

QUALIDADE DO AR INTERNO (QAI) EM UMA ESTAÇÃO CIENTÍFICA NA ANTÁRTICA: IDENTIFICAÇÃO DE FONTES DE POLUIÇÃO E ESTRATÉGIAS DE CONTROLE.

Artículo
Recibido 18-03-2016
Aceptado 01-05-2016

INDOOR AIR QUALITY (IAQ) IN A RESEARCH STATION IN ANTARCTICA: IDENTIFICATION OF POLLUTION SOURCES AND CONTROL STRATEGIES.

ÉRICA COELHO PAGEL

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
erica.pagel@gmail.com

CRISTINA ENGEL DE ALVAREZ

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
cristina.alvarez@ufes.br

NEYVAL COSTA REIS JÚNIOR

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil
neyval@inf.ufes.br

RESUMEN

As estações científicas na Antártica configuram situações reais de funcionamento de um edifício, o que as torna um potencial objeto na investigação da Qualidade do Ar Interno (QAI). Neste contexto, o presente trabalho diagnosticou as principais fontes de contaminação aérea, baseado em dados previamente coletados na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e determinou estratégias de controle da QAI para edificações brasileiras antárticas. Essas estratégias foram incorporadas ao projeto de reconstrução da EACF, necessário após o incêndio em fevereiro de 2012 que destruiu o corpo principal da Estação. Dentre os pontos positivos propostos pelo novo projeto, em relação à qualidade do ar interno, tem-se a implantação por blocos, um sistema de renovação de ar eficiente e a preocupação na especificação de materiais com baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (COV). A setorização dos blocos possibilitou o parcelamento das funções, o que evitou o cruzamento de fontes de poluição aérea nos ambientes habitáveis. No entanto, em função das características de confinamento de uma estação científica Antártica, a especificação de materiais que incluam colas e resinas, mesmo certificadas, ainda assim é preocupante para a saúde humana.

Palabras clave

Qualidade do Ar Interno, fontes internas, edificações Antárticas.

ABSTRACT

The research stations in Antarctica present real building operation situations, which makes them potential objects for the investigation of Indoor Air Quality (IAQ). In this context, this paper identifies the main air pollution sources based on data previously collected at the Brazilian Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF) and determines IAQ control strategies for Brazilian Antarctic buildings.

These strategies were incorporated into the EACF reconstruction project after a fire in February 2012 destroyed the main section of the station. Among the most important points proposed by the new project in relation to indoor air quality were the implementation of blocks, an efficient air exchange system, and the specification of materials with low Volatile Organic Compound (VOC) emissions. The construction of the building in blocks based on function avoided the crossing of air pollution from service areas to habitable environments. However, due to the confined characteristics of an Antarctic research station, the specification of materials containing adhesives and resins, even those that are certified, is still a concern for human health.

Keywords

Indoor Air Quality, indoor sources, Antarctic buildings.

INTRODUÇÃO

A Qualidade do Ar de Interiores tornou-se um tema de grande relevância na literatura científica nos últimos 35 anos, sendo recentemente considerado como um importante parâmetro de conforto ambiental em inúmeros estudos de Qualidade do Espaço Construído (Dérbez et al., 2014). O ar dentro das edificações é contaminado por uma variedade de poluentes que podem chegar a níveis de concentração cinco vezes maiores do que ao ar livre, gerando efeitos adversos à saúde que podem ser mais sérios do que exposições em exteriores de cidades industrializadas (Crook e Burton, 2010).

Atividades humanas, tais como cozinhar, varrer, fumar, usar cosméticos, materiais de limpeza, de higiene pessoal, acender incensos e velas, assim como o funcionamento de sistemas de aquecimento, guarda e trânsito de veículos, a própria presença humana e outras atividades estão diretamente relacionadas com a contribuição de elevados níveis de concentração de poluentes dentro das edificações (Weschler, 2009).

Da mesma forma, os materiais de construção têm-se mostrado como sendo responsáveis pela emissão de até 40% dos poluentes internos do edifício, podendo algumas dessas emissões ter um curto tempo de vida no ambiente e outras se manifestando por longos períodos (Missia et al., 2010). Uma das principais fontes de emissão de poluentes é a utilização de resinas aderentes na composição de produtos de madeira industrializada. Mobiliários, produtos de acabamento, revestimentos e elementos de decoração são fontes de emissão de substâncias químicas, principalmente de compostos orgânicos voláteis, tais como, formaldeído, benzeno e tolueno.

A legislação nacional e internacional em vigor acerca dos níveis permitidos de poluentes internos é deficitária, não apresentando um critério claro de regulamentação. Muitos países ainda não apresentam padrões nacionais e, em sua maioria, as regulamentações se restringem a locais específicos, como ambientes climatizados, industriais ou hospitalares. Além disso, verifica-se uma ampla variação do conjunto de poluentes abordados entre os órgãos regulamentadores. A Organização Mundial da Saúde - OMS, desenvolveu diretrizes para qualidade do ar interno para serem usadas em meios não industriais (WHO, 2010), entretanto, para o conjunto de contaminantes abordados, a OMS estabelece apenas diretrizes e não um padrão obrigatório, cabendo a cada país instituir o seu.

A Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF localiza-se na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Em 25 de fevereiro de 2012 houve um incêndio de grandes proporções que destruiu as edificações que compunham o corpo principal da Estação fazendo com que o Programa Antártico Brasileiro - PROANTAR, promovesse um concurso internacional para a escolha do projeto e posterior construção das novas edificações da EACF,

visando, entre outros aspectos relacionados ao conceito de sustentabilidade, a preocupação com a qualidade do ar interior (Instituto de Arquitetos do Brasil, 2013). As instalações existentes antes do incêndio permitiam a estadia de um grupo de aproximadamente 65 pessoas entre civis e militares por períodos que variavam de um mês a um ano de permanência. O projeto para as novas edificações prevê a ocupação máxima no inverno de 34 pessoas e, no verão, de 64 usuários entre civis e militares.

É perceptível a pouca importância dada para os aspectos inerentes à QAI na construção de Estações Científicas na Antártica, mesmo considerando o caráter de confinamento da maioria dos ambientes, em virtude das características ambientais de clima extremo no continente. Essa característica acaba por determinar a concepção de arquiteturas enclausuradas, longos períodos de permanência da sua população em seu interior e o desenvolvimento de potenciais fontes de poluição atmosférica oriundas do próprio funcionamento da edificação.

Desta forma, a preocupação com a saúde dos ocupantes fez com que esse parâmetro fosse incluído pela primeira vez como diretriz projetual das novas edificações brasileiras na Antártica. Além disso, o novo projeto também deve minimizar o impacto humano, já que a Antártica é uma área do planeta com seu habitat natural preservado e o crescimento das atividades humanas a partir da implantação de várias estações pode influenciar a composição da atmosfera em escala local (Mishra et al., 2004).

Pagel et al. (2012; 2016) associou a emissão de contaminantes aéreos com prováveis fontes no ambiente interno. Este artigo apresenta o diagnóstico de um dos principais problemas de QAI constatados nas antigas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz através de estudos e medições *in loco* desenvolvidos por Pagel et al. (2012; 2016). Esses resultados formaram a maior parte das diretrizes de controle da qualidade do ar, publicadas no Termo de Referência (TR) da licitação pública internacional – na forma de concurso de projetos – para as novas edificações da EACF (Instituto de Arquitetos do Brasil, 2013). Além disso, esse trabalho apresenta o levantamento dos principais pontos de melhoria alcançados pelo novo projeto de arquitetura da EACF, assim como levanta alguns questionamentos de pontos que ainda podem ser melhorados na nova construção em relação à qualidade do ar.



Figura 1. Vista externa frontal da “antiga” EACF em janeiro de 2012.
Fonte: Os autores

CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A “ANTIGA” ESTAÇÃO ANTÁRTICA COMANDANTE FERRAZ

A Estação Antártica Comandante Ferraz (LAT 62°05'S; LONG 58°24W) foi fundada em 6 de fevereiro de 1984 inicialmente composta por oito contêineres metálicos e uma área total de 150m² podendo abrigar até 12 pessoas. Durante os anos seguintes, devido ao crescimento do número de pesquisas, a Estação sofreu diversas reformas e ampliações, descaracterizando a construção por contêineres (Alvarez *et al.*, 2007). Até fevereiro de 2012, a EACF contava com um corpo principal único com cerca de 2500 m² (**Figura 1**). Internamente a Estação possuía diversos ambientes que atendiam a seus usuários, alguns com calefação e outros não. De forma geral, estes ambientes possuíam um sistema deficiente para a renovação do ar, e quando possível, as janelas eram os elementos mais utilizadas como mecanismo de controle.

COLETA DE DADOS

Os dados para o diagnóstico e identificação das fontes de poluição interna da antiga edificação principal da EACF foram levantados durante a XXX Operação Antártica, operacionalizada pela Marinha do Brasil e pela Força Aérea Brasileira no período denominado como verão antártico – quando ocorre a maior ocupação da Estação –, especificamente entre os dias 13 de janeiro a 04 de fevereiro de 2012. Foram feitos monitoramentos da concentração de material particulado e COV em onze ambientes internos, selecionados de forma a representar os espaços com maior permanência e com possíveis fontes de poluição. Os equipamentos utilizados, procedimentos de coleta, análise e discussão dos resultados desses poluentes foram descritos por Pagel *et al.* (2012; 2016).

Estes ambientes foram agrupados da seguinte forma: 1) locais dotados de calefação, representados por três espaços de uso geral (Sala de estar, Biblioteca e Academia); espaços de uso íntimo (Alojamento do Arsenal, Camarotes 10 e 21); e espaços de serviço (Cozinha). 2) locais sem calefação, compostos por quatro ambientes de serviço (Carpintaria, Incinerador, Garagem e a área de transição entre os setores de operação denominada “Ferrazão”).



Figura 2. Representação gráfica do novo projeto da EACF. Fonte: Estudio41, 2013.
Fonte: Os autores

De acordo com o método proposto (The European Standard, 2006) foram registradas as condições de ventilação, os materiais de construção, as últimas reformas, os mobiliários, equipamentos e as condições de cada ambiente. As atividades dos usuários e o horário das suas realizações no ambiente também foram relatadas. Foi contabilizado o número de ocupantes, presença ou não de fumo e registrados os produtos de limpeza, frequência de utilização, cuidado com limpeza e manutenção dos mobiliários e cosméticos manipulados.

O PROJETO DA NOVA ESTAÇÃO

O projeto vencedor do concurso para as novas edificações brasileiras na Antártica foi o da equipe “Estudio41”, com sede em Curitiba, Brasil. A concepção obedeceu rigorosamente ao Termo de Referência (TR), elaborado por uma equipe multidisciplinar e interinstitucional, cujo conteúdo enfatizava a necessidade de soluções tecnologicamente adequadas às exigências ambientais, à segurança e à cultura nacional (Alvarez *et al.*, 2013).

