

## QUALIDADE DO AR E SAÚDE EM ESCOLAS LOCALIZADAS EM FREGUESIAS PREDOMINANTEMENTE URBANAS, RURAIS E MEDIAMENTE URBANAS

### INDOOR AIR QUALITY AND HEALTH IN SCHOOLS LOCATED MAINLY IN URBAN, RURAL AND SUBURBAN PARISHES

**Ana Ferreira**

Escola Superior de Tecnologia de Saúde de Coimbra, Portugal  
[anaferreira@estescoimbra.pt](mailto:anaferreira@estescoimbra.pt)

**Massano Cardoso**

Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, Portugal  
[massanocardoso@hotmail.com](mailto:massanocardoso@hotmail.com)

#### RESUMO

O impacto ambiental dos transportes é evidente em qualidade do ar urbano. Urbanização traz consigo muitas transformações da natureza incluindo a poluição. Cada cidade terá um papel crucial a desempenhar na minimização das atividades que contribuem para a destruição da camada de ozônio e do aquecimento global. A poluição atmosférica constitui um problema de saúde com reflexos a longo prazo. O aumento das preocupações com a economia de energia, conduziram à necessidade de reduzir as infiltrações de ar, de forma a diminuir os consumos energéticos na climatização. Esta diminuição, associada à entrada de novos materiais e técnicas de construção, foi tornando os edifícios mais estanques, o que se traduziu em problemas na qualidade do ar interior quando os meios de ventilação não são adequados. O presente trabalho pretendeu avaliar no outono/inverno e na primavera/verão a associação entre a qualidade do ar interior, em escolas localizadas em diferentes locais, da cidade de Coimbra e a prevalência de patologia alérgica e respiratória nas crianças que as frequentam. Os resultados vêm reforçar o interesse da exposição aos poluentes do ar em crianças, que frequentam escolas localizadas em meios predominantemente urbanas ou mediantemente urbanas, relativamente às que frequentam escolas localizadas em meios predominantemente rurais.

**Palavras-chave:** Qualidade do ar interior. Poluentes Atmosféricos. Escolas localizadas em diferentes meios. Sintomas e Patologias Respiratórias. sazonalidade.

#### ABSTRACT

The environmental impact of transport is evident in urban air quality. Urbanization brings with it many changes including the nature of the pollution. Each city will have a crucial role to play in minimizing activities that contribute to the destruction of the ozone layer and global warming. The environmental sustainability of cities requires an outside look, but fundamentally an inner attitude in the management of change processes. Air pollution is a health problem with consequences in the long term. The growing concerns about energy savings, led to the need to reduce air infiltration, in order to reduce energy consumption in air conditioning. This decrease, coupled with the entry of new materials and construction techniques, was making buildings more airtight, thus contributing to the reduction of energy losses, however, leads to problems in indoor air quality when the means of ventilation is not are suitable. This study sought to evaluate the season autumn / winter and spring / summer the association between indoor air quality in schools located in different places of the city of Coimbra and the prevalence of allergic respiratory disease in school children. The results reinforce the interest of exposure to air pollutants in children attending

---

Recebido em: 17/04/2013

Aceito para publicação em: 16/12/2013

schools situated in urban or predominantly urban mildly, for attending schools situated in predominantly rural.

**Keywords:** Indoor air quality. Air pollutants. Schools located in different media. Symptoms and Respiratory Diseases. Seasonality.

## INTRODUÇÃO

A degradação do ambiente no espaço urbano e, em específico, a degradação da qualidade do ar nas cidades é hoje objeto de preocupação incontestável, na medida em que grande parte da população vive nestas áreas. É a intensificação do tráfego rodoviário, tanto no interior das cidades, como nas suas vias de acesso, o principal responsável pelo incremento dos níveis de poluição, com o conseqüente desrespeito pelas normas de qualidade do ar.

A poluição do ar nas zonas urbanas tem sido objeto de grandes debates na sociedade do século XXI. As características específicas do estilo de vida urbano e do estilo de vida rural podem constituir fatores de risco distintos, e neste sentido, vários estudos têm sido feitos comparando a qualidade do ar e saúde existente em zonas urbanas com a existente em zonas rurais (SIDDIQUE S *et al.* 2010; APASCARITEI M *et al.* 2008; FRYE C *et al.* 2002; PRIFTIS N *et al.* 2009).

De acordo com Cerdeira *et al.* (2006), episódios de poluição mais graves, principalmente no ambiente urbano, são uma mistura de alto nível de poluentes e as condições meteorológicas adversas. A sazonalidade tem um papel importante na formação e concentração de poluentes e nos efeitos de saúde respiratória, a curto prazo.

A inadequada qualidade do ar interior (QAI) pode afetar negativamente a qualidade de vida dos ocupantes dos edifícios, influenciando o seu estado de saúde (ZURAIMI 2008; VIEGAS *et al.* 2012). Atualmente na maioria dos países desenvolvidos as pessoas passam, em média, mais de 80% do seu tempo em edifícios, originando um maior tempo de exposição a concentração de poluentes no interior, superiores às concentrações de poluentes do meio exterior, produzindo um aumento da probabilidade de sintomas e doenças respiratórias, sobretudo em crianças (CRUZ *et al.* 2012). A incidência de asma e alergia intensificou nos países desenvolvidos ao longo dos últimos anos. De acordo com Bousquet (2007), estima-se que 300 milhões de pessoas em todo o mundo sofram de asma. A QAI depende da presença e intensidade das fontes de poluentes, da ventilação existente nos locais e da qualidade do ar exterior (ZURAIMI 2008). As atitudes do ser humano podem ter uma influência considerável na ventilação dos locais e, às vezes, no controle das fontes de poluentes. Vários estudos têm revelado a existência de concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> em edifícios escolares, causados quer pela elevada densidade de ocupação, quer pela deficiente ventilação (MUMOVIC *et al.* 2009; BORODINECS *et al.* 2009; AL-RASHIDI *et al.* 2012). Os problemas de saúde pública, económicos e legais associados à QAI ocupam cada vez mais um espaço significativa nas sociedades contemporâneas. No entanto, dado a forte ligação QAI e eficiência energética, é essencial uma atuação ao nível da QAI, de forma mais sustentável, quer ao nível da construção, reabilitação e instalação, quer ao nível da manutenção dos edifícios e instalações (MATOS 2012). Entendendo a QAI como uma condição para o grau de cumprimento dos requisitos de saúde e de conforto, acrescida do fator subjetivo da componente de percepção da QAI (ADENE 2008), é imperativo uma atuação integrada sobre todos os fatores intervenientes. Esta abordagem integrada deve apostar em soluções construtivas e eficiências energéticas, tendo em consideração os materiais utilizados, consumos de energia, água e matérias, sem esquecer os impactos, e que garantam uma redução de custos de gestão e de manutenção. Só desta forma conseguiremos construir locais de forma saudável e sustentável, contribuindo para uma melhor e maior organização Territorial.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo consistiu na avaliação da qualidade do ar nas escolas do 1º Ciclo do Ensino Básico (EB1) e da saúde das crianças do 1º e do 4º ano de escolaridade (de novembro de 2010 a junho de 2011), da cidade de Coimbra, localizada no centro de Portugal.

As escolas incluídas foram previamente selecionadas de acordo com a sua capacidade e localização, tendo sido escolhida no mínimo uma escola por freguesia.

Para caracterizar a qualidade do ar foram avaliadas a temperatura ( $T^{\circ}$ ), humidade relativa (Hr), concentrações de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), dióxido de nitrogénio ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), compostos orgânicos voláteis (COVs), formaldeído (HCHO) e matéria particulada ( $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$ ), no interior das escolas, bem como na zona exterior envolvente, na estação do outono/inverno e na estação da primavera/verão.

