concentração limite interfere em diversas reações metabólicas, causando os sintomas da doença conhecida como saturnismo ou intoxicação pelo chumbo. Os processos fisiológicos de absorção, distribuição, armazenamento e eliminação do metal são influenciados por fatores endógenos (constituição genética, fatores antropométricos, estado de saúde) e fatores exógenos, tais como carga de trabalho, exposição simultânea a outras substâncias como álcool e fumo (GIDLOW, 2004). A absorção respiratória pode ser superior a 50% da dose inalada para gases de exaustão e sais altamente solúveis, assim como para fumantes e pessoas com doenças das vias respiratórias superiores. Por outro lado, a absorção do metal pelo trato gastrointestinal varia de 2 a 16%, se ingerido com refeição, mas pode variar de 60 a 80%, quando administrado em jejum. Mulheres grávidas e crianças absorvem 45 a 50 % do chumbo presente na dieta. O estado nutricional como ingestão de cálcio, ferro, fósforo e proteínas são mais importantes para a absorção do metal do

que a solubilidade dos compostos de chumbo que é prejudicada pela acidez estomacal. A deficiência destes nutrientes aumenta a absorção do chumbo e vice-versa (FEWTRELL *et al.*, 2003; BÁRANY *et al.*, 2005; SAKAI, 2000). Ocupacionalmente a absorção do chumbo ocorre principalmente por inalação de aerossóis. O padrão de deposição no trato respiratório depende do tamanho da partícula, partículas com diâmetro maior a 5 μm são depositadas principalmente nas vias respiratórias superiores e médias e removidas pelo mecanismo mucociliar e eventualmente ingeridas (DRISCOLL *et al.*, 2004; KOMARNICKI, 2005). Partículas inaladas pela boca e com tamanho de 0,01-5 μm são depositadas no trato alveolar, enquanto para partículas inaladas pelo nariz a proporção é menor. O chumbo depositado no trato alveolar é absorvido completamente em 24 horas (CARELLI *et al.*, 1999; NORDBERG *et al.*, 2007).

A distribuição do chumbo no organismo depende da taxa de transferência da corrente sanguínea para os diferentes órgãos e tecidos. Uma vez absorvido, o chumbo segue uma cinética complexa, se distribuindo entre o sangue, tecidos moles e mineralizados. Os ossos contêm cerca de 90 a 95% do total do conteúdo corpóreo de chumbo em adultos e 80 a 95% em crianças (BARRY *et al.*, 1975, GROSS *et al.*, 1975; GERHARDSSON *et al.*, 2005). Embora a concentração de chumbo no sangue (Pb-S) represente menos que 2% do conteúdo total no organismo, neste compartimento 90,0 a 99,8% encontram-se ligados às membranas ou frações de proteínas das células vermelhas e de 0,2 a 10% estão no plasma, representando a fração livre e biologicamente ativa do chumbo, capaz de atravessar as membranas celulares e causar seus efeitos tóxicos (BERGDAHL *et al.*, 1997). A ligação do chumbo nos eritrócitos parece ser atribuída à afinidade do chumbo pela proteína ácido δ -aminolevulínico desidratase (ALAD), que é uma enzima presente em todas as células incluídos os eritrócitos e atua na síntese do heme promovendo a adição assimétrica de duas moléculas de ácido δ -aminolevulinico (ALA) para formar o composto monopirrólico porfobilinogênio (HARPER, 1980, GILLIS *et al.*, 2012). Esta enzima apresenta dois sítios diferentes de ligação ao zinco (Zn) e o Pb pode substituir alguns átomos deste metal por apresentar mais afinidade pela proteína em relação ao Zn (NORDBERG *et al.*, 2007). Isto produz a inibição da atividade da enzima ALAD. O polimorfismo genético pode influenciar também a distribuição do chumbo nos eritrócitos e no plasma (MING *et al.*, 2003; MONTENEGRO *et al.*, 2006).

A excreção renal e gastrointestinal são as mais importantes, mas não únicas. A quantidade excretada, independente da via, é afetada pela idade, características da exposição e dependente da espécie (chumbo orgânico ou inorgânico). O chumbo absorvido é excretado principalmente pela urina (75-80%), cerca de 15% pelas fezes, e outras possíveis vias de eliminação são suor, descamação cutânea, cabelo e unhas (< 8%). Uma forma especial de excreção do chumbo endógeno é através do leite materno podendo representar um risco para o lactente, já que existe uma correlação entre as concentrações do chumbo no sangue e leite (ZENTNER *et al.*, 2006). Ainda de interpretação bastante peculiar é a eliminação seminal, sendo que baixos níveis de chumbo foram encontrados no sêmen de homens sem exposição específica (NRIAGU *et al.*, 2006).

Os efeitos biológicos do chumbo são os mesmos quaisquer que sejam as rotas de entrada. Apesar dos ossos serem os maiores depósitos de chumbo, os primeiros efeitos adversos são observados no sistema nervoso, medula óssea e rins, órgãos críticos na exposição ao chumbo, sendo que os distúrbios na função do sistema nervoso (SN) e os desvios na síntese do heme são considerados como efeitos tóxicos críticos (HARPER, 1980; NORDBERG *et al.*, 2007). A exposição crônica a baixos níveis de Pb, como a que se pode dar nos resíduos de disparo, tem produzido muitos trabalhos recentemente, dentre eles os que demonstram efeitos adversos na memória (ASA-MÄKITAIPALE *et al.*, 2009) e correlação com sintomas de ansiedade fóbica (EUM *et al.*, 2012), efeitos na função motora fina (GRASHOW *et al.*, 2013) e até sintomas psiquiátricos (RAJAN *et al.*, 2007). Outros estudos tentam estabelecer uma relação com o mal de Parkinson (WEISSKOPF *et al.*, 2010), e problemas mentais (WEUVE *et al.*, 2006) assim como problemas neurocognitivos (KHALIL *et al.*, 2009) e baixo coeficiente intelectual (IQ) e comportamento violento (NEVIN, 2000).

O Pb induz às mudanças nos eletrólitos do sangue (Na, K, Ca, P), no metabolismo mineral (Zn, Cu, Mn, Al, Si), de carboidratos e de lipídeos (com inibição das enzimas contendo -SH), no metabolismo da síntese de proteínas e dos ácidos nucleicos DNA e RNA, na utilização de vitaminas, na produção de certos hormônios, entre outros (SCHÜTZ *et al.*, 1996; GILLIS *et al.*, 2012). Estudos demonstraram relação entre os níveis de chumbo em sangue e a morte por diversas causas, especialmente doenças cardíacas e câncer (SCHOBER *et al.*, 2006). Os efeitos cardiovasculares da exposição crônica a baixos níveis de chumbo têm sido

demonstrados por estudos recentes (VAZIRI, 2008). Em adultos tem se demonstrado uma correlação direta entre aumento dos níveis de chumbo no sangue na faixa do 5-20 µg/dL e o aumento da pressão sanguínea em 1,25 mmHg por cada 5 µg/dL (FEWTRELL *et al* 2003) e problemas relacionados com uricemia e a função renal ainda com pequenos aumentos dos níveis de Pb (WU *et al.*, 2002).

Os efeitos para a saúde da exposição ao chumbo segundo os níveis presentes no sangue foram resumidos pela OMS (FEWTRELL *et al.*, 2003):

- **5-9 µg/dL:** possíveis efeitos adversos sugeridos por estudos epidemiológicos
- **10-19 µg/dL:** possibilidade de aborto espontâneo, baixo peso do neonato, alterações na pressão arterial e possíveis disfunções renais
- **20-39 µg/dL:** aborto espontâneo, baixo peso do neonato, alterações na pressão arterial e possíveis disfunções renais, sintomas não específicos como dor de cabeça, fadiga, anorexia, constipação, diarreia, mialgia, possíveis efeitos na memória e dificuldades na atenção.
- **40-79 µg/dL:** aborto espontâneo, baixo peso do neonato, alterações na pressão arterial e possíveis alterações na espermogênese, anemia, dano renal, neuropatia, efeitos no SNC.

Outro importante aspecto da toxicidade deste metal é o efeito em crianças e neonatos (NAVARRETE *et al.*, 2000 , JAROSINKA *et al.*, 2006), o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos EUA determinou um nível máximo de segurança para chumbo em sangue na população infantil de 10 µg/dL (AL-SALEH *et al.*, 2008, RAGHUNATH *et al.*, 2000).

2.4.2 Antimônio

O antimônio é um metal prateado brilhante de dureza mediana, número atômico 51, peso atômico 121,8, ponto de fusão 631°C, ponto de ebulição 1750 °C e estados de oxidação 0, -3, +3, +5.

Os compostos mais conhecidos são a estibina (SbH₃) que é um gás inodoro, o trióxido de antimônio (Sb₂O₃), trissulfeto de antimônio (Sb₂S₃), tricloreto de antimônio (SbCl₃), pentassulfeto de antimônio (Sb₂S₅), tartrato de potássio e antimônio (C₈H₄K₂O₁₂Sb₂.3H₂O) e pentóxido de antimônio (Sb₂O₅).

Os usos mais frequentes do antimônio são como agente de dureza em ligas com chumbo como componente principal, fabricação de placas para baterias e fabricação de projéteis para armas de fogo onde também está ligado ao chumbo. O trióxido de antimônio é usado como agente retardante de chama em plásticos, borrachas, têxteis, papéis, tintas e como aditivo em vidros e cerâmicas. O trissulfeto de antimônio é usado em explosivos, pigmentos e outros. O antimônio pentavalente tem sido usado durante anos no tratamento da leishmaniose (WYLLIE *et al.*, 2004).

Em geral as intoxicações agudas e crônicas do antimônio são decorrentes de exposição industrial (KENTNER *et al.*, 1995; IAVICO *et al.*, 2002). Os efeitos no sistema respiratório podem afetar os pulmões provocando tosse, pneumoconiose e sintomas de enfisema sendo estes efeitos conhecidos como antimoniose (NORDBERG *et al.*, 2007). Na pele, o antimônio pode causar dermatose principalmente quando se combina exposição ao calor e suor e também está associado com arritmias cardíacas (SULLIVAN; KRIEGER, 1992; VASQUEZ *et al.*, 2006).

Em relação à carcinogenicidade a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) considera os estudos inconclusivos até o presente e os compostos como trióxido de antimônio (Sb_2O_3) são classificados como possivelmente carcinogênicos (ATSDR, 2005). A dificuldade de avaliar o potencial carcinogênico do Sb se deve ao fato deste metal estar frequentemente associado a outros metais como chumbo e arsênio. Outra fonte de exposição ao Sb são os medicamentos usados para tratamento da leishmaniose ((VÁSQUEZ *et al.*, 2006).

2.4.3 Bário

O bário é um metal dúctil, branco e prateado que funde a 725°C, apresenta número atômico 56, peso atômico 137,3 sendo o mais pesado dos metais alcalino terrosos (grupo IIA da tabela periódica). Nas misturas, o bário se apresenta como um íon positivo di valente. O acetato, cloreto, hidróxido e nitrato de bário são relativamente solúveis em água, enquanto que o carbonato e sulfato são muito pouco solúveis, sendo a solubilidade aumentada pelo pH ácido.

Dentre os compostos de bário, o sulfato de bário (barita) é o mais usado sendo empregado como lubrificante nas brocas de perfuração petrolífera, ligas

metálicas, vidro, cimento, cerâmicas, eletrônica, raios X, medicamentos, fogos de artifício, aditivo de óleo lubrificante, soldaduras especiais, refinação de açúcar, fabricação de papel e pigmento de tintas. Ainda é usado na formulação de rodenticidas, inseticidas e cremes depilatórios (NORDBERG *et al.*, 2007).

A toxicidade do bário depende da sua solubilidade, o íon livre é absorvido rapidamente pelo pulmão ou pelo trato gastrointestinal sendo acumulado nos ossos e nas partes pigmentadas dos olhos, enquanto o sulfato de bário não é absorvido.

A exposição aguda ou crônica aos sais de bário pode causar intoxicação renal, hipertensão e problemas cardíacos. O íon Ba^{2+} é tóxico para o músculo causando estimulação musculoesquelética, intestinal e cardíaca seguida de paralisia. O bário parece atuar como antagonista do potássio e agonista do cálcio, em intoxicações ocorre hipocalcemia e a infusão de potássio pode ser empregada como tratamento de suporte. Em caso de envenenamento por via oral, sais solúveis de sulfato são administrados rapidamente formando precipitado de sulfato de bário impedindo, assim a absorção pelo trato gastrointestinal. A inalação de sulfato de bário em pó causa uma pneumoconiose benigna conhecida como baritose que pode ser vista nos raios X, mas não compromete a função pulmonar (DALLAS; WILLIAMS, 2001).

2.5 Matrizes biológicas para o estudo dos efeitos dos resíduos de disparo.

Após ser absorvido, o chumbo é distribuído ao organismo pelo sangue, assim a concentração de chumbo no sangue total é aceita pelas agências regulamentadoras como indicador de exposição. Apesar de a amostragem constituir uma matriz invasiva para o trabalhador, o sangue apresenta a vantagem de indicar a exposição recente do chumbo, sendo de grande valor interpretativo. Além disso, a toxicodinâmica do chumbo têm como sítio alvo os eritrócitos mostrando grande afinidade pela enzima ácido δ -aminolevulinico sendo que a concentração deste metal no sangue indica de forma mais fidedigna o potencial de intoxicação do indivíduo (SAKAI, 2000; SCHUTZ *et al.*, 1996). Ainda, o chumbo no sangue tem uma meia vida biológica de trinta dias de modo que pode servir como indicador de exposição recente, sendo representativo da concentração em tecidos moles (NORDBERG *et al.*, 2007).

A concentração de Pb na urina tem sido usada amplamente para a monitoramento biológico. O chumbo é excretado na urina através de filtração glomerular. Há uma clara associação entre o chumbo na urina e no sangue (BERGDAHL *et al.*, 1997; GULSON *et al.*, 1998), mas a variabilidade é muito grande dificultando inferência da concentração no sangue a partir da concentração na urina, ao menos em parte, esta dificuldade é devida às variações na diluição das amostras, por exemplo, a correção por creatinina que depende da massa muscular e pode ser influenciada pela ingestão de alguns alimentos como, por exemplo, carne (SUWAZONO *et al.*, 2005), variabilidades estas que também dificultam a comparação entre indivíduos de diferentes gêneros ou idades.

O chumbo é também excretado pela saliva, o que pode ser a razão da mancha preta na gengiva dos trabalhadores expostos ao chumbo, conhecida por “linha de Burton” (BARBOSA *et al.*, 2006). O conteúdo de chumbo na saliva representa menos do 1% ao encontrado no sangue (S-Pb) (KOH *et al.*, 2003) o que dificulta o seu uso como bioindicador. Apesar disso, o uso da saliva pode ter valor interpretativo como indício de exposição para determinar padrões de respiração durante o exercício físico, considerando que alguns indivíduos respiram pela boca quando estão se exercitando o que vai determinar diferenças na quantidade de chumbo inalado e eventualmente ingerido.

Apesar dos indicadores de dose interna (chumbo no sangue total, soro e urina) e os indicadores de efeito (ácido delta aminolevulínico na urina-ALA-U, ácido delta aminolevulínico desidratase-ALAD, zinco protoporfirina-ZPP e protoporfirina eritrocitária-PE), serem utilizados, todos têm algum tipo de limitação (BARBOSA *et al.*, 2005). No caso dos indicadores de efeito apresentam uma boa correlação com o Pb no sangue total só nos casos de exposição alta, acima dos 25 µg/dL mas não são considerados bons indicadores de efeito quando os níveis de chumbo no sangue estão abaixo deste nível (MONTENEGRO *et al.*, 2006).

No caso dos indicadores de dose interna, apesar do chumbo na urina apresentar correlação com o chumbo presente no sangue total, existe variações que são devidas às mudanças no fluxo urinário durante o dia (NORDBERG *et al.*, 2007).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral:

Gerar informação sobre os níveis de exposição ocupacional aos resíduos de diferentes tipos de armas de fogo nos estandes fechados de disparo, propondo um protocolo de normalização para diminuir o risco associado ao uso destes por parte dos profissionais da segurança.

3.2 Objetivos Específicos:

- Mapear o conteúdo dos metais que compõem os GSR (Pb, Sb e Ba) no meio ambiente nos estandes de treinamento da Polícia Militar de São Paulo da Escola da Polícia Militar e no Laboratório de Balística Forense da Polícia Científica da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo.
- Propor um modelo de monitoramento biológico dos Instrutores de disparo e dos alunos do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar de São Paulo da Escola da Polícia Militar e no Laboratório de Balística Forense da Polícia Científica da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo.
- Avaliar o uso de bioindicadores de dose interna (sangue e urina) e de saliva como indicador de exposição.
- Estabelecer as recomendações visando normalizar o uso dos estantes fechados de disparo em locais comparáveis aos estudados, em concordância com os diferentes tipos e modos de exposição, levando em conta as diferenças na intensidade e na frequência das exposições assim como os comportamentos seguros de trabalho.
- Propor uma metodologia de monitoramento ambiental e biológica adequada e de baixo custo adaptada as circunstâncias e particularidades dos diferentes cenários de exposição.

4. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

O exercício da atividade profissional de agentes de segurança exige um contínuo e intenso treinamento com armas de fogo, assim, esses profissionais podem ficar expostos a uma grande quantidade de resíduos de disparo contendo metais potencialmente tóxicos. Esta situação é preocupante, considerando a ausência nas normas e recomendações para diminuir ou prevenir esta forma de exposição e a falta de normas de uso de estantes fechados de disparo, normas de comportamento nestes ambientes e Higiene Profissional, sobre todo quando os treinos são intensos, com grande esforço físico e são usadas armas pesadas com diferentes tipos de munições e se produzem grandes quantidades de resíduos.

Assim fazem-se necessários estudos que coloquem em evidência a situação ocupacional nestes ambientes e que tragam subsídios tanto para construção das áreas de treinamento assim como para o seu uso.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A estratégia de amostragem foi desenhada especialmente para cada caso, tendo em conta as atividades desenvolvidas nos estantes estudados. No caso do Laboratório de Balística Forense da Polícia Científica da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo, devia-se adotar uma amostragem representativa dos diferentes dias de trabalho rotineiro no núcleo de balística forense, aonde chegam diferentes tipos e quantidades de armas todos os dias, para serem testados no estante ou na sala de recuperação de projeteis. Por outro lado na sala dos peritos realizam se atividades diferentes aos disparos propriamente ditos, como elaboração dos laudos e revisão do armamento. Por todo isto deve se posicionar um dispositivo de amostragem em cada um destes ambientes durante uma semana consecutiva.

No caso do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar de São Paulo da Escola da Policia Militar tínhamos um panorama diferente, pois o curso no estante fechado durava só três dias, mas o espaço do estante era muito maior e, portanto, deviam se colocar vários amostradores no ambiente do estante para garantir uma informação representativa dos resíduos presentes em todo o espaço do estante.

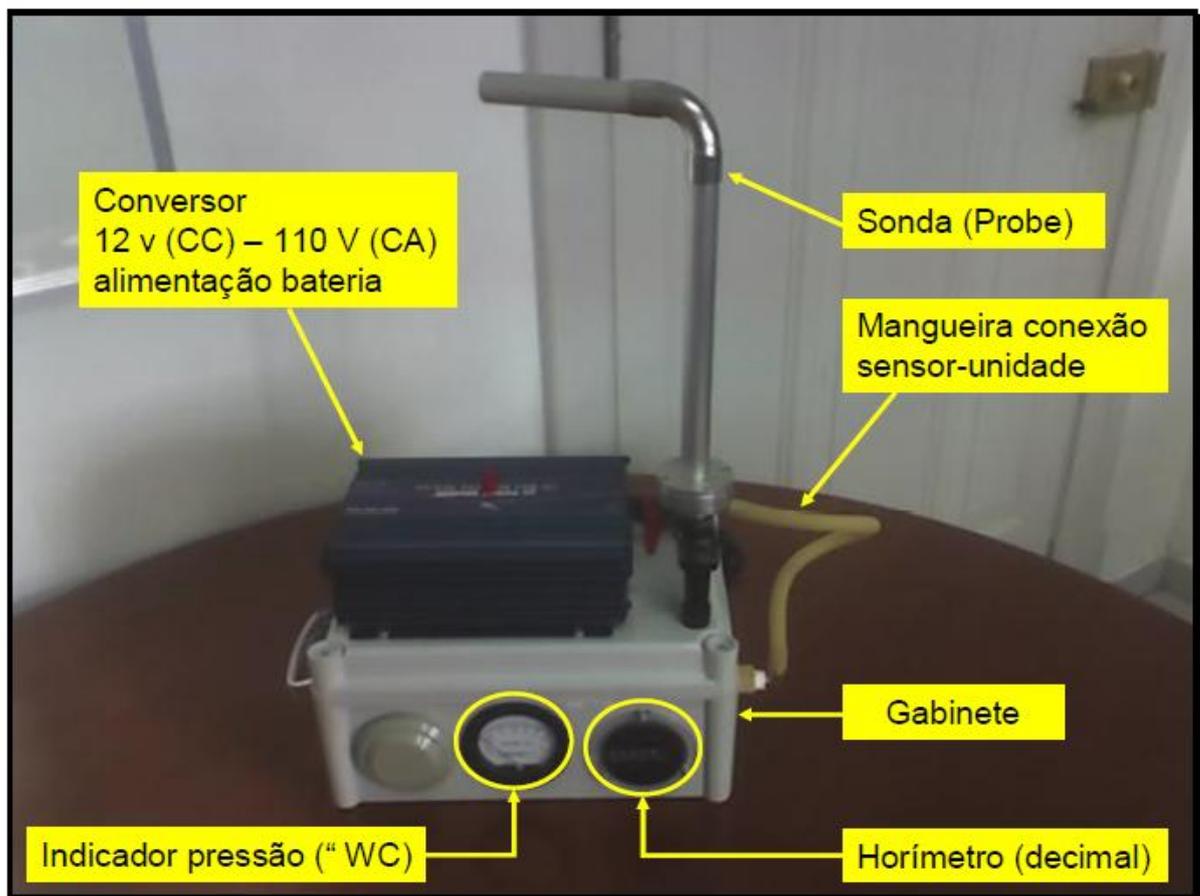
5.1 Monitoramento ambiental

A avaliação da exposição ocupacional foi feita pela mensuração da concentração no ar de Pb, Sb e Ba, que representa a exposição do trabalhador aos resíduos de disparo, seguida de comparação com os padrões estabelecidos pelas agências brasileiras e internacionais.

5.1.1 Bombas e filtros

Bombas de amostragem do ar contendo um Impactador tipo Harvard com filtros de policarbonato foram utilizadas para este propósito. Este é um equipamento de coleta de amostra que separa o contaminante do ar para posterior análise laboratorial, sendo os mais comuns por filtração em membranas de ésteres mistos de celulose ou policarbonato, estes últimos foram usados no estudo (Figura 1).