A implantação foi organizada em blocos de até dois pavimentos, resultando em uma área total de 3.952 m² (Figura 2) englobando usos semelhantes e capacidade ampliada em relação ao antigo corpo principal da EACF. Houve um substancial ganho de área principalmente no setor de laboratórios, uma vez que, um dos principais objetivos da existência da Estação é a pesquisa científica.

METODOLOGIA

A análise dos dados e informações coletadas foi dividida em três etapas:

diagnóstico e identificação das principais fontes de emissão de contaminantes aéreos baseado nas medições realizadas na antiga Estação Antártica Comandante Ferraz;

síntese das principais estratégias de controle de QAI;

análise dos aspectos positivos e negativos propostos no novo projeto da Estação brasileira em relação à QAI.

DIAGNÓSTICO

A Figura 3 destaca dentre os ambientes onde foi feito o monitoramento da concentração de poluentes aéreos (Pagel *et al.*, 2012;2016); aqueles em que foram localizadas as principais fontes de contaminação do ar interno na edificação principal da antiga EACF. A maior parte dos problemas encontrados foi associada aos materiais construtivos e à falta de setorização física entre as atividades de trabalho e áreas de convivência da Estação.

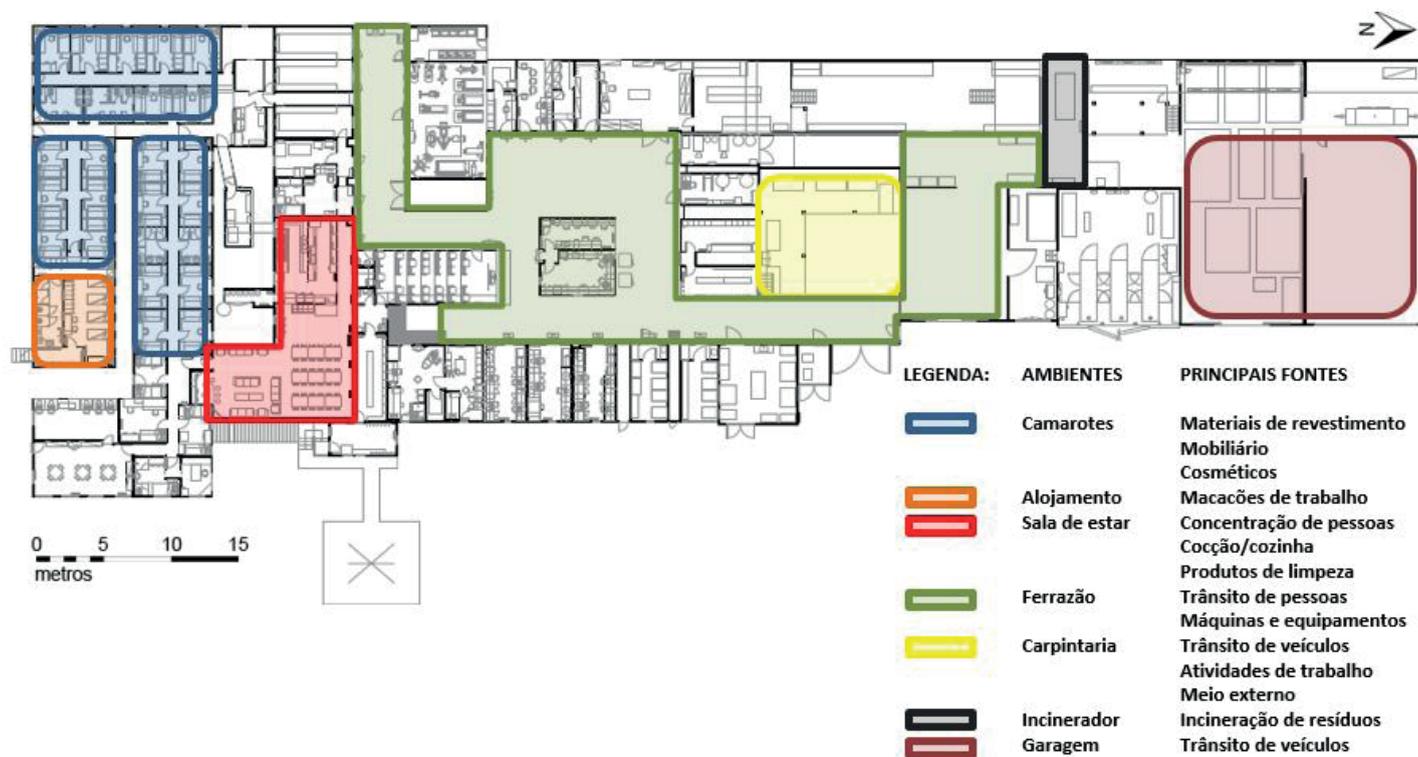


Figura 3. Planta baixa da “antiga” EACF com destaque para suas respectivas fontes de contaminação do ar.
 Fonte: Os autores

Os Camarotes caracterizam-se por serem ambientes pequenos e de permanência prolongada, principalmente, no horário noturno, justificando a maior preocupação em relação à qualidade do ar interior. As principais fontes nesses ambientes provêm da presença de materiais de revestimento e acabamento com alta emissividade de COV, sendo o mais perigoso deles o formaldeído, tais como pisos laminados e mobiliários em MDF (Missia *et al.*, 2010). Observou-se que a ausência de banheiros privativos faz com que a utilização de produtos de uso pessoal neste pequeno espaço seja uma fonte potencial de poluição, principalmente quando associada a um sistema de renovação de ar deficiente. Conforme Weschler (2009), esses produtos têm evoluído o seu número de fragrâncias incluindo uma complexa quantidade de compostos orgânicos voláteis, embora ainda tenham notavelmente uma menor atenção como contaminantes internos. Por se tratarem de espaços muito pequenos e que permanecem a maior parte do tempo com suas portas e janelas fechadas, permitem que a infiltração de poluentes provindos de outras partes da Estação fique por mais tempo retidos no ar do ambiente, considerando a baixa taxa de renovação do ar.