Após assinatura do consentimento informado, foi proposto aos pais responderem a um questionário que compreendia questões referentes a sintomas e patologias das crianças.

Foram realizadas medições no interior das escolas e na zona exterior envolvente. As medições foram realizadas de acordo com o estabelecido pela Nota Técnica NT-SCE-02. Esta norma refere que as medições dos poluentes devem ser realizadas no período representativo de ocupação, passadas duas a três horas depois do início da atividade dos espaços, ou quando tenham sido obtidas as condições de equilíbrio. As medições efetuaram-se no período normal de funcionamento das aulas, sensivelmente duas horas após o início das aulas (da manhã ou da tarde), colocando-se o equipamento na posição mais central de cada sala e, sensivelmente, à altura das vias respiratórias dos alunos, na posição de sentados. As medições foram efetuadas de acordo com o estabelecido pela NT-SCE-02, a uma altura de 1m do solo e a, no mínimo, 3m das paredes entre as 10:30h e as 17:30h, num período de 30 minutos, com amostragens para as partículas de 30 em 30 segundos, os COVs de 15 em 15 segundos, e os restantes parâmetros de minuto a minuto, durante uma semana. Dependendo das dimensões das salas de aula fizeram-se em média duas medições por dia, em cada sala.

As avaliações de qualidade do ar ambiente ocorreram no espaço de recreio, à mesma altura a que foram efetuadas as medições de QAI, mas afastada pelo menos 1m das paredes exteriores das escolas em estudo.

Considerou-se como concentração máxima de referência para a concentração de CO de  $12,5 \text{ mg/m}^3$ , para o  $\text{CO}_2$  de  $1800 \text{ mg/m}^3$ , para  $\text{O}_3$  de  $0,2 \text{ mg/m}^3$ , para COVs de  $0,26 \text{ mg/m}^3$  (isobutileno) e para  $\text{PM}_{10}$  de  $0,15 \text{ mg/m}^3$ , como referido no Decreto-Lei nº 79/2006, de 4 de Abril. Para o  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$ , utilizou-se como referência os valores médios analíticos registados nas medições do ar exterior. Segundo o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, as condições ambientais de conforto de referência são de  $20^{\circ}\text{C}$  para uma temperatura ambiente adequada para a estação de aquecimento. A norma ISO 7730 refere um intervalo de humidade relativa de 30% a 70%.

O tratamento estatístico foi realizado com recurso ao IBM SPSS Statistics, versão 19.0. Para avaliação dos pressupostos, quanto ao tipo de estatística a aplicar às variáveis em estudo, recorreu-se ao teste estatístico *Skewness*, bem como ao *erro-padrão* associado (simetria) e ao teste estatístico *Kurtosis* associado ao *erro-padrão* (achatamento). A leitura dos dois coeficientes foi interpretada entre os valores padrão -2 e +2. No que diz respeito à distribuição normal, utilizaram-se os testes estatísticos *Kolmogorov-Smirnov* (com o *factor de correção de Lilliefors*) e *Shapiro-wilk* onde a mesma foi considerada normal para um  $p > 0,05$ . Utilizaram-se ainda estatísticas descritivas simples: medidas de localização (média e *mediana*), dispersão (variância e *desvio-padrão*) e de frequências (absolutas e *relativas*). Na verificação das hipóteses de investigação, aplicaram-se os testes  $\chi^2$  da *Independência*, *t-Student para Amostras emparelhadas*, *teste T Wilcoxon*, *Teste exacto de Fisher* e *odds ratio*. A interpretação dos testes estatísticos foi realizada com base num nível de significância  $p = 0,05$  com intervalo de confiança de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra estudada foi constituída por 1019 alunos distribuídos pelas 51 Escolas (81 salas de aula), das quais, 45 pertencentes à rede pública e 6 pertencentes à privada, distribuídas pelas 31 freguesias do Concelho de Coimbra. Verificou-se que a média de idades dos alunos que frequentavam o 1º ano foi de  $6,20 \pm 0,42$  anos e a média de idades dos alunos do 4º ano foi de  $9,25 \pm 0,48$  anos. Quanto à raça, 98,63% das crianças eram caucasianas. Das 12 crianças de raça negroide, 83,3% encontravam-se no 4º ano do 1º Ciclo do Ensino Básico. No que diz respeito à distribuição dos alunos por sexo, a maioria das crianças eram do sexo masculino (51,63%). Observou-se nas 493 crianças do sexo feminino, uma distribuição relativamente

equilibrada a frequentar quer o 1º quer o 4º ano de escolaridade. Tendência semelhante foi observada nos alunos do sexo masculino.

Procurámos, fazer uma distribuição dos alunos pelas diferentes localizações da freguesia a que pertence a sua escola e a residência. Vejamos o quadro 1:

QUADRO 1 – Distribuição dos alunos em função das diferentes localizações/tipologias das freguesias da sua escola e da residência

		Tipo de Freguesia por localização da Escola				
			Freguesia APR	Freguesia APU	Freguesia AMU	Total
Tipo de Freguesia	Freguesia APR	n	7	5	1	13
		% linha	53,8	38,5	7,7	100,0
Por localização da residência	Freguesia APU	n	1	599	21	621
		% linha	,2	96,5	3,4	100,0
	Freguesia AMU	n	1	58	204	263
		% linha	,4	22,1	77,6	100,0
	Freguesia fora de Coimbra	n	1	79	42	122
		% linha	,8	64,8	34,4	100,0
Total		n	10	741	268	1019
		% linha	1,0	72,7	26,3	100,0

Legenda: APU – Freguesia Predominantemente Urbana; AMU – Freguesia Mediamente Urbana; APR – Freguesia Predominantemente Rural

No Concelho de Coimbra, as freguesias são maioritariamente, predominantemente urbanas (APU) e mediamente urbanas (AMU), e apenas 2 são classificadas de predominantemente rurais (APR). Das 1019 crianças, a maioria destas encontravam-se a frequentar escolas pertencentes a freguesias denominadas do tipo APU (72,7%), seguida da freguesia do tipo AMU (26,3%). Observou-se uma igualdade proporcional de presença de crianças a frequentar o 1º ano e o 4º ano, nas diferentes tipologias de freguesias. Verificámos que quem reside numa freguesia APR, frequenta preferencialmente as escolas de uma freguesia APR (53,8%). As crianças que residem em meio APU a maioria estuda em escolas que pertencem a freguesias APU (96,5%) e esta tendência é semelhante nas freguesias do tipo AMU. Porém, as crianças que residem fora do concelho de Coimbra, a maioria estudam em escolas que estão integradas em APU (64,8%), seguindo-se as freguesias AMU (34,4%) e em último as freguesias APR (1%).

Procurámos aplicar uma análise de grupos emparelhados dos valores das concentrações médias dos poluentes, por estação do ano e por espaço de ensino (sala de aula), ajustado em função da localização das Instituições de Ensino. Vejamos o quadro 2.