Figura 1. Imagens da bomba utilizada na amostragem do ar. Fonte: André P. A, 2008.



As calibrações do fluxo foram feitas a 1,8 L/min. Foram usados tubos de silicone para as conexões e controle do tempo de exposição com ajuda de um horímetro.

5.1.2 Laboratório de Balística do Instituto de Criminalística (IC) de São Paulo

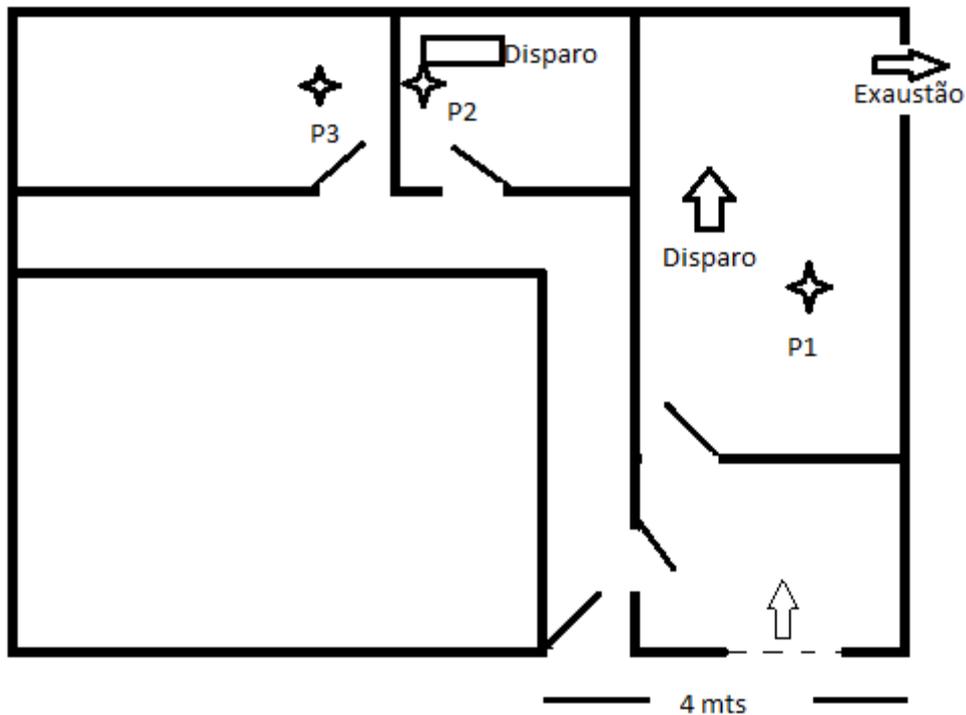
Visando estudar diferentes situações de intensidade e frequência, nas quais existe exposição aos resíduos de disparo foi escolhido o estante fechado de disparo do Laboratório de Balística do IC na cidade de São Paulo. As bombas de amostragem foram fixadas em três locais de trabalho, iniciando às 8 horas e finalizando às 17 horas, ao final do expediente, sendo que nesses locais os trabalhadores normalmente permanecem 8 horas/dia. A distribuição das bombas foi como segue:

- Um ponto na sala do estande de disparo P1
- Um ponto na sala de recuperação de projeteis (tanque de água) P2
- Um ponto na sala dos peritos balísticos onde realizam os informes periciais P3.

O ar nas imediações externas no prédio onde se encontra o laboratório de balística foi coletado em um único dia como amostra controle.

A posição dos filtros está descrita no esquema e sinalados por estrelas (Figura 2):

Figura 2. Esquema das posições das bombas de amostragem do ar no Laboratório de Balística. Fonte: Diaz, 2014.



Durante os seis dias que foram realizadas as amostragens do ar entraram no núcleo de balística 181 armas de diversos calibres (.22, .32, .38, .357 Magnum, 6,35 mm, 7,65 mm, 9 mm, .380, .40, .45) para serem testadas. A média de tiros para testes é de 3, concluindo-se que houve aproximadamente 543 tiros no estante fechado durante o período de 15 ao 25 de outubro.

5.1.3 Centro de Treinamento na preservação da vida - Polícia Militar do Estado de São Paulo

O segundo cenário de exposição aos GSR, diferente do caso dos peritos balísticos, é o estante fechado onde se leva a cabo o Curso de Treinamento na Preservação da Vida recebido pelos alunos da Polícia Militar que se preparam para se converter em treinadores de tiro nessa instituição. Inicialmente a Polícia Militar estabeleceu contato com o nosso grupo de pesquisa visando obter uma assessoria para o projeto dos estantes de tiro onde estes cursos seriam ministrados no estado de São Paulo. Em reunião conjunta com representantes da Polícia e nossa equipe

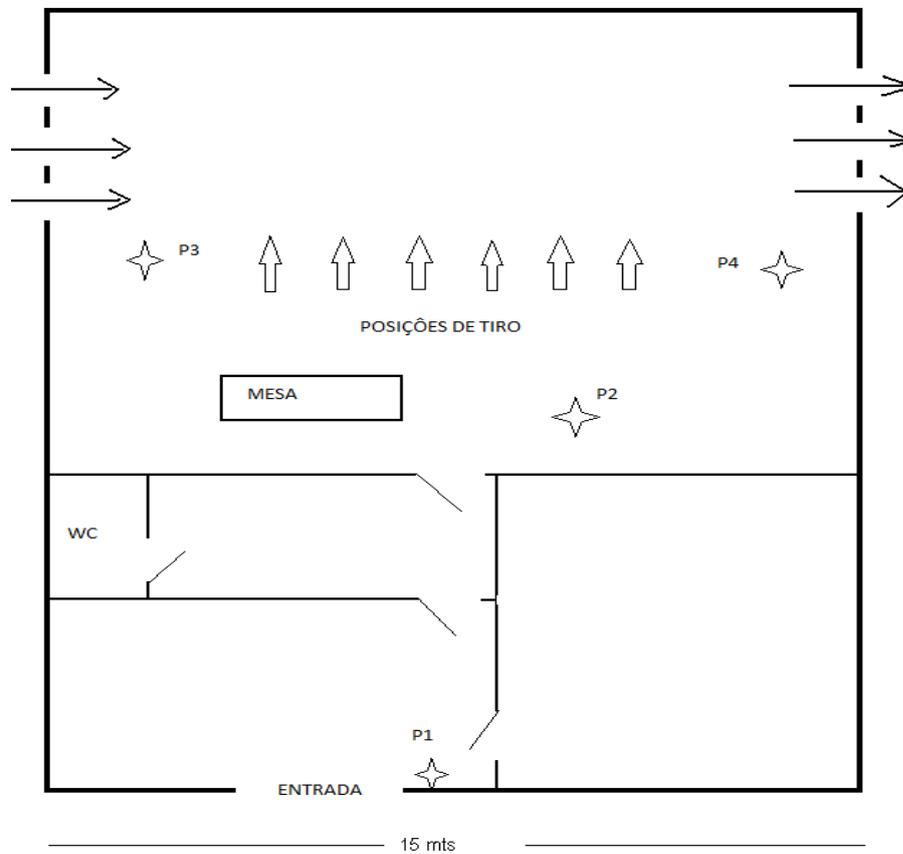
de pesquisa ficou claro que o desenho do estante não poderia ser feito antes de conhecer em detalhe as atividades realizadas durante o Curso de Treinamento na Preservação da Vida baseado no método do Coronel Giraldi (GIRALDI N., 2008). Esse treinamento exige do policial a adoção de diversas posições para efetuar disparos, em pé, ajoelhado, agachado, deitado ou híbrido, além de efetuar deslocamentos e giros com armas pesadas de grosso calibre e armas leves comumente usadas no exercício da atividade policial. A complexidade dos exercícios acaba expondo, em diferentes situações, aos alunos e treinadores.

Dessa forma, estabeleceu-se a realização simultânea de uma avaliação ambiental (baseada em coletas de testemunhos atmosféricos do estante durante os treinos) e um monitoramento biológico com os indivíduos expostos com o objetivo de avaliar se as condições do estante atual podiam comportar o tipo de exercício ao qual são submetidos os profissionais militares e, conseqüentemente, aos resíduos produzidos durante o curso, considerando que podia haver uma intensa produção de resíduos em um curto período de tempo.

Assim, bombas de amostragem foram situadas em quatro pontos estratégicos dentro do estante. Um ponto (p1) na entrada do prédio onde se encontra o estante (amostra controle) e três pontos no interior do estante fechado, de modo a não atrapalhar as manobras na área de treino. Foram posicionados: (a) um ponto logo depois da porta de ingresso (p2), (b) um ponto na zona de disparos embaixo da entrada de ar do sistema de ventilação (p3) e (c) um ponto na zona de disparos em baixo dos exaustores do sistema (p4).

A posição dos filtros está descrita no esquema e sinalados por estrelas (Figura 3):

Figura 3. Esquema das posições das bombas de amostragem durante o curso de treinamento no estande de disparo da Polícia Militar. Fonte: Diaz, 2014.



A amostragem ambiental teve início na noite imediatamente anterior ao curso de treinamento, assim os filtros foram colocados no domingo, dia 24 de junho às 18:00 horas. Houve uma primeira troca do filtro no dia 25 de junho às 8:00 horas imediatamente antes do início do curso de treinamento e durante três dias os filtros das bombas foram substituídos por um novo filtro no final da tarde (às 18:00 horas), sendo colocado um filtro novo pela manhã, antes do início do curso, às 8:00 horas, até o final do treinamento. Desta forma, foram obtidos filtros provenientes da amostragem do ar durante o dia (geração do GSR) e durante a noite de modo a avaliar a capacidade do sistema de exaustão para limpar o ar de um dia para o outro.

Durante o curso Treinamento na Preservação da Vida da Polícia Militar, foram realizados exercícios no uso das armas e munições listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tipos de armas, munições e quantidade de disparos realizados.

Data	Tipo de arma utilizada	Calibre	Disparos
25/jun	Pistola, Taurus, PT 24/7 e PT 640	.40 S&W EOPP	4225
26/jun	Metralhadora Taurus MT40	.40 S&W EOPP	3805
27/jun	Espingarda CBC 586.2	12- 3T e 12-SG	1685

5.1.4 Preparação das amostras

Os filtros de polycarbonato coletados no Laboratório de Balística foram pesados no Laboratório de Análises de Processos Atmosféricos (LAPAt), no Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, usando uma balança Mettler MT5. A pesagem foi feita em temperatura e umidade controlada (20 °C e 40 %). Depois da amostragem, os filtros foram pesados novamente e analisados. A digestão das amostras foi procedida segundo o método NIOSH 7105, assim as amostras foram diluídas com água deionizada, adicionadas de padrão interno, índio (In) e irídio (Ir) na concentração de 1 ppb e analisadas no laboratório limpo do Laboratório de Caracterização Química e Isotópica utilizando um espectrômetro de massa de alta resolução com plasma acoplado indutivamente (High Resolution Inductively coupled Plasma Mass Spectrometer HR ICP MS) marca Finnigan, modelo ELEMENT 1 para a medição de Pb, Sb e Ba.

As amostras tomadas do ar no estande de disparo do Centro de Treinamento na Preservação da Vida da Polícia Militar foram preparadas adotando-se o mesmo procedimento descrito para as amostras do Laboratório de Balística sendo, posteriormente submetidas à análise nos Laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) utilizando um espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer GF-AAS) para os elementos Pb e Sb e um espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer ICP-AES) para o análise de Ba. Para garantir a qualidade dos resultados foi analisado o padrão de referência NIST SRM 2783. Os Laboratórios do Centro de Química e Meio Ambiente (CQMA) e de Caracterização Química e Isotópica contam com métodos

validados para a determinação quantitativa destes elementos e participam de testes interlaboratoriais.

5.2 Monitoramento biológico

A amostragem do sangue foi realizada em dias diferentes no caso dos peritos balísticos de acordo a disponibilidade de cada um. No caso dos policiais as amostras de sangue foram coletadas antes e depois do curso e as amostras de urina foram coletadas antes do curso e depois de cada dia do curso, alguns dos policiais não aportaram todas as amostras de urina. As amostras de saliva foram coletadas depois de cada sessão de treinamento, algumas amostras de saliva foram descartadas devido a presença de contaminações com alimentos.

5.2.1 Laboratório de Balística do IC de São Paulo

A população de estudo foi composta por 10 peritos balísticos que aceitaram participar do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, com idades entre 28 e 53 anos, de ambos os sexos, amostrados no período de abril a maio de 2011. Foi realizada a coleta do sangue somente uma vez para avaliação do conteúdo de chumbo, bário e antimônio.

Nove amostras de sangue provenientes de indivíduos não expostos ocupacionalmente a metais foram coletadas para comparação, sendo as mesmas denominadas branco de amostra.

Amostragem e preparação das amostras de sangue

Foram usados padrões certificados SeronormTM de sangue total para garantir a qualidade dos resultados e como controles foram analisadas amostras de testes interlaboratoriais de sangue (Wadsworth Center New York State Department of Health).

O sangue (5 mL) foi coletado da veia do antebraço por pessoal treinado e habilitado para realizar tais procedimentos. Na coleta foi utilizado tubo *vacutainer* especial para amostragem do sangue e para análises de metais em níveis de traços com EDTA como agente complexante. As amostras foram guardadas na geladeira a -20 °C até o momento do preparo para análise.

Na preparação da amostra uma alíquota de 100 μL de sangue foi transferida para tubo *Falcon* de 10 mL e pesada em balança analítica, foram adicionados 200 μL de ácido nítrico, grau analítico concentrado e bidestilado. Os tubos foram tampados e colocados em banho de aquecimento em temperatura de 70°C por duas horas, até as amostras ficarem incolores. Paralelamente foram preparados os padrões de calibração, a partir de uma amostra de sangue padrão SeronormTM, adicionada com padrões de chumbo, antimônio e bário, assim como as amostras de testes interlaboratoriais com conteúdo conhecido destes metais (Wadsworth Center New York State Department of Health). Após preparação, as amostras foram mantidas em geladeira até o momento de análise. Previamente à análise, foram adicionados água deionizada ultrapura (Milli Q®) e padrões internos de calibração índio (In) e irídio (Ir) na concentração de 2 ppb até completar o volume de 10 mL e peso total de 10 gramas verificado na balança analítica. Finalmente as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos e submetidas à análise.

Análise das amostras de sangue

As amostras foram analisadas no Laboratório de Caracterização Química e Isotópica utilizando o espectrômetro HR ICP MS marca Finnigan, modelo ELEMENT 1, usando um Nebulizador tipo Scott para amostras úmidas. As condições instrumentais foram as seguintes:

Radiofrequency Power:	1250 W
Nebulizer gas flow rate:	0,97 L min ⁻¹
Measurement units:	counts per second (cps)

Timing Parameters

Sweeps/Reading:	20
Readings/Replicate:	1
Replicates:	5
Sample time:	10 ms

5.2.2 Centro de Treinamento da Polícia Militar de São Paulo

A população de estudo inicial foi composta por 20 alunos, com idades entre 26 e 47 anos, todos do sexo masculino, sendo que um dos alunos, identificado com o número 12, desistiu de participar. Considerando que em um curso de três dias

podem ser realizados mais de 4 mil disparos no estande fechado, dos alunos foram coletadas duas amostras de sangue, a primeira antes do curso no dia 20 de junho de 2012 e a segunda depois do ultimo dia de treinamento no dia 29 de junho do mesmo ano. O grupo dos 20 treinadores, com idades entre 34 e 52 anos, todos de sexo masculino. As amostras do grupo dos treinadores foram as primeiras a serem coletadas em 31 de maio de 2012, sendo realizada apenas uma coleta antes do treinamento, pelo fato de estarem expostos regularmente aos GSR durante os cursos de treinamento ao longo do ano. Este grupo é considerado de referência. Somente dois treinadores, aqueles que aplicaram este treinamento durante o curso, foram amostrados depois, com os alunos do curso.

As amostras de urina foram coletadas somente no grupo dos alunos, pelos próprios voluntários durante a manhã do primeiro dia antes de começo do treinamento e consecutivamente toda manhã durante os três dias do curso. As amostras de saliva foram coletadas pelos mesmos voluntários logo depois do treinamento. Todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Informado (Anexo 1) e preencheram um questionário para estabelecer a morbidade referida por cada participante, baseado no questionário publicado em outro trabalho (APOSTOLI *et al.*, 2002) (ver Anexo 2).

As amostras de sangue periférico (cerca de 5 mL) foram coletadas em tubos contendo EDTA livres de metais e armazenadas à temperatura de - 20°C.

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Protocolo No. 2090 (Anexo 3).

Amostragem e preparação das amostras de sangue

O sangue (5 mL) foi coletado da veia do antebraço por pessoal treinado e habilitado para realizar tais procedimentos. Na coleta foi utilizado tubo vacutainer, especial para amostragem do sangue e para análises de metais em níveis de traços com EDTA como agente complexante. As amostras foram guardadas na geladeira a -20 °C até o momento do preparo para análise.

Na preparação da amostra uma alíquota de 100 µL de sangue foi transferida para tubo *Falcon* de 10 mL e pesada em balança analítica, foram adicionados 200 µL de ácido nítrico, grau analítico concentrado e bidestilado. Os tubos foram tampados e colocados em banho de aquecimento em temperatura de 70°C por duas horas, até as amostras ficarem incolores. Paralelamente foram preparados os

padrões de calibração, a partir de uma amostra de sangue padrão Seronorm™, adicionada com padrões de chumbo, antimônio e bário, assim como as amostras de testes interlaboratoriais com conteúdo conhecido destes metais (Wadsworth Center New York State Department of Health). Após preparação, as amostras foram mantidas em geladeira até o momento de análise. Previamente à análise, foram adicionados água deionizada ultrapura (Milli Q®) e padrões internos de calibração índio (In) e irídio (Ir) na concentração de 2 ppb até completar o volume de 10 mL e peso total de 10 gramas verificado na balança analítica. Finalmente as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos e submetidas à análise.

Análise das amostras de sangue

As amostras preparadas foram analisadas no Laboratório de Contaminantes Inorgânicos do Instituto Adolfo Lutz por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) em um Instrumento marca Agilent, modelo ELAN, utilizando um Nebulizador tipo Meinhard para amostras úmidas. As condições instrumentais foram as seguintes:

Radiofrequency Power:	1400 W
Nebulizer gas flow rate:	1,2 L min ⁻¹
Measurement units:	counts per second (cps)

Timing Parameters

Sweeps/Reading:	16
Readings/Replicate:	1
Number of Replicates:	3
Dwell time:	50 ms

A qualidade dos resultados foi avaliada pelas análises do padrão certificado Seronorm™

Amostragem e preparação das amostras de urina

As amostras de urina (10 mL) foram coletadas pelos voluntários em dois frascos coletores de material plástico, rotulados e etiquetados. Um frasco coletor foi encaminhado ao Hospital da Polícia Militar para determinação da creatinina e o outro foi armazenado em geladeira a -20°C até a preparação para análise dos metais Pb,

Sb e Ba, após adição de 500 µL de ácido nítrico concentrado para estabilizar a amostra.

Na preparação das amostras uma alíquota de 500 µL de urina foi transferida para tubo *Falcon* de 10 mL e pesada em balança analítica. Concomitantemente foram preparadas amostras controle obtidas dos testes interlaboratoriais com conteúdo conhecido destes metais (Wadsworth Center New York State Department of Health). Foi adicionada água deionizada ultrapura (Mili Q®) e os padrões internos de calibração índio (In) e irídio (Ir) na concentração de 2 ppb. Completou-se o volume para 10 mL e peso total de 10 gramas verificado na balança analítica. As amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos.

Análise das amostras de urina

As amostras foram analisadas por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) em um instrumento marca Agilent Modelo ELAN, nas mesmas condições descritas, para o análise das amostras de sangue.

Amostragem e preparação das amostras de saliva

As amostras de saliva, aproximadamente 2 mL, foram coletadas pelos voluntários diretamente em um tubo *Falcon* de 10 mL (pelo simples ato de cuspir dentro do tubo). Foram coletadas duas amostras no dia 24 de junho de 2012 sendo a primeira coletada imediatamente antes e a segunda imediatamente após o treinamento. As amostras foram armazenadas a -20 °C em geladeira até a preparação e análise.

Na preparação da amostra uma alíquota de 500 µL de saliva foi transferida para tubo *Falcon* de 10 mL e pesado em balança analítica. Foi adicionada água deionizada ultrapura (Mili Q®) e os padrões internos de calibração índio (In) e irídio (Ir) na concentração de 2 ppb. Completou-se o volume para 10 mL e peso total de 10 gramas verificado na balança analítica.

Análise das amostras de saliva

As amostras foram analisadas por Espectrometria de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) em um instrumento marca Agilent Modelo ELAN, nas mesmas condições descritas no item 5.3.2, para as amostras de sangue.

Análise estatístico dos resultados

Os resultados foram analisados empregando estatística descritiva e testes estatísticos apropriados com auxílio do programa estatístico Graph Pad Prism 5.0®.

Os dados foram expressos em media \pm desvio padrão ($x \pm dp$).

Para comparar os resultados do conteúdo dos metais no sangue do grupo de balísticos com o grupo controle e do grupo dos treinadores com o grupo dos cadetes foi usado o teste t Student não pareado. As comparações restantes foram feitas usando o teste pareado t Student. Em todas as circunstancias o erro alfa adotado foi 5% ($P \leq 0,05$).

6. RESULTADOS

6.1 Monitoramento ambiental do Laboratório da Balística

Os resultados do monitoramento ambiental realizada nas salas do Laboratório de Balística Forense da Polícia Científica da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Concentrações dos metais obtidas no monitoramento ambiental do Laboratório de Balística. $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Data	Estande disparo P1			Tanque P2			Sala peritos P3		
	Pb	Ba	Sb	Pb	Ba	Sb	Pb	Ba	Sb
15/10/2010	2,96	0,17	0,02	8,46	0,85	0,39	0,91	0,11	0,04
18/10/2010	10,33	1,41	0,45	3,52	0,55	0,14	0,14	0,04	0,00
20/10/2010	58,93	6,91	7,26	12,76	0,89	0,28	1,69	0,18	0,06
21/10/2010	0,44	0,06	0,01	2,38	0,23	0,04	0,09	0,04	0,00
22/10/2010	30,81	3,93	1,60	6,29	0,63	0,24	2,15	0,26	0,08
25/10/2010	9,33	0,15	0,16	11,44	0,54	0,23	0,44	0,05	0,01
Media	23,10	2,19	1,51	6,87	0,55	0,20	0,77	0,10	0,03
Desvio padrão	23,39	2,55	2,60	4,15	0,28	0,12	0,85	0,09	0,03

A amostra controle, coletada nas imediações do edifício do Instituto de Criminalística, apresentou níveis de $0,034 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de chumbo, $0,044 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de bário e $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de antimônio. Os resultados do monitoramento ambiental foram publicados no periódico *Forensic Science International*, v 214, p.44-47, 2012. Ver anexo 4.

