



LABORATÓRIOS AMBIENTAIS: PAPEL NA GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E UMA ANÁLISE SOB A PERSPECTIVA ARQUITETÔNICA

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Fernanda Senda

Laboratórios ambientais: papel na gestão do meio ambiente e uma análise sob a perspectiva arquitetônica

**São Paulo
2017**

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Fernanda Senda

Laboratórios ambientais: papel na gestão do meio ambiente e uma análise sob a perspectiva arquitetônica

Monografia elaborada como requisito para conclusão do Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto dos Santos

**São Paulo
2017**

Agradecimentos

Agradeço ao meu companheiro e marido Fabiano, pelo amor, apoio e tantas outras coisas.

Aos meus pais, Paulo e Ana, minha irmã Paula e minha avó Joana pela formação, carinho e presença.

Ao meu orientador, Prof^o Dr Carlos Roberto dos Santos, Presidente da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, pela confiança em meu trabalho.

À Prof^a Dr^a Joana Carla Soares Gonçalves, Chefe do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, pela orientação inspiradora e pela conversa saborosa 10 anos depois do final de minha graduação.

Aos funcionários do Setor de Toxicologia da CETESB Gilson, Ivo, Daniela e Viana pelas conversas esclarecedoras e pelos livros emprestados.

À revisora e amiga Maria Cristina pela ajuda com as palavras quando estas estavam penosas.

Aos funcionários do CEGEA e dos Setores de Cursos da CETESB Gustavo, Sônia, Elizeu, Bruno, Renato, Alexandre, Irene, Lina e Tânia que gentilmente atenderam a mim e a meus colegas de curso com presteza e dedicação.

Aos professores do CEGEA, em especial a Prof^a Dr^a Maria Antonia, que apresentaram conceitos fundamentais para que eu pudesse idealizar esta monografia.

À Sônia e Rejane, funcionárias das bibliotecas da CETESB e FAUUSP respectivamente.

Aos colegas do Setor de Engenharia da CETESB, em especial, Marco Melo, Joenice, Lina, Pepe, Márcia e Kuni pela amizade diária e dedicação profissional que torna meu trabalho melhor.

Ao Comitê de Capacitação da CETESB que viabilizou a realização desta monografia ao aprovarem meu nome para receber a bolsa da Especialização destinada ao corpo de funcionários da Companhia.

Aos amigos Michel, Vanessa, Camila Gui, Camila Souza, Carla, Luciana, Tatiana, Rafael, Grazi, Thomas e Renan pela amizade integral.

E por fim, aos colegas da 19^a turma de Especialização em Gerenciamento Ambiental, CEGEA, por tornarem as aulas mais prazerosas com questões pertinentes e muito riso.

Resumo

SENDA, Fernanda. Laboratórios ambientais: papel na gestão do meio ambiente e uma análise sob a perspectiva arquitetônica. São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017.

A saúde pública, interesse primordial da sociedade, está intimamente vinculada à qualidade do meio ambiente. No âmbito do gerenciamento ambiental, as tomadas de decisão por parte dos órgãos fiscalizadores e planejadores devem estar fundamentadas em dados representativos das condições do meio. Essa necessidade é decorrente da legislação, que confronta o cenário formado por estes dados com os padrões de qualidade legalmente estabelecidos e que determinam delimitações quantitativas da concentração de poluentes e resíduos no ambiente. Neste contexto, os laboratórios ambientais oferecem ferramentas de análise técnica por meio de ensaios com amostras de matrizes do ambiente. Assim, para gerar informações confiáveis e capazes de representar o cenário requisitado do meio, uma conformação arquitetônica plenamente adequada aos ensaios a que se destinam é uma condição vital para o êxito prático dos laboratórios ambientais.

Dessa forma, este trabalho propõe primeiramente um levantamento consistente de revisão bibliográfica que inicia com a exploração das questões acerca da importância dos laboratórios ambientais no gerenciamento do meio ambiente, percorrendo pelas condições gerais de qualidade mandatórias nos laboratórios e se conclui concentrando-se nos princípios arquitetônicos relevantes ao tema. A segunda parte está estruturada em um estudo de caso, que insere as questões teóricas apresentadas ao projeto do Laboratório de Toxicologia da CETESB.

Os resultados obtidos são demonstrados no entendimento da revisão bibliográfica no projeto específico do estudo de caso e as soluções arquitetônicas adotadas no Laboratório de Toxicologia, materializadas com a execução da obra no ano de 2016. As demandas técnicas requeridas para a qualidade laboratorial, constituídas pela norma NBR ISO IEC 17025, foram norteadoras do projeto. Do universo arquitetônico, o refinamento do projeto proveio das condicionantes de conforto, segurança e sustentabilidade.

A partir do caminho percorrido por esta monografia, foi possível concluir a fundamental importância dos laboratórios ambientais no gerenciamento do meio ambiente, uma vez que as informações laboratoriais geradas para modelar cenários representativos do ambiente e embasar tomadas de decisão têm efeitos na saúde pública da população. E o cumprimento assertivo do objetivo destes laboratórios ambientais tem correlação direta com o produto arquitetônico que se optou em implementar.

Descritores: Laboratórios Ambientais. Arquitetura. ISO 17025. Gerenciamento ambiental.

Sumário

Agradecimentos.....	2
Resumo	3
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	7
Lista de siglas e abreviaturas.....	8
Glossário	9
1. Introdução.....	10
2. Materiais e métodos	14
3. O contexto ambiental.....	16
3.1. O processo de inserção da questão ambiental na agenda política mundial	16
3.2. Os instrumentos legislativos reguladores brasileiros: das primeiras iniciativas à situação atual	18
4. A gestão ambiental e o papel dos laboratórios ambientais	22
4.1. Gestão ambiental	22
4.2. Ferramentas de gestão ambiental	24
4.2.1. Os padrões de qualidade ambiental	25
4.2.2. O licenciamento ambiental	25
4.3. Avaliação da qualidade ambiental: monitoramento	26
4.4. Indicadores e índices ambientais.....	27
4.5. Indicadores qualitativos do meio Ambiente: análise da qualidade das águas	30
4.6. Suporte técnico e legal dos laboratórios na gestão ambiental	32
5. O controle de qualidade nos laboratórios ambientais.....	34
5.1. Controle da qualidade: âmbitos legais	34
5.1.1. Considerações sobre a Resolução SMA nº 100 de 2013.....	36
5.2. Normas de gestão de qualidade para laboratórios.....	37
5.2.1. NBR ISO/IEC 17025.....	37
6. Aspectos arquitetônicos nos laboratórios ambientais.....	41
6.1. Contexto arquitetônico em edifícios de laboratório	42
6.2. Condicionantes de interesse arquitetônico em edifícios de laboratório	47
6.2.1. Entorno e microclima exterior	48
6.2.2. Envoltória – fachadas e coberturas	50
6.2.3. Espaço e circulação	56
6.2.4. Materiais e acabamentos internos	58
6.2.5. Climatização e temperatura	60
6.2.6. Iluminação	61

6.2.7. Ergonomia	64
6.2.8. Qualidade do ar: ventilação e exaustão	65
6.2.9. Acústica.....	67
6.2.10. Segurança e prevenção de incêndio	68
6.2.11. Utilidades de laboratório.....	68
6.2.12. Tratamento e descarte de resíduos.....	69
6.2.13. Sistemas de comunicação.....	69
6.3. Interpretação da NBR ISO/IEC 17025 sob o ponto de vista arquitetônico.....	69
7. Estudo de Caso: análise arquitetônica em um Laboratório de Toxicologia.....	75
7.1. Programa de pesquisa.....	75
7.2. Visita de campo para referências arquitetônicas.....	77
7.3. Local de implantação do laboratório	77
7.4. Necessidades arquitetônicas e análise crítica.....	83
7.5. Considerações orçamentárias	85
7.6. Programa de necessidades do laboratório.....	86
7.7. Estudo de massas	88
7.8. Projeto arquitetônico.....	90
8. Conclusões	95
9. Referências	97

Lista de Figuras

Figura 1. Gestão ambiental – representação esquemática (Fonte: autora, 2016)	23
Figura 2. Caracterização de um parâmetro como indicador (Fonte: adaptado de FERREIRA DOS SANTOS, 2004)	28
Figura 3. Representação gráfica das condicionantes de projeto de arquitetura de laboratórios (fonte: autora, 2017)	43
Figura 4. Resfriamento evaporativo e sombreamento pela presença de vegetação. Fonte: Luciano Dutra in LAMBERTS et al, 2014.	50
Figura 5. Orientação das fachadas de um edifício - Norte, Leste, Oeste e Sul. Fonte: autora, 2017	51
Figura 6. Desenho esquemático do movimento aparente do sol no hemisfério sul ao longo do dia no equinócio (21 de março ou 21 de setembro) e nos solstícios de verão (21 de dezembro) e inverno (21 de julho). Fonte: Luciano Dutra in LAMBERTS et al, 2014.	51
Figura 7. Desenho esquemático da diferenciação na angulação da incidência solar em um mesmo horário ao longo do ano. Fonte: autora, 2017.....	52
Figura 8. Trocas de calor através de superfícies opacas. Fonte: FROTA et al, 2003, adaptado.....	53
Figura 9. Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas. Fonte: FROTA et al, 2003, adaptado	53
Figura 10. Redução da quantidade de radiação do interior da edificação e refletida para o exterior por meio de sombreamento de fachada. Fonte: autora, 2017.	54
Figura 11. Radiação difusa. Fonte Luciano Dutra (LAMBERTS et al, 2014).....	54
Figura 12. Efeito da localização das aberturas numa edificação térrea. Fonte: Baruch Givoni, 1976, in BITTENCOURT et al, 2010	55
Figura 13: Modelo de interação energética concebido por BAIRD. Fonte: LOMARDO, 2011)	56
Figura 14. Parâmetros para projeto de iluminação. Fonte: adaptado de Arqto. Nelson Solano in (GONÇALVES et al, 2011).....	61
Figura 15. Iluminância e Luminância. Fonte: Catálogo comercial OSRAM (2010/2011) in GONÇALVES et al, 2011.....	62
Figura 16. integração entre luz natural e artificial. Fonte Luciano Dutra (LAMBERTS et al, 2014)	64
Figura 17. Dimensionamento de corredor. Fonte: autora, 2017	65
Figura 18. Desenho esquemático de capela biológica classe 1. Fonte: WHO, 2004.	66
Figura 19. Diagrama de Ishikawa. Fonte: adaptado do website http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm	71

Figura 20. Implantação do Prédio 05 e localização do Laboratório de Toxicologia. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	78
Figura 21. Laboratório de Toxicologia - estrutura existente e área de ampliação. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	79
Figura 22. Corte esquemático do laboratório. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	80
Figura 23. Sala de preparo de amostras para testes. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	80
Figura 24. Laboratório de Toxicologia 01. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	81
Figura 25. área de ampliação. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	81
Figura 26: Fachada noroeste. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	82
Figura 27. fachada noroeste e jardim no entorno imediato. Fonte: autora, 2017.....	82
Figura 28. Carta solar Latitude 24° Sul (São Paulo), máscaras e incidência solar da fachada noroeste. Fonte: Frota et al, 2003, adaptado.	83
Figura 29. Matriz de interações dos espaços. Fonte: adaptado, DIBERADINIS (2001).....	84
Figura 30. Distribuição das condicionantes de interesse arquitetônico no projeto do estudo de caso. Fonte: da autora, 2017.	86
Figura 31. Premissas orientadoras da configuração do espaço. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.	89
Figura 32. Esquema de controle mecânico da qualidade do ar. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.	89
Figura 33. Sala de Preparo. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	90
Figura 34. Sala de Preparo - capelas químicas, fluxo laminar e solventes. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	90
Figura 35. Projeto arquitetônico – Layout do Laboratório. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	91
Figura 36. Projeto preliminar dos sistemas de insuflamento e exaustão. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	92
Figura 37. Corte AA. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB	93
Figura 38. Corte BB. Fonte Setor de Engenharia, CETESB	93
Figura 39. Corte CC. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	93
Figura 40. Sala de Espectrometria. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	94
Figura 41. Sala de Cromatografia. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.....	94
Figura 42. Escritório de processamento de dados. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB .	94

Lista de Tabelas

Tabela 1. Requisitos para garantia de qualidade na formação de Índices e Indicadores Ambientais.....	29
Tabela 2. Índices de Qualidade, sua finalidade, composição, redes de monitoramento e pontos da rede.....	32
Tabela 3. Resumo esquemático dos conteúdos normativos da NBR ISO/IEC 17025	38
Tabela 4. Resumo esquemático do Capítulo 4 - Requisitos de direção da NBR ISO/IEC 17025.....	39
Tabela 5. Resumo esquemático do Capítulo 5 - Requisitos técnicos da NBR ISO/IEC 17025	40
Tabela 6. Riscos em Laboratórios.....	45
Tabela 7. Classificação dos espaços em edifícios de laboratório.....	57
Tabela 8. Materiais e acabamentos.....	59
Tabela 9. Valores referenciais da norma NBR ISO/CIE 8995 de 2013. Destacado os valores referentes às atividades laboratoriais.	63
Tabela 10. Absorção x Transmissão.	67
Tabela 11. Tabela com o programa de necessidades do Laboratório de Toxicologia.	86

Lista de siglas e abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BPL	Boas Práticas de Laboratório
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NIT	Norma INMETRO Técnica
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SEAQUA	Sistema Estadual [SP] de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais
SMA	Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

Glossário

Amostra: porção que representa o todo (KRUG, 2008).

Amostragem: em atividades de laboratórios, é o fornecimento de uma amostra do objeto da avaliação de conformidade, de acordo com um procedimento (ABNT, 2005a).

Análise crítica: em atividades de laboratórios, é a verificação da pertinência, da adequação e da eficácia das atividades de seleção e de determinação, e dos resultados dessas atividades com relação ao atendimento, por um objeto de avaliação de conformidade, dos requisitos especificados (VIM, 2012).

Analito: substância ou componente químico, em uma amostra, que é o alvo de análise de um ensaio (HARRIS, 2013). Em geral, o analito está relacionado ao componente (o elemento procurado em si) e uma propriedade mensurável, como por exemplo, sua concentração.

Arquitetura bioclimática: termo proveniente da década de 1960 a partir de pesquisas dos arquitetos e irmãos Aladar e Victor Olgyay, que consiste na arquitetura adequada e harmoniosa relação entre ambiente construído, clima e processos de troca de energia, contribuindo para a eficiência térmico-energética de um edifício (BARBIRATO, 2011).

Calibração: em atividades de laboratórios, é a operação que estabelece, sob condições especificadas, numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; numa segunda etapa, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação (VIM, 2012).

Ensaio: em atividades de laboratórios, é a determinação de uma ou mais características de um objeto de avaliação de conformidade, de acordo com um procedimento (ABNT, 2005a).

Partido arquitetônico: em arquitetura, trata-se de um conjunto de diretrizes gerais de projeto que conformam a ideia inicial do mesmo (GONÇALVES et al, 2011).

Programa de necessidades: em arquitetura, é o documento escrito que descreve e quantifica os objetivos para um edifício (DIBERADINIS, 2001)

Sustentabilidade: conceito aplicável a diversos contextos (ambiental, social, econômico, etc) e inclui práticas e ações que visam à manutenção dos recursos de um sistema ou processo, a fim de que não sejam levados à exaustão e possam ser utilizados pelas gerações futuras (NARVAES, 2012).

1. Introdução

Os laboratórios ambientais são ferramentas indispensáveis dentro dos processos de gestão do meio ambiente. Por meio deles, são obtidos dados representativos para o conhecimento da realidade, fundamentais para o embasamento de tomadas de decisão. A discussão de premissas para se atingir a excelência na validação desses dados já está avançada e, hoje, para garantir sua confiabilidade recomenda-se a implementação, por laboratórios de ensaios e calibração, de uma série de requisitos compilados em textos normativos vigentes, como a norma NIT-DICLA-035 que versa sobre os Princípios das Boas Práticas de Laboratório – BPL¹ e a ABNT NBR ISO/IEC 17025² que normaliza os requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaios e calibração.

Ambas as normas especificam condições a partir de exigências referentes a processos administrativos, técnicos, de recursos humanos, materiais, de infraestrutura, entre outros.

No que diz respeito às instalações físicas dos laboratórios ambientais, mais especificamente em relação à arquitetura e às condições do ambiente, há uma contribuição numerosa de parâmetros a serem considerados para assegurar a integridade das amostras, o desempenho esperado das análises, a qualidade dos dados e o bem-estar das pessoas usuárias daquele espaço.

No que corresponde à normalização da configuração dos espaços, os princípios da BPL e a ABNT NBR ISO/IEC 17025 apresentam diretrizes bastante sucintas para se atingir uma performance mínima de instalações arquitetônicas. As premissas contemplam diversas disciplinas descritas de forma generalista, o que permite liberdade na concepção do projeto que pode transitar por diversificadas soluções, uma vez que são inúmeras variáveis as quais o projetista deve considerar frente a profusão de limitações a serem estudadas e conciliadas a fim de obter uma solução satisfatória. Segundo DIBERADINIS (2001):

The design, construction, and operation of laboratory buildings and the individual laboratories can be a complex and difficult task with the need to balance efficiency of space, cost, and flexibility while providing the users with the ability to conduct their work in a safe and efficient manner. (DIBERADINIS, 2001)³

Questões ergonômicas, de controle de temperatura, controle de qualidade interna do ar, conforto acústico, iluminação, eficiência energética, gestão de resíduos, segurança química e biológica são apenas algumas das exigências nas quais cada tipo de ensaio e a

¹ Norma Técnica NIT-DICLA-035 de setembro de 2011: Princípios das Boas Práticas de Laboratório BPL

² Norma Técnica NBR ISO/IEC 17025 de 30 de setembro de 2005: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.

³ Em tradução livre: “O desenho, construção e operação de edifícios de laboratórios e laboratórios individuais podem ser tarefa complexa e difícil com o objetivo de conciliar eficiência de espaço, custo e flexibilidade, proporcionando aos usuários a capacidade de realizar seu trabalho de forma segura e eficiente”.

saúde e higiene do trabalhador são diretamente afetadas pelas definições construtivas adotadas. O desafio aqui é conciliar o ideal técnico com a realidade restritiva por custos, condicionantes espaciais, disponibilidade tecnológica entre outros.

Desse modo, é de expressiva relevância um aprofundamento nas investigações acerca do que é realmente pertinente nesta harmonização arquitetônica entre o alvo perfeito e o aprimoramento ótimo do protótipo realizável.

Nesse cenário, o ponto de partida desta monografia é discutir o papel dos laboratórios ambientais na gestão do meio ambiente, percorrendo um raciocínio a fim de demonstrar a evolução das discussões sobre a conservação e proteção ambiental, e entender a formação das atuais práticas de gestão ambiental e suas principais ferramentas.

Para uma análise circunstanciada, propõe-se então a contextualização dos dados desenvolvidos pelos laboratórios ambientais e a formação de indicadores no âmbito político, sua utilização por atores das instituições públicas e a necessidade da garantia de confiabilidade e validação dos números disponibilizados.

A segunda contribuição deste trabalho é o caminho a ser percorrido para a garantia da credibilidade dos dados, balizado pelos preceitos recomendados pelas normas de qualidade laboratorial. E aqui é interessante notar as imensas possibilidades para se explorar com mais detalhes as exigências globais atribuídas às questões relativas à arquitetura dos laboratórios.

Assim, este trabalho segue a investigação das condicionantes arquitetônicas exigidas nas normas reguladoras e propõe uma estrutura mais detalhada de análise e avaliação da relação do espaço com a qualidade dos dados fornecidos, sob duas perspectivas coexistentes:

1. do ponto de vista da qualidade analítica dos ensaios;
2. do ponto de vista do conforto e saúde dos funcionários envolvidos no processo.