QUADRO 2 – Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes nas salas de aula por estação do ano em função da localização da escola (Zona APU)

Zona APU (n= 56)	Média	Desvio Padrão	Diferença Média
Valor Médio CO (ppm)- outono/inverno	,28*	,38	0,14
Valor Médio CO (ppm) - primavera/verão	,14	,14	
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- outono/inverno	1550,84*	750,62	435,34
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- primavera/verão	1115,50	632,62	
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - outono/inverno	,08**	,03	-,02
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - primavera/verão	,09	,03	
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - Outono/inverno	,11	,05	-,006
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - Primavera/verão	,12	,02	
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)- outono/inverno	,002	,007	,002
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)- primavera/verão	,0009	,005	
Valor Médio COVs (ppb)- outono/inverno	99,12	76,46	16,46
Valor Médio COVs (ppb)- primavera/verão	82,66	68,42	
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)- outono/inverno	,005	,02	,00
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)- primavera/verão	,005	,03	
Valor Médio HCHO (ppm)- outono/inverno	,006**	,01	-,01
Valor Médio HCHO (ppm)- primavera/verão	,02	,02	

Teste *t-Student* Amostras Emparelhadas; Teste T de Wilcoxon

Legenda: Espaços Interiores

\*p<0,001; \*\*p<0,0001

Ambos os parâmetros, CO e CO<sub>2</sub> revelaram uma diminuição significativa entre a estação outono/inverno para a estação primavera/verão. Em ambos os parâmetros esta redução média para o CO foi de 0,14ppm e ao nível do CO<sub>2</sub> foi de 435,34ppm.No que diz respeito aos valores médios de PM<sub>2,5</sub> e HCHO os mesmos revelaram uma condição inversa face aos parâmetros de CO e CO<sub>2</sub>. Foi na estação do ano outono/inverno que revelaram estimativas médias significativamente superiores face à estação primavera/verão. Este excedente ao nível da PM<sub>2,5</sub> na estação outono/inverno face à 2ª fase de avaliação foi de 0,016mg/m<sup>3</sup> e para o HCHO foi de

0,013ppm. Quanto aos parâmetros O<sub>3</sub> e COVs, não apresentarem alterações médias significativas entre os dois momentos de avaliação. A concentração média de PM<sub>10</sub>, foi mais elevada, mas não de forma significativa na primavera/verão. O valor médio estimado de SO<sub>2</sub> quer no outono/inverno quer na primavera/verão, não sofreu qualquer alteração. O valor de NO<sub>2</sub> não apresentou valores quantitativos.

No que diz respeito aos parâmetros ambientais por estação do ano em função da localização das instituições de ensino na zona AMU, vejamos o quadro seguinte.

QUADRO 3 – Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes nas salas de aula por estação do ano em função da localização da escola (zona AMU)

Zona AMU (n= 23)	Média	Desvio Padrão	Diferença Média
Valor Médio CO (ppm)- outono/inverno	,69**	,69	,54
Valor Médio CO (ppm)- primavera/verão	,15	,10	
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- outono/inverno	1611,65*	636,82	388,98
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- primavera/verão	1222,66	528,32	
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - outono/inverno	,09*	,04	,02
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - primavera/verão	,08	,02	
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - outono/inverno	,14***	,04	,03
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - primavera/verão	,09	,02	
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)- outono/inverno	,001	,003	,0003
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)- primavera/verão	,0007	,002	
Valor Médio COVs (ppb)- outono/inverno	89,60	68,91	-13,02
Valor Médio COVs (ppb)- primavera/verão	102,63	56,59	
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)- outono/inverno	,006	,01	,004
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)- primavera/verão	,002	,01	
Valor Médio HCHO (ppm)- outono/inverno	,01	,01	-,003
Valor Médio HCHO (ppm)- primavera/verão	,01	,01	

Teste *t-Student* Amostras Emparelhadas; Teste T de Wilcoxon

Legenda: Espaços Interiores

\*p<0,05; \*\*p<0,001; \*\*\*p<0,0001

Tendo em consideração as Instituições de Ensino localizadas na zona geográfica considerada AMU, os parâmetros ambientais que revelaram padrões de variação diferenciados em função das épocas do ano foram: CO, CO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> (p< 0,05). Ao nível do poluente CO constatou-se um alteração média significativa entre as duas épocas (0,54ppm). No CO<sub>2</sub> a redução média foi significativa (388,98ppm). No que diz respeito aos parâmetros PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> constatamos uma redução significativa da 1ª fase de avaliação (outono/inverno) para a estação primavera/verão. A redução em ambos os parâmetros foi sensivelmente de 0,022mg/m<sup>3</sup> e 0,039mg/m<sup>3</sup>. Os restantes parâmetros não revelaram uma alteração significativa. O valor de NO<sub>2</sub> não apresentou valores quantitativos.

Por fim passamos a apresentar os parâmetros analíticos ambientais por estação do ano por espaço de ensino em relação às instituições localizadas nas zonas rurais. Vejamos o quadro seguinte:

QUADRO 4 – Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes nas salas de aula por estação do ano em função da localização da escola (zona APR)

Zona APR (n= 2)	Média	Desvio Padrão	Diferença Média
Valor Médio CO (ppm)- outono/inverno	,95	,21	,850
Valor Médio CO (ppm)- primavera/verão	,10	,00	
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- outono/inverno	1941,50	685,19	582,50
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)- primavera/verão	1359,00	66,47	
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - outono/inverno	,09	,05	-,0055
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - primavera/verão	,10	,04	
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - outono/inverno	,11	,06	-,025
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) - primavera/verão	,14	,02	
Valor Médio HCHO (ppm)- outono/inverno	,01	,01	-,02
Valor Médio HCHO (ppm)- primavera/verão	,03	,01	

Teste T de Wilcoxon

Legenda: Espaços Interiores

Como podemos constatar não se registaram diferenças médias dos parâmetros ambientais por espaço de aula em função das estações do ano (p>0,05). Porém, as tendências de variação dos diferentes parâmetros foram: CO e CO<sub>2</sub> revelaram uma redução média entre a primeira fase de avaliação para a 2ª fase (Primavera/verão); no que diz respeito às PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> e HCHO revelaram um aumento da avaliação entre o outono/inverno para a estação primavera/verão.

Os parâmetros O<sub>3</sub>, COVs, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> não tiveram qualquer expressão nos espaços avaliados em função da estação do ano.

Procuramos ainda, verificar se os valores médios estimados dos poluentes atmosféricos quer na estação outono/inverno quer na estação primavera/verão diferiam em função do espaço avaliado (fechado ou aberto) na totalidade das escolas em estudo. Vejamos o quadro seguinte:

QUADRO 5 –Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes em espaços interiores e exteriores por local em função da estação do ano

	Poluentes	Local de recolha Outono/invern o	n	Média	Desvio Padrão	
outono/inverno	Valor Médio CO (ppm)	interior	81	,41909	,525978	
		exterior	51	,32941	,328965	
	Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)**	interior	81	1578,1646 3	712,485803	
		exterior	51	425,15686	33,778616	
	Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) *	interior	81	,084685	,0352370	
		exterior	51	,069968	,0278489	
	Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) **	interior	81	,11771	,046570	
		exterior	51	,08309	,032861	
	Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)	interior	81	,00200	,006022	
		exterior	51	1,29407	8,956473	
	Valor Médio COVs (ppb)**	interior	81	97,82256	73,724376	
		exterior	51	31,28431	73,566858	
	Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)	interior	81	,00549	,017579	
		exterior	51	,00196	,009802	
	Valor Médio HCHO (ppm)**	interior	81	,00768	,012403	
		exterior	51	,00059	,003106	
	primavera/verão	Valor Médio CO (ppm)*	interior	81	,14451	,127900
			exterior	51	,20980	,194170
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)***		interior	81	1152,8048 8	595,414379	
		exterior	51	402,70588	27,091175	

Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	interior	81	,09180	,026035
	exterior	51	,09482	,027762
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	interior	81	,11136	,025772
	exterior	51	,11579	,058798
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm) <sup>***</sup>	interior	81	,00090	,004657
	exterior	51	,02755	,023516
Valor Médio COVs (ppb) <sup>***</sup>	interior	81	90,51220	65,662294
	exterior	51	45,27451	50,046310
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)	interior	81	,00427	,025094
	exterior	51	,00196	,014003
Valor Médio HCHO (ppm) <sup>***</sup>	interior	81	,01805	,016287
	exterior	51	,00549	,008322

O parâmetro NO<sub>3</sub> não foi apresentado por não ocorrer em nenhum dos espaços avaliados  
Teste *t-Student* Amostras Independentes; Teste Wilcoxon-Mann-Whitney  
\* p<0,05; \*\*p<0,001; \*\*\*p<0,0001.