6.2 Monitoramento biológico dos peritos balísticos

As concentrações dos metais determinados no sangue dos voluntários do Laboratório de Balística, expressas em $\mu\text{g}/\text{dL}$ para chumbo e em $\mu\text{g}/\text{L}$ para Sb e Ba são apresentados na Tabela 3. No caso do Ba e Sb não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

A qualidade dos resultados gerados para a matriz sangue foi garantida pelas análises do padrão certificado SeronormTM que apresentou porcentagem de recuperação para o chumbo de 95% e para o antimônio de 113%, ainda as análises das amostras de testes interlaboratoriais de sangue (Wadsworth Center New York State Department of Health) apresentou recuperação média de 96% para o chumbo.

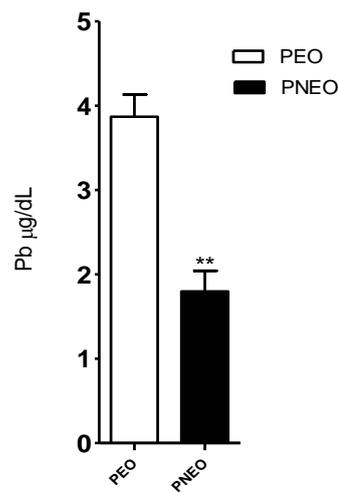
Tabela 3. Conteúdo de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) no sangue

Amostra	Pb $\mu\text{g}/\text{dL}$	Ba $\mu\text{g}/\text{L}$	Sb $\mu\text{g}/\text{L}$	Amostra	Pb $\mu\text{g}/\text{dL}$	Ba $\mu\text{g}/\text{L}$	Sb $\mu\text{g}/\text{L}$
PEO				PNEO			
1	4,7	11	3				
2	4	37	10	B1	2	3	2
3	3	14	5	B2	1,7	11	4
4	3,1	38	5	B3	1,7	3	3
5	2,9	8	3	B4	1,7	12	4
6	4,6	26	8	B5	0,8	2	1
7	4,6	2	5	B6	1,8	11	5
8	2,8	3	3	B7	2,9	19	4
9	4,8	5	4	B8	0,8	0	3
10	4,2	5	3	B9	2,8	14	4
Media	3,9	14,9	4,9		1,8	8,3	3,3
DP	0,8	13,8	2,4		0,7	6,5	1,2

PEO=pessoal exposto ocupacionalmente (peritos); PNEO=pessoal não exposto ocupacionalmente; DP=desvio padrão

A análise dos resultados mostrou diferença significativa nas médias de concentração de chumbo entre o grupo exposto (peritos balísticos) e não exposto (grupo controle) (Figura 4). Nas médias de concentração de bário e antimônio não houve diferenças significantes.

Figura 4. Comparação das médias de concentrações de chumbo no sangue de indivíduos expostos (PEO) e não expostos ocupacionalmente (PNEO). Teste *t Student* não pareado, $t_{(df=17)}=5,743$, $p<0,0001$.



6.3 Monitoramento ambiental do Centro de Treinamento da Polícia Militar

Os resultados do monitoramento ambiental realizada no estande de disparo do Centro de Treinamento na Preservação da Vida da Policia Militar durante o curso de Treinamento na Proteção da Vida realizado de 25 de junho a 27 de junho de 2012 são apresentados na Tabela 4.

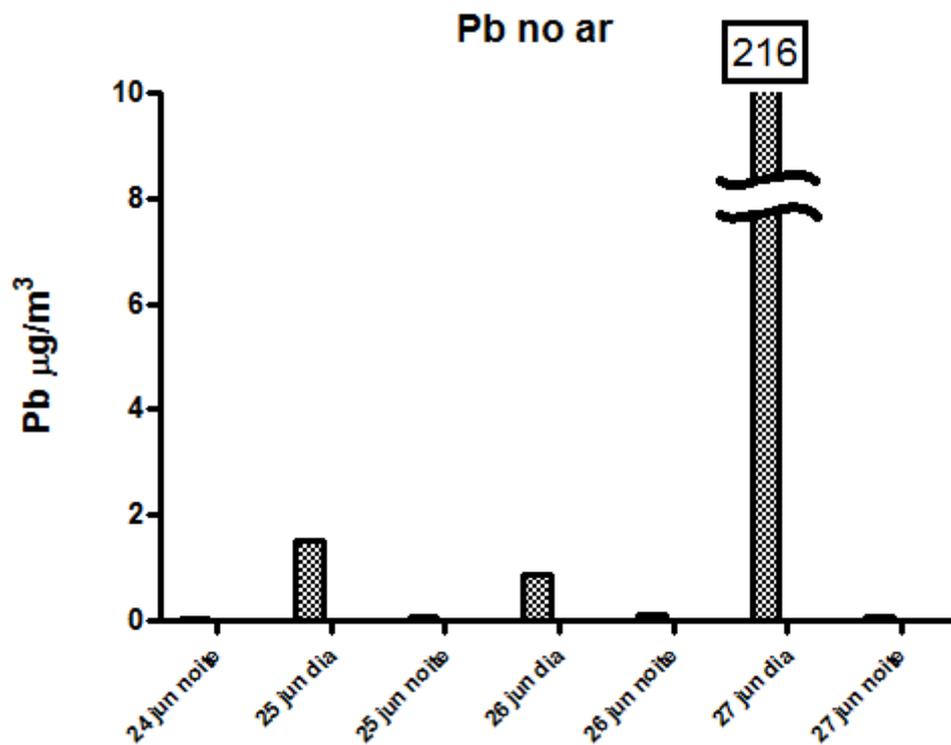
Tabela 4. Concentrações (valores expressos em média \pm desvio padrão) dos metais medidas no ar durante o Curso de Treinamento da Proteção da Vida da Polícia Militar.

Data	Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ba($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Sb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
25/junho	1,5 \pm 1,3	0,3 \pm 0,01	0,2 \pm 0,01
26/junho	0,9 \pm 1,1	0,3 \pm 0,01	0,9 \pm 1
27/junho	215,9 \pm 32	26,3 \pm 4,3	55,3 \pm 19

Os conteúdos de chumbo no ar na entrada do estante (p1) apresentaram média de $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ com desvio padrão de $0,04$ ($n=3$). Os conteúdos de Ba e Sb neste ponto estiveram abaixo do limite de quantificação da técnica utilizada.

Foram coletados os GSR do ar nas noites e dias durante o curso monitorado visando estabelecer a capacidade do sistema de exaustão para limpar o ambiente de um dia para o outro. Os resultados para o Pb, entendendo que é o componente maior dos GSR, são apresentados na Figura 5.

Figura 5. Comparação dos níveis de chumbo no ar coletado no período diurno e noturno durante o curso



6.4 Monitoramento biológica dos participantes do Curso da Polícia Militar

Os resultados da morbidade referida nas respostas ao questionário estão apresentados na Tabela 5 e foi adicionado o dado da media do conteúdo de Pb e Sb no sangue para cada grupo (PbS e SbS respectivamente).

Tabela 5. Resultados da morbidade referida nos questionários do grupo de instrutores e dos alunos e os resultados para PbS e SbS.

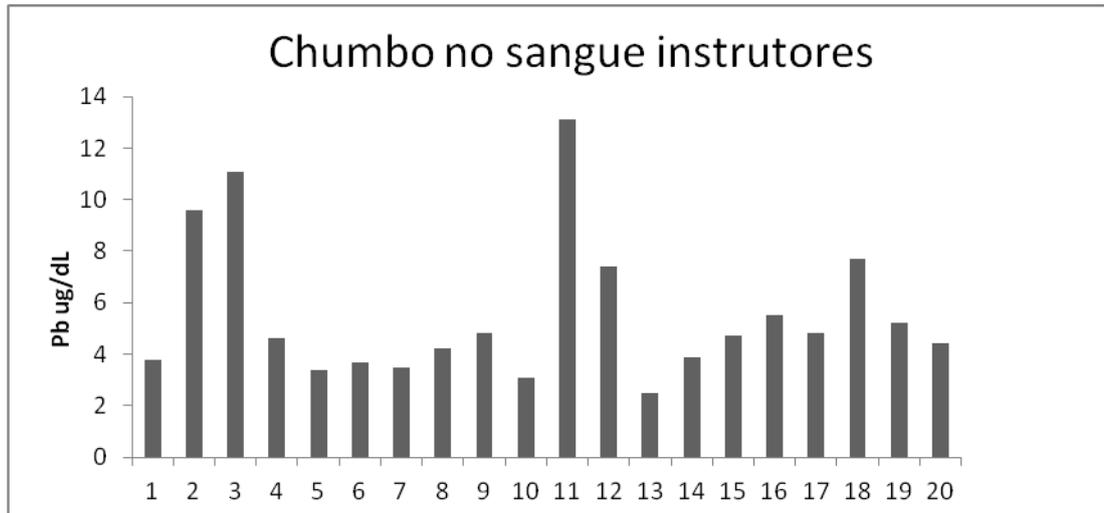
	Instrutores	Alunos
Edade +/- sd	42+/- 5	39+/-5
n	20	19
fumantes	3	3
arritmia	1	0
retocolite	1	0
memoria	2	0
fatiga	2	0
artrite	1	0
Insuf. renal	1	0
pressão alta	0	1
PbS +/- sd ($\mu\text{g}/\text{dL}$)	5,6 +/- 2,8	3,3 +/- 0,7
SbS +/- sd ($\mu\text{g}/\text{L}$)	7,0 +/- 1,2	3,9 +/- 1,0

Os resultados do monitoramento biológico dos participantes do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar de São Paulo foram publicados no periódico International Journal of Hygiene and Environmental Health, v 217, p.702-704, 2014. Ver anexo 5.

6.4.1 Sangue

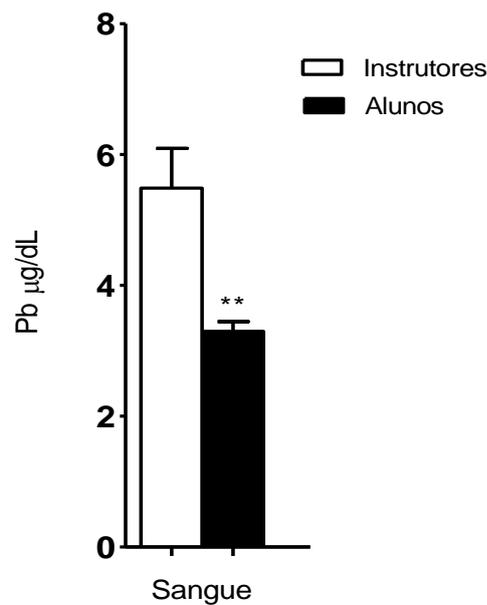
Os resultados do conteúdo de chumbo no sangue dos instrutores são apresentados na Figura 6.

Figura 6. Conteúdo de chumbo no sangue total dos instrutores da Policia Militar



A média e desvio padrão do conteúdo de chumbo no sangue do grupo de instrutores foi $5,5 \mu\text{g/dL} \pm 0,6$ ($n=20$). Enquanto a média e desvio padrão do grupo dos alunos antes do curso foi $3,3 \mu\text{g/dL} \pm 0,1$ ($n=19$). Foi verificada diferença significativa entre as concentrações de chumbo no sangue dos instrutores e alunos antes do curso (Figura 7).

Figura 7. Concentrações de chumbo no sangue no grupo dos instrutores e alunos antes do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar. Teste *t Student*, $t_{(df=38)}=3,367$, $p=0,0018$.



Considerando somente o grupo de alunos que participaram no estudo até o fim, o valor da média e desvio padrão do conteúdo de chumbo no sangue antes do curso foi de $3,3 \mu\text{g/dL} \pm 0,7$ ($n=17$) e depois do curso foi de $18,2 \mu\text{g/dL} \pm 5,1$ ($n=17$). As concentrações de chumbo no sangue dos alunos antes e depois do curso são apresentadas na Tabela 6 e ilustradas na Figura 8. As concentrações de chumbo no sangue foram significativamente maiores depois do curso (Figura 9).

Tabela 6. Conteúdo de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimônio (Sb) no sangue dos alunos antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar.

Código	Pb $\mu\text{g/dL}$		Ba $\mu\text{g/L}$		Sb $\mu\text{g/L}$	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	2,7	12,8	23,4	25,5	2,9	10,1
2	2,7	17,3	31,5	26,9	3	17
3	3,5	24,7	85,4	113,4	5,2	11,5
4	3,2	16,1	27,6	42,2	2,5	7
5	3	14,5	22	41,6	5	6,7
6	2,5	18,2	22,1	33,7	2,6	6
7	3	15,3	24,3	33,4	4,2	5,8
8	3	25,2	22	50,9	4,7	7,1
9	3,2	*	22	*	4,4	*
10	4,1	15,7	37,6	23,4	3,4	8,2
11	2,8	15,3	24,1	40,7	5,7	6,5
13	3,7	20,2	27,7	32,7	3,5	5
14	3,1	14,7	27,1	64,9	3,7	10,8
15	3,8	9,6	24,8	35,9	5,7	10
16	5,1	15,4	106,1	29,6	4,5	5,2
17	2,8	*	32,2	*	3,6	*
18	3,5	29,2	31,1	30,6	3,1	8,5
19	4,1	23,3	25,6	73,5	3,2	10,5
20	2,9	22,3	23,3	236,1	3,5	16,2
Média	3,3	18,2	34,5	55,0	3,9	8,9
DP	0,7	5,1	23,7	518	1,1	3,5

* Não participou depois do curso

Figura 8. Comparação da concentração do chumbo no sangue dos alunos antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar.

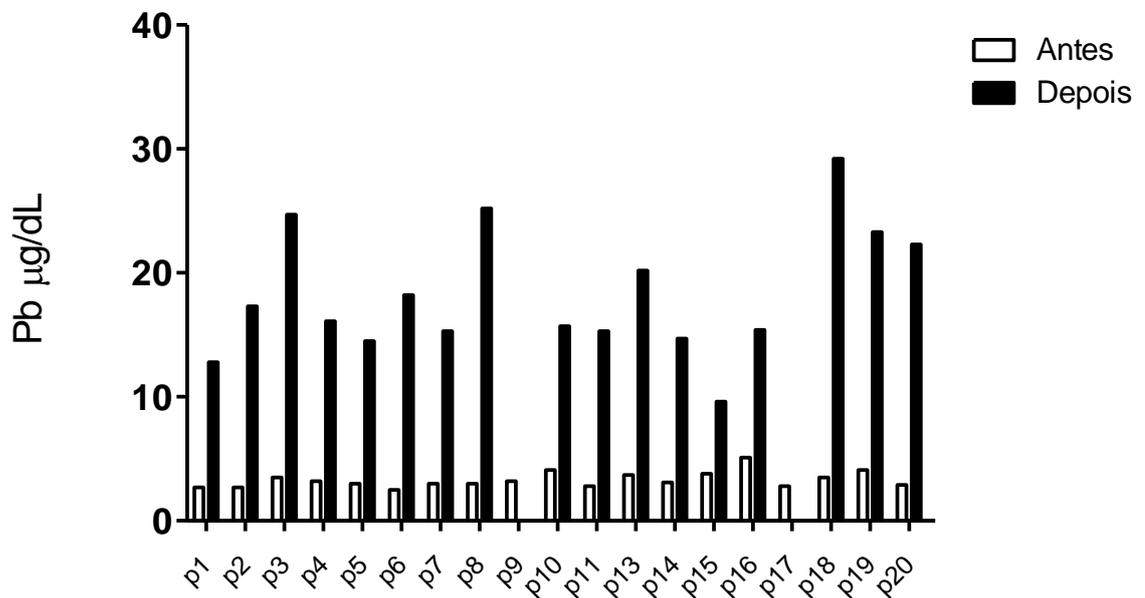
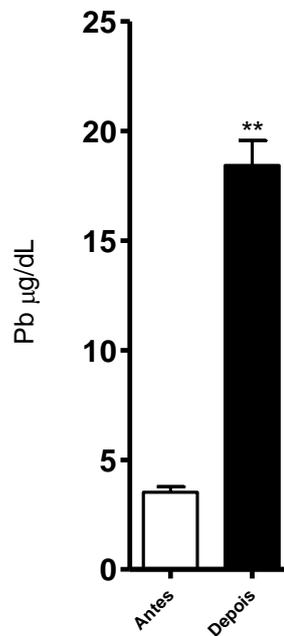


Figura 9. Comparação das médias de concentrações de chumbo no sangue dos alunos antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar. Teste *t Student*, $t_{(df=18)}=12,81$, $p<0,0001$.



As concentrações de antimônio no sangue dos alunos foram significativamente maiores depois do curso de tiro (Figura 10 e 11). Por outro lado,

não houve diferença significativa nas concentrações de bário no sangue dos alunos antes e depois do curso.

Figura 10. Comparação das concentrações de antimônio no sangue dos policiais (alunos) antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar.

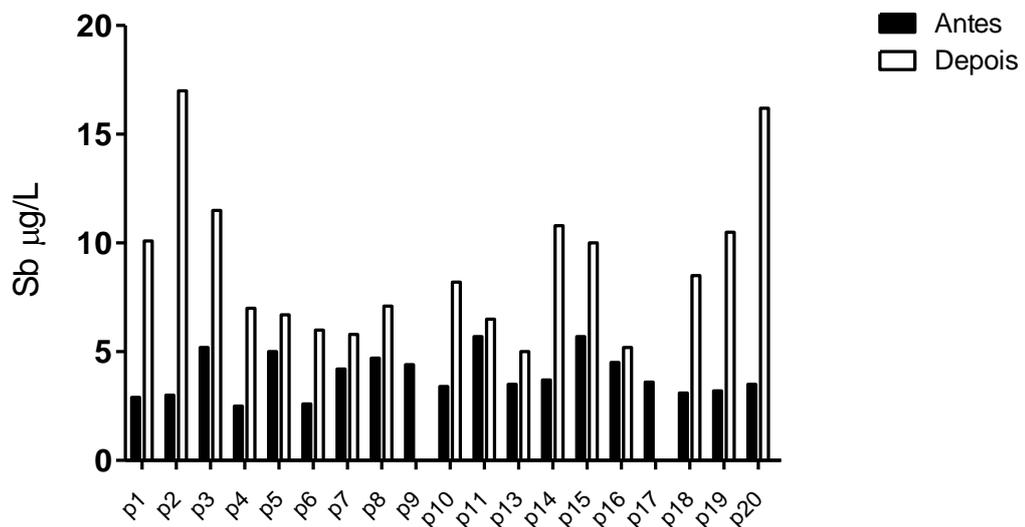
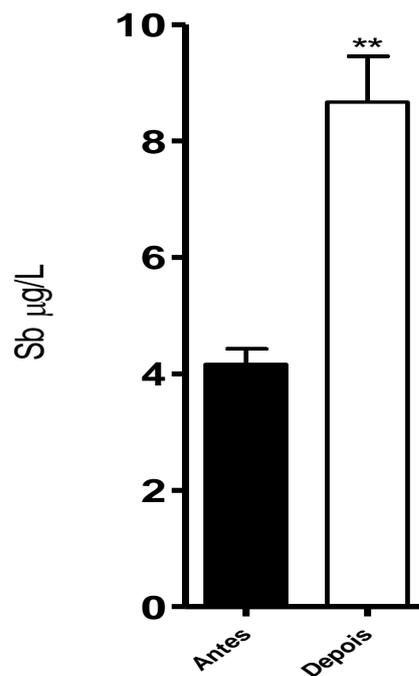


Figura 11. Comparação das concentrações de antimônio no sangue dos alunos antes e depois do Curso de Proteção da Vida da Polícia Militar. Teste *t Student*, $t_{(df=18)}=4,90$, $p=0,0001$.



A qualidade dos resultados foi garantida pelas análises do padrão certificado Seronorm™ que teve uma porcentagem de recuperação para o chumbo de 90% e para antimônio 107 %. Os dados para bário não estão especificados no certificado do padrão.

6.4.2 Urina

As concentrações dos metais foram corrigidas pela concentração de creatinina (por grama de creatinina). Foram utilizados três tipos de armas no Curso de Treinamento de Preservação da Vida, a espingarda, a pistola .40 e a metralhadora .40.

Espingarda

As concentrações de chumbo em urina antes e depois do curso de tiro com espingarda são apresentadas na Figura 12. As médias das concentrações de chumbo foram significativamente maiores após o curso de tiro com espingarda (Figura 13).

Figura 12. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com espingarda.

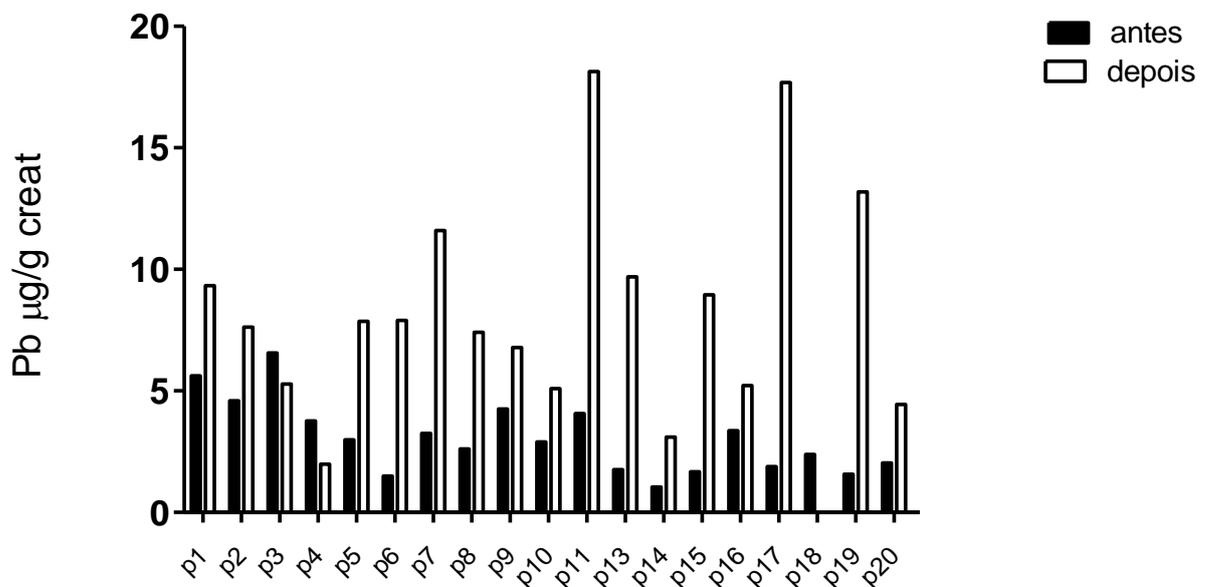
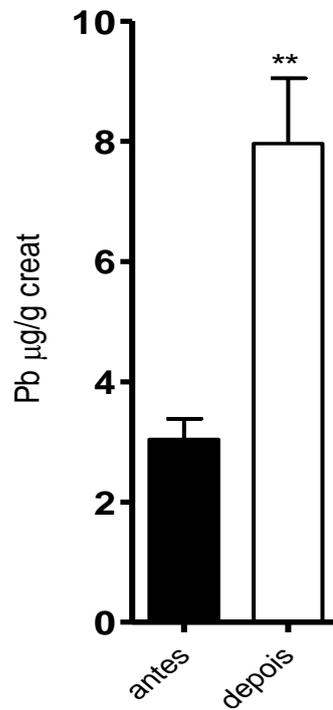


Figura 13. Concentrações de chumbo nas urinas coletadas antes e depois do curso de tiro com espingarda. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=18)}=4,3$, $p=0,0005$.