Em decorrência da grande abrangência de premissas possíveis de discussão, o recorte do tema determinado por esta monografia considera, então, o conjunto de necessidades atribuídas ao funcionamento de um laboratório de toxicologia com ensaios em matrizes biológicas provenientes de meios aquáticos, notadamente um estudo de caso do Laboratório de Toxicologia conduzido pela CETESB⁴, o qual realiza análises da concentração de metais totais e organometais em peixes, macrófitas e invertebrados, com coleta de amostras em nove pontos da Bacia Hidrográfica Alto Tietê - UGRHI 6 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 6).

⁴ CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, em sua atual denominação firmada pela Lei Estadual nº 13.542 de 2009, é o órgão delegado do Governo do Estado de São Paulo na área de controle da poluição, o órgão executor do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos recursos Naturais (SEAQUA) e o órgão gestor da qualidade do Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SIRGHR) (CETESB, 2012a).

Os critérios de escolha por esse ensaio particular e a justificativa do recorte temático desta monografia estão alinhados, em primeiro lugar, à fundamentação mais específica do conteúdo, num universo tão amplo quanto o dos laboratórios ambientais presentes em inúmeras análises de água, solo, ar, em que a delimitação focada no tema dos recursos hídricos permite explorar mais detalhadamente um assunto substancial tão considerável. A importância da água à vida e às atividades humanas associadas à questão da crise no abastecimento de água em São Paulo agravada nos anos 2014 / 2015, em especial, em sua Região Metropolitana, demonstra uma clara relevância da gestão ambiental envolvendo a qualidade e a disponibilidade hídrica da região.

Em segundo lugar, a escolha em aprofundar o tema em um estudo de caso de laboratório de ensaios toxicológicos, mostra-se pertinente já que tal laboratório propõe aperfeiçoar a base de dados do monitoramento de uso e disponibilidade dos recursos hídricos da Bacia Alto Tietê, que atende uma população urbana na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) de mais de 20,6 milhões⁵ de pessoas. Os indicadores biológicos são previstos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005⁶ para a avaliação da qualidade dos ambientes aquáticos para efeitos de enquadramento legal dos corpos hídricos para uso das águas quando apropriado (BRASIL, 2005).

Ao inserir dados provenientes de ensaios de detecção de metais pesados em matrizes biológicas, como peixes, algas e outros organismos na rede de monitoramento, tem-se o objetivo de detalhar o cenário de contaminação expresso pelas tradicionais análises em água e sedimento e revelar com mais detalhes a extensão efetiva desses contaminantes (CETESB, 2012b).

Portanto, em consonância com a atualidade do assunto e sua importância estratégica na gestão ambiental, esta monografia optou por abordar os aspectos arquitetônicos laboratoriais a partir de um estudo de caso relacionado à infraestrutura distinta de um grupo de análises relativas a uma metodologia de ensaios toxicológicos em matrizes biológicas em meio aquático proveniente da UGRHI 6 Alto Tietê.

Assim, ao percorrer esse roteiro, esta monografia pretende criar uma base de informações capaz de gerar insumos para a produção de soluções arquitetônicas diversas e fonte de incentivo para outros arquitetos e engenheiros na missão de produzir laboratórios ambientais com a qualidade arquitetônica desejada. Sem pretensões de comparar o produto deste trabalho a obra do arquiteto e professor Herman Hertzberger, ele é fonte de inspiração:

⁵ Dado do Relatório anual de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo, CETESB, 2015

⁶ Legislação Federal - Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, alterada pelas resoluções CONAMA nº 410/2009 e nº 430/2011, "*dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*".

É impossível dar receitas de como projetar, como todo o mundo sabe. (...) O objetivo de minhas 'lições' sempre foi estimular os estudantes, despertar neles uma mentalidade arquitetônica que pudesse capacitá-los a fazer seu próprio trabalho. (HERTZBERGER, 1999)

2. Materiais e métodos

Este trabalho está fundamentado em duas discussões a respeito dos laboratórios ambientais. A primeira, debatida nos capítulos 3 e 4, trata de uma revisão bibliográfica sobre o papel dos laboratórios na gestão do meio ambiente. A segunda se dedica ao olhar mais técnico dos laboratórios, acerca de seu funcionamento, em especial, no que diz respeito às acomodações dos laboratórios e como a arquitetura pode promover o bom desempenho dos ensaios dirigidos à análise da qualidade ambiental.

Nesta segunda etapa, o capítulo 5 observa as regulações de legislação e normalização dos laboratórios ambientais, enquanto o capítulo 6 concentra-se numa revisão bibliográfica das questões arquitetônicas no funcionamento laboratorial.

A complementação e a síntese da segunda etapa ocorrem por meio de um estudo de caso (capítulo 7), em que são analisadas as questões inerentes à arquitetura e sua aplicação no projeto do espaço. O objeto desse estudo é o laboratório de Toxicologia da CETESB, dedicado a ampliar e a aperfeiçoar o monitoramento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGRHI6), por meio de uma avaliação na contaminação desses ambientes aquáticos por metais pesados em matrizes biológicas.

O estudo de caso reúne e sistematiza as informações contidas no método de investigação e produção do projeto do Laboratório de Toxicologia elaborado em 2014 e reformado em 2016. Para efeitos, o estudo de caso foi dividido nas seguintes fases:

- contextualização do programa de pesquisa a ser realizado no laboratório, baseado na análise do projeto de pesquisa e entrevistas com os responsáveis, Quím^o Dr. Gilson Alves Quinaglia, Tecg^o Ivo Freitas de Oliveira e Farm^a Msc Daniela Dayrell Franca;
- visita de campo para referências arquitetônicas de laboratórios equivalentes;
- vistoria do local de implantação do laboratório e levantamento de condicionantes espaciais e infraestruturas existentes;
- levantamento das necessidades arquitetônicas e identificação dos pontos críticos, com base nas variáveis de maior influência da incerteza de medição;
- considerações orçamentárias;
- estruturação do programa de necessidades do laboratório;
- concepção do estudo de massas;
- elaboração do projeto arquitetônico.

O objetivo desta investigação é realizar uma análise qualitativa das etapas de concepção do projeto arquitetônico desenvolvido consonante com a revisão bibliográfica abordada nos capítulos anteriores. O propósito é correlacionar os fatores de influência ocasionados pelas instalações arquitetônicas sobre os ensaios do programa de pesquisa,

sem abordar, no entanto, questões numéricas quantitativas ou nos cálculos de incerteza de medição.

3. O contexto ambiental

3.1. O processo de inserção da questão ambiental na agenda política mundial

A busca pela satisfação material crescente e o consequente comportamento humano modificador do ambiente natural do planeta Terra é, há pelo menos 35.000 anos, fonte de agressões à natureza. Para cada salto de intensidade em que as atividades humanas se expandiam, efetivavam-se impactos ao meio ambiente.

Registros revelados por arqueólogos e biogeógrafos demonstraram possíveis colapsos em sociedades pouco empenhadas em conservar o meio ambiente (VEIGA, 2006). O fim de civilizações que habitaram a Ilha de Páscoa e a sociedade maia na América Central, por exemplo, apresentam teorias nas quais a ruína desses grupos esteve vinculada a questões ambientais não solucionadas por suas gerações vigentes. Segundo Veiga (2006), os vestígios indicativos dos caminhos que levaram essas civilizações ao seu fim constituem advertências claras sobre as necessidades de pensar na forma como a humanidade intervém no meio ambiente.

Em contraste a esses sinais, a discussão efetiva sobre os efeitos das ações humanas na exploração de recursos naturais é bastante recente na história do mundo ocidental. Os primeiros questionamentos relacionados ao tema ambiental estão alinhados com a consolidação da revolução industrial e foram motivados pela presença de riscos de esgotamento dos recursos naturais disponíveis para as atividades produtivas (FREIRIA, 2009).

Historicamente, a revolução industrial foi responsável por uma drástica alteração no quadro social, político e econômico, começando na Inglaterra em meados do século XVIII e se repetindo com maior ou menor atraso nos demais países europeus, provocando o êxodo rural, o crescimento acelerado da população e o aumento produtivo jamais visto (BENEVOLO, 1994).

Surgia a cidade industrial, que por um lado era exaltada por defensores da modernidade e da inovação, mas por outro era criticada por sujeitar uma massa urbana proletária à insuficiência de saneamento básico e infraestrutura. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), o movimento ambientalista nasceu como uma resposta à realidade adversa ocasionada pelo processo de industrialização europeu (ONU, online).

Os infortúnios gerados pelas novas condições urbanas foi tema constante no período, no qual seus intelectuais questionavam as fontes de mazelas e a feiura da cidade industrial e, nessa crítica, construía um pensamento em sincronia com os assuntos relacionados a um desejo de reaproximação com a natureza (ONU, online).

As artes ocidentais europeias do século XIX evidenciam esse contexto com bastante clareza, em especial, na produção do movimento de pintura artística do período. Enquanto

alguns pintores se particularizaram por reproduzir imagens de paisagens naturais, numa clara mensagem de fuga da cidade e uma idealização da própria natureza intocada pelos humanos, outros artistas utilizaram subterfúgio semelhante para negar a cidade ao retratar a autenticidade banal do cotidiano dos habitantes urbanos com uso de recursos expressivos provocativos de críticas à cidade. Literatura, escultura e demais artes ocidentais do período passavam por correntes criativas de influência e inspiração semelhantes à pintura (BENEVOLO, 1994).

Em meio a essas inquietações e reflexões, houve o surgimento do movimento ambientalista (ONU) com o aparecimento na Grã-Bretanha da década de 1860 dos primeiros grupos organizados com propósito de proteger a natureza (VEIGA, 2006).

Um século depois dos primeiros grupos ambientalistas surgidos na Grã-Bretanha, o tema ambiental ganhou mais visibilidade com a publicação, em 1962, do livro *A Primavera Silenciosa*, da cientista Rachel Carson. Esse foi um marco na literatura do ambientalismo, responsável por impulsionar de forma decisiva a discussão ambiental no mundo (ONU, online) e suficiente para provocar a origem de um novo vetor político conduzido por premissas do meio ambiente (VEIGA, 2006)

No fim dos anos 1960, a visão ambiental já era um fenômeno global e sob este contexto, em 1972, a ONU organizou a imponente Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, em Estocolmo, na Suécia. O debate dessa reunião foi convertido em um Manifesto Ambiental cujo efeito foi de estabelecer a entrada oficial da proteção ao meio ambiente na agenda política mundial, oficializado no final desse mesmo ano com a criação do PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) (ONU, online).

Na década seguinte, a médica e mestre em saúde pública Gro Harlem Brundtland foi nomeada para presidir a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU e coordenar os trabalhos desse grupo conduzidos com objetivo de aprofundar a questão ambiental (ONU, online).

Os estudos orientados pela médica norueguesa discutiram sobre o novo conceito de desenvolvimento sustentável, expressão empregada pela primeira vez em 1979 no Simpósio das Nações Unidas sobre as Inter-relações entre Recursos, Ambiente e Desenvolvimento. No documento “Nosso Futuro Comum” apresentado pela Comissão na Assembléia Geral da ONU de 1987, conhecido como Relatório Brundtland, alçou a sustentabilidade não apenas como um discurso público, mas também como um conceito político (ONU, online; VEIGA, 2006).

O relatório Brundtland, dessa forma, assumiu a vanguarda do tema ambiental ao definir o novíssimo conceito de desenvolvimento sustentável:

*O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.*⁷ (Citado em ONU, online)

O Relatório Brundtland, então, consagrou o conceito de desenvolvimento sustentável e uma visão antropocêntrica como diretrizes orientadoras do ambientalismo dos próximos anos: garantir o desenvolvimento agora e permitir sua continuidade no futuro.

Sob esta conjuntura, em 1992 foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro. Chamado de Cúpula da Terra, esse evento imponente abordou o assunto ambiental de forma a dar visibilidade ao tema de maneira até então inédita e reconheceu a necessidade categórica de promover o desenvolvimento sustentável lançando a Agenda 21, com programas de ações concebidas pelos governos para, entre outras realizações, proteger a atmosfera, combater o desmatamento e prevenir a poluição da água (ONU).

A grande novidade ficou por conta do destaque que temas sociais adquiriram nas ações previstas pela Agenda 21. Assuntos como a pobreza e o endividamento de países em desenvolvimento entraram com bastante força dentro da visão ambientalista (ONU, online).

Nos anos seguintes à Rio 92, houve diversas conferências mundiais sobre desenvolvimento sustentável, onde os destaques ficam para as cúpulas de Johannesburgo 2002 e Rio +20, em 2012, onde os Estados participantes puderam discutir o estado da arte na literatura ambiental. Sabe-se que há muito ainda a ser feito e os avanços caminham de forma heterogênea nos diferentes países do globo.

3.2. Os instrumentos legislativos reguladores brasileiros: das primeiras iniciativas à situação atual

Assim como em boa parte dos países do mundo, o jovem fenômeno ambiental foi incorporado na agenda política brasileira apenas em sua história recente. A implementação de ações originadas pelas instituições públicas do Brasil na forma de leis com objetivo de proteção dos recursos naturais do país percorreu paralelamente aos caminhos da história internacional (FREIRIA, 2009).

Do período colonial ao Império, o Brasil não apresentava preocupações diretas relacionadas com quaisquer tipos de proteção da natureza em seu território. Os bens ambientais eram vistos como fontes de matérias-primas e não existiam indícios de ocorrer qualquer tipo de restrição ou escassez desses materiais. Nesse sentido, a dimensão ambiental nas políticas públicas foi nula nesse período. O Estado em quase quatro séculos tinha como objetivo garantir a ocupação e utilização do território brasileiro e escolheu uma base econômica agrária para tal. Não houve esforços para intervenções em benefício da

⁷ Relatório Brundtland, "Nosso Futuro Comum".

proteção ambiental, uma vez que a percepção daquela época demonstrava o meio ambiente como fonte inesgotável de recursos (FREIRIA, 2009).

Em meados do século XX, a Era Vargas trazia planos para ampliar a importância da produção industrial na economia brasileira, até então baseada na agricultura. Nesse momento da história, não por coincidência, o governo passou a incorporar mecanismos legislativos para estabelecer critérios de exploração e para regulamentar o uso das riquezas naturais do país, uma vez que essas formavam o banco de matérias-primas produtivas e parte essencial para os planos de crescimento da economia brasileira.

Em 1934, surgiram dois grandes marcos legislativos ambientais: o Código Florestal⁸ e o Código das Águas⁹. Enquanto o primeiro disciplinava a exploração econômica dos recursos madeireiros, o segundo impunha limites para o uso da água para fins industriais e de geração de energia. Igualmente importante no contexto de industrialização, em 1940, foi promulgado o Código de Minas¹⁰, num mecanismo de proteção das matérias-primas de origem mineral, incluindo a proibição de participação da extração e beneficiamento de metais por outros países (FREIRIA, 2009).

Nos anos 1960, despontaram um novo conjunto de legislações e políticas públicas orientadas a enfrentar as dificuldades inerentes ao contexto de intensificação do processo de industrialização, com um expressivo êxodo rural responsável por impulsionar um rápido e desordenado crescimento das cidades e a formação de uma massa operária urbana.

Uma dessas normas legais foi a Política Nacional de Saneamento¹¹, instituída em 1967, para ordenar os serviços de água e esgoto, que até aquele momento eram questões sob responsabilidade de políticas relacionadas a saúde pública, passando então a compreender as dinâmicas relativas aos aspectos ambientais com mais clareza e suas demandas incorporadas em gestões de políticas públicas com objetivos próprios (FREIRIA, 2009).

Não por acaso, no Estado de São Paulo, foi instituído em 1968 o Fomento Estadual de Saneamento Básico (FESB), dedicado à execução de programas de abastecimento de água e sistemas de esgoto. No mesmo ano, o governo estadual criou o Centro Tecnológico de Saneamento Básico (CETESB), com intuito inicial de oferecer ao FESB suporte em pesquisas, ensaios e treinamentos, e mais tarde, já nos anos 1970, a CETESB assumiu atribuições de órgão de controle da poluição e licenciamento corretivo em atividades potencialmente emissoras de poluentes nas águas, ar e solo do Estado de São Paulo

⁸ Legislação Federal - Código Florestal: Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934.

⁹ Legislação Federal - Código das Águas: Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934.

¹⁰ Legislação Federal - Código de Minas: Decreto-lei nº 1985, de 29 de janeiro de 1940.

¹¹ Legislação Federal - Política Nacional de Saneamento: Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967.

(CETESB, 2005). Em 1976, o Estado de São Paulo promulgou a lei nº 997¹² regulamentada pelo decreto nº 8.468 acerca do controle da poluição do meio ambiente, restringindo as quantidades máximas de poluentes a serem lançados no meio ambiente (SANTOS, 2009).

Nos anos de 1970 e 1980, as discussões relativas à qualidade de vida da população incorporaram questões de conservação e preservação dos recursos naturais e a inserção do homem ao meio ambiente (FIDALGO, 2003). Foi o início do surgimento de leis ambientais com concepções mais sistêmicas e interdisciplinares do meio ambiente e sua relação com os seres humanos, o território e os recursos naturais (FREIRIA, 2009). A Política Nacional do Meio Ambiente¹³ é bastante representativa desse contexto, pois esta constituiu a primeira norma legislativa com uma proposta de planejamento evidentemente ambiental no Brasil (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

A promulgação da Constituição Federal brasileira em 1988 determinou outro marco importante para a gestão ambiental brasileira, uma vez que a carta magna reservou um capítulo específico para discorrer sobre a política ambiental do país, o que trouxe previsões legais com repercussão bastante abrangente. A partir das considerações de seu texto, Poder Público e a coletividade têm a obrigação legal de preservar o ambiente, atribuindo responsabilidade recíproca a Município, Estado, Distrito Federal e União na competência de *“proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”*¹⁴

No contexto do fim dos anos 1980 e início dos anos 1990, a nova Constituição em conjunto com o evento internacional Rio 92 ocorrido em solo brasileiro, tornou o conceito de desenvolvimento sustentável uma referência a ser incorporada nas políticas ambientais nacionais.

A Política Nacional de Recursos Hídricos¹⁵ de 1997 estabeleceu objetivos explícitos de garantia do uso sustentável dos recursos hídricos por meio de uma gestão participativa. No mesmo ano, no campo do licenciamento ambiental, a Resolução CONAMA nº 237¹⁶ revisou o ordenamento das licenças ambientais, estabeleceu procedimentos, ratificou a Constituição Federal e a Política Nacional do Meio Ambiente ao estabelecer a descentralização da gestão e incorporar instrumentos de gestão ambiental, com propósito de alcançar o desenvolvimento sustentável e a melhoria contínua (FREIRIA, 2009).

No Estado de São Paulo, em 1997 foi estabelecida a Política Estadual do Meio Ambiente¹⁷, que além de diretrizes e ferramentas relativas à gestão ambiental do Estado,

¹² Legislação Estadual (SP) – Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente: Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, regulamentada pelo decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que estabelece padrões de qualidade ambiental do Estado.

¹³ Legislação Federal - Política Nacional do Meio Ambiente: Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

¹⁴ Artigo 23, inciso VI da Constituição Federal.

¹⁵ Legislação Federal - Política Nacional de Recursos Hídricos: Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

¹⁶ Legislação Federal - Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

¹⁷ Legislação Estadual (SP) - Política Estadual do Meio Ambiente: Lei nº 9.509, de 20 de março de 1997.

constituiu o Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais (SEAQUA)¹⁸.

¹⁸ SEAQUA - Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais, estabelecido pela Lei Estadual nº 9.509 de 1997, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e estruturado a partir de seu órgão central, a Secretaria do Meio Ambiente (SMA) (ALESP, 1997).

4. A gestão ambiental e o papel dos laboratórios ambientais

4.1. Gestão ambiental

Diante da contextualização das questões ambientais e instrumentos legislativos brasileiros, mostra-se oportuno discutir a gestão ambiental, uma vez que é por meio do processo de gestão que as questões ambientais são abordadas no dia a dia e têm-se definidas as prioridades e o uso adequado de recursos disponíveis.