Como podemos constatar registaram-se diferenças médias estatisticamente significativas dos valores dos parâmetros atmosféricos na estação de outono/inverno em função do tipo de local (no interior das salas de aula ou no exterior). As variações foram significativas ao nível dos parâmetros CO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, COVs e HCHO. De forma semelhante entre estes parâmetros apresentaram valores mais diminuídos em espaços exteriores face aos interiores. Os poluentes CO e SO<sub>2</sub> apesar de não apresentarem uma variação significativa acompanharam a tendência (redução) dos restantes parâmetros anteriormente analisados. Quanto à estação primavera/verão os locais interiores das escolas em estudo revelaram valores de CO<sub>2</sub>, COVs e HCHO significativamente superiores face aos locais exteriores. No entanto, os locais exteriores revelaram valores médios superiores face aos locais interiores, de forma significativa ao nível dos parâmetros CO e O<sub>3</sub>.

De forma semelhante à análise anterior, procuramos avaliar a variação média dos poluentes atmosféricos na estação outono/inverno em função da localização das escolas por tipo de espaço (aberto e fechado) (Quadro 6).

Observaram-se diferenças médias de concentração de CO<sub>2</sub> significativamente superiores no interior das escolas face aos espaços exteriores quer nas escolas localizadas em meio urbano quer em meio mediantemente urbano. Ao nível do parâmetro PM<sub>2,5</sub> este foi significativamente superior também no interior das escolas face ao exterior, nas escolas localizadas em meio mediantemente urbano. Esta tendência foi semelhante nos parâmetros, COVs e PM<sub>10</sub> quer em meio urbano quer em meio mediantemente urbano. Quanto ao parâmetro O<sub>3</sub> este foi significativamente superior no ar exterior face ao valores das salas nas escolas localizadas em meio urbano. Por fim, ao nível do poluente HCHO este foi significativamente superior em locais interiores face ao ar exterior nas escolas localizadas em meio urbano. Na sua maioria, as escolas, são edifícios antigos, que há imenso tempo não são alvo de reabilitação. Possuíam vários problemas nos seus aspetos construtivos, falta de sistema de climatização e falta de ventilação mecânica ou mista, sendo a ventilação assegurada pela abertura de janelas ou portas. Os resultados encontrados, muito provavelmente estão relacionados com esta realidade, revelando claramente deficiências da QAI devido à insuficiente ventilação.

QUADRO 6 – Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes em espaços interiores e exteriores em função da estação outono/inverno e sua localização geográfica

Outono/inverno		Zona Urbana		Zona Mista		Zona Rural	
		Local de recolha		Local de recolha		Local de recolha	
		interior (n=56)	exterior (n=32)	interior (n=23)	exterior (n=17)	interior (n=2)	exterior (n=2)
Valor Médio CO (ppm)	M	,28330	,27500	,69167	,40000	,95000	,60000
	DP	,378541	,302143	,694805	,375000	,212132	,070711
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)	M	1550,8392 9***	426,35938	1611,64583** *	425,26471	1941,50000	405,00000
	DP	750,62101 6	37,977547	636,824296	25,464508	685,186471	33,234019
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	M	,077850	,066786	,099669*	,074688	,096250	,080750
	DP	,0303742	,0219803	,0410640	,0366013	,0526795	,0378302
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	M	,10974**	,07886	,13692**	,09000	,11025	,09200
	DP	,046475	,027430	,041932	,040191	,062579	,057276
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)	M	,00248*	,04205	,00104	3,80032	,00000	,02325
	DP	,006918	,084987	,003372	15,513145	,000000	,003182
Valor Médio COVs (ppb)	M	99,12411* *	45,78125	89,60417***	7,67647	160,00000	,00000
	DP	76,459441	89,332014	68,913143	17,784246	7,071068	,000000
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)	M	,00536	,00313	,00625	,00000		
	DP	,018287	,012297	,016892	,000000		
Valor Médio HCHO (ppm)	M	,00643**	,00094	,01042**	,00000	,01000	,00000
	DP	,011509	,003902	,014289	,000000	,014142	,000000

Legenda: M= Média; DP= Desvio Padrão. O parâmetro NO<sub>3</sub> não foi apresentado por não ocorrer em nenhum dos espaços avaliados

Teste *t-Student* Amostras Independentes; Teste Wilcoxon-Mann-Whitney.

\* p<0,05; \*\*p<0,001; \*\*\*p<0,0001.

Também procuramos realizar a mesma análise à variação média dos poluentes atmosféricos em função da estação primavera/verão (Quadro 7).

Ao nível do parâmetro de CO as escolas localizadas em meio urbano revelaram valores médios superiores em locais exteriores face aos locais fechados (interior das escolas). No entanto, esta tendência é invertida ao nível do parâmetro CO<sub>2</sub> onde os locais fechados superam em média e de forma significativa os locais exteriores quer em escolas localizadas em meio urbano

quer em meio mediamente urbano. Voltamos a registar diferenças médias de O<sub>3</sub> em função do tipo de espaço em estudo. Foram os espaços exteriores das diferentes escolas que, em média, revelaram valores superiores de forma significativa face aos espaços fechados quer as escolas estejam localizadas em meio urbano ou mediamente urbano.

QUADRO 7 – Distribuição dos valores das concentrações médias dos poluentes em espaços interiores e exteriores em função da estação primavera/verão e sua localização geográfica

Primavera/verão	Zona Urbana		Zona Mista		Zona Rural		
	Local de recolha		Local de recolha		Local de recolha		
	interior (n=56)	exterior (n=32)	interior (n=23)	exterior (n=17)	interior (n=2)	exterior (n=2)	
Valor Médio CO (ppm)	M	,14464*	,21875	,14792	,19412	,10000	,20000
	DP	,140350	,221341	,101595	,149877	,00000	,00000
Valor Médio CO <sub>2</sub> (ppm)	M	1115,50000**	399,37500	1222,66667***	409,41176	1359,00000	399,00000
	DP	632,620754	25,885293	528,326535	30,339864	66,468037	7,071068
Valor Médio PM <sub>2,5</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	M	,09744	,10286	,07781	,07826	,10175	,10700
	DP	,025366	,026272	,021999	,023262	,041366	,038184
Valor Médio PM <sub>10</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	M	,11622	,11383	,09802	,11697	,13525	,13725
	DP	,024415	,026673	,024506	,096569	,021567	,022981
Valor Médio O <sub>3</sub> (ppm)	M	,00097***	,02550	,00079***	,03065	,00000	,03400
	DP	,005387	,022544	,002621	,026714	,000000	,009899
Valor Médio COVs (ppb)	M	82,66071	58,93750	102,62500***	23,11765	165,00000	15,00000
	DP	68,418838	52,813694	56,588378	37,551019	7,071068	7,071068
Valor Médio NO <sub>2</sub> (ppm)	M	,00000	,00813	,00000	,00529	,00000	,00000
	DP	,000000	,023751	,000000	,021828	,000000a	,000000a
Valor Médio SO <sub>2</sub> (ppm)	M	,00536	,00313	,00208	,00000	,00000	,00000
	DP	,029663	,017678	,010206	,000000	,000000a	,000000a
Valor Médio HCHO (ppm)	M	,01929***	,00625	,01417***	,00235	,03000	,02000
	DP	,017566	,009070	,012482	,004372	,014142	,000000

Legenda: M= Média; DP= Desvio Padrão.