As concentrações de antimônio em urina antes e depois do curso de tiro com espingarda são apresentadas na Figura 14. As concentrações de antimônio foram significativamente maiores após o curso de tiro com espingarda (Figura 15).

Figura 14. Resultados do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela espingarda.

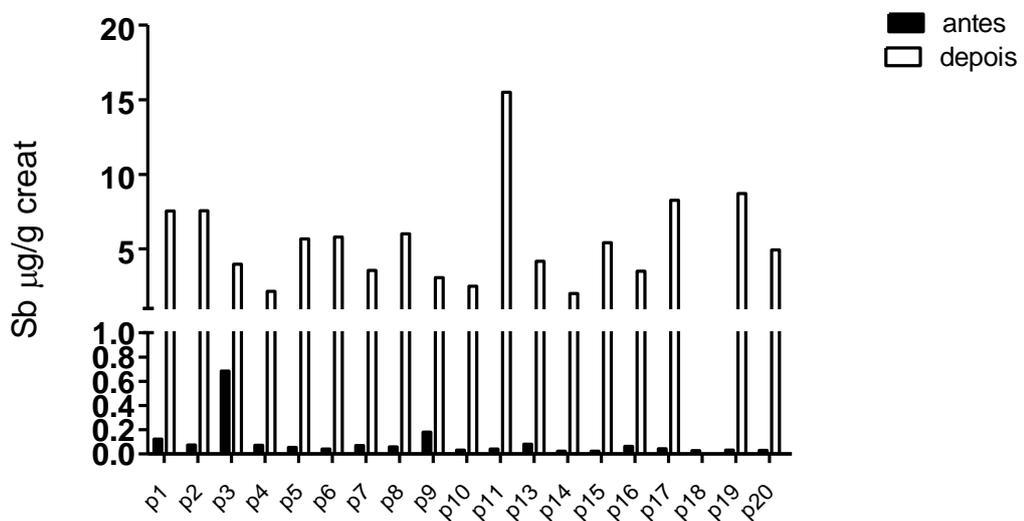
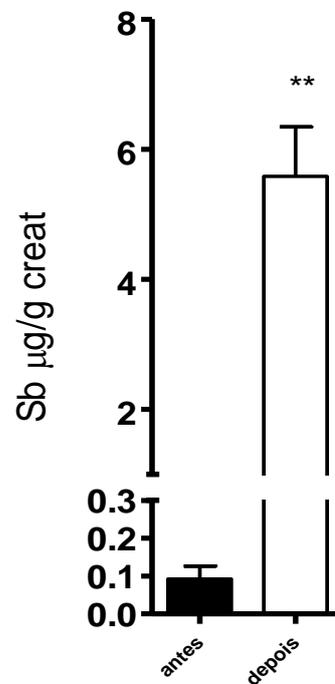


Figura 15. Diferenças nas médias do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela espingarda. Teste *t Student*, $t_{(df=17)}=7,15$, $p<0,0001$.



Pistola .40

As concentrações de chumbo em urina corrigida pela creatinina, antes e depois do curso de tiro com pistola .40, são apresentadas na Figura 16. Não houve diferença significativa no conteúdo de chumbo urinário antes e depois do curso de tiro com pistola .40 (Figura 17).

Figura 16. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com pistola .40

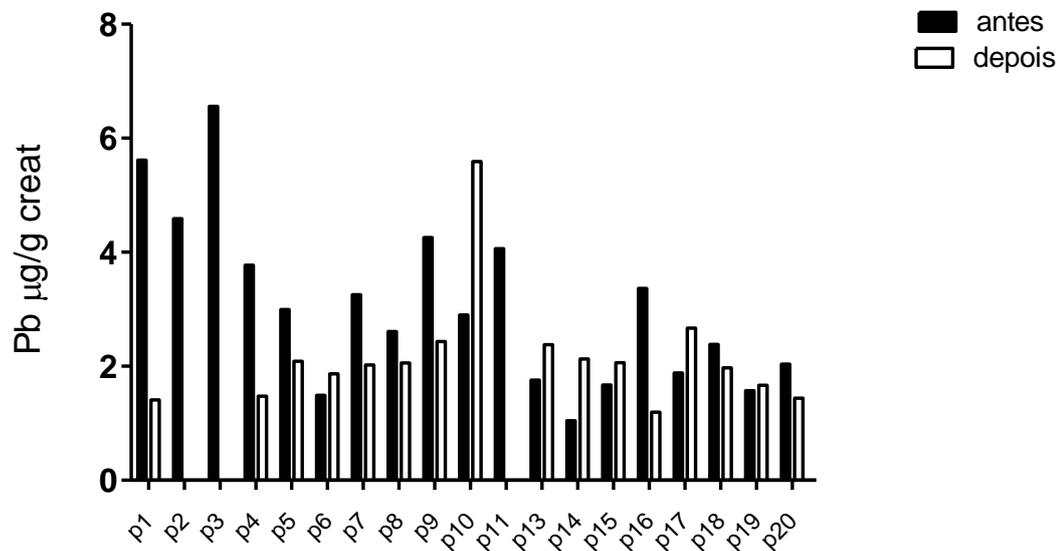
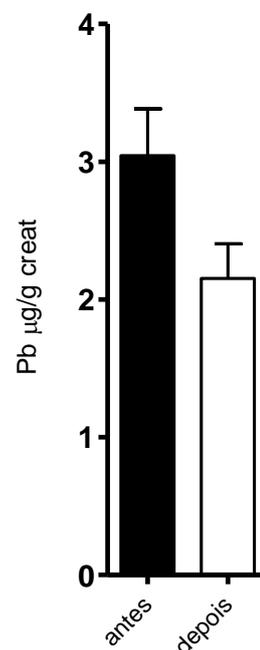


Figura 17. Comparação das concentrações de chumbo na urina antes e depois do curso de tiro com pistola .40. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=15)}=1,3$, $p=0,23$.



As concentrações de antimônio em urina corrigida pela creatinina, antes e depois do curso de tiro com pistola .40, são apresentadas na Figura 18. As concentrações de antimônio foram significativamente maiores após o curso de tiro com pistola .40 (Figura 19).

Figura 18. Conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela pistola .40.

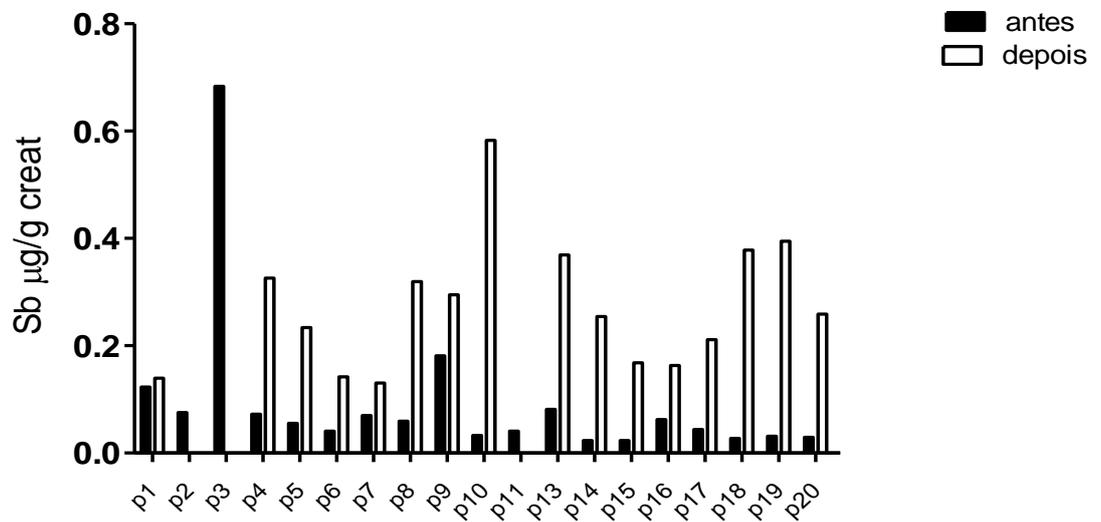
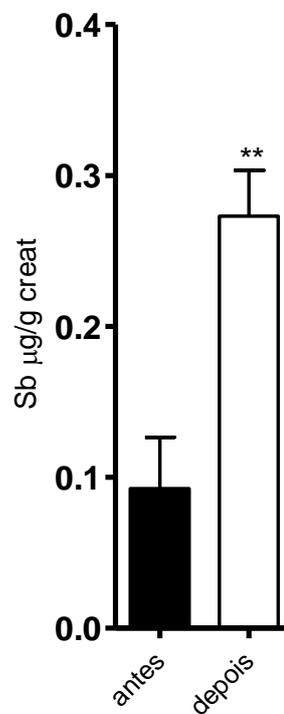


Figura 19. Diferenças nas médias do conteúdo de antimônio na urina coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela pistola .40 Teste *t Student*, $t_{(df=15)}=6,36$, $p<0,0001$.



Metralhadora .40

As concentrações de chumbo em urina corrigida pela creatinina, antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40, são apresentadas na Figura 20. Não houve diferença significativa no conteúdo de chumbo urinário antes de depois do curso de tiro com metralhadora .40 (Figura 21).

Figura 20. Comparação dos níveis de chumbo na urina coletada antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40.

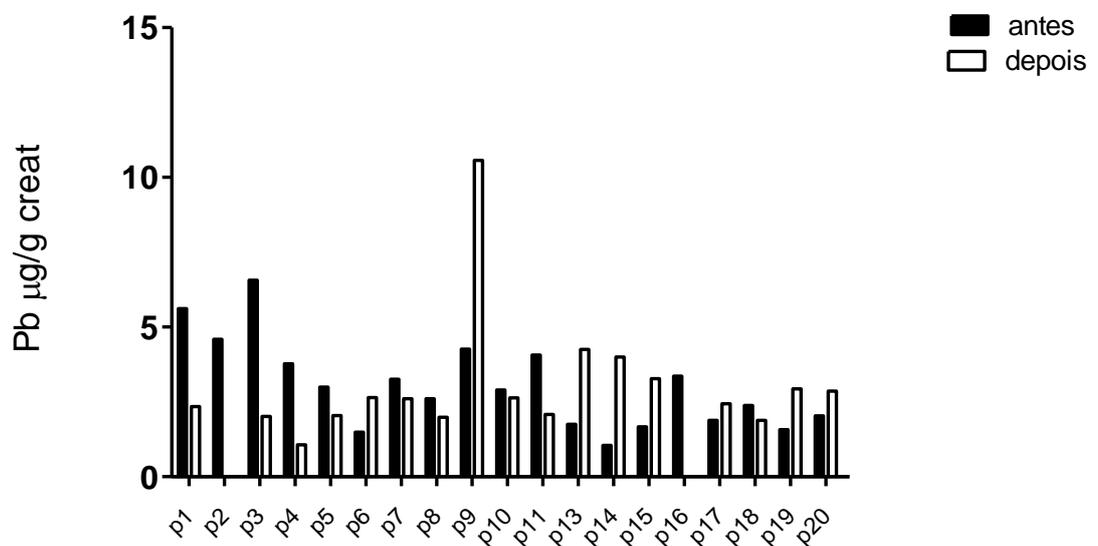
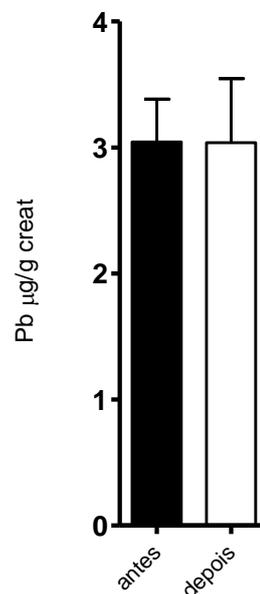


Figura 21. Comparação das concentrações de chumbo na urina antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=16)}=0,169$, $p=0,87$.



As concentrações de antimônio em urina corrigida pelas creatinina, antes e depois do curso de tiro com metralhadora .40, são apresentadas na Figura 22. As concentrações de antimônio foram significativamente maiores após o curso de tiro com metralhadora .40 (Figura 23).

Figura 22. Os resultados do conteúdo de antimônio na urina de cada indivíduo coletada antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela metralhadora .40.

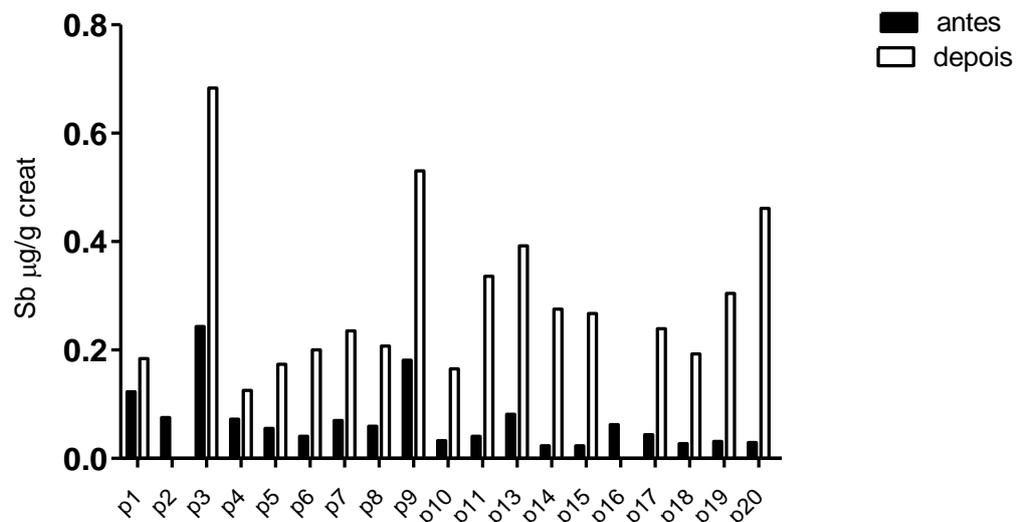
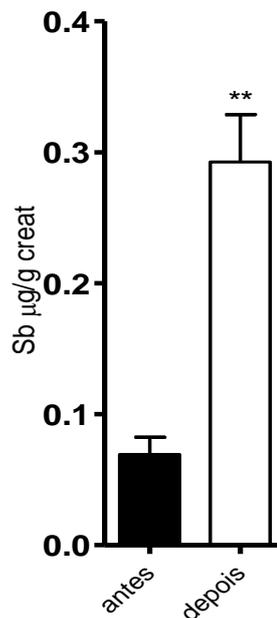


Figura 23. Resultados do teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de antimônio nas urinas coletadas antes do curso e depois da exposição aos resíduos produzidos pela metralhadora .40. Teste pareado *t* Student, $t_{(df=16)}=7,94$, $p<0,0001$.



Finalmente, não houve diferença significativa nas concentrações de bário na urina dos alunos antes e depois do curso.

6.4.3 Saliva

As concentrações de chumbo nas amostras de saliva coletadas antes e depois do curso de tiro são apresentadas nas Figuras 24, 25 e 26, para as armas espingarda, pistola .40 e metralhadora .40, respectivamente. As concentrações de chumbo foram significativamente maiores após o curso de tiro com espingarda (Figura 27), pistola .40 (Figura 28) e metralhadora .40 (Figura 29).

Figura 24. Conteúdo de chumbo na saliva coletada antes e depois do curso de tiro com espingarda.

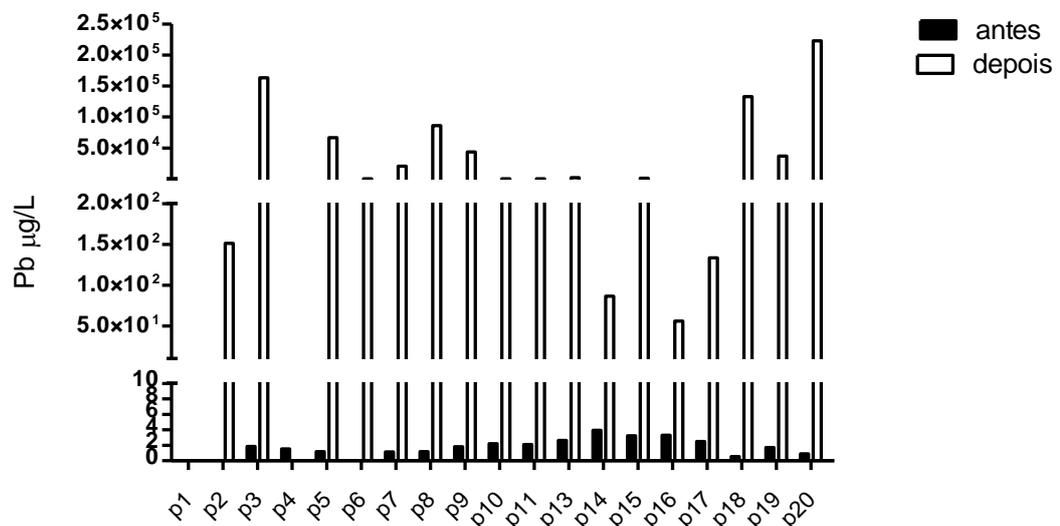


Figura 25. Resultados do conteúdo de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da pistola.

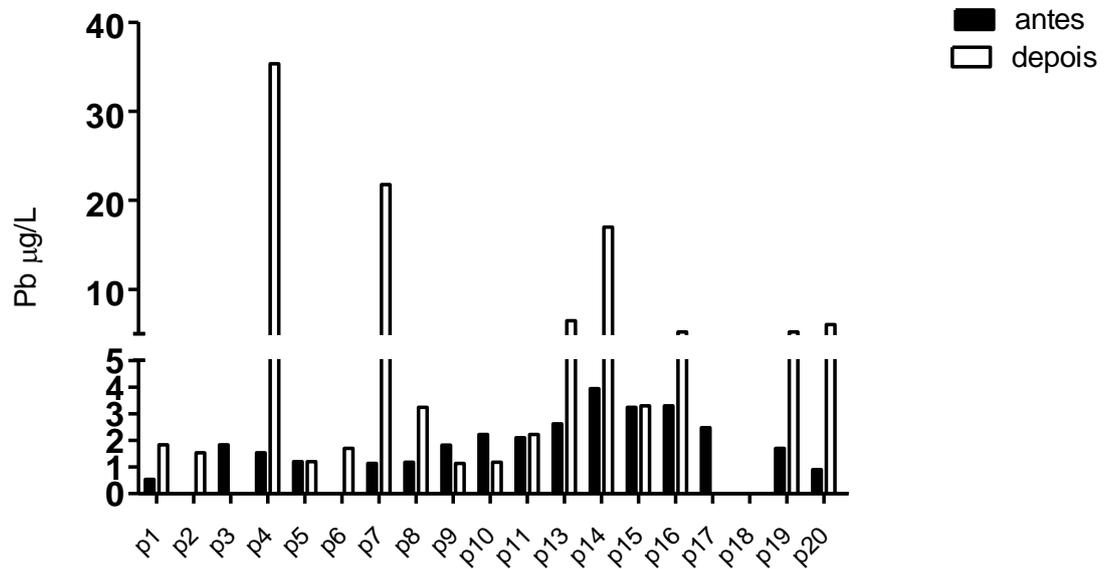


Figura 26. Resultados do conteúdo de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da metralhadora.

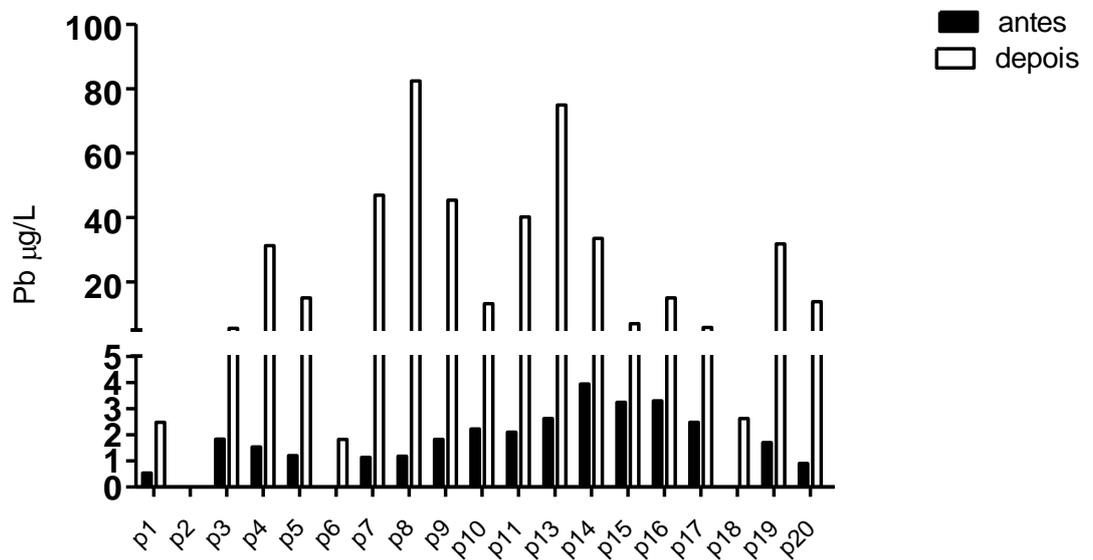


Figura 27. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da espingarda. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=14)}=2,85$, $p=0,0128$.

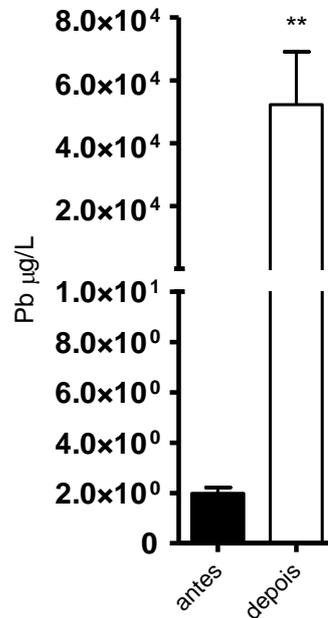


Figura 28. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da pistola. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=13)}=2,24$, $p=0,0435$.