No Alojamento do Arsenal - caracterizado por ser um dormitório de até 16 pessoas em um único espaço –, a presença da sala de secagem dos macacões de trabalho integrada com a ala de dormitório mostrou-se como uma fonte de contaminação de COV absolutamente indesejável

para um ambiente de permanência prolongada. A Sala de Estar por ser o ambiente de maior utilização da Estação, por si só já apresenta uma maior concentração de pessoas como potencial fonte de contaminação do ambiente. A presença humana e suas respectivas atividades ocupacionais são um dos maiores contribuintes para a poluição do ar em ambientes fechados, não apenas pela liberação de dióxido de carbono através da respiração ou de substâncias químicas pela transpiração, mas também pelo transporte de microorganismos, tais como bactérias, fungos, vírus e ácaros (Brickus e Aquino Neto, 1999), bem como, a ressuspensão da poeira do chão devido a movimentação de pessoas.

A integração deste espaço com o ambiente da cozinha, associado também ao fato de um sistema de renovação de ar deficiente, indicaram uma potencial contaminação de COV e material particulado principalmente provinda da atividade de cocção. Outro ponto peculiar desse ambiente é a limpeza rotineira após cada refeição – minimamente, três vezes ao dia –, que faz com que contaminantes provindos destes produtos químicos sejam uma preocupante fonte de poluição do ar (Weschler, 2009).

No ambiente denominado “Ferrazão”, localizavam-se as câmaras de refrigeração e estocagem de mantimentos, ocasionado um trânsito esporádico de veículos, principalmente em dias de carga e descarga. É importante citar que os veículos utilizados em Ferraz são movidos a gasolina comum e a óleo diesel, o que os tornam potenciais

CONTAMINANTES	PRINCIPAIS FONTES DE EMISSÃO	PADRÃO QAI BRASIL (ANVISA, 2003)	PADRÃO QAI PORTUGAL (SCE, 2009)	DIRETRIZ QAI OMS (WHO, 2010)
Formaldeído	Mobiliário e revestimento, cosméticos produtos de limpeza	-	100 µg/m ³	100 µg/m ³
Material Particulado Total	Movimentação de pessoas e veículos, cocção, incineração de resíduos, produtos com sprays	80 µg/m ³	-	-

Quadro 1. Contaminantes e principais fontes de emissão de poluentes aéreos na EACF, limites máximos admissíveis pelo Padrão da QAI no Brasil, em Portugal e pelas diretrizes da OMS.
Fonte: Os autores

fontes de contaminantes perigosos à saúde humana. Nessa área havia também máquinas e equipamentos a óleo diesel o que provavelmente contribuiu na concentração de poluentes aéreos detectados nesse local.

A Carpintaria caracteriza-se por ser uma área de trabalho principalmente pelo Arsenal de Marinha e pelo Grupo Base de militares, com atividades de soldagem, pintura, marcenaria e outras, características de manutenção e de obras civis da Estação. Essas atividades específicas do setor foram detectadas como potenciais fontes de emissão de poluentes, principalmente de material particulado.

A presença do Incinerador de lixo dentro do corpo principal da Estação, contíguo às áreas de permanência, mostrou que, contaminantes específicos, presentes em partículas fugitivas emitidas por essa atividade, contribuem na elevação da concentração de poluentes em outros ambientes da Estação. Da mesma forma, contaminantes característicos da combustão veicular foram detectados na área da Garagem.

Já a Biblioteca e a Academia não apresentaram concentrações significativas de COV e material particulado, que pudessem ser passíveis de correção, provavelmente por não possuírem fontes internas de poluição do ar, associado ao fato de serem locais mais isolados e de ocupação esporádica pelos usuários.

O **Quadro 1** mostra os contaminantes, suas principais fontes de emissão e os limites máximos de concentração para esses poluentes estabelecidos, por exemplo, por países como Brasil e Portugal, além dos limites de exposição recomendados pela OMS, uma vez que o continente Antártico não possui Padrões específicos de qualidade do ar de interiores.

ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA QUALIDADE DO AR

O **Quadro 2** mostra uma síntese das principais estratégias de controle da QAI (Instituto de Arquitetos do Brasil, 2013) direcionadas a reconstrução das novas edificações brasileiras na Antártica e que devem ser adotados nas fases de projeto, construção e operação da edificação. Destaca-se que a maior parte desses métodos, em função especificamente dos resultados desse estudo, fizeram parte da seção de critérios e diretrizes relacionados à qualidade do ar interior descritas no TR da licitação do concurso de projetos da nova EACF.

As Estações Científicas na Antártica são construções que podem ser comparadas ao funcionamento de uma cidade de pequeno porte e suas respectivas fontes de contaminação do ar. Possuem aspectos inerentes ao funcionamento de edificações residenciais, no que se diz respeito às áreas de habitação, alimentação e recreação; assim como aspectos de edificações de trabalho, com áreas administrativas e laboratórios, e até mesmo, aspectos de edificações industriais, com áreas, por exemplo, de tratamento de esgoto, resíduos, fornecimento de água e geração de energia. Adicionalmente não se pode esquecer o fato da presença veicular, mesmo que mínima, mas necessária ao desenvolvimento das atividades das Estações.