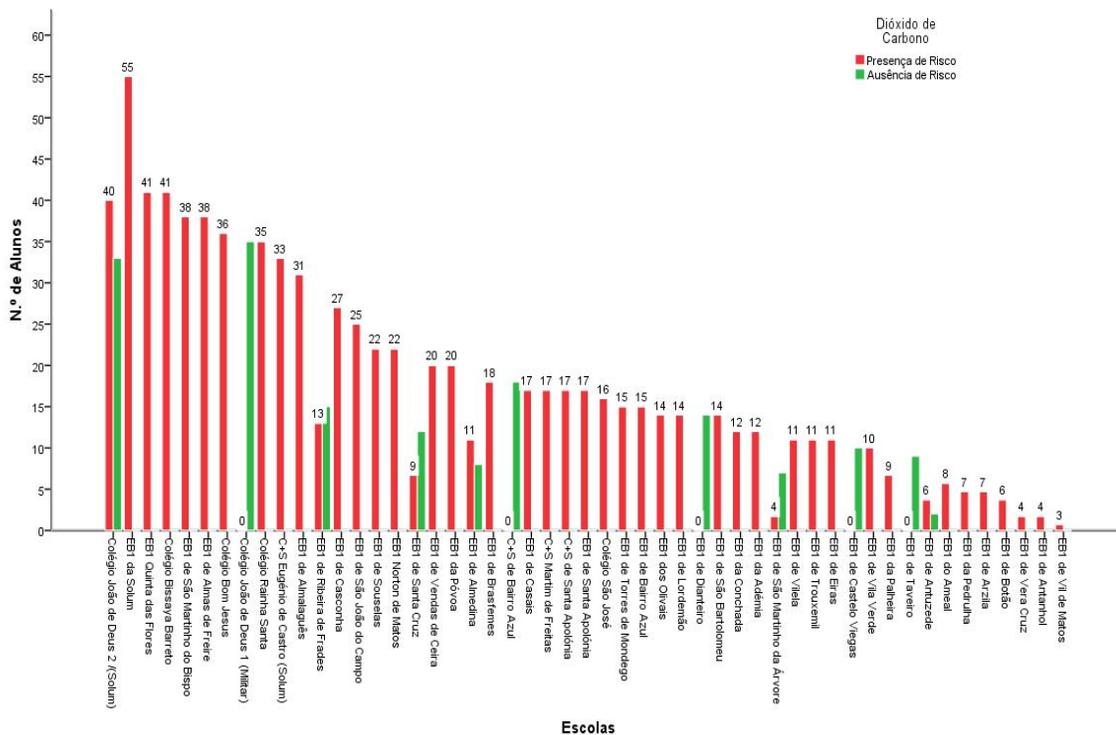
Teste *t-Student* Amostras Independentes; Teste Wilcoxon-Mann-Whitney.

\* p<0,05; \*\*p<0,001; \*\*\*p<0,0001.

Quanto ao parâmetro COVs foram as escolas localizadas em meio mediantemente urbano e em espaços fechados que este parâmetro foi significativamente superior face aos locais exteriores. Por fim, quanto ao poluente HCHO, os locais fechados revelaram, em média, valores significativamente superiores face aos locais abertos quer em escolas localizadas em meio urbano quer em meio mediantemente urbano.

Por observação das concentrações obtidas, verificámos que de todos os parâmetros ambientais analisados o que apresenta resultados mais significativos, principalmente no outono/inverno, para a saúde das crianças é o CO<sub>2</sub>. Neste sentido, classificamos todas as escolas em: presença de risco se a exposição do aluno ao CO<sub>2</sub> era >984ppm e ausência de risco quando o aluno estava exposto a valores de CO<sub>2</sub> abaixo de 984ppm. Optou-se por esta classificação dado que foram observadas elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> na maioria das escolas, com valores médios que excediam o limite proposto (984ppm) pela regulamentação portuguesa. Vejamos o gráfico 1.

GRÁFICO 1 – Escolas expostas/não expostas a concentração média superior ao legislado de CO<sub>2</sub> na estação de outono/inverno



Podemos verificar que das 1019 crianças, 856 (84%) se encontram expostas a teores médios de CO<sub>2</sub>, superiores à concentração máxima de referência (984ppm), na estação do outono/inverno.

De seguida, procurámos avaliar a associação entre os sintomas/patologias e a exposição ao CO<sub>2</sub> na estação de outono/inverno, ajustado ao ano de escolaridade e à freguesia da Escola (Quadro 8, 9).

QUADRO 8 – Associação entre sintomas/patologias respiratórias e exposição ao CO<sub>2</sub> na estação de outono/inverno, ajustado ao ano de escolaridade e à freguesia da Escola

			Freguesia Rural				Freguesia Predominantemente Urbana						Freguesia Mediantemente Urbana													
			1.º Ano		4.º Ano		1.º Ano			4.º Ano			1.º Ano			4.º Ano										
			PR	AR	PR	A R	PR	AR	<i>p-value</i> OR (IC95%)	PR	AR	<i>p-value</i> OR (IC95%)	PR	AR	<i>p-value</i> OR (IC95%)	PR	AR	<i>p-value</i> OR (IC95%)								
Asma	Sim	n	0	0	2	0	25	11	0,122 0,553 [0,259-1,183]	34	8	0,587 0,796 [0,349-1,815]	18	0	0,606 0,859 [0,801-0,922]	21	1	0,306 3,880 [0,489-30,805]								
		% coluna	,0	,0	40,0	,0	8,7	14,7		10,7	13,1		14,1	,0		18,6	5,6									
	Não	n	5	0	3	0	263	64		0,122 0,553 [0,259-1,183]	283		53	0,587 0,796 [0,349-1,815]		110	9		0,606 0,859 [0,801-0,922]	92	17	0,306 3,880 [0,489-30,805]				
		% coluna	100,0	,0	60,0	,0	91,3	85,3			89,3		86,9			85,9	100,0			81,4	94,4					
	Total	n	5	0	5	0	288	75			0,122 0,553 [0,259-1,183]		317			61	0,587 0,796 [0,349-1,815]			128	9		0,606 0,859 [0,801-0,922]	113	18	0,306 3,880 [0,489-30,805]
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	100,0	100,0					100,0			100,0				100,0	100,0			100,0	100,0	
Bronquite Crónica	Sim	n	0	0	1	0	5	1	0,807 1,307 [0,150-11,362]			6	2		0,620 0,569 [0,112-2,888]	4		0		0,590	2			1	0,361 0,306 [0,026-3,564]	
		% coluna	,0	,0	20,0	,0	1,7	1,3				1,9	3,3			3,1		,0			1,8			5,6		
	Não	n	5	0	4	0	283	74		0,807 1,307 [0,150-11,362]		311	59	0,620 0,569 [0,112-2,888]		124		9	0,590		111	17		0,361 0,306 [0,026-3,564]		
		% coluna	100,0	,0	80,0	,0	98,3	98,7				98,1	96,7			96,9		100,0			98,2	94,4				
	Total	n	5	0	5	0	288	75			0,807 1,307 [0,150-11,362]	317	61			0,620 0,569 [0,112-2,888]	128	9			0,590	113	18			0,361 0,306 [0,026-3,564]
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	100,0	100,0				100,0	100,0				100,0	100,0				100,0	100,0			