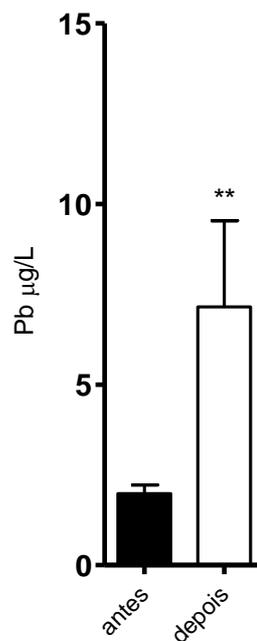
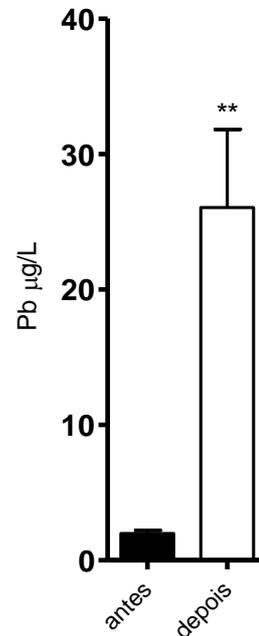


Figura 29. Teste para determinar se houve diferença estatisticamente significativa nas médias dos conteúdos de chumbo na saliva coletada antes do curso e depois do uso da metralhadora. Teste pareado *t Student*, $t_{(df=15)}=4,44$, $p=0,0005$.



7. DISCUSSÃO

7.1 Monitoramento ambiental do Laboratório de Balística do IC

Os resultados do monitoramento ambiental no Laboratório de Balística do Instituto de Criminalística demonstram os diferentes níveis de exposição aos resíduos de disparo dependendo do local que esteja sendo monitorado. Embora no estante de disparo, a exposição dos peritos pode ser considerada moderada, tendo em conta o limite de exposição no Brasil ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), considera-se que existe risco quando comparado com os níveis recomendados pela OSHA ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no dia que os níveis de chumbo atingiram $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, desta forma é possível concluir que não houve uma adequada exaustão dos GSR neste dia. Ainda a porcentagem de Pb nos resíduos foi maior que 80 % em relação aos outros metais em todos os locais de amostragem e considerando o número de disparos feitos durante a semana (543 disparos, sendo cerca de 50 disparos por dia, considerado de baixa frequência), é possível supor que não foram utilizadas munições livres de chumbo, sendo esta suposição fortalecida pela natureza do trabalho pericial que determina a utilização

da mesma classe de munição que será comparada. Neste caso o mais recomendável é reduzir o tempo de permanência no estande somente ao estritamente necessário para realização da perícia e o uso de equipamentos de proteção individual como máscaras dotadas de filtros apropriados, luvas e outros. Os resultados mostram também uma possível contaminação cruzada dos ambientes do estande e o tanque. Na sala dos peritos, que é o local onde eles permanecem a maior parte do expediente as concentrações levemente aumentadas (1,7 e 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ocorreram nos dias de maior contaminação de Pb no estande (59 e 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) acenando que medidas de controle de engenharia podem ser tomadas, como controle de ventilação para melhorar a circulação do ar e diminuir o acúmulo pontual de resíduos na sala e/ou adaptação do projeto arquitetônico como construção de antessalas que permitam uma isolação do estande de tiro. Considerando eventuais aumentos no número de armas testadas os resíduos podem ser também maiores e o aumento da contaminação representa um risco. A contaminação cruzada pode ser monitorada e controlada com a instalação de filtros passivos nos ambientes para coleta sistemática e controle de partículas o que poderia servir para o planejamento das medidas de controle de engenharia. Ainda outras medidas podem ser sugeridas para evitar a contaminação das salas dos peritos, como o uso de uniformes, incluindo calçados, para o procedimento de disparos que seriam de uso restrito nesses ambientes. Estas precauções são também importantes para evitar que os resíduos sejam levados a casa dos profissionais que podem contaminar suas famílias, especialmente crianças que são mais suscetíveis aos efeitos tóxicos do Pb (ZENTNER *et al*, 2006).

7.2 Monitoramento biológico dos peritos balísticos

Apesar dos níveis sanguíneos de chumbo (<5 $\mu\text{g}/\text{dL}$) no grupo dos peritos balísticos (Pessoal Exposto Ocupacionalmente PEO) indicarem exposição baixa (IBMP=60 $\mu\text{g}/\text{dL}$), os valores foram maiores quando comparados com o grupo controle (Pessoal Não Exposto Ocupacionalmente PNEO). É importante ressaltar que nem sempre é possível o uso de munições livres de chumbo na perícia balística, sendo o risco presumível. Neste sentido o uso de urina no monitoramento biológico

poderia ser uma alternativa por ser uma amostra menos invasiva do que o sangue melhorando a adesão dos trabalhadores à monitorização.

Por outro lado, não houve diferenças significantes nos níveis de Sb e Ba no sangue entre os grupos o que indica uma baixa exposição a estes metais, conforme evidenciado no monitoramento ambiental (Tabela 2).

7.3 Monitoramento ambiental do Centro de Treinamento da Polícia Militar

Pode-se observar que os níveis de Pb, Sb e Ba (Tabela 5) do dia 27 de junho, quando foi usada a espingarda, estão muito mais altos em relação aos níveis produzidos com pistola e metralhadora nos dias prévios, ainda que sendo menor o número de disparos para esta arma (ver Tabela 1). Isto pode estar relacionado com o fato de ter sido empregada munição livre de chumbo, quando foi usada a pistola .40, e quando foi usada a metralhadora .40, já que foi empregada a munição .40 S&W EOPP que é considerada de baixa toxicidade e que não deve produzir resíduos de Pb nos GSR (CHARPENTIER e DESROCHERS, 2000). No entanto, no caso da espingarda, usada no dia 27 de junho, a munição contém um recheio composto de uma carga sem recobrimento, com alto teor de chumbo ligado ao antimônio. O atrito produzido durante a passagem desta carga pelo cano da arma pode produzir grandes quantidades de partículas respiráveis de chumbo e antimônio. As munições usadas na pistola .40 e na metralhadora estão recobertas por um envoltório de cobre que evita a produção de resíduos de chumbo pelo atrito. Além disso, os dados do monitoramento ambiental sugerem que os resíduos foram depurados pelo sistema de exaustão durante a noite (Figura 3), descartando assim, a possibilidade de acumulação de resíduos do dia anterior. No caso da Espingarda, usada no dia 27 de junho, o sistema de exaustão não foi suficiente para diminuir os níveis de GSR durante o período diurno, considerando as grandes quantidades de chumbo e antimônio, encontradas no ar durante este dia de treino. Ainda na noite do dia 27 de junho depois da sessão com a espingarda, os níveis de chumbo no ar voltaram a baixar aos níveis encontrados no ponto de controle P1 ($0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na entrada do estande, se aproximando aos níveis ambientais de chumbo no ar reportados pela Companhia de Tecnologia Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) para a cidade de São Paulo ($0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (CETESB, 2009).

Os maiores níveis de chumbo dentro do estante a despeito do uso da munição livre de chumbo (Tabela 5) nos dias 25 e 26 de junho podem ser explicados pela presença de resíduos de munição convencional (com chumbo) no cano das armas que não foram totalmente limpas antes do uso. Outras fontes de contaminação podem ser os resíduos presentes nas paredes e no chão do estante, que são relançados ao ar, devido à atividade no estante. Isto pode estar gerando uma exposição que, embora seja menor do que os limites permitidos representa um risco em longo prazo, mormente para os instrutores e que, portanto deve ser devidamente controlado mediante uma limpeza adequada do estante.

Calculamos a Exposição Equivalente Acumulada E para chumbo neste caso (ver formula (2)):

$$E = (6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 8\text{h} + 3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 8\text{h} + 204 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 8\text{h}) / 8\text{h} = 213,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Assim, temos maior exposição decorrente dos resíduos produzidos pela espingarda, ainda que com esta arma fossem feitos menos disparos em relação à metralhadora e a pistola. Resaltamos que a maior exposição se deve principalmente aos resíduos produzidos pelo atrito produzido no cano da arma.

Os controles devem estar baseados na prevenção, tomando medidas previas ao curso, limpando cuidadosamente as armas a serem utilizadas e limpando o chão e as paredes com metodologias seguras como limpeza úmida ou a vácuo. Para isto as paredes e o chão do estante devem estar desenhados para serem laváveis e evitar assim o acúmulo de resíduos. O sistema de exaustão deve estar projetado para permitir o ingresso de ar fresco em direção às costas dos instrutores e alunos e afastando os resíduos da zona respiratória.

7.4 Monitoramento biológico dos participantes do Curso da Polícia Militar

Da comparação do estado aparente de saúde no grupo dos treinadores e o grupo dos alunos e tendo em conta que a faixa etária nos grupos (Tabela 5) é praticamente a mesma, parece que os sintomas de doenças associadas com exposição aos metais como Pb e Sb se apresentam mais no grupo dos instrutores. Isto poderia ser estudado com maior cuidado a fim de se estabelecer um programa

de acompanhamento na incorporação de chumbo, principalmente nos ossos, aproveitando técnicas recentes que possibilitam as medições de Pb no osso *in vivo*.

Apesar de não fazer parte deste estudo a avaliação rigorosa de saúde dos instrutores e dos alunos do curso, os dados obtidos dos relatos registrados nos formulários de morbidade referida poderiam supor uma relação entre os sinais e sintomas relatados, como os efeitos na função renal no grupo dos instrutores, e a exposição acumulada durante o exercício da profissão (WU *et al.*, 2003). A ausência destes sinais nos relatos dos alunos que estavam apenas iniciando as atividades no estande de tiro estaria apoiando esta suposição.

Objetivamente a comparação dos níveis de Pb e Sb no sangue entre os instrutores e alunos apoiam a hipótese de que o grupo dos instrutores apresenta um maior risco ocupacional decorrente da exposição aos GSR.

7.4.1 Sangue

Apesar dos instrutores representarem um grupo homogêneo em relação aos níveis de chumbo, alguns resultaram um pouco mais altos devido à exposição recente decorrente da atividade no estande de tiro. Os altos níveis de chumbo no sangue dos instrutores verificado antes do início do curso ($5,5 \mu\text{g/dL} \pm 0,6$), em comparação ao dos alunos ($3,3 \mu\text{g/dL} \pm 0,1$), indicam maior risco de morbidade, dentre elas maior risco de hipertensão arterial (WHO, 2001), neste sentido as implicações de saúde relatadas pelo grupo de instrutores, tais como pressão alta, retocolite, perda de memória, fadiga e insuficiência renal podem estar relacionadas a exposição aos GSR, sem embargo quando comparados com valores de referência com a população masculina da região metropolitana na cidade de São Paulo com a mesma faixa etária ($8,0 \mu\text{g/dL}$) os valores achados nos treinadores não parecem muito altos (KUNO *et al.*, 2013). Estudos mais detalhados são recomendados, especialmente quando se considera que trabalhos recentes indicam possíveis efeitos pelo acúmulo de Pb decorrente de exposições a níveis considerados baixos (ASA-MAKITAIPALE, *et al.*, 2009; EUM *et al.*, 2012; GRASHOW *et al.*, 2013). Tais estudos devem visar estabelecer os efeitos na saúde no decorrer da vida dos treinadores, cujas condições de saúde e bioindicadores de dose interna seriam monitorados em forma rotineira.

No grupo dos alunos os níveis de Pb no sangue resultaram homogêneos e nenhum dos alunos apresentou valores acima de $10 \mu\text{g/dL}$ antes do curso, apenas

um aluno apresentou pouco mais de 5 µg/dL. O aumento no conteúdo de Pb e Sb no sangue depois do curso foi evidente em todos os participantes e, pelo menos, em dois casos os níveis atingiram mais de 25 µg/dL de Pb no sangue total, aumento parecido ao reportado em estudos similares (VIVANTE et al., 2008; GRANDAHL et al., 2012), que apresentaram um aumento na média de chumbo no sangue de 19 µg/dL e 13 µg/dL respectivamente. As diferenças entre alunos podem se dever a diferentes graus de exposição devido a fatores tais como a localização dentro do estande, a forma de respirar (bocal ou nasal) e outros fatores individuais.

O conteúdo de chumbo no sangue dos alunos é marcado por estas diferenças individuais sendo, no entanto, visível o seu aumento em curto período de tempo após o treinamento, faixa entre 10 e 19 µg/dL em dez alunos e 20-29 µg/dL em seis alunos. A primeira faixa de concentração implica em maior risco de alterações na pressão arterial e disfunções renais, enquanto a segunda faixa está associada com sinais e sintomas como dor de cabeça, fadiga, anorexia, constipação, diarreia, mialgia e comprometimento da memória e atenção (GRANDAHL et al., 2012).

Os resultados indicam que houve exposição excessiva no dia que foi usada a espingarda. Neste caso seria recomendável adotar um sistema de alarme em tempo real para minimizar o risco de intoxicação. Um sistema de monitoramento com nefelômetros pode ser usado, tendo em conta que os níveis de chumbo e antimônio estão ligados com a quantidade de material particulado presente no ar.

A ausência de diferenças significantes nos níveis sanguíneos de Ba pode indicar que este elemento está presente nos resíduos de disparo numa forma pouco solúvel (sulfetos ou carbonetos) sendo retido nos pulmões sem distribuição ao sangue (ATSDR, 2007). Além disto, deve se ter em conta que o Ba é um elemento relativamente abundante no meio ambiente, podendo estar presente na dieta e no ambiente o que dificulta a interpretação dos resultados. Em contraste com o Ba, maiores níveis de Sb foram achados em todos os alunos, dado este que deve ser levado em consideração na avaliação do risco de exposição ao resíduos de disparo, uma vez que o Sb pode atuar sinergicamente ao chumbo no desenvolvimento de enfermidades associadas à exposição (SAKAI, 2000).

7.4.2 Urina

A concentração do chumbo na urina não apresenta correlação linear com a concentração de chumbo no ambiente (PRISTA e UVA, 2006), no entanto o Sb parece seguir este modelo (observado no caso dos policiais militares neste estudo) constituindo um provável bioindicador de exposição aos resíduos de disparo. Estudos posteriores poderiam avaliar o uso do antimônio na urina como indicador de exposição aos GSR, tal avaliação permite traçar um cenário de risco durante o curso, considerando que o aumento de seu conteúdo pode estar relacionado com uma exposição recente (BARBOSA *et al.*, 2005) e apresenta a vantagem de ser menos invasiva, e assim, existe a possibilidade de ser coletada com maior frequência.

Sendo que as amostras de urina foram coletadas para cada dia do curso e comparadas com a urina coletada um dia antes do início do curso discutiremos os resultados decorrentes da exposição a cada tipo de arma, pois podemos estabelecer uma correlação dos resultados na urina com cada uma de elas:

Espingarda

Foi observado que o maior valor da exposição ao chumbo se deu no dia em que foi manuseada a espingarda (amostra de urina coletada na manhã do dia 28) sendo que a comparação das medias destes dias demonstram aumento significativo de chumbo e antimônio, embora no caso de chumbo tenhamos alguns casos, como os alunos p3 e p4, em que houve uma diminuição do conteúdo do chumbo na urina depois do curso, e outros em que o aumento não foi muito evidente, mas pelo menos em nove casos houve um aumento significativo do chumbo na urina depois da exposição (Figura 10). No caso do Sb estas diferenças foram mais consistentes em todos os casos (Figura 12), mostrando-se um indicador mais apropriado de exposição recente aos GSR nesta matriz, podendo ser utilizado como um indicador indireto da presença de Pb.

Pistola .40

Os resultados do conteúdo de Pb e Sb na urina depois que foi usada a pistola .40 demonstram que devido ao baixo conteúdo de Pb nos resíduos produzidos neste dia, menos de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver Tabela 5), não se observa uma diferença com o conteúdo de Pb na urina antes do curso. Em contraste o conteúdo de Sb na urina

aumentou após o curso, apesar de resíduos menores que $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terem sido detectados no ar (Tabela 5). Este fato reforça a hipótese de que o Sb na urina pode ser um melhor indicador de exposição aos GSR que o chumbo, embora esses resíduos sejam produzidos em baixa quantidade.

Metralhadora .40

Apesar do fato das armas serem diferentes, a mesma munição e o número aproximado de disparos refletem praticamente os mesmos resultados observados para a pistola .40, ou seja não há uma diferença significativa no caso do Pb na urina e houve uma diferença significativa no caso do Sb o que reforça a possibilidade do Sb na urina ser um bioindicador de exposição aos GSR mesmo para níveis baixos. Tal achado pode indicar a importância do estudo da urina como matriz para avaliação da exposição aos resíduos de disparo, considerando que é uma matriz não invasiva, de fácil coleta e alta disponibilidade.

Os resultados para Ba na urina confirmam o que já tinha sido visto no sangue, que é a ausência de diferenças antes e depois do curso nos níveis de Ba.

7.4.3 Saliva

Embora a saliva não seja preconizada para o monitoramento biológico de dose interna (BARBOSA *et al.*, 2005), os resultados obtidos para os conteúdos de Pb na saliva demonstram que houve um aumento alto na concentração de chumbo no dia que a espingarda foi usada, este aumento se notou na maioria dos alunos e pode indicar uma exposição mais acentuada devido a o maior risco de ingestão dos GSR pela via respiratória e eventualmente pela via digestiva. Nota-se também que na maioria dos casos que houve um aumento importante na concentração do chumbo no sangue houve também uma concentração alta na saliva no dia que foi usada a espingarda. Este resultado pode servir como indicador de exposição individual, quando não se pode usar amostragem do ar individual. Também pode indicar quando o aluno respira pela boca o que pode alterar a quantidade ingerida de GSR. Podemos notar nas figuras 25 e 26 que só alguns dos alunos tiveram um aumento na quantidade do chumbo na saliva o que estaria indicando que estes indivíduos respiraram mais pela boca do que os outros alunos. Também pode se notar que houve uma maior quantidade de chumbo na saliva no dia que foi usada a metralhadora, se comparado com a pistola, o que pode significar o maior esforço

físico devido ao tamanho da arma. Isto seria um indicativo de que o esforço físico durante os cursos acarreta uma maior probabilidade de respiração pela boca e, portanto, uma maior exposição aos GSR. A amostragem de saliva resultou informativa também nos dias que foram usadas pistola e metralhadora, quando os GSR produzidos são considerados baixos. Apesar deste método de monitoramento ambiental não ser padrão como as bombas de ar, pode ser usado em monitoramentos rotineiros visando estudos prévios para uma normalização no uso dos estandes durante os cursos de treinamento. O uso de proteção respiratória deve ser uma opção nestes casos.

7.5 Comparação dos resultados com as normas vigentes

No caso dos alunos e instrutores da polícia militar, é evidente que o grande número de disparos gera uma grande quantidade de resíduos, porém, o uso de munição livre de chumbo e o sistema de exaustão eficiente ajudam consideravelmente a diminuir o risco de exposição durante o Curso de Treinamento na Proteção da Vida da Polícia Militar do Estado de São Paulo. Quando são usadas armas pesadas, especialmente a Espingarda e as munições 12 SG e 12 3T, são gerados resíduos de chumbo que ultrapassam o Limite de Tolerância de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NR-15). Paralelamente houve aumento nos níveis de chumbo no sangue dos alunos, que em média aumentou de 4 para $20 \mu\text{g}/\text{dL}$ num curto período de tempo, o que estaria abaixo do nível de referência de $40 \mu\text{g}/\text{dL}$ preconizado pela NR-7. A adoção de equipamento de proteção respiratória individual, apesar de gerar potencialmente desconforto nos instrutores e alunos deve ser considerada para diminuir a exposição, especialmente quando é utilizada a espingarda.

A exposição dos instrutores é a de maior risco à intoxicação crônica sendo, inclusive, relatadas algumas implicações de saúde que podem estar associadas à exposição crônica ao chumbo. Ainda considerando a cinética do chumbo, mais de 90% do chumbo absorvido distribuído aos ossos onde apresenta meia vida biológica de cerca de 20 anos (SAKAI, 2000), indicam o risco da intoxicação em longo prazo desta população, visto que o processo de envelhecimento frequentemente incorre em maior fragilidade óssea e descalcificação podendo aumentar a redistribuição do metal e, com isto as implicações de saúde relacionadas à disfunção renal e outras.

O monitoramento biológico na Norma Regulamentadora Nº 7 que trata do programa de controle médico não contempla os efeitos do chumbo em níveis abaixo de 40 µg/dL, assim, é recomendável o planejamento de monitoramento biológico que atenda este grupo e esta forma peculiar de exposição ao chumbo. Tal monitoramento biológico direcionado se justifica devido ao cenário ocupacional relacionado à exposição aos resíduos de disparo apresentar diferenças importantes quando comparado com processos industriais rotineiros. No caso do Laboratório de Balística o fator de normalização parece ser o tempo de permanência no ambiente fechado do estande quando é maior o número de disparos, mas no caso da Polícia Militar, além de outros fatores, o tipo de arma e munição parecem decisivos.

Os níveis de referência contemplados nas normas brasileiras, tanto para sangue como para ar, precisam ser revistos, desta forma propõe-se atualizar os níveis de referência à luz do conhecimento atual que indica implicações de saúde em níveis inferiores aos 40 µg/dL no sangue total, valor preconizado na regulamentação atual e últimos trabalhos indicam efeitos cardiovasculares e renais adversos em níveis inferiores aos 10 µg/dL no sangue total, de modo que o NIOSH estabeleceu como nível de referência para adultos 10 µg/dL (CDC, 2013).

Nos Laboratórios de Balística, onde o número de disparos é relativamente baixo, o sistema de exaustão apresenta eficiência na depuração dos resíduos do ar só quando o número de disparos é baixo ou quando são empregadas armas com munições com baixo conteúdo de chumbo e os níveis de metais tóxicos raramente atingem patamares perigosos. Ainda assim é necessário considerar que nem sempre é possível o uso de munição com baixo conteúdo de chumbo e a restrição do tempo de permanência no estande ao estritamente necessário para a realização dos testes é recomendável, assim como o uso de equipamento de proteção respiratória. Nas áreas adjacentes, como nas salas dos peritos, embora os níveis de chumbo tenham sido baixos não sendo considerados perigosos, ainda são mais altos que os níveis ambientais, indicando a importância de medidas de controle de engenharia no que tange a contaminação cruzada. Moderado aumento foi evidenciado no conteúdo de chumbo no sangue do pessoal da Balística em comparação ao grupo controle (não exposto ocupacionalmente), assim é possível inferir que as ações de saúde ocupacional são importantes no controle de exposição deste grupo, visto que tais trabalhadores potencialmente podem apresentar

implicações de saúde decorrente do acúmulo de Pb incorporado durante os anos de exposição ocupacional nas atividades da perícia balística.

8. CONCLUSÕES

- Os instrutores de disparo com armas de fogo estão expostos aos GSR e apresentam riscos para a saúde, por tanto, os estantes fechados para atividades com uso de armas de fogo deve estar desenhado e construído de acordo com as atividades e o tipo de treinamento que será feito neles.

- Os níveis ambientais de GSR nos estantes fechados podem atingir patamares perigosos para a saúde e, por isto, são importantes as práticas seguras de trabalho no estante e o cuidado de trocar as roupas e calçado usado durante o treino para evitar contaminações fora do estante, nas moradias dos policiais e exposição de pessoas susceptíveis aos GSR. É muito relevante reforçar periodicamente a educação aos instrutores quanto aos riscos de exposição a estes resíduos.