Em se tratando de um conjunto de métodos de controle da QAI que atenda a um edifício tão multifuncional quanto o da Estação, levando ainda em conta o clima extremo do local, algumas das estratégias utilizadas comumente em outros meios – como, por exemplo, a ventilação natural direta – deve ser descartada, mas um sistema eficiente de renovação de ar deve ser priorizado. A eliminação ou redução de potenciais fontes pode ser alcançada por uma setorização dos espaços assim como pela utilização de materiais e equipamentos com baixa ou zero emissividade.

ETAPA	MÉTODOS DE CONTROLE
Projeto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Setorização dos ambientes de acordo com sua função, principalmente na separação física entre os locais de habitação, trabalho e industriais. 2. O layout construtivo deve ser desenvolvido de maneira a minimizar o tráfego de veículos no interior da Estação. 3. Seleção de materiais com baixa ou zero emissividade, principalmente de cloro, bromo, compostos orgânicos voláteis (COV), fibras, material particulado e demais gases comprovadamente nocivos à saúde humana. Preferencialmente, especificar os materiais que possuam essa classificação por testes de emissões e programas de avaliação de certificação. 4. Evitar ou minimizar a especificação de revestimentos – piso, parede e teto –, e mobiliários que possuam colas, adesivos ou resinas para sua fixação e que possam emitir COV no ambiente ao longo da sua vida útil. 5. Minimizar a especificação de produtos derivados de materiais como PVC e outros plásticos, borrachas e outros materiais flexíveis por serem produtos petroquímicos de difícil degradação (Keeler e Burke, 2010). 6. Evitar especificar produtos com retardantes de chamas brominados e halogenados, principalmente o cloro e determinados halogênios bromados usados em fios de tecido de estofamento (Keeler e Burke, 2010). 7. Evitar especificar materiais fibrosos ou que possam emitir pequenas partículas nocivas ou não a saúde humana tais como lãs de vidro, lãs de rocha, amiantos e fibras minerais. 8. Evitar tintas a óleo e esmaltes sintéticos, assim como, tintas e vernizes que contém metais, priorizando utilizar tintas, solventes, laqueados e vernizes, à base de água ou ecológicos que possuem um menor nível de emissão de poluentes no ar, principalmente de COV. 9. Privilegiar a especificação de materiais com boa durabilidade e menor exigência de limpeza. 10. Especificar materiais que minimizem o crescimento de fungos, bactérias e acúmulo de umidade, assim como, evitar materiais muito porosos tais como veludos e carpetes para revestimento e estofamentos de mobiliário. 11. Prever sistema de ventilação e renovação de ar eficiente de forma a garantir a taxa de renovação mínima recomendada pela ANVISA RE N°9/2003 para ambientes climatizados e pela ASHRAE Standard 62/2001, que estabelece a taxa de ventilação aceitável para QAI, incluindo um sistema de climatização que garanta a filtragem e limpeza do ar ambiente, caso necessário. 12. Os sistemas de ventilação para a cozinha devem seguir a NBR 14518. Deverão ser instaladas sobre a área de cocção, coifas metálicas com geometria apropriada ou sistema semelhante. 13. Adotar um sistema de cortina de ar nas aberturas externas das áreas de serviço, e que possam ficar a maior parte do tempo abertas, de forma a evitar a entrada da poeira do solo externo.
Construção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Considerar a construção como sequência do projeto, respeitando a instalação de materiais certificados com baixa emissão de poluentes e evitar uso de adesivos, colas e selantes tóxicos, minimizando o acúmulo de contaminantes durante a obra. 2. Vedar externamente a edificação visando dar estanqueidade ou minimizar a entrada de ar e infiltração de água no seu interior.
Operação	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estabelecer um plano de manutenção e limpeza periódica dos filtros e sistemas de climatização. 2. Adotar métodos limpos de cocção tais como assar e grelhar em lugar de frituras com óleo. 3. Adotar materiais de limpeza não tóxicos e com baixa emissividade comprovada. 4. Recomendar aos habitantes o uso de produtos de higiene pessoal e cosméticos livres de aerodisperssóis, além da recomendação da utilização desses produtos em local de permanência não prolongada, tais como banheiros e vestiários. 5. Proibir a atividade de fumo internamente ao edifício. 6. Minimizar o uso de motores de combustão interna em veículos, máquinas e equipamentos nas proximidades da Estação substituindo, sempre que possível, por tecnologias mais limpas com fontes de energia renovável. Se necessária a utilização do diesel, adotar produto com baixo teor de enxofre. 7. Estabelecer um plano de monitoramento contínuo da QAI.