Freiria (2009) aponta que são diversas as definições acerca da gestão ambiental. Neste trabalho será considerada a definição metodológica de Ferreira dos Santos (2004), entendida como a integração entre o planejamento, o gerenciamento e a política ambiental (FERREIRA DOS SANTOS, 2004), numa relação sinérgica no desempenho desses três conceitos.

O planejamento ambiental pode ser definido como uma estratégia para integração, adequação, proteção e ordenamento das relações entre os sistemas ecológicos e as ações humanas, buscando harmonizar o aproveitamento dos recursos naturais como fonte de matérias-primas pautando-se pelos limites inerentes ao meio e a sua sustentabilidade. É no planejamento ambiental que são definidas as metas e os objetivos a serem conquistados, a luz de uma política ambiental predefinida, sendo materializado por meio de planos, programas e projetos (FREIRIA, 2009; FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Já o gerenciamento ambiental tem seu papel atuante em um âmbito executivo do planejamento, ao aplicar, administrar, controlar e monitorar as proposições delineadas pelo planejamento (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Nesse sentido, a política ambiental estabelece as diretrizes, princípios e valores a fim de promover o desenvolvimento sustentável. No Brasil, a política ambiental nacional está formalizada por meio das normas legislativas infraconstitucionais nas esferas da União, Estados e Municípios, em que sua principal representante e norteadora é a Lei nº 6.938, a Política Nacional do Meio Ambiente (FREIRIA, 2009).



Figura 1. Gestão ambiental – representação esquemática (Fonte: autora, 2016)

A gestão ambiental mostra-se, então, um complexo sistema de convergência de interesses, feita pela contribuição de atores de desempenho político e de desempenho operacional. No âmbito político, esses atores despontam tanto na esfera institucional, para aplicação e regulação de instrumentos de gestão, quanto na atuação comunitária em indivíduos e grupos representativos a fim de serem considerados os anseios da sociedade. No campo operacional, estão os atores técnico-científicos, responsáveis pelo suporte metodológico e subsídios técnicos que junto a outras condicionantes formam uma base informativa para tomadas de decisão (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Segundo Freiria (2009):

Assim, a Gestão Ambiental, através do processo de tomada de decisão, possui um papel muito importante na efetivação das Políticas Ambientais, posto que será a técnica a mediadora entre o perfeitamente correto, que é aquilo que consta do dever a ser determinado pelos comandos da legislação ambiental, e o completamente errado que é aquela situação que, além de confrontar o comando legal, não está inserida dentro de uma Política Ambiental. (FREIRIA, 2010)

A gestão ambiental deve considerar uma avaliação de desempenho, simultaneamente a execução das ações planejadas segundo os critérios das tomadas de decisões, de forma a acompanhar transversalmente o quão próximo das metas e objetivos definidos no planejamento se atingiu. Com suporte na avaliação, o planejamento é retroalimentado e pode inclusive sofrer aprimoramentos ou até mesmo uma revisão de objetivos (FREIRIA, 2009).

Nesse sentido, o processo de avaliação depende de dados confiáveis, oriundos de diversas naturezas, criticamente definidos e detalhados a fim de se converterem em informação útil e representativa para os propósitos da gestão ambiental e suas ponderações.

4.2. Ferramentas de gestão ambiental

No que diz respeito a gestão ambiental, a Política Nacional do Meio Ambiente, relaciona em seu artigo 9º os instrumentos para a implementação da gestão ambiental no território nacional. São eles:

Art 9º - São instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente:

I - o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;

II - o zoneamento ambiental;

III - a avaliação de impactos ambientais;

IV - o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

V - os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;

VI - a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, tais como áreas de proteção ambiental, de relevante interesse ecológico e reservas extrativistas;

VII - o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;

VIII - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

IX - as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;

X - a instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;

XI - a garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;

XII - o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais;

XIII - instrumentos econômicos, como concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros.

A Política Nacional do Meio Ambiente, por meio desses treze instrumentos, demonstra a preocupação preventiva dentro da gestão ambiental regulatória, em que União, Estados, Distrito Federal e Municípios têm o compromisso comum e autônomo de proteger o meio ambiente (BRASIL, 2009).

Mediante os instrumentos de gestão, são implantadas as Políticas Públicas ambientais, cujo teor é delimitado com base na melhor tecnologia existente disponível (SANTOS, 2009).

Para os efeitos de estudo deste trabalho, serão abordados os instrumentos referentes aos padrões de qualidade ambiental (inciso I do Art 9º) e licenciamento ambiental (inciso IV).

4.2.1. Os padrões de qualidade ambiental

De acordo com Santos (2009), a análise crítica, investigação, encaminhamento e intervenções de problemas ambientais concretos demandam o desenvolvimento e a aquisição de conhecimentos ambientais específicos (SANTOS, 2009).

Visto que certas ações predatórias ao meio ambiente podem ser irreversíveis (SANTOS, 2009), mostra-se imprescindível o estabelecimento de limites para as perturbações ambientais, de forma a manter a qualidade do meio ambiente.

Segundo Narvaes, qualidade ambiental é o “estado ou condição do meio em relação a capacidade de manutenção dos seres vivos que nele habitam, tendo como principais fatores a qualidade do ar, da água, do solo e dos ecossistemas” (NARVAES, 2012).

Nesse sentido, os padrões de qualidade ambiental são considerados instrumentos essenciais na gestão ambiental, uma vez que as leis, normas ou resoluções estabelecem um padrão limite para a concentração de poluentes e resíduos no meio ambiente.

Considerando as dinâmicas de interação de ordem física, química, biológica, social, econômica, tecnológica e política nos ecossistemas, o instrumento que trata o inciso I do Art 9º, com o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, é um recurso de intervenção do Poder Público no meio ambiente que crítica e ponderadamente utilizado tem a capacidade de manter a depuração da poluição nos sistemas naturais, garantir a utilização adequada dos recursos naturais e principalmente a assegurar a saúde pública e a qualidade de vida dos seres humanos dependentes daqueles recursos (BRASIL, 2009)

Trata-se de um juízo de valor atribuído às componentes ambientais águas, ar, solo, biodiversidade entre outros, definidos nas legislações ambientais referentes a esse propósito (BRASIL, 2009).

Todos os instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, então, têm seu propósito de promover o atendimento aos padrões de qualidade definidos pela legislação ambiental, seja como meta de melhoria futura ou possibilitar a conservação da qualidade já atingida no presente.

4.2.2. O licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental é um instrumento de comando e controle, fundamentado em procedimentos administrativos definidos pelo órgão ambiental competente a fim de definir critérios de exigibilidade, cuja finalidade é a de promover o “*controle prévio à construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental*” (BRASIL, 2009), conforme texto do Art. 10 da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA).

O conceito que estrutura o licenciamento na gestão ambiental é o de conciliar o desenvolvimento econômico à qualidade ambiental e à saúde pública, a partir da determinação e exigência de requisitos preventivos e de controle aos empreendimentos em busca de um desenvolvimento sustentável (CETESB, 2005). Ou seja, o licenciamento é um recurso de controle preventivo à poluição que utiliza o estabelecimento de exigências técnicas prévias à instalação de empreendimentos potencialmente poluidores (SANTOS, 2009).

Em resumo, a partir do licenciamento, são estabelecidas as quantidades máximas de lançamentos de poluentes permitidos pelos empreendimentos para se manter os padrões de qualidade ambiental legalmente definidos.

Nos anos 1970, o licenciamento já era um procedimento requerido para o funcionamento de indústrias nos Estados onde a atividade econômica industrial era mais desenvolvida, mais precisamente em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (IPEA, 2010).

Em São Paulo, o órgão estadual designado a emitir as licenças aos empreendimentos industriais nesse período foi a CETESB, criada como uma sociedade anônima em 1973, inicialmente com o nome de Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico e de Controle da Poluição das Águas. Já em 1976, a Companhia recebeu atribuição de órgão de controle da poluição e licenciamento corretivo a partir do início da vigência da Lei nº 997/1976¹⁹ (CETESB, 2005).

Com um início descentralizado nos Estados do Sudeste, gradativamente expandido a outras localidades do país, o licenciamento ambiental tinha o objetivo primordial de controlar a poluição industrial (IPEA, 2010). Hoje, esse instrumento abrange um leque bastante extenso de modelos de empreendimentos cuja implantação possa resultar em degradação ambiental potencial ou efetiva (BRASIL, 2009) e está detalhado na Resolução CONAMA nº 237 de 1997.

4.3. Avaliação da qualidade ambiental: monitoramento

Para mensurar o atendimento aos padrões de qualidade ambiental estabelecidos pela legislação vigente e investigar a validade das ações de gerenciamento ambiental, como por exemplo, o licenciamento, os atores institucionais da gestão ambiental devem reunir informações e indicadores representativos e confiáveis para avaliar e atuar na qualidade ambiental.

Tais dados devem ser integrados de forma global, determinando critérios e procedimentos para o cruzamento de informações (FERREIRA DOS SANTOS, 2004). O

¹⁹ Legislação Estadual (SP) - Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.

monitoramento ambiental, então, é um instrumento que atua como um mecanismo de observação constante do meio ambiente, em especial, das componentes ambientais água, ar e solo (BRASIL, 2009).

Dessa forma, interpreta-se o monitoramento ambiental como um procedimento de observações sistemáticas no tempo e no espaço por meio de medição contínua e avaliação de fatores e parâmetros representativos e preestabelecidos para indicar a qualidade de um ambiente natural ou urbano no que corresponde à poluição ou quaisquer outros impactos ambientais (BRASIL, 2009; NARVAES, 2012).

A partir do monitoramento ambiental, é possível avaliar as condições de um determinado ecossistema dentro dos padrões de qualidade ambiental e viabiliza-se retroalimentar a gestão ambiental com informações pertinentes que indiquem caminhos substanciais para tomadas de decisão.

Dessa forma, é profundamente significativa e relevante a formação cuidadosa do banco de dados preceptor dos indicadores ambientais. Todo o conceito preconizado pela gestão ambiental depende do bom encaminhamento da escolha dos parâmetros a serem estudados a partir dos indicadores mais adequados e sua importância dentro do contexto e do cruzamento das informações entre si (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Nesse sentido, assim como em toda a gestão ambiental, no monitoramento são utilizados dados de diversas naturezas a fim de serem comparados, transformados ou combinados em diagnóstico ambiental (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

4.4. Indicadores e índices ambientais

Para se definir políticas ambientais consistentes é de fundamental importância conhecer as componentes que formam o espaço (FERREIRA DOS SANTOS, 2004). Estudos ambientais, fiscalização sistemática e monitoramento ambiental são fontes de alimentação de conhecimento e geram os dados necessários na gestão ambiental.

Conforme já explicitado anteriormente, é primordial que esse conjunto de dados expresse com representatividade a realidade e seja criteriosamente formulado de forma a assegurar sua relevância na gestão ambiental. A essas características, deve-se acrescentar a importância a possibilidade de que o manejo de tais dados resulte em interpretações de interesse na gestão ambiental.

O dado é a base do conhecimento, a medida, a quantidade ou o fato e pode ser representado por meio de números, descrições ou até mesmo símbolos (FERREIRA DOS SANTOS, 2004). Ao apresentar uma interpretação, o dado assume o estado de uma informação. A partir dos dados e informações, são formulados os indicadores e índices, com propriedades capazes de combinar, transformar e comparar os elementos estudados como uma base de interpretação.

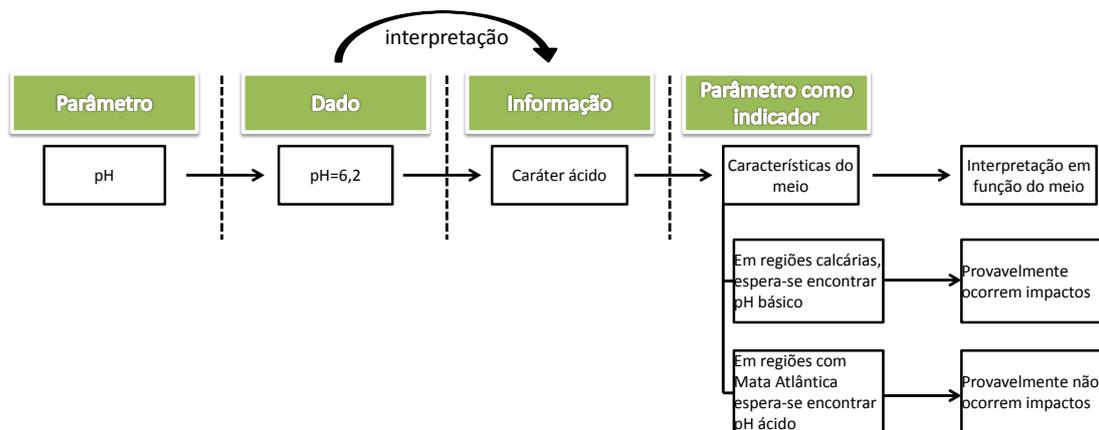


Figura 2. Caracterização de um parâmetro como indicador (Fonte: adaptado de FERREIRA DOS SANTOS, 2004)

Diversas instituições ainda discutem os conceitos e definições acerca dos indicadores e índices ambientais. Ferreira dos Santos (2004), define de forma geral que os indicadores são “*parâmetros, ou funções derivadas deles, que têm a capacidade de descrever um estado ou uma resposta dos fenômenos que ocorrem em um meio*” (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Numa proposta de organização e hierarquia dos dados, o índice é a representação da síntese de informações, resultando num novo e único valor originado a partir da associação de um conjunto de parâmetros, capaz de “*simplificar, quantificar, comunicar e expressar de forma resumida os fenômenos complexos a partir da agregação de dados e informações*” (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Indicadores e índices são ferramentas pragmáticas que progressivamente são mais e mais utilizadas em estudos que requerem monitoramento ou comparação de determinados fenômenos, uma vez que eles permitem sintetizar informações e expressá-las de modo objetivo (SANTOS, 2009). Com base em indicadores e índices é possível criar cenários, aferir resultados e até mesmo representar uma rede de causalidades de um determinado meio, uma vez que ao quantificar e simplificar as informações se traduz fenômenos ambientais sob um prisma objetivo.

Ferreira dos Santos (2004) destaca os requisitos para assegurar a qualidade de um indicador, reunidos na tabela a seguir:

Tabela 1. Requisitos para garantia de qualidade na formação de Índices e Indicadores Ambientais.

Requisitos		
Fonte da informação	Diz respeito ao grau de responsabilidade dos envolvidos na fonte dos dados	
Forma de coleta e elaboração do dado	Esses requisitos se referem às metodologias de coleta, sua documentação e atualização.	
Elaboração do dado		
Atualização da informação em intervalos regulares		
Clareza e objetividade dos procedimentos	Tem relação com a repetibilidade dos métodos de obtenção dos dados e a precisão da informações geradas, de forma a permitir análises comparativas válidas.	
Validade científica		
Valores de referência	Os valores de referência são importantes para a possibilidade de comparações e embasar a relevância de um indicador dentro de um contexto	
Concisão	Os indicadores devem evitar a redundância, ou seja, apresentar diversos dados para apresentar a mesma informação	
Conformidade temporal	Adequar o intervalo de tempo ao contexto para que o indicador seja aceitável	
Representatividade	Capacidade de retratar os fenômenos da área de estudo ou de atender as metas e objetivos definidos	
Tradução	Capacidade do indicador permitir a distinção entre as condições aceitáveis e inaceitáveis, do ponto de vista científico, técnico ou legal	
Conveniência da escala	Conveniência entre a escala da informação e a escala adotada para o estudo, em especial para a abrangência do monitoramento	
Sensibilidade às mudanças	Preventiva	Uma informação deve apresentar um mínimo de resposta a mudanças no meio para ser confiável, de forma a criar uma tendência de rede de causalidade. Quanto mais uma informação é sensível às mudanças, mais seu número mostra-se confiável, uma vez que mesmo pequenas alterações no ambiente podem ser sinalizadas por indicadores de forma imediata. Quando um indicador tem natureza preventiva, quanto mais sensível o indicador em resposta a alteração do meio, mais rápido de sinalizar a degradação. No caso das séries temporais (monitoramento), os indicadores devem ter a capacidade de expressar as mudanças em uma escala de tempo compatível.
	Séries temporais	
Conectividade	Diz respeito a interação de um indicador com outros do meio e as respostas integradas às suas mudanças	
Integrabilidade	Capacidade de sintetizar informação de outros indicadores	
Tipo de informação	Prescritiva	Informação analítica, a mais indicada para fomentar tomadas de decisão
	Descritiva	Informação descritiva, que se restringe a descrever uma propriedade do meio
Disponibilidade	Diz respeito a disponibilidade da informação de forma a não impedir e/ou dificultar a gestão ambiental	
Acessibilidade	A facilidade em obter o indicador	
Custo	Custo deve ser eficaz, em que se considera o melhor custo / benefício possível para a obtenção da informação em função da importância dos dados obtidos	
Participação da sociedade	Facilidade em comunicar	Diz respeito ao grau de compreensão do indicador os tomadores de decisão e a comunidade interessada
	Capacidade de interesse	Capacidade de atrair atenção da comunidade

Fonte: adaptado de FERREIRA DOS SANTOS, 2004

Dentre os tipos de indicadores e índices agrupados por seus propósitos de aplicação, para o meio ambiente são amplamente utilizados aqueles destinados a expressar as condições de qualidade ou estado do meio (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

4.5. Indicadores qualitativos do meio Ambiente: análise da qualidade das águas

Uma vez que as leis, normas e resoluções utilizam-se dos padrões de qualidade ambiental, estabelecendo limites para as concentrações de poluentes e resíduos que determinam a degradação máxima admissível no meio ambiente, os Indicadores de Qualidade do meio ambiente têm papel fundamental no processo de gestão ambiental, nos quais, contextualizados dentro de um panorama, seus valores parametrizados facilitam o entendimento de cenários e condições e formam uma base de referência para tomadas de decisão.

Nesse sentido, o monitoramento ambiental cumpre um importante papel no conhecimento da qualidade da água, ar, solo, biodiversidade, entre outros, com função decisiva na ordenação das políticas públicas (CETESB, 2012a). A partir dos Indicadores de Qualidade é possível parametrizar objetivamente os dados obtidos no monitoramento de tal forma a criar uma base sólida para análises, na qual os resultados compilados são disponibilizados aos gestores e à população interessada.

Em referência ao escopo de estudo proposto por esta monografia, às análises da Qualidade Ambiental da Água devem ser contextualizadas dentro da gestão dos recursos hídricos, estes associados à noção de sistema integrado com nascentes, hierarquia de cursos de água e desembocadura. Qualquer ocorrência de eventos em uma bacia hidrográfica, seja de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica, na qualidade e na quantidade da água desse sistema (FERREIRA DOS SANTOS, 2004).

Preconizado pela Política Nacional dos Recursos Hídricos²⁰, o enquadramento dos corpos de água atual sob o ponto de vista legal está regulamentado pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005²¹. Nele, os recursos hídricos provenientes de águas superficiais doces, águas salobras e salinas são classificadas em treze classes, segundo a qualidade mínima requerida para seus usos dominantes (CETESB, 2015), conforme explicitado a seguir:

Para cada um dos usos e classes de qualidade são estabelecidas condições de qualidade por meio de variáveis (1) descritivas, tais como materiais flutuantes não naturais, óleos e graxas, substâncias que propiciam gosto ou odor, corantes provenientes de fontes antrópicas, resíduos sólidos objetáveis e toxicidade e; (2) quantitativas, tais como pH, DBO, OD, substâncias orgânicas, metais totais e dissolvidos, densidade de cianobactérias, teor de clorofila, entre outras, onde existem faixas de

²⁰ Legislação Federal - Política Nacional de Recursos Hídricos: Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997

²¹ Legislação Federal - Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, alterada pelas resoluções CONAMA 410/2009 e 430/2011

concentração permitidas. O limite máximo permissível das variáveis para cada classe de água é denominado de padrão de qualidade (CETESB, 2015).