- O grupo dos instrutores de disparo apresentam níveis maiores de chumbo no sangue do que policiais não expostos o que indica um risco na saúde destes profissionais, sobre tudo devido ao caráter acumulativo deste metal no organismo e aos potenciais efeitos no longo prazo. Uma avaliação do conteúdo de chumbo nos ossos dos profissionais permitiria saber se o chumbo está se acumulando nos ossos com o decorrer do tempo.

- Alguns alunos do curso tiveram aumentos maiores de chumbo no sangue em um curto período de tempo o que deve ser considerado no desenho dos programas de monitoramento da saúde destes profissionais. Podem se usar monitores não intrusivos como a urina e saliva para monitoramentos ambientais e de rotina.

- O antimônio na urina é uma alternativa interessante de monitoramento biológico para os GSR pois mostrou uma sensibilidade maior que o chumbo quando os níveis de exposição são baixos e deve se avaliar a sua confiabilidade como monitor indireto do chumbo, aproveitando que o antimônio está sempre acompanhando o chumbo nos GSR.

- O uso de elementos de proteção respiratória deve ser mandatório para diminuir a possibilidade de ingestão de grandes quantidades de resíduos contendo chumbo e antimônio.

9. PROPOSTA

Visto que a exposição aos GSR nos ambientes dos estandes fechados de disparo pode variar grandemente dependendo das atividades em eles desenvolvidas, e que no Brasil os treinamentos da Polícia Militar não são comparáveis aos realizados em outros países, pelo uso de armas pesadas e a exigente atividade física, vê-se a necessidade de normalizar o uso destes estandes no Brasil, tendo em conta aspectos como os achados neste estudo. Propõe-se a redação de uma norma brasileira (NBr) que tenha em conta os seguintes aspectos:

1. O desenho dos estandes deve permitir as atividades de disparo com o risco de exposição controlado, tendo em conta a frequência dos disparos e a intensidade dos GSR produzidos.
2. No caso dos cursos de treinamento da Polícia Militar deve-se aproveitar que conta-se com um método de treinamento padronizado como o “Método Giraldi” e os estandes podem ser desenhados de acordo com as atividades e exigências do controle de risco ocupacional.
3. Os estandes devem ter algumas especificações mínimas que permitam um controle do risco de exposição, especialmente dos instrutores, tendo em conta resultados do trabalho aqui desenvolvido.
4. As paredes e os pisos dos estandes devem ser laváveis para evitar o acúmulo de resíduos de disparo que podem eventualmente ser liberados

novamente ao ambiente devido à movimentação dos alunos durante o treinamento.

5. Os participantes dos cursos devem contar com espaços isolados para alimentação e descanso, assim como áreas de higienização onde os alunos e instrutores possam trocar as roupas usadas durante o treinamento e tomar banho.
6. Os sistemas de exaustão deverão garantir a limpeza do ar respirado pelos instrutores e alunos durante os treinamentos. É importante garantir que os fluxos do ar afastem os GSR da zona de respiração do pessoal, sem objetos impedindo a circulação do ar.
7. Os instrutores de disparo estarão monitorados biologicamente com regularidade para estabelecer se houve aumento nos indicadores de exposição. Recomendamos usar a urina como indicador rotineiro, usando o antimônio e o chumbo como indicadores de exposição aos GSR e o chumbo no sangue como indicador de dose interna, que pode ser amostrada com menor frequência.
8. O uso de armas pesadas como a espingarda, que produzem grandes quantidades de GSR deve ser proibido nos estandes fechados, relegando seu uso aos estandes abertos. Quando for inevitável o uso destas armas nos estandes fechados, devem se tomar medidas tendentes a proteção dos instrutores e alunos, diminuindo o número de participantes do treinamento e/ou usando equipes de proteção respiratória.
9. Os níveis de referência podem e devem ser atualizados para estabelecer um programa de monitoramento da saúde dos instrutores de disparo que diminua efetivamente o risco na saúde decorrente da exposição acumulada aos GSR.
10. Visto o perigo que representam os resíduos de disparo para a saúde, os sistemas de exaustão deverão contar com filtros para reter o material particulado, pois eles não podem simplesmente ser despejados no meio ambiente. Estes filtros e sua limpeza deverão estar estritamente regulamentados para impedir maiores danos ao meio ambiente circundante dos estandes fechados de disparo.

10. REFERÊNCIAS

AL-SALEH I., COSKUN S., MASHHOUR A., SHINWARI N., EL-DOUSH I., BILLED G., JAROUDI K., AL-SHAHRANI A., AL-KABRA M., MOHAMED G., Exposure to heavy metals (lead, cadmium and mercury) and its effect on the outcome of in-vitro fertilization treatment, **International Journal of Hygiene Environmental Health**, v.211, p.560–579, 2008.

ASA-MÄKITAIPALE S., JEHKONEN M., UITTI J., VILKKI J. Memory Functions in Recreational Pistol Sport Shooters: Does Lead Matter? **Environmental Health Insights** v.3 p.13–18, 2009.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH) TLVs1, Cincinnati, 2004 (Standard).

ANDRÉ P. A. de. **Manual de Operação, Manutenção e Instalação do Coletor de Material Particulado 1,8 LPM PM_{2,5} – “Mini Sampler”** LPAE Lab. De Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo versão 0: 11. Dez. 2008.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Public Health Statement for Antimony*. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA. (1992) <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs23.html>. Acesso em 15 jun 2013.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Public Health Statement -Barium*. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2007, Atlanta, GA. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24-c1-b.pdf>. Acesso em 23 jun 2013.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological Profile for Lead* US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2009, Atlanta, GA. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>. Acesso em 10 jun 2013.

APOSTOLI P., BAJ A., BAVAZZANO P., GANZI A., NERIA G., RONCHI A., SOLEO L., DI LORENZO L., SPINELLI P., VALENTEH T., MINOIA C., Blood lead reference values: the results of an Italian polycentric study. **The Science of the Total Environment**, v. 287, p 1-11, 2002.

BARBOSA F. JR; CORRÉA R. M. H.; BUZALAF M. R.; KRUG F. J.; GERLACH R. L. F.; TANUS-SANTOS J. E. Evaluation of the use of salivary lead levels as a surrogate of blood lead or plasma lead levels in lead exposed subjects, **Archives of Toxicology**, v. 80, p. 633–637, 2006.

BARBOSA F. JR.; TANUS-SANTOS J. E.; GERLACH R. F.; PARSONS P. J. A Critical Review of Biomarkers Used for Monitoring Human Exposure to Lead: Advantages, Limitations, and Future Needs, **Environmental Health Perspectives**, v.113, p. 1669–1674, 2005.

BARRY P. S. I. Comparison of Concentrations of Lead in Human Tissues. **British Journal Industrial Medicine**, v.32, p.119–139, 1975.

BECKER S. **Inorganic Mass Spectrometry Principles and Applications**. Wiley: Research Centre Jülich, Germany, 2007.

BERGDAHL I. A.; GRUBB A.; SCHUTZ A.; DESNICK R. J.; JAMES G. W.; SHIGERU S.; SKERFVING S. Lead Binding to δ -Aminolevulinic Acid Dehydratase (ALAD) in Human Erythrocytes. **Pharmacology and Toxicology**, v.81, p. 153-158, 1997.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego **NR 15** Atividades e Operações Insalubres 1977. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.asp. Acessado em 4 de novembro de 2009.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego **NR 7** Programa do Controle Médico de Saúde Ocupacional PCMSO 1983. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BE99EC9F11E77/p_19831006_012.pdf Acessado em 10 de novembro 2009.

CAPOROSSI L.; SANTORO A.; PAPALEO B. Saliva as an analytical matrix: state of the art and application for biomonitoring **Biomarkers**, v. 15(6), p. 475–487, 2010.

CARELLI G., MASCI O., ALTIERI A., CASTELLINO N., Occupational Exposure to Lead – Granulometric Distribution of Airborne Lead in Relation to Risk Assessment, **Industrial Health**, v.37, p.313-321, 1999.

CENTER FOR DISEASE CONTROL (CDC). US Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health; **Adult Blood Lead Epidemiology and Surveillance (ABLES)**. 2013.

CHANG K. H.; JAYAPRAKASHA P. T.; YEW CH. H.; ABDULLAH A. F. L. Health Concern on Lead Encountered during Firing Practices: A Review **Health and the Environment Journal**, Vol. 1, No. 2, 2010.

CHARPENTIER B.; DESROCHERS C.; Analysis of primer residue from lead free ammunition by X-ray microfluorescence. **Journal of Forensic Science**, v. 45, n.2, p447–452, 2000.

CHRISTENSEN J. M. Human exposure to toxic metals: factors influencing interpretation of biomonitoring results. **The Science of the Total Environment**, v.166, p. 89-135, 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, (CETESB) Evolução das Concentrações de Chumbo na Atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo [Ambiental airborne lead evolution in Metropolitan São Paulo] 2009. Disponível em < http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/relatorios/evolucao_chumbo.zip> Acesso em : 20 de maio 2013.

CORDEIRO, R. O saturnismo em Bauru. In: PIMENTA A. L; Costa Filho D. C. (org.). **Saúde do trabalhador**. São Paulo: Hucitec, p.47-83. 1988.

CORDEIRO R.; LIMA-FILHO E. C. A Inadequação dos Valores dos Limites de Tolerância Biológica para a Prevenção da Intoxicação Profissional pelo Chumbo no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.2, n.11, p.177-186, 1995.

DELLA ROSA, H.V. Toxicología Ocupacional. In OGA, S, CAMARGO M.M.A. BATISTUZZO J.A. **Fundamentos de Toxicologia**. 3 ed. São Paulo: Atheneu Editora São Paulo, 2008, cap.3, p.243.

DEMMELEER M.; NOWAK D.; SCHIERL D.R. High blood lead levels in recreational indoor-shooters. **International Archives of Occupational and Environmental Health**. v. 82, p. 539-542, 2009.

DRISCOLL T.; STEENLAND K.; IMEL D. N.; LEIGH J. **Occupational airborne particulates: assessing the environmental burden of disease at national and local levels**. Geneva, World Health Organization, 2004. (Environmental Burden of Disease Series, No. 7).

D'SOUZA H. S.; D'SOUZA S. A.; MENEZES G.; VENKATESH T. Diagnosis, Evaluation, and Treatment of Lead Poisoning in General Population **Indian Journal of Clinical Biochemistry** v. 26 n. 2, p. 197–201, 2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Assessment Guidance for Superfund**, Human Health Evaluation Manual (Part A), v.I, 1989.

EUM K.; KORRICK S. A.; WEUVE J.; OKEREKE O.; KUBZANSKY L. D.; HU H.; WEISSKOPF M. G. Relation of Cumulative Low-Level Lead Exposure to Depressive and Phobic Anxiety Symptom Scores in Middle-Age and Elderly Women, **Environmental Health Perspectives** volume 120 | number 6 | June 2012

FLEGAL A.R.; SMITH D.R.; Lead levels in preindustrial humans, **New England Journal of Medicine**, v.326, p.1293-1294, 1992.

FEWTRELL L, KAUFMANN R, PRÜSS-ÜSTÜN A. **Lead: assessing the environmental burden of disease at national and local level**. Geneva, World Health Organization, 2003 (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 2).

GERHARDSSON L.; AKANTIS A.; LUNDSTROM N.; NORDBERG G.; SCHÜTZ A.; SKERFVING S. "Lead concentrations in cortical and trabecular bones in deceased smelter workers." **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Vol: 19, Issue: 2-3, pp. 209-15, 2005.

GIDLOW, D.A. Lead toxicity. **Occupational Medicine** v. 54, p. 76–81, 2004.

GILLIS B. S.; ARBIEVA Z.; GAVIN I. M. Analysis of lead toxicity in human cells. **BMC Genomics** v. 13, p 344, 2012. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2164/13/344>> Acesso em 12 junho 2013.

GIRALDI N.; 2003 Metodo Giraldi: **Tiro Defesivo na Preservação da Vida**, Disponível em: <http://www.policiamilitar.sp.gov.br/unidades/eef/giraldi.html> > acessado em 10 julho 2012.

GRANDAHL K., SUADICANI P., JACOBSEN P. Individual and environmental risk factors for high blood lead concentration in Danish indoor shooters, **Danish Medical Journal**, v. 59, n. 8, p. 1-5, 2012.

GRASHOW R.; SPIRO A.; TAYLOR K. M.; NEWTON K.; SHRAIRMAN R.; LANDAU A.; SPARROW D.; HU H.; WEISSKOPF M. Cumulative lead exposure in community-dwelling adults and fine motor function: comparing standard and novel tasks in the VA Normative Aging Study. **Neurotoxicology**. v.35, p. 154–161, 2013.

GROSS S. B., PFITZER E. A.; YEAGER D. W.; KEHOE R. A. Lead in human tissues. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v.32, p.638–651, 1975.

GULSON B.; PALMER J.; BRYCE A. Changes in blood lead of a recreational shooter, **Science of the Total Environment**. v. 293, p. 143–150. 2002.

HARLAN, W.R. The relationship of blood lead levels to blood pressure in the U.S. population. **Environmental Health Perspectives**. v. 78, p. 9–13, 1988.

HARPER H. A. **Manual de Química Fisiológica**. 7 ed. México D.F: Editorial El Manual Moderno, 1980.

HERNBERG S. Lead Poisoning in a Historical Perspective **American journal of industrial medicine** v. 38, p. 244-254, 2000.

HSIEN-HUI M.; HSEI-CHANG L. Elemental analysis of primer mixtures and gunshot residues from handgun cartridges commonly encountered in Taiwan **Forensic Science Journal**, v. 6, n. 1, p. 39-54, 2007.

HUA F.; BOFFETTA P. Cancer and occupational exposure to inorganic lead compounds: a meta-analysis of published data **Occupational and Environmental Medicine**, v. 52, p. 73-81, 1995.

IAVICO I.; CARO S.; AIMONTI A.; PETRUCCI F.; CARET G. Biomonitoring of a worker population exposed to low antimony trioxide levels. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**. v. 16, p. 33-39, 2002.

JAMES, S.W. **Chemical Analysis of Firearms, Ammunition, and Gunshot Residue**: International Forensic Science and Investigation Series, CRC Press LLC. Boca Raton, FL., 2008. 320 p.

JAROSINKA D.; BIESIADA M.; MUZYNSKA-GRACA M. Environmental burden of disease due to lead in urban children from Silesia, Poland. **Science of Total Environment**, v.367, p.71-79, 2006.

JURUENA M. F. P. Exposição ao chumbo: consequências neuropsiquiátricas e comportamentais **Medicina (Ribeirão Preto. Online)** Brasil, v. 42, n. 3, p. 296-300, set. 2009. ISSN 2176-7262. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/224>>. Acesso em: 14 Mai. 2014. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v42i3p296-300>.

KENTNER M.; LEINEMANN M.; SCHALLER K.; WELTLE D.; GERHARD L. External and internal antimony exposure in starter battery production **International Archives of Occupational and Environmental Health** v. 67, p. 119-123, 1995.

KHALIL N.; MORROW L. A.; NEEDLEMAN H.; TALBOTT E. O.; WILSON J. W.; CAULEY J. A. Association of Cumulative Lead and Neurocognitive Function in an Occupational Cohort **Neuropsychology** v. 23, n. 1, p. 10–19 2009.

KOMARNICKI G. J. K. Lead and cadmium in indoor air and the urban environment **Environmental Pollution** v. 136, p. 47-61, 2005.

KOONS R.D.; BUSCAGLIA J. Forensic significance of bullet lead compositions. **Journal of Forensic Science** v. 50, n. 2, p. 341-351 2005.

KOONS R.D. Analysis of gunshot primer residue collection swabs by inductively coupled plasma-mass spectrometry, **Journal of Forensic Science**, v.43,n.4, p.748-754, 1998.

KOSNETT M.; WEDEEN R.; ROTHENBERG S.; HIPKINS K.; MATERNA B.; SCHWARTZ B.; HU, H.; WOOLF A.. Recommendations for medical management of adult lead exposure. **Environmental Health Perspectives**, v. 3, p. 463–471, 2007.

KUNO R.; ROQUETTI M.H.; BECKER K.; SEIWERT M.; GOUVEIA N. Reference values for lead, cadmium and mercury in the blood of adults from the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil, **International Journal of Hygiene and Environmental Health** v. 216, p 243-249, 2013.

LOFSTEDT H.; SELDEN A.; STOREUS L.; BODIN L. Blood lead in Swedish police officers. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 35, p. 519–522, 1999.

MCSHANE W, PAPPAS S., WILSON V., PASCHAL D. A rugged and transferable method for determining blood cadmium, mercury, and lead with inductively coupled plasma-mass spectrometry, **Spectrochimica Acta**, v. 63, part B, p. 638–644, 2008.

MONTENEGRO M. F.; BARBOSA F. JR.; SANDRIM V. C.; GERLACH R. F.; TANUS SANTOS J. E. A polymorphism in the delta-aminolevulinic acid dehydratase gene modifies plasma/whole blood lead ratio. **Archives of Toxicology**, v.80, p.394-398, 2006.

MORMONTOYA W.; GASTAÑAGA C.; GONZALES G. F. Blood lead levels among police officers in Lima and Callao, 2004. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 209, p. 497–502, 2006.

NASH D.; MAGDER L.; LUSTBERG M.; SHERWIN R.; RUBIN R.; KAUFMANN R. Blood lead, blood pressure, and hypertension in perimenopausal and postmenopausal women. **JAMA**, v. 289, p. 1523–1531, 2003.

NAVARRETE J.; SANÍN L.; ESCANDÓN C.; BENÍTEZ G.; OLAIZ G.; HERNÁNDEZ M. Niveles de Plomo Sanguíneo en Madres y Recién Nacidos Derechohabientes en Instituto Mexicano del Seguro Social **Salud pública de México** 7 vol 42, no. 5, septiembre-octubre de 2000.

NEVES E. B.; MENDONÇA N. J.; RAMOS M. Avaliação da exposição a metais numa oficina de recuperação de armamento de uma organização militar. **Ciencia & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2269-2280, 2009.

NEVIN R. How Lead Exposure Relates to Temporal Changes in IQ, Violent Crime, and Unwed Pregnancy. **Environmental Research**, Section A, v.83, p.1-22, 2000. Disponível em: <<http://www.idealibrary.com>> Acesso em 20 de junho 2013.

NIOSH, [DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-136], **Preventing Occupational Exposures to Lead and Noise at Indoor Firing Ranges**. NIOSH. 2009.

NORDBERG G.F., FOWLER B. A., NORDBERG M., FRIBERG L. T., **Handbook on the Toxicology of Metals** 3rd ed. Academic Press London 2007.

NRIAGU J. O. Clair Patterson and Robert Kehoe's Paradigm of "Show Me the Data" on Environmental Lead Poisoning, **Environmental Research**, section A, v. 78, p.71-78, 1998.

NRIAGU J.; BURT B.; LINDER A.; ISMAIL A.; SOHN W. Lead levels in blood and saliva in a low-income population of Detroit, Michigan **International Journal of Hygiene and Environmental Health** v. 209, p. 109–121, 2006.

OSHA (OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION) 2001 Lead Standard for general industry (29 CFR 1910.1025). Disponível em: <http://www.osha.gov>. Acessado em 14 de novembro de 2010.

OZONOFF, D. Lead on the range. **Lancet** v. 343, p. 6–7, 1994.

POCOCK S.; SHAPER A.; ASHBY D.; DELVES H.; CLAYTON B.. The relationship between blood lead, blood pressure, stroke, and heart attacks in middle-aged British men. **Environmental Health Perspectives**. v. 78, p. 23–30, 1988.

PRISTA J.; UVA A. de S. A utilização de indicadores biológicos em Saúde Ocupacional, **Revista Portuguesa de Saúde Pública** volume temático: 6, 2006.

QUITÉRIO, S. L. Uso da poeira e do ar como indicadores de contaminação ambiental em áreas circunvizinhas a uma fonte de emissão estacionária de chumbo. **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 3, p. 501- 508, 2001.

RAJAN P.; KELSEY K. T.; SCHWARTZ J. D.; BELLINGER D. C.; WEUVE J.; SPARROW D.; SPIRO A.; SMITH T. J.; NIE H.; HU H.; WRIGHT R. O. Lead Burden and Psychiatric Symptoms and the Modifying Influence of the δ -Aminolevulinic Acid Dehydratase (ALAD) Polymorphism: The VA Normative Aging Study **American Journal of Epidemiology**, v. 166, n. 12, p. 1400–1408, 2007.

RABINOWITZ M. B. Toxicokinetics of Bone Lead **Environmental Health Perspectives** v. 91, p. 33-37, 1991.

RAGHUNATH R.; TRIPATHI R.; SASTRY V.; KRISHNAMOORTHY T. Heavy metals in maternal and cord blood. **The Science of the Total Environment**, v.250, p.135-141, 2000.

RICHMOND B. J.; MENG Q.; DAVIS J. A.; COHEN J.; SVENDSGAARD D.; BROWN J. S.; TUTTLE LAUREN, HUBBARD HEIDI, RICE JOANN, KIRRANE ELLEN, VINIKOOR-IMLER LISA, KOTCHMAR DENNIS, HINES ERIN, ROSS MARY, A multi-level model of blood lead as a function of air lead **Science of the Total Environment** 461–462, 207–213, 2013.

ROMOLO F.; MARGOT P. Identification of Gunshot residue: a critical review, **Forensic Science International**, v.119, p.195-221, 2001.

ROSIN A. The Long-term Consequences of Exposure to Lead. **The Israel Medical Association Journal** v. 11, p. 689-694, 2009.

SAKAI T. Biomarkers of Lead Exposure, **Industrial Health**, v.38, p.127-142, 2000.

SCHOBBER S.; MIREL L.; GRAUBARD B.; BRODY D.; FLEGAL K. Blood Lead Levels and Death from All Causes, **Environmental Health Perspectives**, v.114, n.10, 2006.

SCHRAMMEL P.; WENDLER I.; ANGERER J. The determination of metals (antimony, bismuth, lead, cadmium, mercury, palladium, platinum, tellurium, thallium, tin and tungsten) in urine samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry, **International Archives Occupational Environmental Health**, v.69, p.219-223, 1997.

SCHÜTZ A.; BERGDHAL I.; EKHOLM A.; SKERFING S. Measurement by ICP-MS of lead in plasma and whole blood of lead workers and controls, **Occupational and Environmental Medicine**, v.53, p.736-740, 1996.

SCHWARTZ J.,. The relationship between blood lead and blood pressure in NHANES II survey. **Environmental Health Perspectives**. v.78, p.15–22, 1988.