Quadro 2. Síntese das principais estratégias de controle da QAI.
 Fonte: Os autores

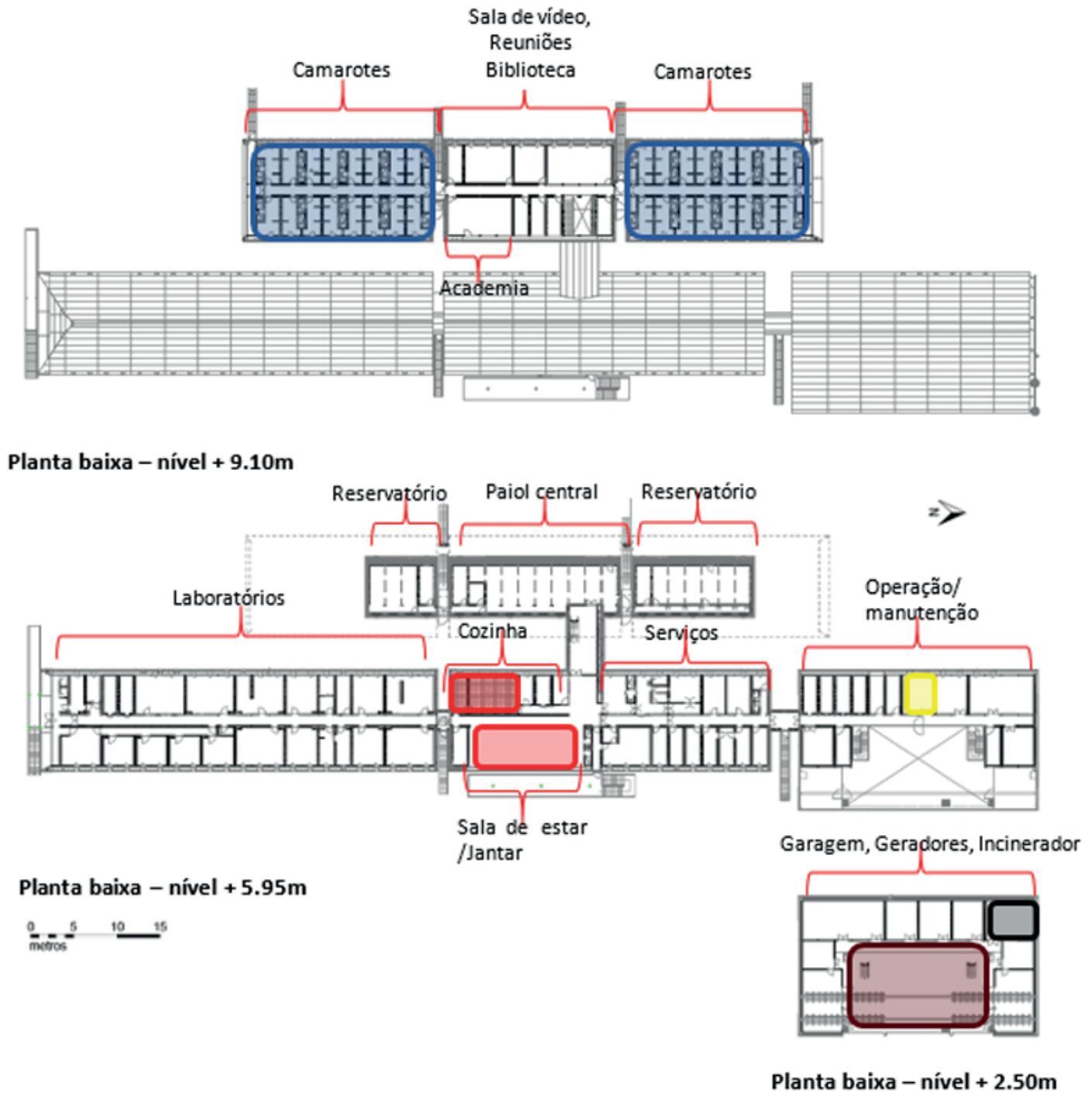


Figura 4. Plantas baixas do projeto da nova EACF destacando a nova setorização dos ambientes considerados com potenciais fontes de poluição aérea na antiga Estação.
 Fonte: Os autores

ANÁLISE DO NOVO PROJETO PARA A EACF

Dentre os pontos positivos alcançados pelo projeto vencedor, no que se diz respeito à melhoria da qualidade do ar de interior têm-se a implantação das novas edificações da EACF organizada em blocos funcionais que distribuem os usos. O bloco superior é destinado às atividades privativas e sociais – tais como Camarotes, Sala de vídeo, Reuniões, Biblioteca e Academia – enquanto o bloco inferior concentra as zonas de Laboratórios (ala Sul), o setor de Operação/Manutenção (ala Norte) e ao centro localiza-se os setores de Serviço, a Cozinha e a Sala de Estar/Jantar. No setor de Operações/Manutenção, foi destinada uma área para as Garagens, Geradores e área de Incineração, conforme se mostra na Figura 4.

Salienta-se que foi extinto o ambiente do Alojamento do Arsenal e a sala de secagem de macacões de trabalho – considerando que as novas edificações serão mais eficientes e com menor necessidade de manutenção –, sendo propostos, em sua maioria, apenas Camarotes com banheiros privativos, o que pode minimizar o impacto da utilização dos produtos de higiene e cosméticos nesse pequeno espaço de permanência prolongada. As salas de secagem se restringiram a duas localizações comuns: próxima à entrada externa da Sala de Estar e próxima à entrada externa dos Laboratórios. Devido a nova setorização por blocos funcionais também se eliminou o espaço de transição de pessoas e veículos conhecido como “Ferrazão”.

A Cozinha, embora próxima a Sala de estar, devido à funcionalidade conjunta de ambas, não é mais integrada a este espaço, o que favorece uma menor contaminação do ar interno através das atividades de cocção juntamente com um sistema de exaustão de coifa eficiente. Outro ponto positivo no novo *layout* é a não existência de áreas de trânsito interno de veículos, sendo os acessos principais às garagens e paióis feitos diretamente pelo exterior. Observa-se, ainda, a solução dada à área de Garagens, Geradores e Incineração, caracterizados pela presença de potenciais fontes poluidoras, que ficou localizada abaixo do bloco de operações, com acesso independente e mais afastada do corpo principal social da Estação.