Há uma extensa lista de parâmetros condicionantes e seus quantitativos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 para os corpos hídricos de água doce, salobra e salina.

Em São Paulo, a CETESB é, entre outras funções, a Agência responsável pelo desenvolvimento de índices de qualidade ambiental, alcançando como resultado, benefícios de natureza técnico-científica e social e efetivando a implantação da Lei nº 997 de 1976 que estabelece os limites quantitativos para lançamentos de substâncias poluidoras provenientes de efluentes (SANTOS, 2009). O Índice de Qualidade das Águas (IQA) da CETESB foi implementado a partir dos anos 1970 como suporte a fiscalização, com variáveis de análise para a avaliação da qualidade bacteriológica, físico-química, hidrobiológica e toxicológica dos recursos hídricos do Estado (CETESB, 2012a).

Ao longo dos anos e adaptando-se a Resolução CONAMA nº 357, os parâmetros de Qualidade da Água foram aperfeiçoados e, atualmente, já são nove os Índices Ambientais de Qualidade da Água trabalhados pela Companhia (CETESB, 2015).

A grande diversidade de fontes poluidoras que atingem os corpos-d'água tornam inexecutável a análise sistemática de todas as substâncias as quais a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 faz menção. Dessa forma, estrategicamente hoje são trabalhados cerca de 60 parâmetros considerados mais representativos, nos quais metodologicamente, em decorrência de condições estabelecidas por determinados tipos de uso e ocupação do solo ou eventos excepcionais, pode-se realizar estudos mais específicos em determinados trechos (CETESB, 2015).

Para a determinação dos Índices, as variáveis de qualidade são definidas em função do tipo de monitoramento, que atualmente está dividido em: rede básica, balneabilidade, sedimentos e automático (CETESB, 2015), conforme resume a tabela abaixo.

Tabela 2. Índices de Qualidade, sua finalidade, composição, redes de monitoramento e pontos da rede.

Rede de Monitoramento	Índice de Qualidade	Principal finalidade	Pontos da Rede	Variáveis que compõem os índices
Rede Básica	IQA	Diluição de efluentes (principalmente doméstico)	Todos	Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, <i>Escherichia coli</i> / Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais e Turbidez.
	IAP	Abastecimento Público	Utilizados para abastecimento público	Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, <i>Escherichia coli</i> , Nitrogênio Total, Fósforo Total, Sólidos Totais, Turbidez, Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre, Zinco, Potencial de Formação de Trihalometanos, Número de Células de Cianobactérias (Ambiente Léntico), Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel.
	IET	Eutrofização	Todos, exceto os rios enquadrados na Classe 4 (CONAMA 357/05) que apresentam qualidade ruim	Clorofila <i>a</i> e Fósforo Total.
	IVA	Proteção da vida aquática		Oxigênio Dissolvido, pH, Ensaio Ecotoxicológico com <i>Ceriodaphnia dubia</i> , Cobre, Zinco, Chumbo, Cromo, Mercúrio, Níquel, Cádmio, Surfactantes, Clorofila <i>a</i> e Fósforo Total.
	ICF	Proteção da vida aquática	Ambientes lênticos utilizados para abastecimento; ou estado mesotrófico	Comunidade Fitoplânctônica, Fósforo e Clorofila <i>a</i>
	ICZ	Proteção da vida aquática	Alguns reservatórios	Comunidade Zooplânctônica e Clorofila <i>a</i>
Rede de Balneabilidade	IB	Balneabilidade / Recreação	Todos	Coliformes Termotolerantes ou <i>Escherichia coli</i> ou Enterococos
Rede de Sedimento	CQS	Proteção da vida aquática	Todos	Contaminantes químicos que possuem valores estabelecidos pelo CCME ¹ ; Ensaio Ecotoxicológico com <i>Hyalella azteca</i> , Comunidade Bentônica
	ICB	Proteção da vida aquática	Pontos que não apresentam qualidade ruim / péssima na água	Comunidade Bentônica

Fonte: CETESB, 2015

Na gestão ambiental, os indicadores prioritários de qualidade da água são obtidos, então, por meio de análises laboratoriais de controle ambiental, nas quais os resultados são confrontados com os limites determinados pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005, no caso das águas superficiais, e pela Resolução CONAMA nº 396 de 2008²², para a classificação de águas subterrâneas (SANTOS, 2009).

Nesse ponto, é imprescindível a formatação cuidadosa de Indicadores aliada a uma estrutura formal competente para construir dados confiáveis com o intuito de garantir uma base representativa para fundamentar a gestão ambiental.

4.6. Suporte técnico e legal dos laboratórios na gestão ambiental

A utilização de delimitações quantitativas estabelecidas pelos padrões de qualidade ambiental nas legislações e normas, associado ao licenciamento, uma ferramenta legislativa com atuação de cunho preventivo à poluição, demandam uma fonte confiável de dados com

²² Legislação Federal - Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008

capacidade de traçar um cenário representativo para o conhecimento das componentes do ambiente. Sendo assim, a função dos Laboratórios Ambientais na gestão do meio ambiente é de oferecer suporte técnico e legal para sua implementação, desde a sua concepção até sua aplicação prática.

A fiscalização dos empreendimentos licenciados não seria possível sem o apoio dos laboratórios ambientais, capazes de gerar dados assinalando o enquadramento de tais empreendimentos como ajustados ou não aos padrões de qualidade ambiental. Os laboratórios, assim, têm a tarefa de oferecer dados objetivos, representativos, comparáveis e de fácil interpretação, capazes de oferecer uma base sólida para retroalimentar a gestão ambiental e para a tomada de decisões assertivas. Resultados não confiáveis poderiam ocasionar em tomadas de decisão duvidosas, ineficazes ou excessivamente conservadoras.

Santos (2009) destaca que *“uma das principais funções de um laboratório analítico é produzir informações com qualidade conhecida, tecnicamente válida e legalmente defensável”*. Toda a cadeia de procedimentos deve compreender uma série de medidas necessárias para assegurar a qualidade das análises e garantir dados confiáveis, incluindo o planejamento, o processo de amostragem, a realização dos ensaios em si e a utilização dos resultados.

É possível perceber esta relação na gestão dos recursos hídricos no cumprimento da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, em que os indicadores de qualidade da água para o enquadramento dos corpos hídricos na norma são provenientes da comparação entre os limites estabelecidos pela Resolução e os resultados analíticos dos laboratórios de controle ambiental, seja por monitoramentos prolongados, seja por estudos específicos ou avaliações individualizadas (SANTOS, 2009).

Nesse sentido, é um requisito básico que os dados laboratoriais utilizados para o enquadramento dos recursos hídricos sejam originados a partir de metodologias confiáveis, padronizadas e consagradas. Dessa forma, as questões relacionadas à confiabilidade dos dados laboratoriais estão intimamente ligadas ao desenvolvimento de um controle da qualidade analítica desses laboratórios ambientais (SANTOS, 2009).

No caminho percorrido até este ponto por este trabalho, foi possível demonstrar o papel fundamental dos laboratórios ambientais para o cumprimento e aplicação prática da gestão ambiental.

5. O controle de qualidade nos laboratórios ambientais

Segundo Santos (2009)²³, o controle da qualidade laboratorial é compreendido como *“toda ação sistemática necessária para dar confiança aos serviços prestados pelo laboratório, a fim de atender necessidades pré-determinadas, sendo que a perfeita adequação entre qualidade e custos é meta permanente no gerenciamento de processos técnicos ou administrativos”* (SANTOS, 2009).

A confiança aos serviços prestados pelo laboratório é uma condição reconhecida e primordial na geração de dados provenientes das análises dentro da rede da gestão ambiental. Legislações e normas recentes fizeram do Poder Público o responsável pela crescente implementação de sistemas de qualidade em laboratórios (OLIVARES, 2009). Inicialmente, como uma questão de estratégia de diferenciação no mercado, a prática de controles de qualidade tende a se tornar uma condição de preexistência para o desempenho da atividade (PRADA, 2013).

Dessa forma, este capítulo dissertará sobre as questões acerca do controle de qualidade nos laboratórios ambientais dentro do universo desta monografia dedicada ao recorte da gestão ambiental da qualidade da água, em especial na Bacia Alto Tietê UGRHI 6. Primeiramente, expondo as conjunturas legislativas mais influentes nesse contexto, seguido de revisão bibliográfica das normas de padronização das práticas de controle de qualidade laboratorial aplicadas no Brasil com sistemas internacionalmente reconhecidos: a norma BPL, Boas Práticas Laboratoriais, e a NBR ISO/IEC 17025.

5.1. Controle da qualidade: âmbitos legais

As normas de qualidade laboratoriais BPL, Boas Práticas Laboratoriais, e a NBR ISO/IEC 17025 são referências para a prática de atividades de ensaios e calibrações. No entanto, a evidência objetiva de aplicação das normas, denominada como reconhecimento no caso da BPL e acreditação no caso da NBR ISO/IEC 17025, são de caráter facultativo (PRADA, 2013). Contudo, progressivamente a legislação ambiental segue uma tendência de incorporar em seus documentos preceitos alinhados em sustentar a qualidade da informação produzida pelos laboratórios (SANTOS, 2009).

Órgãos governamentais, como ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), ANA (Agência Nacional das Águas) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento apresentam legislações e programas de habilitação laboratorial que incluem a acreditação da competência de laboratório como uma ferramenta normativa (PRADA, 2013).

²³ Citando COSTA, JR, Projeto: Controle da Qualidade Analítica. São Paulo: CETESB, sd.

No recorte desta monografia, as normas legislativas consideradas mais significativas são, no âmbito federal as Resoluções CONAMA nº 357 de 2005 e nº 396 de 2008, bem como no campo estadual, o Decreto 8.468 de 1976 e a Resolução SMA nº 100 de 2013²⁴, esta última especificamente concebida para regulamentar determinadas condições para validar os resultados analíticos diante do Poder Público.

Abrindo caminho para a implementação de controle de qualidade em laboratórios, a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 previu a adoção de procedimentos de controle de qualidade analítica laboratorial, uma vez que o Poder Público estabelece parâmetros de qualidade da água, estipulando que os laboratórios estejam adaptados para cumprir a quantificação das concentrações de substâncias nas matrizes analisadas (BRASIL, 2005).

Na mesma direção, a Resolução CONAMA nº 396 de 2008 estabelece procedimentos mínimos para assegurar a qualidade da caracterização dos dados, entrando no mérito da padronização dos processos de coleta, análise, limites de quantificação praticáveis e laudos de resultados (BRASIL, 2008).

No Estado de São Paulo, ainda em vigência, o Decreto nº 8.468 de 1976²⁵ que regulamenta a Lei nº 997 do mesmo ano, apresenta preocupação com a qualidade das metodologias de análise laboratorial, onde no “Título II – da Poluição das Águas”, o Artigo 16 já estabelecia uma referências metodológicas de análise:

Artigo 16 — Os métodos de análises devem ser os internacionalmente aceitos e especificados no ‘Standard Methods’, última edição, salvo os constantes de normas específicas já aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ALESP, 1976a).

A Resolução SMA nº 100 de 2013, publicada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, vai além e estabelece exigências objetivas para assegurar a qualidade dos dados gerados pelos laboratórios de controle ambiental para apreciação dos órgãos constituintes do SEAQUA. Essa Resolução determina que os laudos laboratoriais submetidos ao Poder Público sejam acreditados pelo INMETRO²⁶ segundo os parâmetros da norma NBR ISO/IEC 17025²⁷ (SMA, 2013).

A norma NBR ISO/IEC 17025 versa sobre a “*competência em realizar ensaios e/ou calibrações, incluindo amostragem*”, aplicável a quase todos os tipos de laboratórios, e no caso, incluindo os de controle ambiental (ABNT, 2005b). Sua adesão é voluntária e o INMETRO é o órgão responsável por conceder a acreditação aos laboratórios adequados às

²⁴ Legislação Estadual (SP) – Resolução SMA nº 100 de 17 de outubro de 2013.

²⁵ O Decreto Estadual nº 8.468 de 8 de setembro de 1976, que além de regulamentar a Lei nº 997 de 1976, também estabelece os padrões de qualidade ambiental de São Paulo

²⁶ INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, é uma autarquia federal subordinada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

²⁷ Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, última versão válida a partir de 31 de outubro de 2005.

diretrizes dessa norma e que espontaneamente participam do processo para serem avaliados e em caso de conformidade, serem acreditados.

A integração da norma NBR ISO/IEC 17025 como base de requisitos para sustentar a Resolução SMA nº 100 se traduz em uma exigência legal de qualificação objetiva dos ensaios e corresponde a uma referência regulatória importante nesse tema, uma vez que um processo de acreditação “*representa o reconhecimento formal da competência de um Organismo de Avaliação da Conformidade para o desenvolvimento de tarefas específicas, segundo requisitos pré-estabelecidos*” (SANTOS, 2009).

5.1.1. Considerações sobre a Resolução SMA nº 100 de 2013

Em São Paulo, antes da instauração da Resolução SMA nº 100 de 2013, a primeira investida acerca de concretizar a utilização de evidências objetivas de qualidade nos laudos laboratoriais submetidos ao SEAQUA iniciou-se com a regulamentação da Resolução SMA nº 37 de 2006²⁸. Nela, foram descritos os requisitos de validação pelo SEAQUA para os laudos analíticos laboratoriais submetidos para a operação do controle, monitoramento e fiscalização (SMA, 2006).

Nessa Resolução, os ensaios físicos, químicos orgânicos, químicos inorgânicos, microbiológicos, biológicos e toxicológicos deveriam ser elaborados por laboratórios acreditados segundo os parâmetros da Norma NBR ISO/IEC 17025. Segundo Santos (2009), tratava-se de um novo aspecto legal que direcionou os laboratórios a uma tendência de melhoria da qualidade laboratorial (SANTOS, 2009).

Entre a publicação da Resolução SMA nº 37 de 2006 e a regulamentação da Resolução SMA nº 100 de 2013, atualmente em vigor, houve uma intensa discussão acerca das diretrizes da Resolução de 2006 e neste íterim, além de uma atualização da Resolução²⁹, foram formados grupos de trabalho constituído por membros do Poder Público, do órgão de Acreditação, dos órgãos reguladores da atividade laboratorial e do mercado.

O desdobramento desse debate resultou na Resolução SMA nº 100 de 2013, que trouxe uma melhor definição acerca das atividades laboratoriais e cria um Grupo de Trabalho permanente com o intuito de acompanhar a implementação desta norma legal na prática. Em aplicação efetiva desde 21 de outubro de 2015, a atual Resolução sobre o tema

²⁸ Legislação Estadual (SP) – Resolução SMA nº 37 de 30 de agosto de 2006.

²⁹ Em 2012, a SMA nº 37 de 2005 foi revogada pela Resolução SMA nº 90 de 13 de novembro de 2012 que “*Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objetos de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais - SEAQUA, e que subsidiam o exercício de suas atribuições legais do controle, monitoramento e a fiscalização das atividades efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental*”. Em outubro de 2013, foi revogada pela Resolução SMA nº 100 deste ano.

reforça a acreditação de ensaios, incluindo a etapa de amostragem, pelos preceitos da norma NBR ISO/IEC 17025 (SMA, 2013):

Artigo 2º – *Os laudos analíticos submetidos à apreciação dos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais - SEAQUA, que contém os resultados de ensaios físicos, químicos e biológicos referentes a quaisquer matrizes ambientais, deverão ser emitidos e realizados por laboratórios acreditados, nos parâmetros determinados segundo a Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO ou por outro organismo internacional que faça parte de acordos de reconhecimento mútuo, do qual a Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE seja signatária. (SMA, 2013)*

5.2. Normas de gestão de qualidade para laboratórios

Caminhando simultaneamente a evolução das determinações requeridas para caracterizar a qualidade ambiental, se desenvolveram práticas relacionadas à gestão laboratorial e qualidade analítica, originando uma necessidade para o uso de procedimentos práticos e eficazes na gestão laboratorial, envolvendo os aspectos técnicos, administrativos e da qualidade (SANTOS, 2009).

No Brasil, a gestão laboratorial é normalizada pelos sistemas de Boas Práticas Laboratoriais - BPL e a NBR ISO IEC 17025. Via de regra, ambas apresentam objetivos muito similares, mas utilizam diferentes meios para atingi-los (OLIVARES, 2009). Em uma estimativa superficial, os princípios e práticas das duas normas se sobrepõem em cerca de 70% (PRADA, 2013).

Em razão da correspondência significativa entre as duas normas, e, somadas as disposições da Resolução SMA nº 100 que determina a acreditação dos ensaios pelo INMETRO com base na NBR ISO/IEC 17025, esta monografia será fundamentada pelos princípios dessa norma, ainda que a BPL demonstre grande relevância no contexto da qualidade laboratorial.

5.2.1. NBR ISO/IEC 17025

A norma NBR ISO/IEC 17025 de 2005 é a versão brasileira interpretada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) da norma internacional idealizada pela entidade não governamental ISO (*International Organization for Standardization*) (PRADA, 2013).

Segundo Santos (2009), essa norma traça os requisitos gerais de um laboratório de ensaios e/ou calibração de forma a comprovar sua competência para atuar nessas atividades:

A NBR ISO/IEC 17025 apresenta um modelo que especifica os requisitos gerais para a competência em realizar ensaios e calibrações, incluindo o processo de amostragem, cobrindo ensaios e calibrações realizados com o uso de métodos normalizados, métodos não normalizados ou mesmo

aqueles oportunamente desenvolvidos pelo próprio laboratório (SANTOS, 2009).

O conteúdo da NBR ISO/IEC 17025 foi concebido numa perspectiva de fomentar a melhoria contínua e está estruturada em cinco capítulos, além de dois anexos de caráter informativo, prefácio e introdução. A seguir, segue uma tabela resumo compilando os conteúdos normativos desenvolvidos nos cinco capítulos da norma:

Tabela 3. Resumo esquemático dos conteúdos normativos da NBR ISO/IEC 17025

Resumo esquemático dos conteúdos normativos da NBR ISO/IEC 17025		
Número do Capítulo	Título	Observações acerca do conteúdo
Capítulo 1	Objetivo	Descreve os objetivos da norma e especifica os conteúdos normativos, informativos e de esclarecimentos.
Capítulo 2	Referências normativas	Especifica as normas complementares indispensáveis para a aplicação da norma: NBR ISO/IEC 17000 - Avaliação de conformidade - Vocabulário e princípios gerais VIM (Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia)
Capítulo 3	Termos e definições	Informa as normas de referência para os termos e definições: NBR ISO/IEC 17000 VIM
Capítulo 4	Requisitos de direção	Trata dos requisitos relacionados à gestão administrativa.
Capítulo 5	Requisitos técnicos	Trata dos requisitos técnicos da norma.

Fonte: adaptado, ABNT, 2005

Os Capítulos 4 (aspectos administrativos) e 5 (aspectos técnicos) concentram o conteúdo mais substancial da norma e a seguir terão uma breve análise.

Partindo pelos aspectos administrativos, em linhas gerais, os requisitos de direção são formatados para implantar um sistema para administrar numa condição de engajamento das metodologias e atividades relacionadas aos ensaios, por meio de evidências documentais. Desse modo, o Capítulo 4 da norma gira em torno basicamente de determinações para que o sistema de gestão do laboratório seja concebido de forma a preparar e controlar documentos, organizar e registrar racionalmente todas as atividades, promover o envolvimento efetivo de todos os funcionários, em especial, da alta direção, buscar a melhoria contínua e realizar diversos processos de análise crítica desde o atendimento ao cliente ao processo como um todo. A tabela a seguir, demonstra um resumo esquemático para os itens do capítulo de requisitos de direção.