SCHWOEBLE A.J., **Forensic Gunshot Residue Analysis**. CRC Press LLC, Boca Raton, FL., 2000. 192 p

SILVA M. J.; CORTEZ J.; PASQUINI C.; HONORATO R. S.; PAIMA A. P. S.; PIMENTEL M. F. Gunshot Residues: Screening Analysis by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy **Journal of the Brazilian Chemical Society**., v. 20, n.10, p. 1887-1894, 2009.

SMITH, D.; HERNANDEZ-AVILA M.; TÉLLEZ-ROJO M.; MERCADO A.; HU H. The Relationship between lead in plasma and whole blood in women. **Environmental Health Perspectives**. v. 110, p, 263–268, 2002.

SVENSSON B.; SCHUTZ A.; NILSSON A.; SKERFVING S. Lead exposure in indoor firing ranges. **International Archives of Occupational Environmental Health** v. 64, p.219–221, 1992.

TOSCANO C. D.; GUILARTE T. R. Lead neurotoxicity: From exposure to molecular effects, **Brain Research Reviews** v. 49, p. 529 – 554, 2005.

TOWNSEND A. T. The accurate determination of the first row transition metals in water, urine, plant, tissue and rock samples by sector field ICP-MS, **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v.15, p. 307-314, 2000.

TRIPATHI R.K.; SHERERTZ P.C.; LLEWELLYN G.C.; ARMSTRONG C.W.; RAMSEY S.L.. Reducing exposures to airborne lead in a covered, outdoor firing range by using totally copper-jacketed bullets. **American Industrial Hygiene Association Journal** v. 51, p. 28-31, 1990.

TRIPATHI R.; SHERETZ P.; LLEWELYN G.; ARMSTRONG C. Lead Exposure in Outdoor Firearm Instructors. **American Journal of Public Health**, v.81, p.753-755, 1991.

VALWAY S.; MARTYNY J.; MILLER J.; COOK M.; MANGIONE E. Lead Absorption in Indoor Firing Range Users, **American Journal of Public Health**, v.79, p.1029-1032, 1989.

VÁSQUEZ L.; SCORZA D. J. V.; SCORZA J. V.; VICUÑA-FERNANDEZ N.; PETIT DE P. Y.; LÓPEZ S.; BENDEZ H.; ROJAS E.; VÁSQUEZ L.; PÉREZ B. Pharmacokinetics of Experimental Pentavalent Antimony After Intramuscular Administration in Adult Volunteers **Current Therapeutic Research** v. 67, n. 3, MAY/JUNE 2006.

VIVANTE A.; HIRSHOREN N.; SHOCHAT T.; MERKEL D. Association between Acute Lead Exposure in Indoor Firing Ranges and Iron Metabolism **Israel Medical Association Journal**, v. 10, p. 292–295, 2008.

WEISSKOPF M. G.; WEUVE J.; NIE H.; SAINT-HILAIRE M.; SUDARSKY L.; SIMON D. K.; HERSH B.; SCHWARTZ J.; WRIGHT R. O.; HU H. Association of Cumulative Lead Exposure with Parkinson's Disease **Environmental Health Perspectives** v.118, p. 1609–1613, 2010.

WEUVE J.; KELSEY K. T.; SCHWARTZ J.; BELLINGER D.; WRIGHT R. O.; RAJAN P.; SPIRO A.; SPARROW D.; ARO A.; HU H. Delta-aminolevulinic acid dehydratase polymorphism and the relation between low level lead exposure and the Mini-Mental Status Examination in older men: the Normative Aging Study **Occupational Environmental Medicine**, v. 63, p. 746–753, 2006.

WHITE L.D.; CORY-SLECHTA D.A.; GILBERT M.E.; CASTIGLIONI T.; ZAWIA N.H.; VIRGOLINI M.; ROSSI-GEORGE A.; LASLEY S.M.; QIAN Y.C.; BASHA R. New and evolving concepts in the neurotoxicology of lead **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 225, p. 1–27, 2007.

WHO World Health Organization. Geneva. 2001. Water Related Diseases. Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/lead/en/ Acessado em: 12 de setembro 2013.

WHO World Health Organization. Geneva. 2004. Lead exposure. In: *Comparative quantification of health risks*. pp. 1495–1542 (<http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume2/1495-1542.pdf>). Acessado em: 12 de setembro 2013.

WU M.; KELSEY K.; SCHWARTZ J.; SPARROW D.; WEISS S.; HU H. A δ -Aminolevulinic Acid Dehydratase (*ALAD*) Polymorphism May Modify the Relationship of Low-Level Lead Exposure to Uricemia and Renal Function: The Normative Aging Study **Environmental Health Perspectives**, v. 111, p. 335–340, 2003.

VAZIRI, N. D. Mechanisms of lead-induced hypertension and cardiovascular disease. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v.295, n. 2, p. 454–465, 2008.

ZENTNER L.; RONDÓ P.; MASTROENI S. Lead Contamination and Anthropometry of the Newborn Baby, **Journal of Tropical Pediatrics**, v.52, n.5, 2006.

ANEXO 1

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

ID: _____

CARTA DE INFORMAÇÃO:

Este documento está sendo apresentado a você considerando a sua participação como voluntário no projeto: Análise de Riscos Toxicológicos e Ambientais na Exposição Ocupacional aos Resíduos de Armas de Fogo (GSR/ Firing Ranges): Uma Proposta de Normalização. Como parte deste estudo, serão coletadas amostras de sangue, urina e saliva, com objetivo de verificar a concentração de elementos metálicos associados às atividades desenvolvidas nos Treinos de Disparo. Esta coleta será realizada por profissionais habilitados e não causará danos a sua saúde. Durante a execução do procedimento da coleta do sangue você sentirá a punção. Entretanto, isto não representará riscos à sua saúde. Será utilizado material descartável do tipo vacutainer para coleta de material biológico. Caso você concorde em ceder estas amostras, serão coletados cinco (5) mililitros de sangue que é o volume aproximado de um tubo vacutainer antes do treino e uma outra amostra ao finalizar o treino. No caso da urina e saliva as amostras seriam coletadas em oras da manhã nos dias que dure o treino. Estas amostras seriam usadas exclusivamente para os propósitos desta pesquisa e seus dados pessoais não serão divulgados nem fornecidos às outras pessoas, pois todas as informações da pesquisa são confidenciais. Você terá acesso aos pesquisadores e ao médico responsável para o esclarecimento de qualquer dúvida. Se tiver alguma consideração ou dúvida sobre o projeto de pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo pelo telefone 11 3061-7779 ou Av. Dr Arnaldo, 715 – Cerqueira César, São Paulo – SP e com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), Av. Prof Lineu Prestes 2242, Dr. Jorge E. Souza Sarkis, pelo tel: (011) 3133-9377

CONSENTIMENTO INFORMADO:

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, relativas à coleta de sangue como parte da pesquisa “**Análise de Riscos Toxicológicos e Ambientais na Exposição Ocupacional aos Resíduos de Armas de Fogo (GSR/ Firing Ranges): Uma Proposta de Normalização**”. Ficaram claros para mim quais são os propósitos da coletas de sangue, urina e saliva e os procedimentos a serem realizados, seus

desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que, ao autorizar as coletas, tenho total garantia de que os resultados obtidos a partir das análises serão viabilizados a mim. Assim, concordo em fornecer cinco mililitros de sangue para este estudo, ciente de que meu consentimento é voluntário e de que tenho o direito de não concordar em participar da pesquisa ou de retirar meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades, prejuízos ou perda de qualquer benefício a que eu tenha direito junto ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Assinatura do entrevistado/representante legal

Data: ____/____/____

.....

(somente para o responsável do projeto)

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste entrevistado ou representante legal para a participação neste estudo.

Assinatura do responsável pelo estudo

Data: ____/____/____

ANEXO 2

QUESTIONARIO

Nome:

Idade:

Peso/altura:

Fumante/freqüência:

Quantos anos exerce a atividade:

Qual a freqüência:

Em função da freqüência, quantidade de disparos realizados por semana:

Opcional:

Algum tratamento o enfermidade:

Algum sintoma:

ANEXO 3



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA – COEP/FSP

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

OF. COEP/107/10

21 de maio de 2010.

Prezado(a) Pesquisador(a) e Orientador(a),

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo – COEP/FSP, **analisou**, em sua **2ª/10 Sessão Extraordinária**, realizada em **21/5/2010**, de acordo com a Resolução n.º 196/96 do Conselho Nacional de Saúde – CNS e suas complementares, o protocolo de pesquisa n.º **2090**, intitulado **"ANÁLISE DE RISCOS TOXICOLÓGICOS E AMBIENTAIS NA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AOS RESÍDUOS DE ARMAS DE FOGO (GSR/FIRING RANGES): UMA PROPOSTA DE NORMALIZAÇÃO"**, área temática **GRUPO III**, sob responsabilidade do(a) pesquisador(a) **Jorge Eduardo de Souza Sarkis**, considerando-o **APROVADO**.

Cabe lembrar que conforme Resolução CN /196/96, são deveres do (a) pesquisador (a): **1. Comunicar**, de imediato, qualquer alteração no projeto e aguardar manifestação deste CEP (Comitê de Ética em Pesquisa), para dar continuidade à pesquisa; **2. Manter sob sua guarda e em local seguro**, pelo prazo de 5 (cinco) anos, os dados da pesquisa, contendo fichas individuais e todos os demais documentos recomendados pelo CEP, no caso eventual auditoria; **3. Comunicar**, formalmente a este Comitê, quando do encerramento deste projeto; **4. Elaborar e apresentar relatórios parciais e final**; **5. Justificar**, perante o CEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Atenciosamente,

Claudio Leone
Professor Titular

Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da FSP-USP

Ilm.ª Sr.
Dr. Jorge Eduardo de Souza Sarkis
Laboratório de Caracterização Química e Isotópica
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP

ANEXO 4

Forensic Science International 214 (2012) 44–47



Contents lists available at ScienceDirect

Forensic Science International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/forensiint

Measurement of airborne gunshot particles in a ballistics laboratory by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry

Ernesto Diaz^{a,*}, Jorge E. Souza Sarkis^b, Sônia Viebig^c, Paulo Saldiva^d^a Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Laboratorio de Evidencia Traza, Calle 7 A No. 12-61, Bogotá, Colombia^b Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, Grupo de Caracterização Química e Isotópica, Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira – USP, Travessa R, Número 400-Caixa Postal 11049, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil^c Instituto de Criminalística de São Paulo – Centro de Exames, Análises e Pesquisas, São Paulo, Brazil^d Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, Departamento de Patologia, Av. Dr. Arnaldo, 455 Cerqueira César, 01246-903 São Paulo, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 March 2011

Received in revised form 24 June 2011

Accepted 6 July 2011

Available online 9 August 2011

Keywords:

Airborne

Lead

Antimony

Barium

Gunshot residues

Ballistics

ABSTRACT

The present study aimed determines lead (Pb), antimony (Sb) and barium (Ba) as the major elements present in GSR in the environmental air of the Ballistics Laboratory of the São Paulo Criminalistics Institute (I.C.-S.P.), São Paulo, SP, Brazil. Micro environmental monitors (mini samplers) were located at selected places. The PM_{2.5} fraction of this airborne was collected in, previously weighted filters, and analyzed by sector field inductively coupled plasma mass spectrometer (SF-HR-ICP-MS). The higher values of the airborne lead, antimony and barium, were found at the firing range (lead (Pb): 58.9 µg/m³; barium (Ba): 6.9 µg/m³; antimony (Sb): 7.3 µg/m³). The mean value of the airborne in this room during 6 monitored days was Pb: 23.1 µg/m³; Ba: 2.2 µg/m³; Sb: 1.5 µg/m³. In the water tank room, the air did not show levels above the limits of concern. In general the airborne lead changed from day to day, but the barium and antimony remained constant. Despite of that, the obtained values suggest that the workers may be exposed to airborne lead concentration that can result in an unhealthy environment and could increase the risk of chronic intoxication.

© 2011 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The gases, vapors, and particulate matter formed by the discharge of ammunition in a firearm are collectively known as firearm discharge residue (FDR) or gunshot residue (GSR). The theory of GSR particles origin says that most GSR leaves the firearm after the discharge in the form of gas. The gas gradually condenses and individual particles sediment around the shooting firearm. The metallic components involved, namely, lead (Pb) and antimony (Sb), originate from the bullet, barium (Ba) and Sb may originate from the primer ignition. There are some others metals from the case alloys like cooper (Cu) and zinc (Zn) and aluminum (Al), but they are widely used in many others applications and are not considered typical for GSR residues. In fact, the Sb is considered the best indicator to the GSR particles presence, because of the low abundance in environment [1]. Exposures to airborne and settled lead, antimony and barium dust at firing ranges put Firearm Examiners and others employees at risk for lead and others metals poisoning [2]. Air monitoring indicates if Firearm Examiners are or not usually exposed above the safety level. The Federal OSHA

General Industry Lead Standard (29 CFR 1910.1025) establishes specific airborne lead exposure levels for employees working in areas where airborne lead is present. The standard creates two levels of exposure. The action level for airborne lead exposure is 30 micrograms per cubic meter (µg/m³) of air as an 8-h time-weighted average (TWA). The PEL (permissible exposure limit) of 50 µg/m³ of air averaged over an 8-h day.

Lead exposure is determined through air sampling that measures the concentration of lead in the air (the number of micrograms of lead present in a cubic meter of air). The Brazilian legislation limit of exposure for lead (Pb) in a workplace is 100.0 µg/m³/40 h/week and when this legislation fail to produce an occupational limit for a given element or compound, it advices to follow the ACGIH[®] (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) [3]. Recently the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) has adopted a threshold limit value (TLV) for lead of 50 µg/m³ [4].

These elements lead (Pb), antimony (Sb), and barium (Ba) must be considered as atmospheric particulate matter generated from firearm discharge, and is a matter of concern when it comes to the workers occupational health. In these environments the particulate matter is usually formed by GSR particles that are hollow or porous particles, which will have different sedimentation time [5]. Because the fine particulate matter (PM_{2.5}) remain suspended in

* Corresponding author. Tel.: +57 1 4069944; fax: +57 1 3334850.
E-mail addresses: ediaz1964@gmail.com, ediaz@usp.br (E. Diaz).

the workplace atmosphere, inhalation is the major path of contamination.

Particulate matter at firing ranges has variable compositions, but lead (Pb), antimony (Sb), and barium (Ba) are elements of concern because of their toxicity, especially in the case of Pb. Lead exposure occurs mainly through inhalation of lead fumes or ingestion (e.g., eating or drinking with contaminated hands). If not detected early, people with high lead blood levels can suffer from high blood pressure, memory and concentration problems, digestive problems, shakiness, muscle and joint pain, irritability and difficulties during pregnancy. Besides, once deposited in the clothes, shoes or even in the body of the occupationally exposed workers, it can also be transported out of the workplace contaminating places and unprotected people. You can also carry lead from the range to your family on your clothes, shoes, and body. Lead carried in this way is known to as "take-home lead." Take-home lead affects mainly children by causing damage to the brain and nervous system, slowed growth, behavior and learning problems, hearing problems, and headaches.

Particles with an aerodynamic diameter of less than 10 μm (PM_{10}) are inhalable and, therefore, constitute the fraction of particles relevant for the assessment of health effects [6]. Some of studies have implied that the fine mass ($\text{PM}_{2.5}$) component of PM_{10} is more likely to be associated with the observed health effects than the coarse fraction [7].

Determination of metallic species in indoor PM is usually carried out through atomic spectrometric methods involving techniques such as FAAS (flame atomic absorption spectrometry), ICP-OES (inductively coupled plasma optical emission spectroscopy), ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) and ETA-AS (electro thermal atomic absorption spectrometry) [8–11].

2. Materials and methods

The study was conducted between 15 and 25 October 2010. The evaluated facility the Laboratory of Ballistics at the Criminalistics Institute in the municipality of São Paulo, São Paulo State, Brazil. The room of the fire arms range and the tank were monitored because in these points the arms are fired. The ballistics expert's room, where the personnel spend most of time were monitored too. The exposure assessment was performed on 6 non-consecutive days; the atmosphere air was collected for 8 h, corresponding to 100% of the working day. The exhaustion air system was running on while the experiments were performed (same regime like in ordinary working days). The number of fired rounds in each ambient (fire arms range and the tank) day was noted.

2.1. Sampling

The samples were collected in the Firearm Examiner's office, the water tank room and the firearms testing room at the Ballistics Laboratory in the Sao Paulo Criminalistics Institute. The number of fired rounds was noted. One round consisted of three shoots as routinely for testing purposes. Were tested different types of arms, mainly .38, .32, .22, and 9 mm.

All the inlet probes were located at 1.8 m height, away from air disturbances, windows and walls; the flow rate was adjusted before and after each sampling with a bubble flow meter.

2.2. Pumps and filters

The mini sampler containing an Harvard Impactor with polycarbonate filters were used for this purpose. Pre-calibrated constant flow Harvard Impactors with operating at 1.8 L min^{-1} air pumps. Using silicone tubes, the pumps were connected to filter

holders containing the polycarbonate filters with diameter of 37 mm and pore size of 0.8 μm .

2.3. Sample preparation

All the polycarbonate filters were weighed in the Laboratory of Analyzes of Atmospheric Processes (LAPAT), at the Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science of USP, using a Mettler MT5 micro-balance (Mettler-Toledo, Greifensee, Switzerland) with 1 mg reading. Weighing was conducted in the same temperature and humidity conditioned room: 20 °C, 40% humidity.

After sampling the filters were weighted again and placed in cartridges until analysis. The sample digestion was made based on the OSHA Method 1006 [11]: The exposed filters and the blanks were transferred to clean beakers together with 3.0 mL concentrate, sub boiling HNO_3 (Merck, Germany), 1.0 mL 30% H_2O_2 (Merck, Germany) and covered with a watch glass. The reagent blanks were started at this step. The samples were heated on 140 °C hotplate until volume was reduced to 0.5 mL. The watch glass and the beaker were rinsed with deionized water (of resistivity 18 $\text{M}\Omega\text{ cm}$). Afterwards, extract sample solutions were diluted to 10 mL with deionized water (of resistivity 18 $\text{M}\Omega\text{ cm}$) and aspirated directly into a sector field inductively coupled plasma mass spectrometer (SF-HR-ICP-MS) (ELEMENT 1, Finnigan MAT, Bremen, Germany) for the determination of Sb, Ba and Pb.

2.4. Analytical instrumentation

The sector field inductively coupled plasma mass spectrometer (SF-HR-ICP-MS), a technique with many advantages, large dynamic linear range, multi-elemental analysis capability and very low detection limits.

To determine total analytical concentrations responses of the following isotopes were measured: 121Sb, 138Ba and 208Pb. Table 1 shows the main operating conditions. A Meinhard concentric nebulizer was used for simple introduction to a quartz torch, with peristaltic pumping, and 5.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ of 115In and 209Bi solution was used as an internal standard.

2.5. Reference solutions

All reference solutions were prepared in deionized distilled water from a Milli-Q-Plus system (Millipore[®], USA). Working standard solutions of 1.6, 3.2, 4.8, 6.4, 16, 32 and 80 $\mu\text{g L}^{-1}$ of Pb, Ba

Table 1
SF-HR-ICP-MS main operation conditions.

Cool gas flow rate	15 L min^{-1}
Auxiliary gas flow rate	1.10 L min^{-1}
Sample gas	0.97 L min^{-1}
RF power	1250 W
Runs/passes	5/4
Wash time	40 s
Take up time	30 s
Sampling cone nickel	1.0 mm orifice
Skimmer cone nickel	0.8 mm orifice
Flow rate	1.0 L min^{-1}
Samples per peak	20
Integration window	80
Sample time	0.0100 s
Segment duration	0.240 s
Mass window	120
Search window	150
Scan type	Scan
Detection mode	Both
Spray chamber	Scott type (PE-Sciex)

Table 2
The confidence parameters based on the calibration curves.

	Sd	LOD (ng/L)	LOQ (ng/L)	LDM (ng/m ³)	LQM (ng/m ³)
Sb	0.00022	2.09	6.97	1.81	6.03
Ba	0.00144	4.28	14.28	3.7	12.34
Pb	0.00076	3.53	11.77	3.05	10.17

and 0.35, 0.7, 1.05, 1.4, 3.5, 7.0, 17.5 µg L⁻¹ of Sb in 2% nitric acid were prepared by dilution of original 1000 mg L⁻¹ SPEX standards (NJ, USA).

3. Results and discussion

This study investigated the occupational exposure of personnel in the Laboratory of Ballistics where large amounts of GSR are produced.

Detection and quantification limits for SF-HR-ICP were computed, respectively, with the expressions: LDM = 3Sd/m and LQM = 10Sd/m, where Sd is the standard deviation of the blank (n = 5) and m is the slope of the calibration curve. LOD (limit of detection) and LOQ (limit of quantification) in samples were computed from LDM (method limit detection) and LQM (method limit quantification), based on the sampled volume of 0.864 m³ day⁻¹, which correspond to 100% of a 8 h (480 min) working day using the sampling flow rate of 1.8 L min⁻¹.

The confidence parameters were based on the LDM and LQM values obtained in solution by the SF-HR-ICP-MS from the calibration curves are shown in Table 2.

In the present case, the air in the analyzed facilities did not exceed the TLV-TWA (threshold limit value-time weighted average) requirements defined by ACGIH[®] for Sb and Ba elements. On the other hand, in 1 day, the Pb concentrations mean level surpassed the limit defined by the American Conference but, did not exceed the Brazilian occupational limit of 100.0 µg/m³ of Pb air concentration in the workplace. However, the obtained values suggest that the workers may be exposed to airborne lead concentration that can result in an unhealthy environment and could increase the risk of chronic intoxication.

3.1. Sampling

Table 3 shows the mean metals concentration and the standard deviation. These three elements (Pb, Ba and Sb) were sampled for 6 non-consecutive days.

The concentration variability in the collected days is directly related to the number of shoots made each day by the experts. As expected, the fired rounds were strongly correlated with the observed amounts of lead, antimony and barium. It is clear shown that in the firing range the levels appear so high in 20 October, and the levels go up again in 22 October. In the case of the water tank in

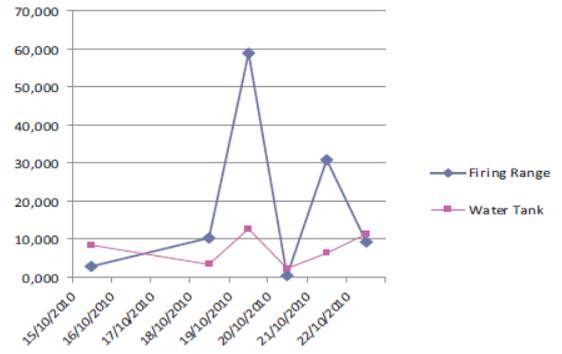


Fig. 1. Changes in the airborne lead from GSR in the monitored facilities firing range and water tank (Y axis units: µg/m³).