Pieira e Assobios	Sim	n	0	0	1	0	52	10	0,333 1,432 [0,690- 2,973]	38	8	0,439 0,902 [0,399- 2,043]	21	2	0,647 0,687 [0,133- 3,540]	21	2	0,738 1,826 [0,390- 8,556]
		% coluna	,0	,0	20,0	,0	18,1	13,3		12,0	13,1		16,4	22,2		18,6	11,1	
	Não	n	5	0	4	0	236	65		279	53		107	7		92	16	
		% coluna	100, 0	,0	80,0	,0	81,9	86,7		88,0	86,9		83,6	77,8		81,4	88,9	
	Tot al	n	5	0	5	0	288	75		317	61		128	9		113	18	
		% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0	
Crise de Espirros	Sim	n	2	0	2	0	79	17	0,405 1,290 [0,708- 2,348]	89	13	0,276 1,441 [0,745- 2,788]	22	3	0,365 0,415 [0,096- 1,787]	29	4	0,755 1,208 [0,368- 3,967]
		% coluna	40,0	,0	40,0	,0	27,4	22,7		28,1	21,3		17,2	33,3		25,7	22,2	
	Não	n	3	0	3	0	209	58		228	48		106	6		84	14	
		% coluna	60,0	,0	60,0	,0	72,6	77,3		71,9	78,7		82,8	66,7		74,3	77,8	
	Tot al	n	5	0	5	0	288	75		317	61		128	9		113	18	
		% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0	
Rinite Alérgica	Sim	n	1	0	1	0	43	9	0,797 1,287 [0,597- 2,775]	64	9	0,325 1,462 [0,684- 3,122]	24	2	0,680 0,808 [0,158- 4,135]	27	4	0,877 1,099 [0,334- 3,620]
		% coluna	20,0	,0	20,0	,0	14,9	12,0		20,2	14,8		18,8	22,2		23,9	22,2	
	Não	n	4	0	4	0	245	66		253	52		104	7		86	14	
		% coluna	80,0	,0	80,0	,0	85,1	88,0		79,8	85,2		81,3	77,8		76,1	77,8	
	Tot al	n	5	0	5	0	288	75		317	61		128	9		113	18	
		% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0	

	al	% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0	
Tosse	Sim	n	0	0	2	0	54	10	0,273 1,5 [0,724-3,108]	46	10	0,705 0,866 [0,410-1,826]	18	2	0,619 0,573 [0,110-2,978]	21	1	0,306 3,880 [0,489-30,805]
		% coluna	,0	,0	40,0	,0	18,8	13,3		14,5	16,4		14,1	22,2		18,6	5,6	
	Não	n	5	0	3	0	234	65		271	51		110	7		92	17	
		% coluna	100, 0	,0	60,0	,0	81,3	86,7		85,5	83,6		85,9	77,8		81,4	94,4	
	Tot al	n	5	0	5	0	288	75		317	61		128	9		113	18	
		% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0	
Dif. Resp.	Sim	n	0	0	2	0	23	7	0,706 0,843 [0,347-2,047]	28	7	0,514 0,747 [0,311-1,798]	15	1	ns 1,062 [0,124-9,094]	17	3	ns 0,885 [0,231-3,390]
		% coluna	,0	,0	40,0	,0	8,0	9,3		8,8	11,5		11,7	11,1		15,0	16,7	
	Não	n	5	0	3	0	265	68		289	54		113	8		96	15	
		% coluna	100, 0	,0	60,0	,0	92,0	90,7		91,2	88,5		88,3	88,9		85,0	83,3	
	Tot al	n	5	0	5	0	288	75		317	61		128	9		113	18	
		% coluna	100, 0	,0	100, 0	,0	100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100,0		100,0	100	

Legenda: PR=Presença de Risco; AR=Ausência de Risco; ns=não significativo  
Teste: Quiquadrado da Independência; Teste exato de Fisher. Odds Ratio

QUADRO 9 – Associação entre outros sintomas/patologias e exposição ao CO<sub>2</sub> na estação de outono/inverno, ajustado ao ano de escolaridade e à freguesia da Escola

			Freguesia Rural				Freguesia Predominantemente Urbana						Freguesia Mediantemente Urbana					
			1.º Ano		4.º Ano		1.º Ano			4.º Ano			1.º Ano			4.º Ano		
			PR	AR	PR	AR	PR	AR	<i>p-value</i> <i>OR (IC95%)</i>	PR	AR	<i>p-value</i> <i>OR (IC95%)</i>	PR	AR	<i>p-value</i> <i>OR (IC95%)</i>	PR	AR	<i>p-value</i> <i>OR (IC95%)</i>
Stresse	Sim	n	0	0	0	0	3	1	1,000 0,779 [0,080-7,597]	7	2	0,642 0,666 [0,135-3,286]	1	1	0,128 0,063 [0,004-1,103]	3	0	ns
		% coluna	,0	,0	,0	,0	1,0	1,3		2,2	3,3		,8	11,1		2,7	,0	
	Nã o	n	5	0	5	0	285	74		310	59		127	8		110	18	
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	99,0	98,7		97,8	96,7		99,2	88,9		97,3	100,0	
Tonturas	Sim	n	0	0	0	0	4	1	1,000 1,042 [0,115-9,465]	9	1	1,000 1,773 [0,218-14,096]	2	1	0,186 0,127 [0,010-1,554]	2	0	ns
		% coluna	,0	,0	,0	,0	1,4	1,3		2,8	1,6		1,6	11,1		1,8	,0	
	Nã o	n	5	0	5	0	284	74		308	60		126	8		111	18	
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	98,6	98,7		97,2	98,4		98,4	88,9		98,2	100,0	
Irritabilidade	Sim	n	0	0	0	0	9	1	0,694 2,387 [0,298-19,142]	17	2	0,750 1,672 [0,376-7,429]	8	0	ns	6	0	ns
		% coluna	,0	,0	,0	,0	3,1	1,3		5,4	3,3		6,3	,0		5,3	,0	
	Nã o	n	5	0	5	0	279	74		300	59		120	9		107	18	
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	96,9	98,7		94,6	96,7		93,8	100,0		94,7	100,0	

Dores de Cabeça	Sim	n	1	0	0	0	22	3	0,268 1,985 [0,578-6,819]	29	6	0,865 0,923 [0,366-2,328]	5	2	0,068 0,142 [0,023-0,868]	13	1	0,691 2,210 [0,271-18,010]
		% coluna	20,0	,0	,0	,0	7,6	4,0		9,1	9,8		3,9	22,2		11,5	5,6	
	Nã o	n	4	0	5	0	266	72		288	55		123	7		100	17	
		% coluna	80,0	,0	100,0	,0	92,4	96,0		90,9	90,2		96,1	77,8		88,5	94,4	
Irritação das Mucosas	Sim	n	0	0	0	0	14	4	0,773 0,907[0,290-2,840]	14	3	0,744 0,893 [0,249-3,207]	4	0	ns	10	1	ns 1,650 [0,198-13,732]
		% coluna	,0	,0	,0	,0	4,9	5,3		4,4	4,9		3,1	,0		8,8	5,6	
	Nã o	n	5	0	5	0	274	71		303	58		124	9		103	17	
		% coluna	100,0	,0	100,0	,0	95,1	94,7		95,6	95,1		96,9	100,0		91,2	94,4	
Insónias	Sim	n	0	0	1	0	9	3	0,718 0,774 [0,204-2,933]	10	4	0,256 0,464 [0,141-1,531]	7	0	ns	6	1	ns 0,953 [0,108-8,416]
		% coluna	,0	,0	20,0	,0	3,1	4,0		3,2	6,6		5,5	,0		5,3	5,6	
	Nã o	n	5	0	4	0	279	72		307	57		121	9		107	17	
		% coluna	100,0	,0	80,0	,0	96,9	96,0		96,8	93,4		94,5	100,0		94,7	94,4	
Falta de Concentração	Sim	n	0	0	4	0	71	5	<0,001 4,581 [1,779-11,797]	80	10	0,138 1,722 [0,835-3,55]	25	2	ns 0,850 [0,166-4,341]	26	4	ns 1,046 [0,317-3,453]
		% coluna	,0	,0	80,0	,0	24,7	6,7		25,2	16,4		19,5	22,2		23,0	22,2	
	Nã o	n	5	0	1	0	217	70		237	51		103	7		87	14	
		% coluna	100,0	,0	20,0	,0	75,3	93,3		74,8	83,6		80,5	77,8		77,0	77,8	

Legenda: PR=Presença de Risco; AR=Ausência de Risco; ns=não significativo  
Teste: Quiquadrado da Independência; Teste exato de Fisher. Odds Ratio

Verificamos que as crianças que frequentavam as escolas de freguesias de meio rural não apresentaram um padrão significativo entre sintomas/patologia perante as salas de aulas que foram classificadas com presença/ausência de risco quanto ao poluente CO<sub>2</sub>. No entanto, podemos constatar que as crianças que se encontravam no 1º ano de escolaridade não possuíam asma, bronquite crónica, pieira e assobios, tosse e dificuldades respiratórias, apesar de estarem expostos a valores de CO<sub>2</sub>>984ppm (presença de risco). Porém as crianças que indicaram crise de espirros e rinite alérgica estavam expostas a valores de CO<sub>2</sub>>984ppm. Todas as crianças do 4º ano que estudavam em escolas de freguesias rurais, estavam expostas a valores de CO<sub>2</sub>>984ppm e uma grande parte delas sofria de sintomas/patologias respiratórias. Estes resultados poderão estar relacionados eventualmente com os valores elevados de COVs encontrados no interior das escolas localizadas nestas freguesias.