Tabela 4. Resumo esquemático do Capítulo 4 - Requisitos de direção da NBR ISO/IEC 17025

Resumo esquemático do Capítulo 4 - Requisitos de Direção da NBR ISO/IEC 17025		
Item	Título	Observações acerca do conteúdo
4.1	Organização	O item Organização estabelece os requisitos organizacionais do laboratório, em especial a constituição legal da entidade e ausência de conflitos de interesse.
4.2	Sistema de gestão	Adequação do sistema de gestão adotado ao escopo das análises e calibrações, documentando suas políticas, sistemas, programas, procedimentos e instruções. Também é no item sistema de gestão que a norma fixa os parâmetros para o manual de qualidade obrigatório.
4.3	Controle de documentos	Os documentos do sistema de gestão devem ter controle de produção e acesso, da mesma forma que documentos pertinentes estejam sempre disponibilizados em sua versão vigente.
4.4	Análise crítica de pedidos, propostas e contratos	O laboratório deve se certificar que contém a capacidade e os recursos para atender cada um dos clientes, incluindo trabalhos subcontratados.
4.5	Subcontratações de ensaios e calibrações	O sistema de gestão deve garantir que laboratórios subcontratados sejam atestadamente competentes e toda atividade subcontratada deve fazer parte dos registros e ser informada ao cliente.
4.6	Aquisição de serviços e suprimentos	Os suprimentos que possam interferir diretamente na qualidade das análises e calibrações devem apresentar um sistema de aquisição, recebimento, armazenamento e inspeção de forma a garantir validade das análises e calibrações.
4.7	Atendimento ao cliente	Assim como outros sistemas ISO, este item versa sobre manter o foco no cliente, assegurar a confidencialidade de seus dados e manter a realimentação positiva e negativa das atividades em busca da melhoria contínua do sistema como um todo.
4.8	Reclamações	O sistema de gestão deve prever e apresentar procedimentos para solucionar reclamações dos clientes
4.9	Controle de trabalhos de ensaio e/ou calibração não conforme	Este item determina que o sistema apresente políticas e procedimentos para o gerenciamento de trabalhos não conformes, estabelecendo responsabilidades, tomadas de decisão e notificações necessárias.
4.10	Melhoria	Registros, dados e outras ferramentas deverão ser utilizados para aprimorar o sistema de gestão continuamente.
4.11	Ação corretiva	Este item versa sobre a determinação de serem estabelecidas ações corretivas com a identificação de não conformidades, com registros acerca das ações imediatas, análise da causa raiz e ações que cessem as reincidências.
4.12	Ação preventiva	Versa sobre a implementação de planos de ação identificados para melhorias ou potenciais fontes de não conformidades.
4.13	Controle de registros	Este item estabelece requisitos para os registros de todo o sistema, tanto nos aspectos administrativos quanto nos técnicos, com procedimentos estabelecidos para identificar, coletar, armazenar, acessar, arquivar e proteger os dados registrados.
4.14	Auditorias internas	A norma determina a realização de auditorias internas periódicas, executada por pessoal treinado e qualificado.
4.15	Análise crítica pela Direção	Trata de um mecanismo para manter a Alta Direção presente e envolvida com o sistema de gestão estabelecido, e prevê reuniões de análise periódicas com o propósito de melhorar continuamente o sistema.

Fonte: adaptado de PRADA, 2013; ABNT, 2005

Os requisitos técnicos seguem a mesma lógica dos requisitos de direção. Todo o conteúdo do capítulo 5 versa sobre diretrizes e procedimentos técnicos para sistematizar métodos e evitar desvios que possam comprometer as análises e calibrações ou causar

uma interpretação errônea dos resultados. Em síntese, os requisitos técnicos abrangem todos os possíveis fatores técnicos de influência direta ou indireta em maior ou menor grau nas análises e calibrações, desde aspectos relativos a mão de obra, condições do ambiente de trabalho, infraestrutura e precisão de equipamentos e instrumentos até mesmo nas definições e critérios para definição dos métodos de análise e calibração empregados.

Os itens que constituem o Capítulo 5 estão esquematizados na tabela a seguir:

Tabela 5. Resumo esquemático do Capítulo 5 - Requisitos técnicos da NBR ISO/IEC 17025

Resumo esquemático do Capítulo 5 - Requisitos Técnicos da NBR ISO/IEC 17025		
Item	Título	Observações acerca do conteúdo
5.1	Generalidades	Elenca os fatores que determinam a correção e confiabilidade dos ensaios e calibrações, a serem explorados ao longo do capítulo: fatores humanos, acomodações e condições ambientais, métodos de ensaio e calibração e validação de métodos, equipamentos, rastreabilidade da medição, amostragem e manuseio de itens de ensaio e calibração, contextualizando estes itens na variação do fator de incerteza de medição para cada tipo de ensaio e calibração.
5.2	Pessoal	Versa sobre a garantia da competência das pessoas adequada às atividades que desenvolvem, por meio de metas de formação e treinamentos.
5.3	Acomodações e condições ambientais	Este item tem importância direta no tema desta monografia e será aprofundado mais a frente. Sobretudo, ele apresenta diretrizes para as instalações e infraestrutura, e estabelece procedimentos para monitorar, controlar e registrar pontos que possam interferir na qualidade dos ensaios e calibrações ou provocar contaminação cruzada. O item salienta a importância do ambiente de análise na validação dos dados.
5.4	Métodos de ensaio e calibração e validação de métodos	Para cada ensaio ou calibração, o método e os procedimentos utilizados devem ser apropriados para seu escopo, sendo seus métodos preferencialmente publicados em normas. No entanto, a norma prevê que o laboratório desenvolva métodos próprios, desde que estes sejam validados. Neste item também constam os parâmetros para a determinação da incerteza de medição
5.5	Equipamentos	Versa sobre a adequação do laboratório em manter todos os equipamentos e instrumentos necessários às análises e calibrações realizadas, bem como os cuidados de calibração e avaliação crítica periódica para preservá-los em pleno funcionamento.
5.6	Rastreabilidade da Medição	Versa sobre a rastreabilidade às unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades (SI) da calibração de equipamentos e instrumentos utilizados em ensaios e calibrações.
5.7	Amostragem	Este item determina o plano de amostragem, de forma a assegurar a representatividade da análise.
5.8	Manuseio de itens de ensaio e calibração	Apresenta requisitos para o manuseio de itens de ensaio e calibração, com a existência de procedimentos padronizados para identificação, transporte, recebimento, manuseio, proteção, armazenamento, retenção e remoção dos itens de e ensaio.
5.9	Garantia da qualidade de resultados de ensaio e calibração	Versa sobre procedimentos de monitoramento para validar os dados provenientes de ensaios e calibrações
5.10	Apresentação de resultados	Este item apresenta os requisitos para a divulgação de resultados em forma de relatórios de ensaios e certificados de calibrações, considerando ao menos título, identificação do laboratório, identificação do cliente, métodos utilizados, condições dos itens ensaiados, assinatura dos responsáveis, entre outras.

Fonte: adaptado de PRADA, 2013; ABNT, 2005

6. Aspectos arquitetônicos nos laboratórios ambientais

Atividades laboratoriais são caracterizadas por processos meticulosos, padrões exigentes e na maioria das vezes de custeio dispendioso. Somando-se a isso, novas tecnologias e renovações nas formas de trabalho surgem de tempos em tempos demandando a atualização de sistemas de gestão, infraestrutura e rotinas.

Nesse contexto com múltiplas necessidades, é a arquitetura que sintetiza as variáveis, ordena e proporciona, ou não, a possibilidade de uma experiência de funcionamento ótimo das dinâmicas de um laboratório. E mais do que isso, estabelece uma relação entre funcionalidade e identidade local e corporativa com seus usuários, reúne e condensa um legado social, político, econômico, cultural e climático em seu edifício (GONÇALVES et al, 2011), ainda que esteja ordenando um espaço profissional precisamente técnico.

Nesse cenário, o contexto que se procura na perspectiva de interpretar as necessidades arquitetônicas é transdisciplinar. Hertzberger (1999) compreende que o resultado de um projeto arquitetônico é mais que uma simples repercussão de um encontro de exigências da função em seu sentido estrito, mas também o cumprimento de outros propósitos (HERTZBERGER, 1999).

Oswald Unger, arquiteto alemão expressa este entendimento:

If architecture deals with reality then it is also the result of a dialectic process between the given conditions and its derived ideal vision. The term contextualism is called to mind, which means nothing else but architecture that is derived from its local context. [...] The creative objective of architecture is to visualise the task, to integrate itself into the context, to accentuate and enhance the qualities of the site. Over and over again architecture is the recognition of the genius loci it arises from³⁰

Uma abordagem transdisciplinar envolve a combinação de conceitos até mesmo considerados antagônicos (BRAUN et al, 2005). Racionalidade espacial, conveniência técnica, conforto ambiental, adequação ao entorno e relação com o ambiente externo, segurança, identidade cultural, sustentabilidade, estética, saúde dos usuários, administração de custos, tudo deve fazer parte da matriz arquitetônica de qualquer edifício, inclusive de laboratórios.

O projeto, construção e operação de edifícios de laboratório pode ser uma tarefa complexa e difícil. À medida que novas tecnologias surgem e novas descobertas são feitas, os laboratórios devem evoluir para manter um passo à frente da ciência. (DIBERADINIS, 2001)

³⁰ Frase do arquiteto alemão Oswald Mathias Unger, citado em Braun et al (2005), em livre tradução: "Se a arquitetura lida com a realidade, ela também é o resultado de um processo dialético entre as condições dadas e sua visão ideal derivada. O termo contextualismo é chamado à mente, o que significa nada mais que a arquitetura que é derivada de seu contexto local. [...] O objetivo criativo da arquitetura é visualizar a tarefa, integrar-se no contexto, acentuar e realçar as qualidades do local. Mais uma vez, a arquitetura é o reconhecimento do 'genius loci' [o caráter sócio-cultural e arquitetônico intrínseco do local] que desponta"

Neste capítulo, então, serão abordadas as questões e necessidades arquitetônicas pertinentes a um edifício, observando três conceitos: as condicionantes técnicas de ensaio e qualidade analítica, as questões de sustentabilidade do edifício e as questões pertinentes aos indivíduos envolvidos no processo, no que diz respeito a conforto, saúde e segurança.

Esse estudo estará concentrado nos pressupostos arquitetônicos na fase de planejamento e projeto. Embora o edifício seja na prática seu funcionamento, é na fase projetual em que se tem a chance de absorver as necessidades e incorporá-las ao partido arquitetônico empregado. É na fase de projeto em que se estabelecem os critérios construtivos para o atendimento do uso do espaço. Uma proposta de projeto arbitrária pode levar a edifícios de laboratórios com funcionamento extremamente ineficientes. E nesse sentido, serão trabalhados conceitos de projeto cuja reflexão é necessária para o sucesso de seu funcionamento. A intenção não é de criar receitas ou modelos de *layout* replicáveis, mas sim demonstrar as premissas sob as quais um projeto deve apoiar-se para produzir uma solução arquitetônica de qualidade adequada às expectativas.

6.1. Contexto arquitetônico em edifícios de laboratório

O projeto de novos edifícios de laboratório e a renovação dos antigos requerem uma comunicação estreita entre os usuários de laboratório e a equipe de profissionais projetistas. Com uma infinidade de necessidades técnicas a serem atendidas, um dos principais objetivos do projeto de laboratório deve ser proporcionar um lugar seguro no qual seus funcionários possam realizar suas atividades. Para cumprir esse objetivo, todas as considerações de segurança e saúde devem ser cuidadosamente avaliadas e medidas de proteção devem ser incorporadas no projeto sempre que necessário. (DIBERADINIS, 2001).

A depender da forma, materiais e detalhes construtivos, os edifícios alteram significativamente o desempenho técnico esperado e a experiência de conforto e segurança humano.

No caso das condicionantes técnicas, reguladas no Brasil por meio da norma NBR ISO/IEC 17025 e pelas Boas Práticas de Laboratório (BPL), os laboratórios apresentam uma gama de requisitos técnicos bastante significativos. Somando-se a isso, há uma necessidade de atender também aos requisitos de conforto, saúde e segurança relacionados às atividades laborais, além da sustentabilidade da construção. Cada um representa desdobramentos nas decisões de projetos arquitetônicos, o que torna fundamental a conciliação entre as demandas técnicas e humanas na concepção do edifício laboratorial, conforme demonstra a representação gráfica a seguir:

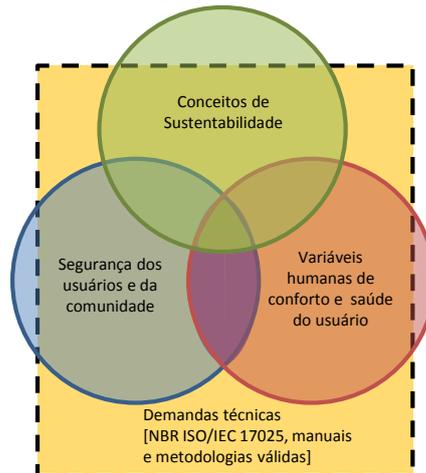


Figura 3. Representação gráfica das condicionantes de projeto de arquitetura de laboratórios (fonte: autora, 2017)

Todos esses quatro tipos de demandas (técnicas, de conforto, segurança e sustentabilidade) não estão necessariamente isoladas cada qual em suas necessidades. Didaticamente, é um mecanismo facilitador para as definições de um programa de necessidades que cumpra seu objetivo de identificar as necessidades do edifício e contemplá-las.

Com uma infinidade de necessidades a serem atendidas, muitas vezes as condições de segurança, saúde e sustentabilidade são negligenciadas ou desprezadas e os laboratórios podem ser construídos com riscos imprevistos ao bem-estar humano ou efeitos adversos ao meio ambiente (DIBERADINIS, 2001).

Uma vez que os requisitos técnicos foram apresentados no capítulo anterior por meio da análise da NBR ISO/IEC 17025, a seguir serão contextualizadas os pressupostos a que remetem o conforto ambiental, a segurança e a sustentabilidade para posteriormente serem apresentados os itens de interesse arquitetônico.

A) Condições de conforto ambiental

O ser humano, na qualidade de organismo vivo, recebe estímulos físicos, objetivos e quantificáveis, relacionados ao ambiente circundante, como energia térmica (calor), umidade, velocidade do ar, ruídos, luz natural, entre outros (GONÇALVES et al, 2011). Vinculadas aos estímulos físicos do ambiente, estão as sensações físicas e psicológicas experienciadas pelo ser humano e com elas o conceito de conforto ambiental (BARROSO-KRAUSE, 2011).

A condição de conforto do indivíduo tem como característica essencial ser de difícil definição da fronteira que delimita essa percepção. Sobre o conforto, Barroso-Krause (2011) descreve:

Cada um de nós é incapaz de descrever, quando confortável, os limites ou as características desta sensação. Entretanto, ao rompimento deste estado,

conseguimos descrever se tratar de um ruído, do excesso – ou falta – de calor, da ausência ou excesso de luz que nos incomoda (BARROSO-KRAUSE, 2011).

Do ponto de vista fisiológico, a experiência de conforto no ser humano também alterna diariamente por momentos de fadiga, chamada de catabolismo, e por uma etapa de repouso, o anabolismo (FROTA et al, 2003). A mesma autora (2003) descreve os três tipos de fadiga fisiológica humana:

- a) física, muscular, resultante do trabalho de força;*
- b) termo-hidrométrica, relativa ao calor ou ao frio;*
- c) nervosa, particularmente visual e sonora. (FROTA et al, 2003)*

Em equilíbrio, o corpo humano saudável demonstra uma capacidade ótima para desenvolver sua capacidade de trabalho³¹. Um ambiente que desestabiliza esse equilíbrio gera uma demanda de adaptação ao organismo e incide uma sobrecarga que repercute em uma queda no rendimento de trabalho do indivíduo. No limite, sob condições de rigor excepcionais, a fadiga excessiva pode resultar na perda total da capacidade de realização de trabalho, mal-estar e originar doenças (FROTA et al, 2003).

Pelo ponto de vista puramente do conforto, sem considerar outras premissas igualmente pertinentes, a preocupação da arquitetura é, então, estudar as causas para o estado de desconforto e projetar mecanismos para evitar ou ao menos minimizar seus efeitos (BARROSO-KRAUSE, 2011). Nesse sentido, o edifício e seu partido arquitetônico determinam uma relação entre o ser humano e o meio ambiente, estabelecendo o controle de variáveis do meio externo, pressupondo condições de conforto, habilidade e saúde aos usuários daquele espaço (GONÇALVES et al, 2011).

B) Condições de segurança

A natureza das atividades de laboratório, com a presença de utilização de materiais potencialmente perigosos e procedimentos altamente técnicos requer a concepção de projetos laboratoriais consistentes no que concerne a segurança (DIBERADINIS, 2001). As atividades de laboratório executadas de forma adequada e planejada previnem a exposição indevida de pessoas a agentes de risco à saúde e possíveis causas de acidentes (HIRATA, M, 2012). Dessa forma, mostra-se necessário identificar os riscos das atividades laboratoriais para uma gestão efetiva e necessária da segurança (SANTOS, 2009).

Será adotada a definição de segurança como “*a ciência voltada para o controle e a minimização de riscos advindos da prática de diferentes tecnologias, seja em laboratórios seja no meio ambiente*” (HIRATA, M, 2012).

³¹ Trabalho aqui está empregado no sentido de realização de quaisquer tipos de atividades que demandem energia para execução.

As questões arquitetônicas, nesse sentido, apresentam fatores de influência direta aos assuntos relacionados a segurança do laboratório (HIRATA, R, 2012). Instalações ofertadas para manuseio de amostras e componentes químicos, locais de armazenamento, condições operacionais de equipamentos, entre outros, devem contemplar requisitos de segurança na elaboração de um projeto de laboratório.

A seguir, uma tabela compilada dos conceitos de M. Hirata(2012), R. Hirata (2012), Mamizuka (2012) e WHO (2004) com os tipos de risco em laboratórios:

Tabela 6. Riscos em Laboratórios

Riscos em Laboratórios	
Tipo de risco	Definições
Físicos	Os riscos físicos são aqueles ocasionados por formas de energia: equipamentos que geram calor ou chamas, equipamentos de baixas temperaturas, ruídos, vibrações, radiações não-ionizantes (ultravioleta e ultravermelha), radiações ionizantes, pressões anormais, raios laser, ondas de rádio e campos elétricos.
Biológicos	Riscos biológicos são provenientes de exposição a agentes biológicos, como plantas, animais, seres humanos, bactérias, leveduras, fungos, parasitas, entre outros, em formas de aerossóis, poeira, alimentos, instrumentos de laboratório, água, cultura, amostras biológicas humanas, etc. Inclui organismos geneticamente modificados que apresentam procedimentos diferenciados. Estão divididos em 4 grupos de risco: Grupo 1: não provocam doenças em seres humanos e animais Grupo 2: formado por germes patogênicos que não apresentam perigo sério, com risco individual moderado e baixo para a comunidade Grupo 3: constituído por germes patogênicos que provocam doenças graves, com risco individual alto e risco baixo para a comunidade Grupo 4: formado por agentes infecciosos patogênicos que causam doenças graves, podendo ser facilmente transmitidos e na maioria dos casos não se conhece tratamento eficaz e as medidas profiláticas não estão bem estabelecidas.
Químicos	Riscos químicos são provenientes do perigo de danos físicos devido a manipulação de substâncias químicas por inalação, contato, ingestão, agulhas ou por ferimentos na pele. É classificado por grau de periculosidade: Contaminantes do ar, como poeiras, fumaça de diferentes origens como aerossóis, neblinas, gases asfixiantes, gases irritantes e vapores Substâncias tóxicas e altamente tóxicas: substâncias que podem causar danos graves à saúde e que podem trazer consequências fatais, em especial, substâncias cancerígenas. Substâncias explosivas: riscos atrelados a produção de faíscas, fogo e ação de calor próximo a substâncias explosivas Substâncias irritantes e nocivas: o contato com essas substâncias podem causar danos à saúde Substâncias oxidantes: favorecem a propagação e dificultam a extinção de incêndios Substâncias corrosivas: causado por substâncias ácidas corrosivas Líquidos voláteis: pode causar danos pela inalação Substâncias inflamáveis: risco envolve a proximidade com chamas, emissores de calor e centelhas e em alguns casos pela própria exposição ao ar Substâncias cancerígenas
Ergonômicos	São riscos causados por esforços repetitivos denominadas DORT (Doenças Orteomusculares Relacionadas ao Trabalho), muitas vezes gerados por postura inadequada, esforço físico, controle rígido de produtividade, entre outros. Podem causar danos físicos e psíquicos aos usuários. Mobiliários e instrumentos inadequados estão vinculados aos riscos ergonômicos.
De acidentes	Riscos de acidentes são fatores que colocam em perigo o trabalhador ou afetam sua integridade física ou moral. Podem ser causados por vícios construtivos, equipamentos e instrumentos sem proteção, ferramentas inadequadas, uso inadequado de instrumentos, equipamentos e instrumentos de materiais quebráveis ou perfurocortantes, eletricidade.