Deve ser destacada em relação à melhoria da QAI, a proposta de um sistema de renovação de ar eficiente. Normalmente, concomitante à necessária renovação do ar visando à garantia de sua qualidade está associado um aumento no consumo energético com aquecimento. A solução adotada em projeto foi reduzir o impacto do ar externo na temperatura interior através de seu preaquecimento, uso de materiais como forros e revestimentos que diminuem o número de partículas em suspensão, e utilização de sensor de concentração de CO₂, para que haja a possibilidade de reduzir a taxa de renovação conforme a concentração de CO₂ no ambiente (Antunes, 2013).

Para garantir a temperatura e a umidade do ar adequada com baixo consumo energético, foram previamente definidos perfis de temperaturas para cada ambiente, agrupando o programa de necessidades na planta e seguindo três fatores fundamentais: temperatura necessária, ocupação ao longo do dia e sazonalidade de ocupação dos espaços, considerando que no verão, a Estação é muito mais ocupada do que no restante do ano. O continente antártico não possui indicadores de aceitabilidade dos parâmetros de conforto ambiental. Na legislação brasileira, a Resolução nº9 (ANVISA, 2003) determina que a faixa recomendável de temperatura, nas condições internas, deverá variar de 23 a 26°C e de 20 a 22°C para o verão e inverno brasileiro respectivamente. Em relação à faixa recomendável de operação da umidade relativa do ar, a legislação determina que a faixa seja variável de 40% a 65% e de 35% a 65%, para o verão e inverno brasileiro respectivamente; e o valor máximo recomendável de operação da velocidade do ar, na região de influência da distribuição do ar deve ser menor que 0,25 m/s.

Ambientes como laboratórios e parte dos camarotes, quando não ocupados, por exemplo, podem ser mantidos durante o inverno em uma temperatura por volta de 5°C, ou o suficiente para prevenir o congelamento de tubulações e danos aos materiais construtivos. Áreas técnicas sem ocupação também não necessitam manter temperaturas adequadas ao conforto humano, sendo previsto o aquecimento somente para o adequado funcionamento dos equipamentos (Antunes, 2013).

Em relação à especificação dos materiais construtivos, é de realçar que houve preocupação na especificação de materiais com zero emissão ou baixa emissão de substâncias químicas, certificadamente comprovada através de selos ecológicos (**Quadro 3**). Embora vários fatores acerca dessas certificações dos materiais sejam ainda questionáveis, por exemplo, por haver uma grande diferença entre as emissões de um material monitorado individualmente em câmaras de teste laboratoriais e sob as condições reais de operação de um edifício (Keeler e Burke, 2010), a seleção de materiais de baixa emissividade é hoje um importante avanço no que se refere à qualidade do ar interno. Embora seja indiscutível o importante avanço para a QAI das novas edificações em relação ao existente anteriormente, um aspecto a ser considerado é o grande quantitativo de revestimentos e mobiliários compostos ou previstos de serem fixados com resinas, colas ou adesivos, principalmente, os laminados melamínicos. Mesmo considerando o grande avanço na qualidade dessas resinas pelas indústrias, esses adesivos ainda são uma das principais fontes aéreas de substâncias químicas perigosas a saúde humana (Missia *et al.*, 2010).

O diesel continua sendo o combustível base nos veículos e no funcionamento da nova EACF, principalmente na geração de energia, devido ao seu baixo ponto de congelamento, prevendo-se a instalação dos sistemas alternativos de forma gradual (Alvarez *et al.*, 2013).

LOCAL	REVESTIMENTOS	AMBIENTES
Piso	Carpete em fibras de Nylon (100%), livre de PVC, fixadas sobre base vinílica com adesivo de baixo odor e zero emissão de COV	Camarotes, Sala de vídeo, Reuniões, Biblioteca, Circulações
	Pisos emborrachados em manta de 2mm/3mm colados sobre contrapiso, com certificação ecológica de baixa emissão de substâncias químicas	Ambientes em geral: Sala de Estar, Academia, Banheiros, Laboratórios, Setor de Serviços, Operações/Manutenção, Paióis, Incinerador
	Cerâmica 30x30cm extrudada antiderapante	Cozinha
	Piso intertravado de concreto	Garagem, Praça de máquinas, Geradores
Parede	Parede em gesso com aditivo de fibras incombustível revestida com pintura acrílica acetinada	Camarotes, Sala de vídeo, Reuniões, Biblioteca, Academia, Setor de Serviços, Operações/ Manutenção, Incinerador, Paióis
	Laminados melamínicos fixados sobre as chapas de gesso com cola de aplicação	Banheiros, Laboratórios, Cozinha
	Painel de madeira tipo Cumaru, acabamento em verniz marítimo à base de resina alquídica	Biblioteca, Circulação da Sala de Estar
Forro	Forro em gesso revestido com pintura acrílica	A maior parte dos ambientes exceto áreas técnicas, câmaras frigoríficas, Praça de Máquinas
Mobiliário	Compensado naval revestidos com laminado melamínico	Laboratórios
	Mobiliário de MDF com pintura poliuretânica Selo E-1 (baixa emissão de formaldeído)	Camarotes

Quadro 3. Síntese dos principais revestimentos internos e especificação de mobiliário no projeto das novas edificações da EACF. Elaborado a partir do Memorial Descritivo de Arquitetura. Fonte: Estudio41, 2013.