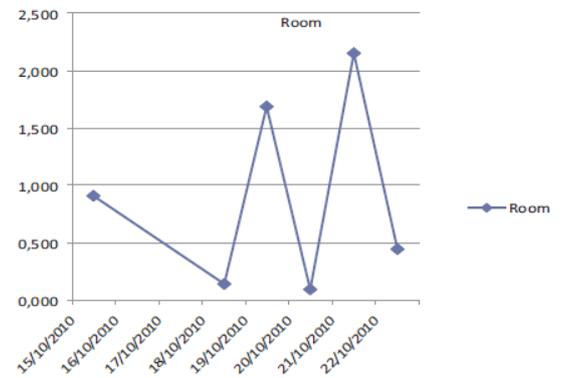


Fig. 2. The airborne lead in the experts room, note the low levels in this case (Y axis units: µg/m³).

20 October the airborne levels increase, but they are lower than in the firing range, apparently because of the lower number of fired rounds. In the office, the levels show up much lower. Perhaps the airborne lead levels are below the national and international limits, with the exception of an increase in 20 October, the mean value for the airborne lead looks higher than the safety limits. These results are shown in graphics in Figs. 1 and 2.

The blanks of two non-exposed filters were measured:

- Blank 1: Pb 7.7 ng/m³, Ba 22.9 ng/m³, Sb 0.9 ng/m³.
- Blank 2: Pb 0.2 ng/m³, Ba 16.0 ng/m³, Sb 0.8 ng/m³.

Table 3
The mean metal concentration in air, the standard deviation and the number of fired rounds.

Date	Firing ranges (µg/m ³)			Fired rounds	Water tank (µg/m ³)			Fired rounds	Experts office (µg/m ³)		
	Pb	Ba	Sb		Pb	Ba	Sb		Pb	Ba	Sb
15/10/2010	2.959	0.166	0.015	2	8.455	0.845	0.389	6	0.907	0.111	0.039
18/10/2010	10.331	1.413	0.454	16	3.519	0.549	0.144	2	0.14	0.037	0.003
20/10/2010	58.928	6.914	7.257	62	12.762	0.887	0.278	7	1.688	0.178	0.057
21/10/2010	0.441	0.061	0.009	1	2.375	0.226	0.038	3	0.091	0.044	0.002
22/10/2010	30.808	3.934	1.598	39	6.292	0.63	0.238	5	2.146	0.263	0.076
25/10/2010	9.326	0.15	0.159	12	11.444	0.539	0.226	8	0.441	0.051	0.009
Mean	23.101	2.188	1.506		6.869	0.547	0.198		0.773	0.098	0.027
Sd	23.385	2.549	2.604		4.146	0.28	0.122		0.848	0.093	0.031

From these results we can underestimate the contamination from the filters material.

The baseline control from Sao Paulo's air was sampled 5 km away from the laboratory, in the campus of the Sao Paulo's University (USP), using the same methodology. The airborne contaminants (Pb, Ba and Sb) were measured:

Baseline control: Pb 33.6 ng/m³, Ba 44.0 ng/m³, Sb 1.2 ng/m³.

We regard that lead content increase meanwhile the barium and antimony remains almost like in the blanks, perhaps because of the presence of lead in the air pollution.

Regarding the metals Sb and Ba, the variations in observed concentrations for different days and places are correlated to the Pb concentrations. This is expected from the general composition of the GSR when mainly lead ammunition is used and the antimony and barium are in much lower concentration in the produced residues from the primer.

Based on these results and regarding the United States Code of Federal Regulations, 29 CFR 1910.1000, Subpart Z, (d)(i)(i), that indicates that the cumulative exposure E for an 8-h work shift shall be computed as follows:

$$E = \frac{C_a T_a + C_b T_b \dots C_n T_n}{8}$$

where E , the equivalent exposure for the work shift; C , the concentration during any period of time ($a \dots n$), where the concentration remains constant; T , the duration in hours of the exposure at concentration C .

Substituting the mean airborne lead concentration in the office, where the experts spend most of time (6 h), 1 h in the firing range and 1 h in the water tank. The equation results in the following:

$$E = \frac{1 \text{ mg/m}^3 \times 6 + 23 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \times 1 + 7 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \times 1}{8} = 4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$$

In order to calculate the predicted total exposure, let's assume a 20 L min⁻¹ respiration rate and a lead concentration of 1 μg/m³ during 6 h (360 min), a person would be exposed to 7.2 μg lead in 6 h in the experts' office; 27.6 μg lead in 1 h in the firing range and 8.4 μg lead during 60 min at the water tank room.

4. Conclusion

This study indicates that levels of air pollutants from GSR might be high, mainly the lead component, near the OSHA limits, in the firing range. In the water tank the levels are lower, but still concern about the cumulative exposure, especially to those experts that might be considered susceptible to lead intoxication. However, the airborne particle from GSR in the experts office, where they spend the most of time, shows a better situation, with lower levels of airborne lead.

The airborne antimony and barium levels resulted much lower than the limits for occupational exposure.

Acknowledgements

Authors are grateful to the Laboratory of Experimental Atmospheric Pollution from the Medicine Faculty of the Sao Paulo University (USP) by the logistical support in affording the mini samplers and filters, and to the Laboratory of Analyzes of Atmospheric Processes (LAPAT), at the Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Science of the same university USP for the filters weighing.

References

- [1] S.W. James, *Chemical Analysis of Firearms, Ammunition, and Gunshot Residue*, International Forensic Science and Investigation Series, Taylor & Francis Group, LLC, CRC Press, 2008.
- [2] S.E. Valway, J.W. Martyny, J.R. Miller, M. Cook, E.J. Mangione, Lead absorption in indoor firing range users, *Am. J. Public Health* 79 (1989) 1029–1032.
- [3] BRASIL, Ministério do Trabalho NR 15 Atividades e Operações Insalubres, 1977.
- [4] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), TLVs[®], Cincinnati, ACGIH, 2008 (Standard).
- [5] A.J. Schwoeble, D.L. Exline, *Forensic Gunshot Residue Analysis*, CRC Press, 2000.
- [6] J. Spengler, R. Wilson, Emissions dispersion and concentration of particles, in: R. Wilson, J.D. Spengler (Eds.), *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects*, Harvard University Press, Cambridge, 1997, p. 4162.
- [7] D.W. Dockery, C.A. Pope, X. Xu, et al., Mortality risk of air pollution: a prospective cohort study, *N. Engl. J. Med.* 329 (1993) 1753–1759.
- [8] M. Kiiilunen, Occupational exposure to chromium and nickel in Finland and its estimation by biological monitoring, in: *Biomonitoring Laboratory*, Institute of Occupational Health, Helsinki, 1994, pp. 215–257.
- [9] National Institute for Occupational Safety (NIOSH), *Health and Safety Guide for Foundries*, NIOSH, USA, 1976, pp. 9–14 (Standard).
- [10] World Health Organization – International Program on Chemical Safety (WHO/IPCS), *Inorganic Lead Environmental Health Criteria 165*, IPCS, Geneva, 1995, pp. 32–78 (Standard).
- [11] Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Available from <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/mdt/mdt1006/1006.pdf>.

ANEXO 5

International Journal of Hygiene and Environmental Health 217 (2014) 702–704



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Hygiene and Environmental Health

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijheh

Short communication

Occupational exposure to airborne lead in Brazilian police officers

Ernesto Díaz Rocha^{a,*}, Jorge E. Souza Sarkis^b, Maria de Fátima H. Carvalho^c,
Gerson Vechio dos Santos^d, Claudemir Canesso^d^a Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Laboratorio de Evidencia Traza, Calle 7 A No. 12-61, Bogotá, Colombia^b Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP, Grupo de Caracterização Química e Isotópica, Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira – USP, Travessa R, Número 400-Caixa Postal 11049, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil^c Instituto Adolfo Lutz, Núcleo de Contaminantes Inorgânicos, Centro de Contaminantes, São Paulo, SP, Brazil^d Escola de Educação Física da Polícia Militar do Estado de São Paulo, Avenida Cruzeiro do Sul, 548, Canindé, São Paulo, SP, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 March 2013

Received in revised form

17 December 2013

Accepted 18 December 2013

Keywords:

Blood lead level

Firearms

Gunshot residues

Indoor occupational exposure

Police training

ABSTRACT

Shooting with lead-containing ammunition in indoor firing ranges is a known source of lead exposure in adults. Police officers may be at risk of lead intoxication when regular training shooting exercises are yearly mandatory to law enforcement officers. Effects on health must be documented, even when low-level elemental (inorganic) lead exposure is detected. Forty police officers (nineteen cadets and twenty-one instructors) responded to a questionnaire about health, shooting habits, and potential lead exposure before a training course. Blood samples were collected and analyzed for blood lead level (BLL) before and after a three days training course. The mean BLL for the instructors' group was $5.5 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0.6$. The mean BLL for the cadets' group before the training was $3.3 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 0.15$ and after the training the main BLL was $18.2 \mu\text{g}/\text{dL} \pm 1.5$. Samples were analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS). All the participants in the training course had significantly increased BLL (mean increment about $15 \mu\text{g}/\text{dL}$) after the three days indoor shooting season.

In conclusion, occupational lead exposure in indoor firing ranges is a source of lead exposure in Brazilian police officers, and appears to be a health risk, especially when heavy weapons with lead-containing ammunition are used in indoor environments during the firing training seasons.

© 2013 Elsevier GmbH. All rights reserved.

Introduction

Exposure to lead from gunshot residues (GSR) originates from the combustion of lead-containing primer (primer is a highly explosive material that detonates on percussion), as well as from the shearing of lead particles as the bullet passes through the chambers and the barrel of the weapon (Schwoeble, 2000). Shooting in indoor firing ranges with lead-containing ammunition is a known source of lead exposure in adults (Diaz et al., 2012; Ozonoff, 1994; Svensson et al., 1992; Valway et al., 1989). This exposure can result in increases in blood lead level (BLL) from 1.5 to 2 times higher (Gulson et al., 2002) and is higher when non-jacketed pure lead bullets are used rather than jacketed bullets (Tripathi et al., 1990).

The Brazilian Legislation established the action level for occupationally exposed personnel in $60 \mu\text{g}/\text{dL}$ (Brasil, 1983), but there are concerns about the sub clinical BLLs (lower than $30 \mu\text{g}/\text{dL}$) (Cordeiro and Lima-Filho, 1995; Gidlow, 2004; Kosnett et al., 2007).

Shooting exercises are mandatory in the police all around the world. In Brazil, some exercises imply the exposure in indoor environments to residues from several rounds with different weapons, in a short period of time. Changes in blood lead levels (BLL) during firearms instruction at indoor firing-ranges must be measured and determine their risk from lead exposure.

Materials and methods

20 police officers, ranged from 26 to 47 years old and 21 firing-range instructors aged between 34 and 77 years old, from military police in the city of Sao Paulo (Brazil) were invited to participate in the study prior to initiate the training course "Self Protection and Life Preservation" based on the method developed by Nilson Giraldi, in which the officers have to use different weapons (Pistol, Portable Machine Gun and Pump Shotgun) and are submitted to several situations simulating real life situations. The training room was 20 m long, 15 m wide and 4 m height, the air exhaustion system was capable of approximately 20 exchanges per hour. Further environmental characteristics as airborne lead concentration were not available. The exercises implied hard physical strength and stress,

* Corresponding author. Tel.: +55 11 31339383.

E-mail addresses: ediaz1964@gmail.com, ediaz@usp.br (E.D. Rocha).

Table 1
Type of weapons and ammunitions and rounds fired during the training course.

	Weapon	Ammunition	# Shoots
Day 1	Pistola, Taurus, PT 24/7 e PT 640	.40 S&W EOPP	4225
Day 2	Submachine gun MT40	.40 S&W EOPP	3805
Day 3	Shotgun CBC 586.2	12-3T e 12-SG	1685

wearing a bullet protective clothes which simulates the real life situations of the policeman in day to day work in Sao Paulo City.

The participants assisted to conference where information about the exposure to GSR and health risks associated was shared, as well as the methodology and purposes of the present work. Additionally they were invited to respond to a questionnaire about current health, use of tobacco, present work tasks, occupational and recreational shooting habits as well as other potential sources of lead exposure. Incomplete questionnaires were accepted without further intervention, thus leaving incomplete data for some subjects. Informed consent was obtained from them, whereas one officer decided not to participate, while two others decided not to submit blood samples after the course. In the case of the 21 firing-range instructors were collected samples of blood only before the course. Two of them, those who participated in the course, collected blood after the course, so these two instructors were exposed to the same air during the course.

Blood samples were collected a day before the training course and 12 h after the end of last training. Lead-free vacuum tubes containing EDTA were used by trained personnel at occupational health service center affiliated with the local police authorities. The samples were prepared following well-known methodologies (Mcshane et al., 2008; Smith et al., 2002). High purity de-ionized water (resistivity $18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$) was used. All used reagents were analytical grade. All chemical solutions for Pb determination were stored in high-density polypropylene bottles. Blood samples were stored in 6 ml tubes at -20°C . All tubes, plastic bottles, and glass-ware materials were previously cleaned by soaking in 10% v/v HNO_3 for 24 h, rinsing 6 times with Milli-Q water.

The samples were analyzed to ^{208}Pb isotope for BLL, using an Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer from Perkin Elmer model Elan DRC II. A Meinhard concentric nebulizer was used for sample introduction to a quartz torch, with peristaltic pumping and $2.0 \mu\text{g/L}$ of ^{193}Ir solution used as internal standard for quantification purposes.

To evaluate the accuracy of the measurements, SERONORM™ whole blood Standard Reference Material and Blood Reference Materials produced by the New York State Department of Health as part of their Interlaboratory Program of Proficiency Testing were analyzed before and after 10 ordinary samples.

The total number of rounds, type of weapons and ammunition used in the three days course are presented in Table 1. The differences in average BLL between the instructors group and the cadets before the course and the cadets' samples before and after the course were analyzed statistically via Graphpad Prism®.

Results

Two officers from the Instructors' group declared to have memory problems and weakness, one reported cardiac problems, one reported allergy, one reported renal insufficiency and one reported ulcerative colitis, three were regular smokers. Only one of the instructors reported recent firing range activity. The mean BLL for the instructors' group was $5.5 \mu\text{g/dL}$ and standard error 0.6; range 4.2–6.7 $\mu\text{g/dL}$ (95% confidence). None of the cadets reported illness or symptoms related to lead intoxication. The cadets' mean BLL before the course was $3.3 \mu\text{g/dL}$ and standard error 1.5; range 3.0–3.6 $\mu\text{g/dL}$ (95% confidence). The means for these two groups

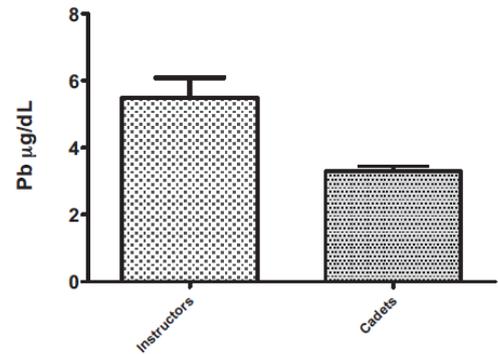


Fig. 1. Mean comparison between instructors' group ($n=21$) and cadets' group ($n=19$) before the training season.

were compared statistically (Unpaired t -test) and resulted significantly different ($P=0.0019$) (see Fig. 1). After the course the mean BLL in cadets' group increased to $18.4 \mu\text{g/dL}$ standard error 1.1; range 16–21 $\mu\text{g/dL}$ (95% confidence). In all cases the BLL rose up (see Fig. 2). The means before and after the course were compared statistically and showed significant differences ($P<0.0001$) in a paired t -test (see Fig. 3).

The two instructors showed increments in BLL before and after the course from 3.6 to 22.1 $\mu\text{g/dL}$ in one case and 7.7 to 18.3 $\mu\text{g/dL}$ in the second one.

Discussion

In this study occupational lead exposure in indoor firing ranges did not result in any case over passing the action limit ($60 \mu\text{g/dL}$) established in the Brazilian Legislation. Despite of this, these results indicate that the exposure to lead during firing training courses seems to constitute a health risk to Brazilian police officers, especially for those whose BLL increased up to more than $20 \mu\text{g/dL}$ (seven cases, including one instructor), incrementing risk of elevated blood pressure, adverse memory effects and kidney damage, especially for the instructors who are frequently exposed.

The differences among the cadets may be explained because of differences in physical strength and behaviors while breathing or breathing by mouth, as well as differences in the air intake during the training seasons. Increments up to $15 \mu\text{g/dL}$ in such a short period of time represents a risk to the health (ATSDR, 2007; Fewtrell et al., 2003; Kosnett et al., 2007).

In the group of firing-range instructors the mean values for the BLL ($5.5 \mu\text{g/dL}$) before the course are comparable with the reported by Lofstedt et al. (1999) and NIOSH (2009) and the difference with the cadets group before the training season might indicate a risk concerning the occupational exposure in a less studied field when compared with exposures to lead in industry and might be related to the symptoms declared by the instructors.

The increment in BLL to the cadets and instructors, before and after the course, is considered extremely significant taking into account the short period of time (3 days!) the personnel were exposed. They are higher (5–7 times) than those reported for other exposures (1.5–2 times) (Harlan, 1988; Nash et al., 2003; Pocock et al., 1988; Schwartz, 1988).

Considering all these facts is recommended that those whom BLL resulted in the range from 10 to $19 \mu\text{g/dL}$ (12 cases) must be informed about the risk, decrease the lead exposure, increase the biological monitoring and consider stopping the lead exposure if BLL does not decrease to less than $10 \mu\text{g/dL}$. Those whom BLL are

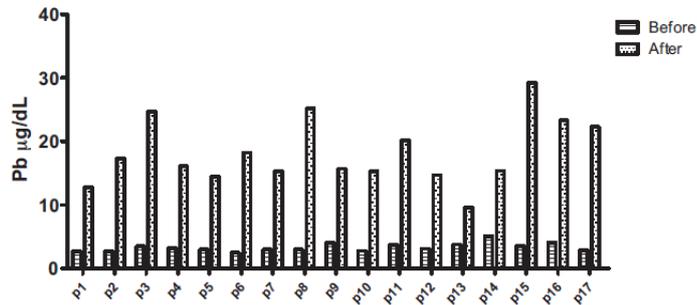


Fig. 2. Changes in cadets' BLL before and after the training season.

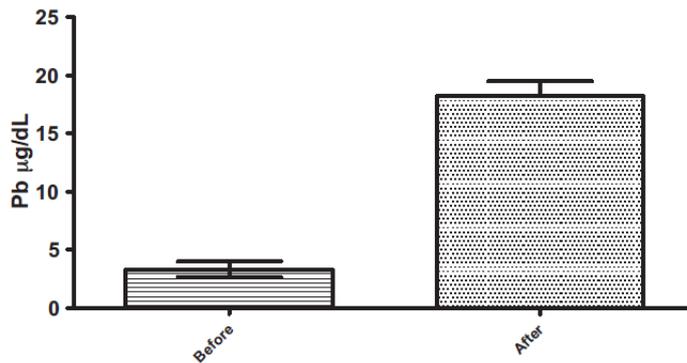


Fig. 3. Comparison between means before and after the training season in BLL from cadets (n = 17).

in the range from 20 to 29 µg/dL must be removed from exposure if repeated BLL in 4 weeks remains above or equal to 20 µg/dL (Kosnett et al., 2007). Others measures in order to minimize the GSR produced, as well as the optimization of the ventilation system must be priority.

References

ATSDR, 2007. Toxicological Profile for Lead. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.

BRASIL, 1983. Ministério do Trabalho e Emprego NR 7 Programa do Controle Médico e Ocupacional PCMSO. Brasil.

Cordeiro, R., Lima-Filho, E.C., 1995. A Inadequação dos Valores dos Limites de Tolerância Biológica para a Prevenção da Intoxicação Profissional pelo Chumbo no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública* 2 (11), 177–186.

Diaz, E., Sarkis, J., Viebig, S., Saldiva, P., 2012. Measurement of airborne gunshot particles in a ballistics laboratory by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry. *Forensic Sci. Int.* 214, 44–47.

Fewtrell, L., Kaufmann, R., Prüss-Ustün, A., (WHO Environmental Burden of Disease Series No. 2) 2003. Lead: assessing the environmental burden of disease at national and local level. WHO, Geneva.

Gidlow, D.A., 2004. Lead toxicity. *Occup. Med.* 54, 76–81.

Gulson, B., Palmer, J., Bryce, A., 2002. *Sci. Total Environ.* 293, 143–150.

Harlan, W.R., 1988. The relationship of blood lead levels to blood pressure in the U.S. population. *Environ. Health Perspect.* 78, 9–13.

Kosnett, M., Wedeen, R., Rothenberg, S., Hipkins, K., Materna, B., Schwartz, B., Hu, H., Woolf, A., 2007. Recommendations for medical management of adult lead exposure. *Environ. Health Perspect.* 3, 463–471.

Lofstedt, H., Selden, A., Storeus, L., Bodin, L., 1999. Blood lead in Swedish police officers. *Am. J. Ind. Med.* 35, 519–522.

Mcshane, W., Pappas, S., Wilson, V., Paschal, D., 2008. A rugged and transferable method for determining blood cadmium, mercury, and lead with inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Spectrochim. Acta* 63 (part B), 638–644.

Nash, D., Magder, L., Lustberg, M., Sherwin, R., Rubin, R., Kaufmann, R., 2003. Blood lead, blood pressure, and hypertension in perimenopausal and postmenopausal women. *JAMA* 289, 1523–1531.

NIOSH, DHHS (NIOSH) Publication No. 2009-136 2009. Preventing Occupational Exposures to Lead and Noise at Indoor Firing Ranges. NIOSH.

Ozonoff, D., 1994. Lead on the range. *Lancet* 343, 6–7.

Pocock, S., Shaper, A., Ashby, D., Delves, H., Clayton, B., 1988. The relationship between blood lead, blood pressure, stroke, and heart attacks in middle-aged British men. *Environ. Health Perspect.* 78, 23–30.

Schwartz, J., 1988. The relationship between blood lead and blood pressure in NHANES II survey. *Environ. Health Perspect.* 78, 15–22.

Schwoeble, A.J., 2000. *Forensic Gunshot Residue Analysis*. CRC Press.

Smith, D., Hernandez-Avila, M., Téllez-Rojo, M., Mercado, A., Hu, H., 2002. The Relationship between lead in plasma and whole blood in women. *Environ. Health Perspect.* 110, 263–268.

Svensson, B., Schutz, A., Nilsson, A., Skerfving, S., 1992. Lead exposure in indoor firing ranges. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64, 219–221.

Tripathi, R.K., Sherertz, P.C., Llewellyn, G.C., Armstrong, C.W., Ramsey, S.L., 1990. Reducing exposures to airborne lead in a covered, outdoor firing range by using totally copper-jacketed bullets. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 51, 28–31.

Valway, S.E., Martyny, J.W., Miller, J.R., Cook, M., Mangione, E.J., 1989. Lead absorption in indoor firing range users. *Am. J. Public Health* 79, 1029–1032.