Procurámos de seguida avaliar se a presença/ausência de sintomas/patologias poderia estar associada à exposição(risco) nas salas de aula das escolas localizadas em freguesias predominantemente urbana quer em crianças do 1º e 4º ano de escolaridade. Não se verificou um padrão de associação significativo ( $p>0,05$ ) entre os sintomas/patologias respiratórias das crianças, quer do 1º quer do 4º ano, na presença de salas em risco (CO<sub>2</sub>>984ppm) comparativamente aos não expostos (CO<sub>2</sub><984ppm). No entanto a proporção relativa de crianças no 1º ano que estavam expostas a valores de CO<sub>2</sub>>984ppm nas salas de aula e que apresentam sintomas/patologias respiratórias consistiu em 27,4% crise de espirros, 18,1% tosse, pieira e assobios e 14,5% rinite alérgica. Com menor expressão relativa nestas crianças quanto às doenças respiratórias foi a bronquite crónica (1,7%) seguida da asma e dificuldades respiratórias (8,0%). Quanto às crianças do 4º ano na presença de salas em risco 28,1% sofria de crise de espirros, rinite alérgica (20,2%), tosse (14,5%) e 10,7% de asma. A menor proporção de crianças deste ano com patologia e que estavam expostos em salas de risco foi ao nível da bronquite crónica (1,9%).

Por fim as crianças que estudavam em escolas geograficamente localizadas em freguesias mediamente urbanas não se verificou um padrão de associação significativo ( $p>0,05$ ) entre sintomas/patologias respiratórias e entre a exposição e não exposição dos alunos do 1º e 4º ano de escolaridade. Porém ao nível do 1º ano a frequência relativa de crianças que estavam expostas a salas com risco, 18,8% sofriam de rinite alérgica, crise de espirros (17,2%), pieira e assobios (16,4%) e dificuldades respiratórias e asma (11,7%). Quanto às crianças do 4º ano a maior frequência relativa entre a exposição a salas em risco e a presença de sintomas/patologias foram, crise de espirros (25,7%), rinite alérgica (23,9%), asma e pieira e assobios (18,6%).

Procurámos estabelecer a relação entre a presença de sintomas/patologias não respiratórias face à exposição/não exposição de valores de CO<sub>2</sub> em salas de aula de 1º e 4º ano de escolaridade em função da localização da escola por freguesia. Verificámos que os alunos do 1º ano que estudavam em escolas localizadas nas freguesias rurais não apresentavam um padrão de associação entre a presença de sintomas/patologias não respiratórias e a exposição em salas de aula com valores de CO<sub>2</sub>>984ppm. Apenas um aluno apresentou ter dores de cabeça perante valores de CO<sub>2</sub>>984ppm. Ao nível do 4º ano, os sintomas/patologias que estavam presentes pelas crianças e que conjuntamente também estavam presentes em salas com valores de CO<sub>2</sub>>984ppm foram: falta de concentração (80%) e insónias (20%).

Nas escolas das freguesias predominantemente urbanas os alunos do 1º ano revelaram um padrão de associação estatisticamente significativo entre a falta de concentração e a exposição a salas classificadas com elevado risco (CO<sub>2</sub>>984ppm) ( $p<0,001$ ) e que a oportunidade de ter falta de concentração face à exposição a valores mais elevados de CO<sub>2</sub> (presença de risco) foi de 4,581 vezes superior em relação às crianças não expostas (salas sem risco). Porém quanto aos restantes sintomas/patologias não se verificou um padrão de associação significativo ( $p>0,05$ ). Quanto às crianças do 4º ano também não revelaram ter um padrão de associação entre sintomas/patologias e a exposição ou não a valores críticos de CO<sub>2</sub> significativos ( $p>0,05$ ). No entanto verificamos que crianças que sofriam de irritabilidade, 5,4% estavam expostas a valores >984ppm de CO<sub>2</sub>, 9,1% tinham dores de cabeça, falta de concentração (25,2%), irritação das mucosas (4,4%) e insónias (3,2%).

Quanto às crianças que frequentavam as escolas das freguesias mediamente urbanas verificámos também não existir um padrão de associação entre a presença de determinados sintomas/patologias não respiratórias quer em crianças do 1º ano quer em crianças do 4º ano e

a exposição a salas de aula com valores de  $\text{CO}_2 > 984 \text{ ppm}$  ( $p > 0,05$ ). Porém ao nível dos alunos do 1º ano os sintomas mais prevalentes associados à exposição de valores de  $\text{CO}_2 > 984 \text{ ppm}$  foram falta de concentração (19,5%), irritabilidade (6,3%), insónias (5,5%) e dores de cabeça, irritação das mucosas (>3%). Padrão relativamente semelhante foi observado nos alunos do 4º ano de escolaridade.

## CONCLUSÕES

Os edifícios escolares são muito antigos, necessitam urgentemente de intervenção ao nível da construção, do funcionamento, climatização e principalmente ao nível dos sistemas de ventilação. Nenhuma escola possuía sistema de ventilação mecânica ou mista.

Verificou-se, tal como em outros estudos (SUNDELL 2004; KOTZIAS 2009; PEGAS *et al.* 2010), que as concentrações dos poluentes no ar interior das escolas são muito superiores aos observados no exterior, indicando a importância das fontes de emissões interiores.

Na estação do outono/inverno, verificámos que as temperaturas médias do ar observadas em aproximadamente metade das escolas não se encontravam de acordo com o valor de referência no DL nº 80/2006 (20°C). Na estação da primavera/verão, verificámos que a maioria das escolas possuía valores da temperatura do ar acima do valor referenciado (25°C).

Verificámos que, quer na estação da primavera/verão, quer na estação outono/inverno, de uma forma geral os valores de humidade relativa estão compreendidos entre os limites inferior e o superior. No entanto, no outono/inverno, 7 das 51 escolas, apresentaram valores de humidade relativa acima dos 70%.

Altos teores de  $\text{CO}_2$  aparecem muitas vezes associados a altos teores de outros poluentes (Norback *et al.* 2011; Pegas *et al.* 2011). Neste estudo, com exceção do  $\text{CO}_2$ , os valores encontram-se de uma forma geral abaixo do valor de referência, apresentando no entanto, alguns valores significativos, nomeadamente os COVs e as  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$ .