CONCLUSÕES

O resultado pioneiro de se estudar a qualidade do ar interno de uma Estação Antártica e propor diretrizes para as novas edificações brasileiras no continente, fez com que o novo projeto da EACF, decorrente da necessidade de reconstrução após o incêndio de fevereiro de 2012, alcançasse pontos positivos importantes na nova proposta projetual em relação à saúde dos seus ocupantes.

Dentre as estratégias mais eficientes de melhoria da QAI das novas edificações da EACF tem-se a implantação por blocos funcionais, separando os setores privados e sociais dos de trabalho, serviço, operação e manutenção. Nesse sentido, o monitoramento realizado nas antigas instalações da EACF, com identificação das potenciais fontes de poluição do ar e hábitos dos usuários, foi de fundamental importância para as recomendações constantes no TR e nas decisões projetuais dos ganhadores do processo licitatório. A não existência do trânsito veicular no corpo principal do edifício e um sistema de renovação de ar eficiente configuram-se, dentre as diretrizes projetuais propostas, como as principais para o alcance da melhor qualidade do ar interior.

Em relação aos materiais construtivos da nova EACF houve a preocupação na especificação certificadamente comprovada de componentes com zero ou baixa emissão de substâncias químicas. Entretanto, sabe-se que a melhor estratégia de controle da qualidade do ar, é a eliminação das fontes poluidoras, especialmente tratando-se de uma edificação antártica onde a característica do enclausuramento é peculiar na maior parte dos ambientes. Desta forma, materiais inertes ou de fixação sem colas, contribuiriam para um ainda melhor desempenho da QAI na EACF.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártica de Pesquisas Ambientais - INCT-APA; ao Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte financeiro. À Marinha do Brasil e a Força Aérea Brasileira - FAB pelo apoio logístico e aos colegas de Estação em especial aqueles que contribuíram diretamente para a conclusão dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, Cristina Engel de; CASAGRANDE, Braz; SOARES, Glyvani Rubim. Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). In: *IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, Campo Grande: ANTAC, 2007.
- ALVAREZ, Cristina Engel de; VARGAS, Paulo Sérgio de Paula.; VIDIGAL, Emerson José. As novas edificações brasileiras na Antártica: do concurso de projeto ao estágio atual. In: *XXIV Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos*, Chile: 2013.
- ANTUNES, Bianca. *Jovens arquitetos do Estúdio41 vencem o concurso para a Estação Antártica brasileira com um projeto que une conforto térmico com baixo consumo energético e produção de energia com sistemas limpos*. AU 213. Acesso em julho de 2014. Disponível em: < <http://au.pini.com.br/>>.
- ANVISA AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Resolução - RE nº 9*, de 16 de janeiro de 2003. Brasil: Diário Oficial da União, 2003.
- BRICKUS, Leila de Souza da Rocha e AQUINO NETO, Francisco Radler de. A qualidade do ar de interiores e a química. *Química nova*, 1999, nº 22, pp. 65-74.
- CROOK, Brian e BURTON Nancy C. Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. *Fungal Biology Reviews*, 2010, nº24, pp.106-113.
- DERBEZ, Mickaël; BERTHINEAU, Bruno; COCHET, Valérie; LETHROSNE, Murielle; PIGNON, Cécile; RIBERON, Jacques; KIRCHNER, Severine. Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. *Building and Environment*, 2014, nº72, pp.173-187.
- ESTUDIO41. *Estação Antártica Comandante Ferraz*. 2013. Acesso em julho 2014. Disponível em: < <http://www.escudio41.com.br/>>.
- INSTITUTO DOS ARQUITETOS DO BRASIL. Termo de Referência: ANEXO 1 do concurso da EACF. Brasil: 2013.
- KEELER, Marian e BURKE, Bill. *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2010.
- MISHRA, Vinit Kumar; KIM, Ki-Hyun; HONG, Sungmin; LEE Khangyun. 2004. Aerosol composition and its sources at the King Sejong Station, Antarctic peninsula. *Atmospheric Environment* 38: 4069-4084.
- MISSIA, Dafni; DEMETRIOU, Eleni; MICHAEL, N.; TOLIS, Evangelos; BARTZIS, John G. Indoor exposure from building materials: a field study. *Atmospheric Environment*, 2010, nº 44, pp. 4388-4395.
- PAGEL, Érica Coelho; BEGHI, Sandra Paule; ALVAREZ, Cristina Engel de; REIS JÚNIOR, Neyval Costa; ANTUNES, Paulo Wagner Pereira; CASSINI, Sérgio Túlio; SANTOS, Jane Méri. Analysis of Indoor Aldehydes in the Comandante Ferraz Antarctic Station. *INCT-APA Annual Activity Report*, 2012, p. 178-183. DOI: 10.4322/apa.2014.085
- PAGEL, Érica Coelho; REIS JÚNIOR, Neyval Costa; ALVAREZ, Cristina Engel de; SANTOS, Jane Méri; CONTI, Melina Moreira; BOLDRINI, Ricardo Salvador; KERR, Américo Sansigolo. Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic research station. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016a, nº188:167, p. 1-16. DOI: 10.1007/s10661-016-5172-z
- SCE - SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS. *Nota Técnica NT-SCE-02 Metodologia para auditorias periódicas de Qualidade do Ar Interior em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE*. Portugal. 2009
- THE EUROPEAN STANDARD. *EN ISO 16000-1: indoor air – general aspects of sampling strategy*. Bruxelas. 2006.
- WESCHLER, Charles Joseph. Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*, 2009, nº 43, p.153-169.
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. WHO guidelines for indoor air quality. *Nutrition journal*, v. 9, p. 454, 2010.