Fonte: HIRATA,M, 2012, HIRATA, R, 2012, MAMIZUKA, 2012 e WHO, 2004

C) Sustentabilidade

O tema da sustentabilidade na arquitetura é uma discussão recente, assim como a aplicação do conceito da sustentabilidade nas demais áreas de conhecimento. Hoje, existem diversas instituições que oferecem sistemas de certificação ambiental voluntários para edificações sustentáveis. Sediado nos Estados Unidos está a certificação LEED^{®32} (*Leadership in Energy and Environmental Design*) atuante no país pelo Green Building Council Brasil. Também aplicado no Brasil, o processo AQUA-HQE^{™33} (*Haute Qualité Environnementale*) é uma certificação de origem francesa e é aplicada pela Fundação Vanzolini. O Selo Procel Edificações, estabelecido em novembro de 2014, tem origem nacional e seu foco está na eficiência energética³⁴. Além dessas, há diversas outras metodologias com o intuito comum de dar parâmetros objetivos à questão da sustentabilidade em construções.

Cada uma dessas certificações tem abordagens distintas acerca do que se pode considerar um edifício sustentável. Na linha do assunto, conforme abordado anteriormente no capítulo 3 deste trabalho, o conceito de desenvolvimento sustentável busca lidar com as necessidades atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Grosso modo, o pensamento derivado da sustentabilidade busca assegurar a reprodutibilidade dos fatores de produção, mão de obra, matéria-prima e energia (LOMARDO, 2011).

Na concepção, construção e funcionamento dos edifícios estão presentes estes três fatores de produção (mão de obra, matéria-prima e energia), nos quais o edifício é um sistema aberto que consome materiais e energia e descarta os resíduos que não podem ser reaproveitados. Nesse sentido, a questão da sustentabilidade na arquitetura se dá por meio da adoção de uma política para racionalizar o sistema aberto, reduzindo os insumos e buscando retroalimentar as fontes de descarte de volta ao ciclo.

Nessa perspectiva, enquanto o uso racional da água e da geração de rejeitos tem reflexos mais favoráveis relacionados a procedimentos internos de gestão, o melhor desempenho acerca da eficiência energética está intimamente ligado com a arquitetura sustentável e alinhado com a adequação do edifício ao clima. Denominada como arquitetura bioclimática ou passiva, seus conceitos buscam atenuar a suscetibilidade dos edifícios às variações ambientais recorrendo ao conhecimento de mecanismos de troca de calor e do comportamento térmico dos materiais como meio de conservar energia dentro do sistema (FROTA et al, 2003).

A arquitetura bioclimática trata o edifício como um “filtro” das condições externas, favorecendo-se por definições de projeto e construção de uma envoltória adequada às

³² Certificação desenvolvida pelo USGBC - *U.S. Green Building Council*. Fonte: <http://www.gbcbrazil.org.br>

³³ Fonte: <http://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe>

³⁴ Fonte: www.procelinfo.com.br/selo_procel_edificacoes

técnicas seletivas ou conservativas de energia natural em encontro ao propósito de potencializar a melhor relação entre usuário, as condições climáticas e a racionalização de energia (BARBIRATO et al, 2011).

A envoltória racionalizada pode aproveitar o que o clima apresenta de agradável e amenizar seus aspectos negativos, podendo ocasionar a redução da potência instalada de sistemas artificiais consumidores de energia para condicionamento de ar e iluminação, por exemplo (FROTA et al, 2003).

Lomardo (2011) diferencia, no universo dos edifícios, a energia total inserida em seu sistema em três tipos:

- *A energia consumida quando da construção do prédio, embutida na produção e transporte dos materiais de construção, bem como na sua manipulação no canteiro de obras, designada por alguns autores 'conteúdo energético predial';*
- *A energia consumida pelas atividades desenvolvidas no prédio, pelo uso dos equipamentos necessários e indispensáveis às atividades exercidas pelos usuários;*
- *A energia consumida, destinada a prover aos usuários as condições de conforto necessárias à habitabilidade. A noção de conforto ambiental deriva do metabolismo humano e de seus requerimentos (LOMARDO, 2011).*

A arquitetura bioclimática está, então, estreitamente unida às questões de conforto ambiental. Nesse sentido, o edifício e seu partido arquitetônico determinam uma relação entre o ser humano e o meio ambiente, estabelecendo o controle de variáveis do meio externo, pressupondo condições de conforto e habilidade aos usuários daquele espaço (GONÇALVES et al, 2011).

No contexto das atividades laboratoriais e partindo para uma análise das necessidades técnicas de grande vulto dos laboratórios, por vezes as questões técnicas restritivas são sobrepostas aos pressupostos de sustentabilidade e conforto ambiental. Em cada caso, nem sempre serão as definições de arquitetura que farão a conciliação entre as necessidades humanas e técnicas. A gestão de qualidade e os procedimentos estabelecidos se apresentam como ferramentas fundamentais para considerar todos os princípios necessários para o funcionamento ideal do laboratório, do ponto de vista técnico, de segurança, de conforto ambiental e sustentabilidade.

6.2. Condicionantes de interesse arquitetônico em edifícios de laboratório

Considerando a contextualização das necessidades técnicas, de conforto, segurança e sustentabilidade para a implementação de um projeto de arquitetura de laboratório coerente, e para um entendimento didático foram separadas, mas não estão necessariamente desassociadas, são apresentados a seguir itens de caráter objetivo considerados importantes no ponto de vista da arquitetura do laboratório. Questões

subjetivas e estéticas relacionadas ao tema também são pertinentes, no entanto, não serão exploradas no decorrer deste trabalho.

6.2.1. Entorno e microclima exterior

Todo edifício deve ser considerado tendo em vista o contexto em que está inserido e como sua construção afeta um determinado perímetro de influência. O microclima, as tipologias arquitetônicas do entorno, os padrões de uso do solo da vizinhança, a circulação de pessoas e veículos, a topografia, infraestruturas disponíveis, a identidade cultural, entre outros influenciam e são influenciados, em maior ou menor grau, pelos edifícios que compõem aquela paisagem.

Edifícios de laboratórios não fogem a regra e também repercutem nos balanços de impactos na dinâmica local.

O clima local é o resultado de fatores globais, como latitude, longitude, altitude, continentalidade, fatores locais, como topografia, tipo de revestimento do solo, coberturas vegetais, e elementos como temperatura, umidade, velocidade dos ventos que configuram a uma determinada localidade. Nos estudos climatológicos não há dois tipos de clima rigorosamente iguais, no entanto, as observações e levantamentos das características da atmosfera e outras variáveis ao longo do tempo, dá a oportunidade de tornar o clima previsível (BARBIRATO et al, 2011).

Segundo Barbirato et al (2011), a informação climática deve ser considerada em três níveis:

- 1. Dados macroclimáticos: descrevem o clima geral de uma região. São obtidos nas estações meteorológicas;*
- 2. Dados mesoclimáticos: informam as modificações do macroclima, provocadas pela topografia local;*
- 3. Dados microclimáticos: informam os efeitos das ações humanas sobre o entorno, assim como a influência que essas modificações exercem sobre os recintos urbanos (BARBIRATO et al, 2011).*

Mas quais são as consequências dos três níveis de influência climática em relação a um edifício? A depender do partido arquitetônico adotado, o resultado é a produção de estímulos ambientais e físicos variáveis, com influências na iluminação natural, no que concerne a quantidade de luz, forma de distribuição e a correlação de luminância e contraste; na temperatura do ar e umidade relativa interna; na distribuição e percepção de ruído, entre outros. (GONÇALVES et al, 2011).

Eleger um partido arquitetônico adequado ao clima local implica em incluir espontaneamente questões de sustentabilidade e conforto ambiental ao edifício, inclusive com consequências positivas em demandas puramente técnicas. Por exemplo, em uma atividade laboratorial com níveis mandatórios de faixas de temperatura restritivas, um

edifício preparado, por exemplo, para amenizar variações de calor excessivo, é uma opção mais segura de se manter uma faixa homogênea de temperatura, se comparado a um edifício de baixo desempenho térmico, ainda que ambos se utilizem de climatização mecânica para tal. A estabilidade interna da temperatura, nesse caso, é uma aliada para o melhor funcionamento e economia de energia dos equipamentos de condicionamento de ar artificiais.

Condições microclimáticas urbanas são alteradas por diversos fatores locais e em determinadas condições é comum a geração de ilhas de calor³⁵. Por exemplo, na malha urbana densa, os materiais de pavimentação usuais, como asfalto e concreto, com característica de alta absorção da radiação solar são responsáveis por aumentar as temperaturas locais. A disposição perpendicular das edificações em relação à direção do vento e gabaritos de altura uniforme dos prédios podem prejudicar a circulação de ar local caso as ruas não sejam suficientemente largas para a passagem da ventilação. A cor e o material das superfícies externas das edificações também são fatores que influenciam a dissipação ou não de calor urbano (BARBIRATO et al, 2011).

Por outro lado, determinadas condições urbanas conseguem amenizar localmente os efeitos das ilhas de calor. Corpos de água, além de representar incremento de umidade, podem funcionar como moderadores de temperatura, por apresentarem característica de grande capacidade de armazenamento de calor, podendo gerar brisas locais próprias devido ao aquecimento diferenciado entre a terra e a água. Vegetações urbanas também são fontes de influência do microclima, uma vez que reduzem a temperatura do ar e do solo por intermédio de sombreamento e transpiração (BARBIRATO et al, 2011).

Ainda sobre a presença de vegetação, além de reduzir a temperatura e elevar a umidade local por mecanismos de evapotranspiração, árvores urbanas desempenham um importante papel no controle de ruídos, na filtragem e dispersão da poluição atmosférica, na redução da velocidade dos ventos, na prevenção de processos erosivos e favorece a biodiversidade urbana, sem contar as qualificações paisagísticas, estéticas, sociais e psicológicas proporcionadas pelas áreas verdes na cidade (BARBIRATO et al, 2011).

³⁵ Ilha de calor: fenômeno climático observado nos grandes centros urbanos, em que o material impermeável da cidade concentra o calor das radiações solares e cria locais com concentração de temperaturas bem mais altas que as áreas vizinhas, além de alta concentração de poluição decorrente da baixa dispersão (NARVAES, 2012).

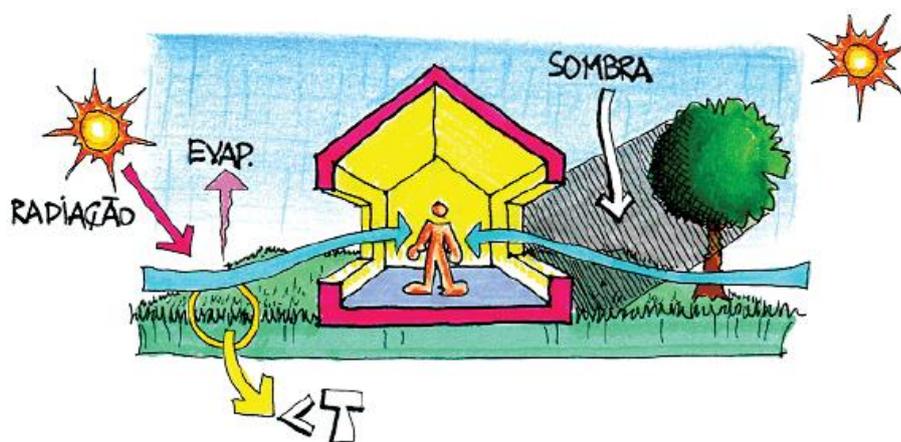


Figura 4. Resfriamento evaporativo e sombreamento pela presença de vegetação. Fonte: Luciano Dutra in LAMBERTS et al, 2014.

Dessa forma, é importante analisar e compreender objetivamente a inserção do edifício de laboratório em seu entorno e posicionamento, observando obstruções ou incidência de radiação solar, direção dos ventos e velocidade do ar, ruídos e poluição sonora, fontes de umidade, presença ou não de vegetações nas proximidades, entre outros. A temperatura e umidade do ar, em conjunto com os fatores climáticos de radiação (direta ou difusa) e ventilação são os elementos com maior poder de influenciar o ambiente interno e o entorno imediato dos edifícios (BARBIRATO et al, 2011).

6.2.2. Envoltória – fachadas e coberturas

Intimamente vinculados ao clima, as condições do entorno e o posicionamento da edificação, os elementos envoltórios – fachadas, coberturas e pisos – são a interface que separa o interior dos edifícios e o ambiente externo. De modo geral, a envoltória compreende elementos verticais e horizontais, de fechamento ou abertura por meio de materiais opacos, translúcidos ou transparentes. As relações entre os componentes da envoltória, como paredes, janelas, portas, lajes, telhas, aberturas zenitais³⁶ estabelecem uma relação dos usuários com o exterior em maior ou menor grau e isso gera reflexos no desempenho térmico, acústico, de iluminação natural, qualidade interna do ar, entre outros.

A definição do posicionamento da edificação em relação à latitude e aos pontos cardiais confere implicações de radiação solar e incidência de ventos, a depender do posicionamento das fachadas e coberturas em relação aos ventos dominantes e ao movimento aparente do sol ao longo do dia e do ano (FROTA et al, 2003). Em termos de desempenho sustentável, a envoltória deve considerar essas variáveis e adotar soluções de projeto diferenciadas em cada uma das fachadas, nas quais aberturas e fechamentos considerem opções que aproveitem as condições de radiação e vento para potencializar o efeito da iluminação natural, inércia térmica e ventilação.

³⁶ Aberturas zenitais são aberturas para ventilação e iluminação localizadas na cobertura dos edifícios. São exemplos de aberturas zenitais *sheds*, lanternins, claraboias, cúpulas e átrios.

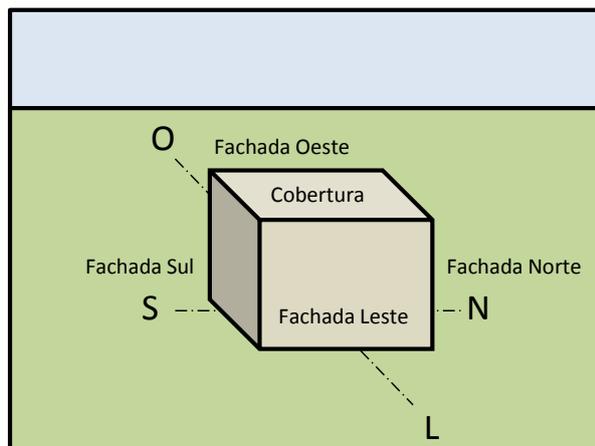


Figura 5. Orientação das fachadas de um edifício - Norte, Leste, Oeste e Sul. Fonte: autora, 2017

Na Figura 5, pode-se observar a orientação das quatro fachadas de uma determinada edificação esquemática. São essas orientações que determinarão para cada uma destas superfícies sua exposição à radiação do sol, como pode ser observado na próxima figura:

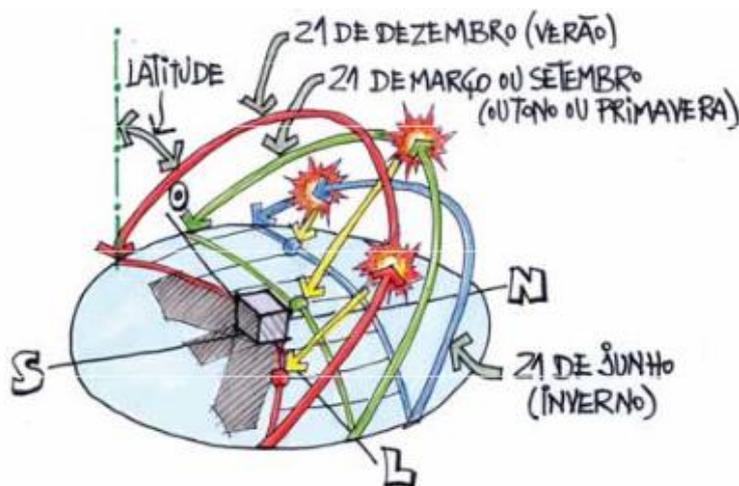


Figura 6. Desenho esquemático do movimento aparente do sol no hemisfério sul ao longo do dia no equinócio (21 de março ou 21 de setembro) e nos solstícios de verão (21 de dezembro) e inverno (21 de julho). Fonte: Luciano Dutra in LAMBERTS et al, 2014.

Na Figura 6, um desenho esquemático demonstra como cada superfície envoltória está sujeita a condições particulares de radiação ao longo do período de insolação em um dia em diferentes épocas do ano. A figura demonstra o comportamento da radiação no dia mais longo do ano (solstício de verão), no dia em que o período de radiação é o mais curto (solstício de inverno) e nos equinócios de outono e primavera³⁷. Nesse exemplo, sem a

³⁷ O solstício é o dia do ano em que a trajetória aparente do Sol corresponde ao percurso extremo solar. Existem dois solstícios: o de verão, que corresponde ao percurso máximo solar e em que ocorre o dia

presença de obstruções que causem sombreamento no edifício, cada fachada recebe insolação em determinados períodos do dia, com angulação de incidência dos raios solares variável ao longo do ano, conforme a próxima figura:

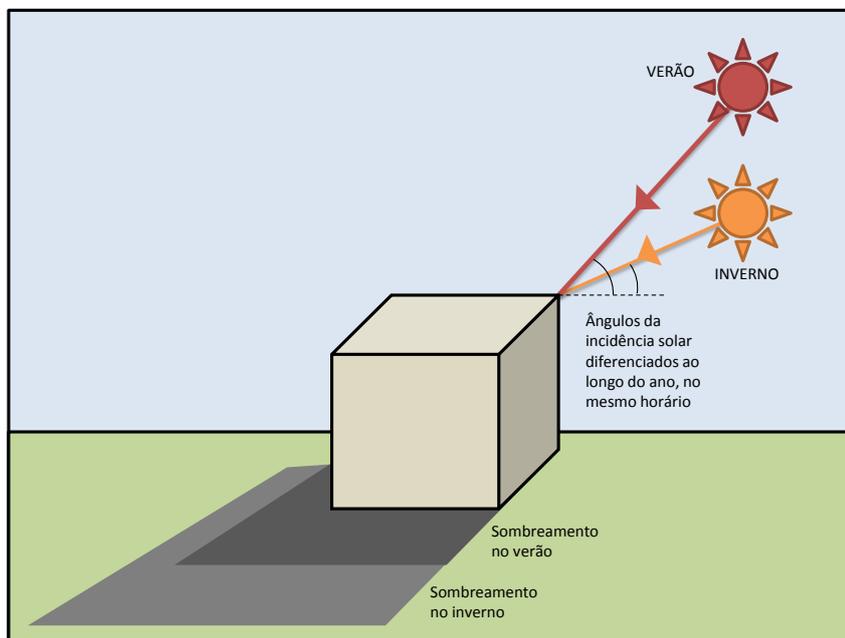


Figura 7. Desenho esquemático da diferenciação na angulação da incidência solar em um mesmo horário ao longo do ano. Fonte: autora, 2017

Dessa forma, a diferenciação da radiação solar implica em formação distinta de sombras, a depender do ângulo de incidência da luz. Assim, a envoltória pode e deve ser utilizada para imprimir características convenientes de aberturas, fechamentos, opacidade, transparência, sombreamento, entre outros, para uma resposta ambiental vantajosa para reduzir o excesso de calor nos períodos quentes e conservar o calor proveniente da radiação nos períodos mais frios do ano (FROTA et al, 2003).