Os resultados encontrados na estação outono/inverno revelaram teores de  $\text{CO}_2$  mais elevados relativamente à estação de primavera/verão. A totalidade dos edifícios escolares estudados, não tem sistemas de ventilação nas salas de aula, sendo a ventilação exclusivamente assegurada pela abertura de janelas ou portas, em consequência disso, foram encontrados teores de  $\text{CO}_2$ , bastante elevados. Observou-se que as salas onde é prática deixar as portas e janelas abertas durante as aulas, são as que apresentam melhores valores, assim como as que tem um número reduzido de alunos (<10). Uma vez que este parâmetro é o principal indicador das condições de renovação de ar em espaços fechados, verifica-se face aos resultados obtidos que existe uma deficiente renovação de ar no interior das salas de aulas que ultrapassam o valor de referência (984ppm). A volumetria das salas, associada ao número de ocupantes das salas, não permite que o arejamento das salas durante os intervalos seja suficiente para baixar os níveis de  $\text{CO}_2$  a valores aceitáveis, talvez por isso, nesta investigação, certas salas chegam a apresentar valores 3 vezes superiores aos recomendados. Algumas salas têm as janelas abertas durante o decorrer das aulas, no entanto este procedimento nem sempre é possível quando existe ruído no exterior, devido essencialmente ao tráfego automóvel, ou ainda quando as condições climáticas no exterior, nomeadamente frio e chuva não o permitam ou ainda, porque existe o risco de quedas, dado algumas escolas possuírem mais do que um piso. O arejamento durante a noite seria uma boa prática (exceto no período de frio), no entanto, esta atuação coloca em causa, a segurança.

Atualmente coloca-se a questão da reestruturação do parque escolar, nomeadamente no aumento do número de alunos por turma, tendo em conta que o  $\text{CO}_2$  resulta essencialmente do metabolismo biológico dos seres vivos é conveniente que os decisores desta política juntamente com quem tem responsabilidades nesta área, reflitam e percebam que se aumentarmos a lotação das salas, estaremos a diminuir a QAI e consequentemente a diminuir a saúde das crianças.

Neste estudo, constatámos que vários poluentes do ar ambiente revelaram valores mais elevados nas zonas pertencentes a freguesias predominantemente e mediamente urbanas relativamente às rurais, nomeadamente o  $\text{CO}_2$ , COVs,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  e HCHO. Também outros autores referem resultados semelhantes. (PRIFTIS *et al.* 2009; FRYE *et al.* 2002, SIDDIQUE *et al.* 2010, APASCARITEI *et al.* 2008).

É fundamental que as escolas realizem monitorizações contínuas, de forma a não exporem as crianças a situações de risco. É importante também melhorar os sistemas de renovação de ar, de modo a tornar esta renovação mais eficaz e eficiente. No entanto, tem que se modificar e alterar comportamentos e atitudes por parte dos ocupantes dos edifícios, realizando o simples hábito de abrir frequentemente as janelas.

É preciso intensificar esforços no desenvolvimento de metodologias dos fatores determinantes e condicionantes dos poluentes do ar que interferem na saúde humana, que poderão criar ferramentas eficazes no âmbito da saúde pública, contribuindo para a elaboração de políticas voltadas para a qualidade do ar. É fundamental um planeamento estratégico em termos de ordenamento do território por forma a optar corretamente pelo local de implantação de uma nova escola, permitindo assim, serem estabelecidos programas de controle e prevenção das consequências para a saúde dos ocupantes destes ambientes.

## REFERÊNCIAS

ADENE (2008). Perguntas e respostas. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – Qualidade do Ar Interior, versão 1.1 de 14 de maio 2008, Lisboa.

AL-RASHIDI K, LOVEDAY D, AL-MUTAWA N. Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms. *Energy&Buildings*, 2012. Vol.47, pp.540-549.

APASCARITEI M, POPESCU F, IONEL HI. (2008). Air Pollution level in urban region of Bucharest and in rural region. *Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering* (pp. 330-335). Timisoara: “Politehnica” University of Timisoara.

BORODINECS A, BUDJKO Z. Indoor air quality in nursery schools in Latvia. *Proceedings of Healthy Buildings 2009*, Syracuse, USA (2009).

BOUSQUET J, KHALTAEV N. (2007). Global surveillance, prevention and control of chronic respiratory diseases: a comprehensive approach. <http://www.who.int/gard/publications/Date>.

CERDEIRA R, LOURO C, COELHO L, GARCIA J, GOUVEIA C, FERREIRA T, BATISTA N. *Environmental Effects on RespiratoryDiseases* (2006).

CRUZ H, VIEGAS JC. Medição experimental do escoamento do ar através de janelas abertas. *IV Conferência Nacional em Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica e Energia* (2012).

DECRETO-LEI nº 79/2006 de 4 de Abril. *Diário da República nº 67/2006 - I Série A*, Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006.

DECRETO-LEI nº 80/2006 de 4 de Abril. *Diário da República nº 67/2006 - I Série A*, Lisboa: Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006.

FRYE C, HOELSCHER B, CYRYS J, WJST M, WICHMANN HE, HEINRICH J. (2002). Association of Lung Function with Declining Ambient Air Pollution. *Children’s Health*, pp. 383-387.

ISO: International standard 7730, 1994. *Moderate Thermal Environments – determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions for Thermal Comfort*, Geneva, Switzerland: International Standard Organization.

KOTZIAS D, GEISS O, TIRENDI S, BARRERO-MORENO J, REINA V, GOTTI A. Exposure to multiple air contaminants in public buildings, schools and kindergartens - the European indoor air monitoring and exposure assessment (AIRMEX) study. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2009. 18(5a), 670–681.

MATOS EMM. Relatório Profissional: qualidade do ar interior e Certificação, apresentado à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente (2012).

MUMOVIC D, PALMER J, DAVIES M, ORME M, RIDLEY I, ORESZCZYN T, JUDD C, CRITCHLOW R, MEDINA HA, PILMOOR G, PEARSON C, WAY P. *Building and Environment*, 2009. Vol. 44, pp. 1466-1477.

NORBACK D, WIESLANDER G, ZHAMG X, ZHAO Z. Respiratory Symptoms, perceived air quality and physiological signs in elementary school pupils in relation to displacement and mixing ventilation system: an intervention study. *Indoor Air*, Vol. 21, pp. 427-437 (2011).

NOTA TÉCNICA NT-SCE-02. Metodologia para auditorias periódicas da QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE. 2009.

PEGAS PN, ALVES CA, EVTYUGINA MG, NUNES T, CERQUEIRA M, FRANCHI M, PIO CA, ALMEIDA SM et al. Seasonal evaluation of outdoor/indoor air quality in primary schools in Lisbon. *Journal of Environmental Monitoring* 2011. Vol. 13, pp. 657-667, ISSN 1464-0333.

PEGAS PN, EVTYUGINA MG, ALVES CA, NUNES T, CERQUEIRA M, FRANCHI M, PIO CA. Outdoor/Indoor air quality in primary schools in Lisbon: a preliminar study. *Química Nova*, 2010. Vol.33, No.5, pp. 1145-1149, ISSN 1678-7064.

PRIFTIS KN, MANTZOURANIS EC, ANTHRACOPOULOS MB. (2009). Asthma symptoms and airway narrowing in children growing up in an urban versus rural environment. *Journal Asthma*, pp. 244-251.

SIDDIQUE S, BANERJEE M, RAY MR, LAHIRI T. (2010). Air Pollution and its Impact on Lung Function of Children in Delhi, the Capital City of India. *Water Air Soil Pollut.*

SUNDELL J. On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 2004. 14 (7): 51-58.

VIEGAS J, PAPOILA AL, MARTINS P, AELENEI D, CANO M, PROENÇA C, TEIXEIRA J, NOGUEIRA S, MENDES A, PINTO A, PAIXÃO P, PINTO R, NEUPARTH N. Ventilação, qualidade do ar e saúde em creches e infantários resultados preliminares do Projeto ENVIRH. Congresso construção, 2012.

ZURAIMI MS, THAM KW. Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers. *Atmospheric Environment*, Vol. 42(9), pp. 2225-2239 (2008).