As trocas térmicas do edifício com seu interior ocorrem quando o sol incide sobre as superfícies representando sempre um certo ganho de calor, que ocorrerá por causa da intensidade da radiação incidente e das características térmicas da forma e materiais do edifício (FROTA et al, 2003). As Figuras **8** e **9** demonstram o comportamento térmico de materiais opacos e transparentes quando da incidência solar:

mais longo do ano, e o de inverno quando a altura solar atinge o mínimo e resulta no dia mais curto do ano. Já o equinócio é o momento do ano em que o percurso solar caracteriza-se por oferecer, em toda a Terra, a mesma duração do dia e da noite. (BARROSO-KRAUSE, 2011).

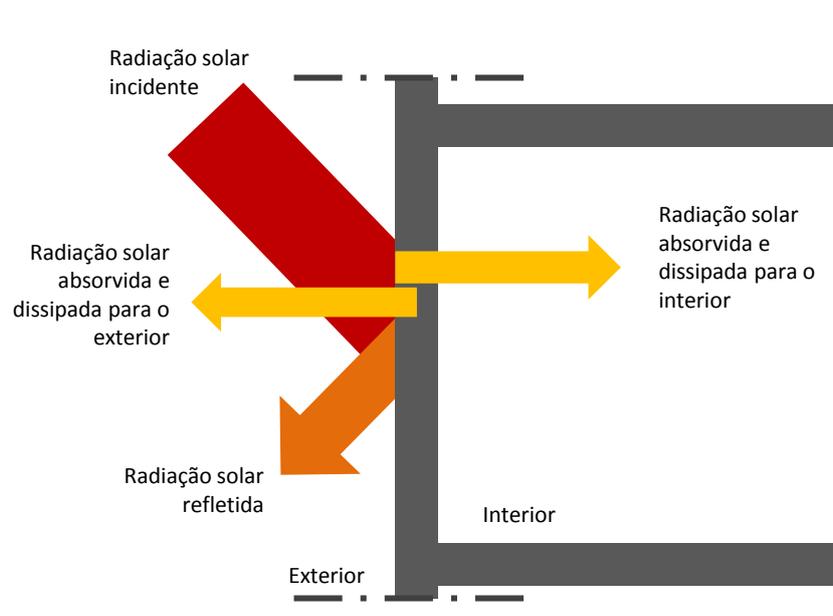


Figura 8. Trocas de calor através de superfícies opacas. Fonte: FROTA et al, 2003, adaptado

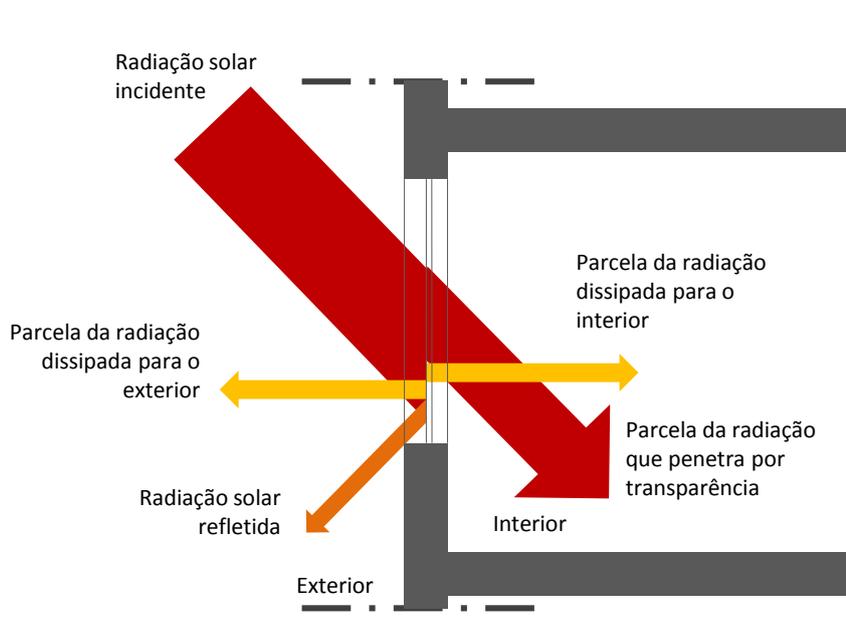


Figura 9. Trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas. Fonte: FROTA et al, 2003, adaptado

O partido arquitetônico adotado, então, pode utilizar-se de elementos de proteção solar como quebra-sol ou *brise-soleil*, de forma a proteger superfícies transparentes, translúcidas ou até mesmo opacas da radiação direta do sol, conforme demonstra a Figura 10.

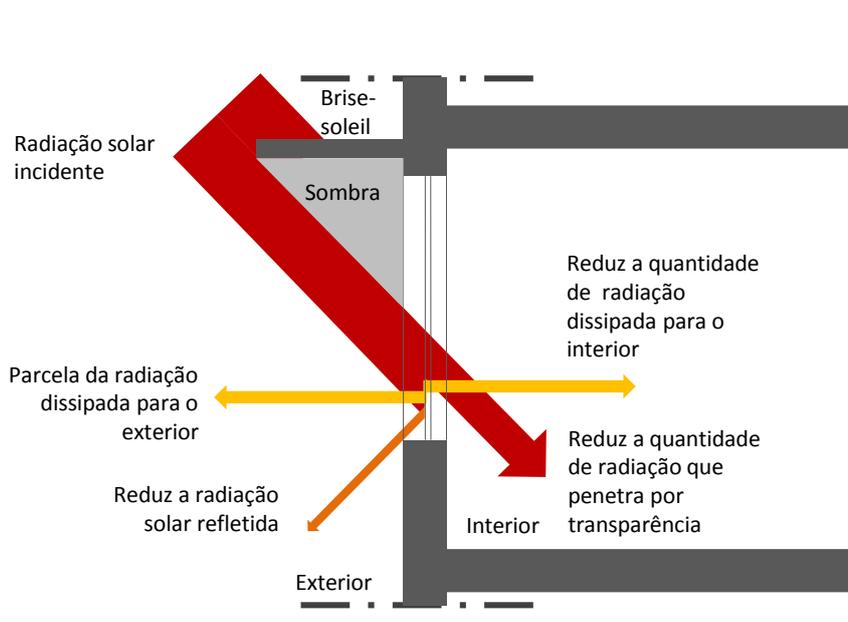


Figura 10. Redução da quantidade de radiação do interior da edificação e refletida para o exterior por meio de sombreamento de fachada. Fonte: autora, 2017.

A mesma sazonalidade da radiação solar aplicada ao conforto térmico dentro de uma edificação pode ser considerada na determinação da disponibilidade da luz natural, que além do fator de movimento aparente do sol variável ao longo do ano e do dia responsável pela radiação direta, também deve considerar a componente de luz difusa, resultante do espalhamento da radiação dada de forma dependente da qualidade do ar, configuração do entorno, a conformação do céu definida pelo clima e a quantidade de céu aparente (GONÇALVES et al, 2011).



Figura 11. Radiação difusa. Fonte Luciano Dutra (LAMBERTS et al, 2014)

Por meio da envoltória, também é possível trabalhar a questão da ventilação natural favoravelmente ao uso do edifício. Janelas e aberturas zenitais permitem em maior ou menor grau a ventilação natural, com três finalidades complementares: manter a qualidade

do ar interno, remover carga térmica da edificação proveniente por radiação solar e promover o resfriamento fisiológico dos usuários (BITTENCOURT et al, 2010).

A ventilação natural é o deslocamento do ar através do edifício, por meio das aberturas na envoltória, sendo parte das aberturas utilizadas como entrada de ar e a outra como saída, em que o desempenho se dá pela diferença de pressão do ar interno e externo, da resistência ao fluxo proporcionada pela forma das aberturas, obstruções internas e externas bem como outras possíveis implicações (FROTA et al, 2003).

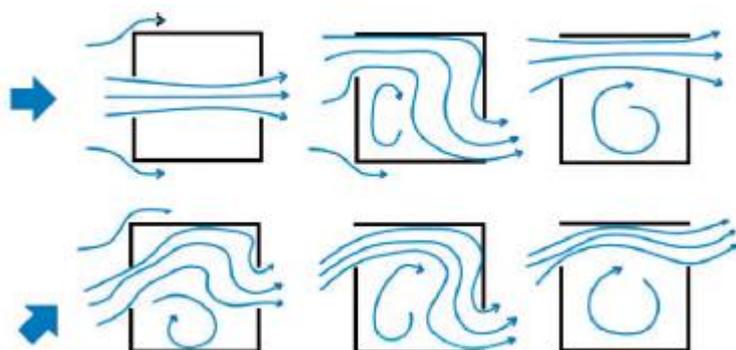


Figura 12. Efeito da localização das aberturas numa edificação térrea. Fonte: Baruch Givoni, 1976, in BITTENCOURT et al, 2010

Em resumo, o papel objetivo desempenhado pelas superfícies envoltórias está vinculado ao comportamento da edificação em termos de conforto ambiental e eficiência energética, trabalhando paralelamente com ganhos e perdas de desempenho relacionados às questões técnicas da edificação. No contexto dos laboratórios, a envoltória em geral recebe pouca atenção em decorrência da necessidade de utilização de mecanismos artificiais para garantir a homogeneidade necessária de acordo com demandas de temperatura, luminosidade, umidade, entre outros. A alta demanda de instalações prediais e de equipamentos específicos para laboratórios não impede que se agregue, ainda no projeto, questões referentes à envoltória. Lomardo (2011) demonstra este tema na Figura 13, mostrando a relação da envoltória com as demandas técnicas de um edifício e sua relação com o consumo energético.

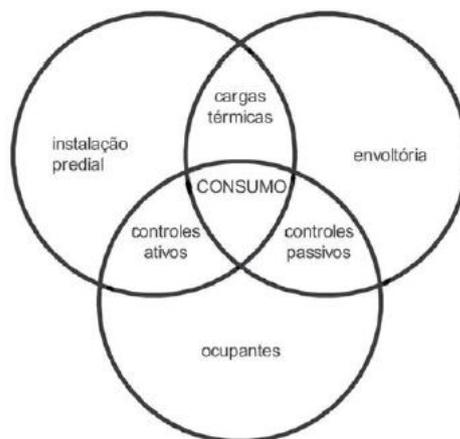


Figura 13: Modelo de interação energética concebido por BAIRD. Fonte: LOMARDO, 2011)

Fachadas e coberturas planejadas para obter um bom desempenho térmico e de iluminação natural, representam menores cargas térmicas e por vezes reduzem determinados controles ativos mecanizados, refletindo no consumo total do edifício. Logo, as superfícies envoltórias devem ser consideradas como aliadas para assegurar a performance esperada de um edifício de laboratórios.

6.2.3. Espaço e circulação

A definição do espaço e circulação dos laboratórios deve ser o resultado da convergência das premissas funcionais, tecnológicas e de segurança, incorporando os conceitos de conforto e sustentabilidade sempre que possível.

A conformação do espaço deve contemplar as especificidades das atividades desenvolvidas no presente e sem perder os atributos de um *layout* dotado de características flexíveis, capaz de proporcionar rápida adaptabilidade diante de situações de desenvolvimento de novas tecnologias, aumento da automatização e crescimento da competição de mercado de laboratórios (BRAUN et al, 2005).

Todo projeto de edifícios de laboratórios consiste em um certo número de diferentes tipos de espaços com funções e características em termos de tipologias arquitetônicas e sistemas de instalações prediais próprias. No geral, a maior parte desses espaços é destinada a atividades de laboratório (o laboratório em si e suas áreas de suporte técnico) e escritórios, em que a maior diferença entre esses tipos, considerando o universo de serviços arquitetônicos e prediais necessários, se demonstra no resultado característico do *design* de sua ocupação interna (BRAUN et al, 2005). Ademais, ainda são necessários espaços de apoio para recepção, vestiários, almoxarifados, entre outros para compor um edifício plenamente autônomo.

Considerando as áreas úteis, ou seja, excluindo as áreas técnicas prediais, Diberadinis (2001) classifica os tipos de espaço de um edifício de laboratórios em cinco grupos, conforme a tabela a seguir:

Tabela 7. Classificação dos espaços em edifícios de laboratório

Classificação dos espaços em edifícios de laboratório	
Laboratórios	Inclui o ambiente de ensaios e calibrações propriamente dito
Instalações de suporte de laboratório	São áreas para trabalhos técnicos de apoio ao laboratório, como salas de preparo e distribuição de amostras, salas de balança e instrumentos especiais, instalações de processamento de dados, instalações para esterilização, etc
Instalações de escritório administrativos	Salas de apoio administrativo, secretarias, escritórios administrativos, bibliotecas, salas de conferência, entre outros
Instalações de apoio pessoal	Inclui áreas de recepção, sanitários, vestiários, ambulatórios, salas de descanso, refeitórios, áreas de recreação, etc
Instalações de apoio do edifício	São áreas específicas para apoio ao edifício e inclui almoxarifado, áreas de expedição, recepção e depósitos para produtos químicos, inflamáveis, radioativos, biológicos, etc.

Fonte: DIBERADINIS, 2001, adaptado.

Para efeitos de análise deste trabalho, serão consideradas apenas as áreas de laboratório propriamente ditas e instalações de suporte de laboratório, uma vez que estas áreas concentram a maior parte das demandas técnicas desse tipo de edificação.

De modo geral, a configuração do espaço das áreas de laboratório e suporte técnico deve estar adequada para a execução do trabalho numa perspectiva da qualidade analítica e de conforto laboral, bem como incorporar soluções convenientes para cada as exigências laboratoriais, como limpeza, manutenção, circulação de pessoas, equipamentos e materiais em segurança (R. HIRATA, 2012). A questão chave é como atingir esses requisitos dentro de uma estrutura complexa de funcionamento.

Diberadinis (2001) propõe a análise de cinco pontos:

1 - Qual é a estrutura organizacional da instituição ou corporação para quem o edifício está sendo projetado? As atribuições de sala e agrupamentos devem refletir essa hierarquia, ou algum outro padrão ou princípio é preferido?

2 - Os materiais, processos e resíduos contidos ou produzidos em uma área afetam a função ou representam um perigo para qualquer outra área ou função? Se a resposta for afirmativa, que medidas podem ser tomadas para reduzir ou eliminar conflitos? Há salas apropriadas para o manuseio e armazenamento especial de resíduos? Onde devem estar localizados em relação às áreas de geração de resíduos, caminhos utilizados para a remoção de resíduos e fornecimento de entradas de ar?

3 - Quão próximas devem ser as instalações de suporte de laboratório para os laboratórios que atendem? Existem relações críticas que afetam a saúde, a segurança ou a eficiência?

4 - Quão próximos devem estar os escritórios dos pesquisadores aos laboratórios? Os escritórios devem estar dentro de laboratórios, contíguos

com laboratórios, do outro lado do corredor, ou em uma ala separada? Quais são as implicações de saúde, segurança e eficiência de cada local?

5 - Certos laboratórios ou os serviços mecânicos que lhes são prestados devem ser isolados de outras funções ou serviços de construção por razões de saúde e segurança ou como parte necessária de seus procedimentos e operação do equipamento? (DIBERADINIS, 2001)

Nesse contexto, é necessário pensar na divisão dos espaços considerando o fluxo de pessoas e materiais, a distribuição de equipamentos e serviços técnicos de apoio (áreas técnicas), os elementos arquitetônicos e estruturais condicionantes do espaço e a configuração das áreas de interação humana, ou seja, as áreas de trabalho em si. As áreas devem ser constituídas de forma a controlar as condições ambientais, como temperatura, umidade, iluminação, vibração, nível de esterilização etc. conforme a necessidade de cada atividade realizada para ensaio ou calibração, com objetivo de reduzir a contaminação entre os espaços sem prejudicar a funcionalidade e a segurança.

É na configuração dos espaços que se deve pensar no isolamento de determinadas áreas como sala limpa, e nas hierarquias de acesso, com dispositivos de restrição e autorização em decorrência das atividades, políticas de qualidade e estratégias de funcionamento do laboratório.

Vale lembrar que as definições de espaço e circulação devem estar em consonância com normas e legislações pertinentes.

6.2.4. Materiais e acabamentos internos

A escolha dos materiais é de extrema importância para o desempenho e funcionalidade do laboratório. Cada laboratório apresenta necessidades específicas de limpeza, esterilidade, resistência a materiais químicos, proteção e segurança a líquidos inflamáveis, entre outros (R. HIRATA, 2012).

Deve ser observada a atribuição de cada material e suas características mínimas de desempenho esperada para as funções de cada um. O conjunto final da composição de materiais disponibilizado e organizado no espaço deve atender às premissas de condições ambientais estipuladas ao laboratório. Por exemplo, se uma determinada sala deve manter uma temperatura homogênea, o conjunto dos materiais deve apresentar condições de desempenho que permitam conservar essa condição. O mesmo raciocínio deve ser utilizado para questões de iluminação, ruídos, umidade local etc. A escolha das cores, por exemplo, é importante na determinação para se obter níveis aceitáveis de ofuscamento. Determinados materiais tem características de reverberação ou absorção do som que favorece ou dificulta o conforto acústico.

A Tabela 8 demonstra uma lista referente às atribuições esperadas dos materiais e acabamentos por tipo de elemento construtivo:

Tabela 8. Materiais e acabamentos.

Materiais e acabamentos	
Superfícies divisórias de espaços	As superfícies divisórias de espaços devem apresentar características adequadas à função e ao nível de desempenho esperado: nível de resistência a fogo, coeficiente de polidez das superfícies, opacidade x transparência para efeitos de visualização e segurança, comportamento e acabamentos das junções e vincos, estanqueidade, impermeabilidade, desempenho térmico, desempenho acústico, etc. As divisórias leves impõe uma maior flexibilidade na mudança de layouts, ao contrário de paredes em alvenaria, por exemplo.
Acabamentos das paredes envoltórias	Os acabamentos das paredes envoltórias seguem os mesmos princípios das paredes divisórias, com o acréscimo da perspectiva da relação entre o ambiente interno e externo. A escolha de materiais adequados ao clima e ao entorno, a relação entre áreas opacas X áreas transparentes ou translúcidas, acrescentam algumas variáveis na decisão dos materiais destas superfícies.
Janelas e visores	Janelas e visores tem a atribuição de assegurar a visualização entre espaços, atendendo requisitos de segurança ou conforto visual. A função de cada espaço deve determinar o tipo de material dos caixilhos e a especificação de desempenho dos vidros, se pode ser permitida ou não a abertura destas superfícies. Deve-se verificar a necessidade de vidros duplos, junções, tipos de abertura (se possível), entre outros.
Pisos	Os pisos devem ser antiderrapante e seguros para a prevenção de acidentes ao mesmo tempo em que a superfície deve ser lisa para atender requisitos de limpeza. Deve apresentar resistência a produtos químicos, ter resistência física mínima adequada contra impactos, por vezes é necessário avaliar a necessidade de um piso monolítico para evitar áreas de rejunte, etc
Teto	O teto das instalações pode apresentar forro para ocultar instalações técnicas ou ser aparente. Em ambos os casos, a escolha de materiais deve ser de fácil limpeza e resistência. O teto tem importância na distribuição interna da luz, então sua superfície deve considerar cor e material que favoreça a distribuição e não provoque ofuscamento nos usuários.
Portas	As portas devem apresentar materiais resistentes a impactos, ergonomia e serem dimensionadas adequadamente. Portas de abrir ou de correr devem atender requisitos para a passagem de pessoas e equipamentos em segurança, desta forma é importante que todas contenham visor transparente para identificação da passagem.
Bancadas e mobiliários de laboratório	Os materiais e acabamentos devem considerar o tipo de material, instrumentos e equipamentos a serem manuseados no local, de forma a dimensionar sobrecargas, especificar os materiais acabamentos adequados para limpeza, resistência a produtos químicos, arestas e outras especificidades ergonômicas, impermeabilidade a água, etc
Rodapé e rodadeto	As junções de superfícies em geral devem ser pensadas para evitar o acúmulo de impurezas. Em casos onde deve haver controle de particulados e poeira, deve-se pensar em rodapés e rodadetos de formato curvo e materiais resistentes.

Fonte: WHO, 2004; R. HIRATA, 2012)

6.2.5. Climatização e temperatura

O projeto arquitetônico das áreas de laboratório e suporte técnico deve considerar todos os aspectos do comportamento térmico da construção para atingir os níveis mandatórios de temperatura, incluindo conformação da climatização mecânica de refrigeração ou aquecimento, adequação de vedações envoltória (paredes e janelas) do espaço quanto a material e formato para minimizar trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação e assim garantir o máximo de eficiência energética possível.

Na grande maioria dos casos, laboratórios demandam sistemas de controle de temperatura e umidade rigorosos para atender as necessidades de ensaios e calibrações. Para atingir tal desempenho, equipamentos de condicionamento de ar são empregados a fim de cumprir as necessidades térmicas e ambientais, independente das condições externas (LAMBERTS et al, 2014)

Pensando na racionalização do consumo energético e em condições de bem-estar laboral, é necessário o dimensionamento acertado no desempenho dos sistemas artificiais de climatização, de forma a não impor uma sobrecarga de consumo ou fadiga ao usuário causada pela termorregulação³⁸ do corpo acima da média, enquanto o ensaio ou calibração tem pouca variação acerca da temperatura do ambiente.

Nesse sentido, torna-se fundamental uma análise acerca das demandas de temperatura diretamente ligadas ao ensaio ou calibração em si, e o quanto se pode considerar o fator de conforto térmico relacionado aos indivíduos usuários do espaço e responsáveis pelas análises laboratoriais.

De fato, há determinados ensaios que demandam temperaturas fora da faixa de conforto humano, o que representa um esforço extra do organismo para manter seu balanço energético e por consequência queda do potencial de trabalho. O importante nesse caso é entender como a temperatura ambiente reflete em diversos campos do funcionamento laboratorial e a solução arquitetônica não pode estar isolada do raciocínio geral das atividades executadas no local.

Nessa circunstância, deve haver uma conciliação na dinâmica do laboratório para combinar a garantia de um resultado confiável do ensaio ou calibração ao mesmo tempo que as pessoas envolvidas possam desenvolver suas atividades em plena capacidade. Nem sempre as regulagens de temperatura nas áreas laboratoriais poderão seguir o padrão de conforto ambiental e nem sempre será a arquitetura que definirá uma adaptação voltada ao

³⁸ Termorregulação: mecanismo natural de controle interno do organismo dos animais homeotérmicos para regular os ganhos ou perdas de energia em forma de calor. Nos seres humanos, a termorregulação em reação ao frio ocorre por meio da vasoconstrição, arrepios e tiritar e em reação ao calor por meio da vasodilatação e exsudação. A experiência do conforto térmico nos organismos humanos é atingida quando o corpo perde calor produzido por seu metabolismo ao ambiente sem acionar nenhum mecanismo de termorregulação (FROTA et al, 2003).

indivíduo. Dessa forma, é necessário conformar essas necessidades seja por meio de soluções arquitetônicas quando possível ou adaptações do método a um controle do tempo de permanência viável ao conforto humano, roupas especiais etc.

Vale lembrar, que em qualquer das situações, deve-se considerar questões acerca da sustentabilidade, em que o desempenho da envoltória é fundamental para a racionalização do consumo energético pelos equipamentos de climatização mecânica do local.

6.2.6. Iluminação

Na rotina de atividades de um laboratório, existem diversos tipos de demanda em relação a desempenho de iluminação. A função destinada a cada espaço deve ser o parâmetro definidor do “tipo” de luz mais adequado ao ambiente (GONÇALVES et al, 2011).

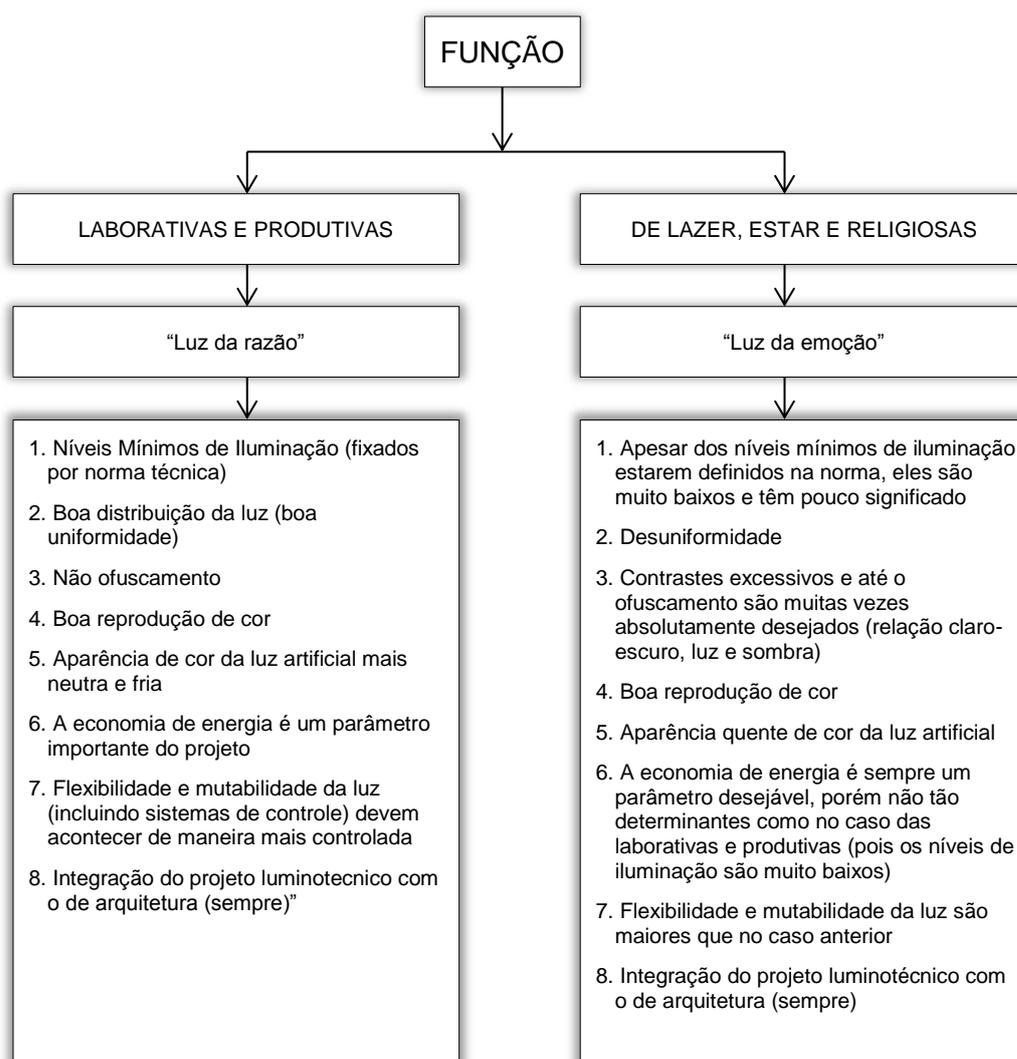


Figura 14. Parâmetros para projeto de iluminação. Fonte: adaptado de Arqto. Nelson Solano in (GONÇALVES et al, 2011)

Encontrada dentro dos parâmetros de luz racionais, com funções laborais e produtivas, a iluminação de um laboratório deve apresentar suficiência para cada tipo de atividade, considerando as necessidades técnicas para os ensaios e calibrações, bem como observar questões de conforto visual aos usuários (R. HIRATA, 2012).

Determinados tipos de amostras são fotossensíveis, o que requer a existência de salas escuras, com entrada de luz controlada, dimerização e tipos especiais de lâmpadas com espectros de luz que não danifiquem os materiais de amostragem. Nesse caso, a restrição técnica não permite que condições de conforto ambiental para o usuário sigam os parâmetros de níveis mínimos de iluminação estabelecidos por normas técnicas ou para o conforto visual do usuário.

Em casos em que não há demandas técnicas específicas de iluminação, deve-se observar o conceito de conforto visual do usuário. A depender da atividade desenvolvida, o plano de trabalho deve receber uma certa quantidade de luz, distribuída de uma determinada forma e com limitação de contrastes excessivos. A quantidade de luz varia de acordo com a demanda da acuidade necessária para o desenvolvimento de atividades, e, do ponto de vista fisiológico, com o menor esforço de adaptação possível, que é o que determina a condição de conforto do usuário (GONÇALVES et al, 2011).

Na iluminação, os principais pontos para caracterizar objetivamente a luz são a iluminância, a luminância, o ofuscamento e a reprodução de cor proporcionada. A iluminância³⁹ é a luz incidente em uma determinada superfície ou objeto e é medida pela unidade Lux (lx). Como os raios luminosos não são visíveis, a grandeza de iluminância não é perceptível pelo sentido da visão. Já a luminância está relacionada a percepção humana e está atrelada as características de reflexão dos materiais e da forma da superfície. Ou seja, uma vez que as superfícies possuem diferentes capacidades de reflexão da lux, uma certa iluminância (quantidade de luz incidente) pode gerar diferentes luminâncias (percepções visuais) (GONÇALVES et al, 2011).

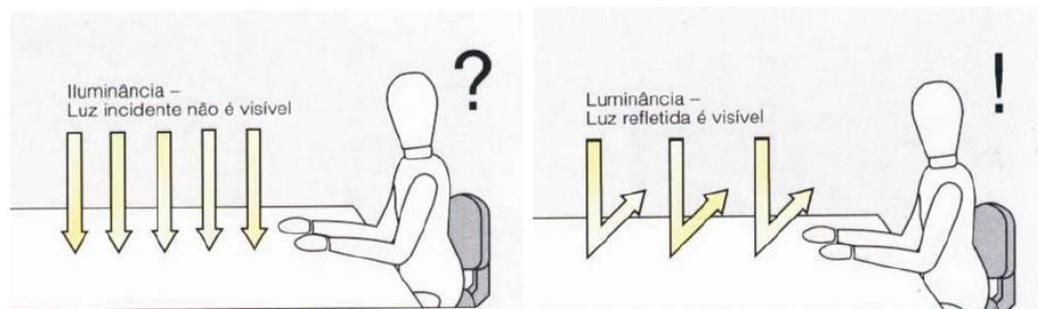


Figura 15. Iluminância e Luminância. Fonte: Catálogo comercial OSRAM (2010/2011) in GONÇALVES et al, 2011.

³⁹ A iluminância também pode ser chamada de iluminamento ou iluminação.

O ofuscamento é a sensação visual produzida por áreas de variação muito grande de iluminância, podendo ocorrer por contraste, quando a proporção entre as luminâncias sejam superior a 10:1 ou por saturação, que ocorre na exposição à luminância excedente a 25000 lx (LAMBERTS et al, 2014).

A reprodução de cor está associada a capacidade da luz incidente reproduzir cores, onde a referência é a luz natural, em que sua reprodução é considerada como 100%. As lâmpadas comerciais reproduzem objetos ou superfícies com diferentes tonalidades e essa variação está relacionada à capacidade de reprodução de cada lâmpada (GONÇALVES et al, 2011).

Para atividades em metrologia e laboratórios, a NBR ISO/CIE 8995⁴⁰ estabelece a iluminância na área de tarefa em 500 lux, limitação de ofuscamento de 19 e qualidade da cor de 80. Em atividades em que o trabalho visual é crítico, a norma prevê o aumento de iluminância em um nível na escala normalizada. A norma ainda estabelece parâmetros de uniformidade na distribuição de luz na área de tarefa, cujo valor não poderá ser inferior a 0,70 (ABNT, 2013).

Tabela 9. Valores referenciais da norma NBR ISO/CIE 8995 de 2013. Destacado os valores referentes às atividades laboratoriais.

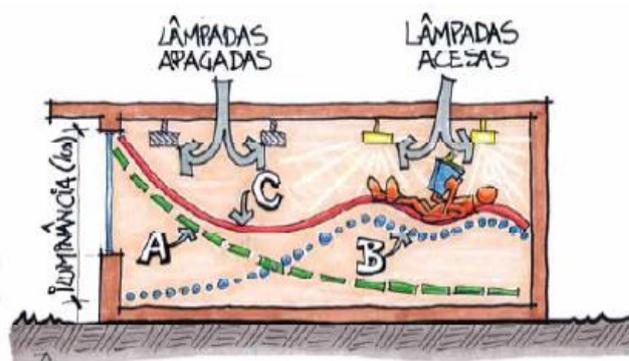
Escala de Iluminância - E _m lux							
20 - 30 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 - 5000 lux							
Escala do Ofuscamento - UGR _L							
Mais confortável	13	16	19	22	25	28	Menos confortável
Reprodução da cor (em relação a luz natural) - R _a							
Reprodução mínima prevista	20	40	60	80	90	100	Luz natural

Fonte: NBR ISO/CIE 8995 de 2013.

Na iluminação de ambientes de laboratório, a iluminação natural definida pelas relações entre superfícies transparentes e superfícies opacas adotadas pela envoltória deve aproveitar ao máximo a iluminação natural proveniente do exterior, pensando na sustentabilidade e no conforto ambiental quando as demandas técnicas de ensaios forem permissivas. A associação oportuna entre iluminação natural e artificial ocasiona numa melhor uniformidade na distribuição da iluminação, mantém os níveis de conforto, melhora a condição geral da luz no ambiente e mantém os níveis de conforto independente das condições externas de iluminação (LAMBERTS et al, 2014). Nesse sentido, é importante balancear a quantidade de iluminância em todo o espaço utilizando-se das iluminações naturais e artificiais, uma vez que a disponibilidade de luz natural diminui rapidamente com o

⁴⁰ ABNT NBR ISO/CIE 8995 de 2013: Iluminação de ambientes de trabalho

distanciamento da janela e é possível uniformizar a distribuição da luz pelo projeto de luminotécnica, como demonstra a Figura 16.



- A = iluminação natural
- B = iluminação artificial
- C = combinação dos dois sistemas (distribuição dos níveis de iluminação muito mais uniforme)

Figura 16. integração entre luz natural e artificial. Fonte Luciano Dutra (LAMBERTS et al, 2014)

6.2.7. Ergonomia

A questão do conforto ergonômico em ambientes de trabalho tem relação com a saúde e a segurança dos usuários. Uma vez que a fadiga física e muscular ocasionada pela repetição de determinados movimentos ou uma postura replicada diariamente pode gerar doenças como as DORTs (Doenças Orteomusculares Relacionadas ao Trabalho). Mobiliários, distribuição de acessos, locais de armazenamento, materiais e acabamentos de superfícies devem ser pensados de forma a contemplar diversos conceitos ergonômicos no ambiente de trabalho.

As bases da fundamentação da prática ergonômica são norteadas por três pressupostos: a interdisciplinaridade, a análise de situações reais e o envolvimento dos sujeitos. A abordagem interdisciplinar reúne a relação entre saúde, conforto e trabalho, incorporando questões acerca do posto de trabalho em si, sistemas de comunicação e a forma de organização do trabalho, cujas informações dependem de uma observação sistemática de situações reais de trabalho e de como os usuários se envolvem no processo de análise, recomendações e concepção das soluções (ABRAHÃO et al, 2009).

Analisar as situações reais de trabalho significa interpretar a atividade laboral, que compreende o que de fato é executado pelo usuário e a forma como ele consegue desenvolver suas tarefas. Pensar a organização dos espaços de trabalho tem relação com a natureza da atividade, fluxos de deslocamento, acessibilidade aos objetos, da posição em que é realizado (sentado ou em pé), com a linearidade de objetos e a impressão subjetiva de ordem e desordem (ABRAHÃO et al, 2009).

A formulação da organização interna do edifício de laboratório começa com uma decisão sobre as dimensões do módulo de laboratório. Essa tarefa redireciona o foco de planejamento da grande escala da facilidade total até a pequena escala de um único módulo de laboratório. Diberadinis (2001) entende que o módulo deve ser construído a partir das atividades previstas e interações entre duas pessoas, e a partir disso, são definidas determinadas dimensões modulares, como uma unidade básica de espaço para a execução de tarefas de dois usuários. (DIBERADINIS, 2001)

Nas salas de ensaios e calibrações, a especificação para dimensões ideais de um corredor padrão devem derivar dos fatores ergonômicos relacionados ao alcance através e acima das superfícies de trabalho, movendo e virando, e nessas situações considerar um módulo parametrado por dois indivíduos. Um corredor flanqueado por superfícies de trabalho deve ser planejado considerando que uma pessoa possa circular por detrás de outro que esteja trabalhando em uma das áreas de bancada. Ao mesmo tempo em que ampliar demasiado a passagem pode representar entraves na logística das atividades ou mesmo o espaço sobressalente se tornar local de armazenamento de outros tipos de equipamentos que prejudiquem as atividades (DIBERADINIS, 2001).

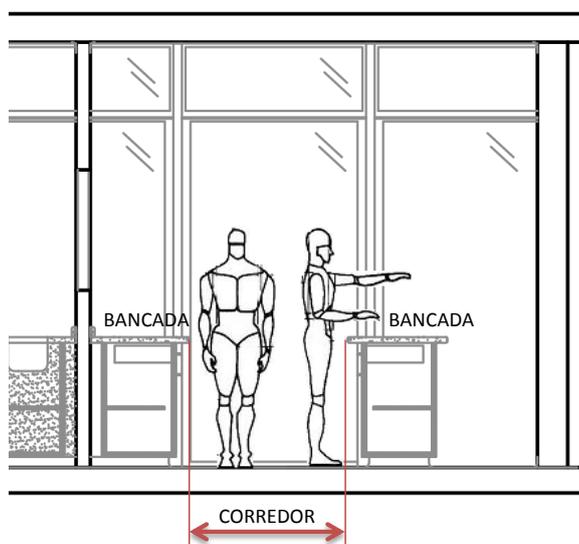


Figura 17. Dimensionamento de corredor. Fonte: autora, 2017

No caso de edifícios existentes, convertidos para uso em laboratório, pode não ser possível utilizar um planejamento modular no projeto das áreas técnicas laboratoriais. Mas ainda que não haja uma padronização, as questões ergonômicas devem ser incorporadas para o correto planejamento das atividades (DIBERADINIS, 2001).

6.2.8. Qualidade do ar: ventilação e exaustão

O meio para garantir a qualidade do ar nos ambientes internos, de forma a remover as impurezas possivelmente existentes e manter os níveis de oxigênio em patamares

adequados, se dá pela renovação do ar com a qualidade esperada em tais espaços. A renovação do ar é possível por meios passivos, quando ocorre a ventilação natural, ou produzida por meios mecânicos, como ventiladores, exaustores e insufladores de ar (BITTENCOURT et al, 2010).

Em ambientes de laboratórios, manter padrões mínimos de qualidade do ar interno são importantes para assegurar a saúde e a segurança dos usuários. Pela natureza das atividades laboratoriais, o funcionamento de determinados equipamentos e o manuseio de reagentes, solventes, amostras biológicas, entre outros, pode gerar a contaminação do ar por aerossóis, vapores, gases asfixiantes e irritantes, organismos patogênicos etc. caso não sejam tomadas precauções necessárias (M. HIRATA, 2012).

A depender das atividades desempenhadas nos espaços de laboratório, o dimensionamento para a renovação do ar pode ocorrer por aberturas nas fachadas ou cobertura, aproveitando a diferença natural de pressão entre os ambientes. No entanto, pensando na segurança e saúde dos indivíduos, em geral, o sistema de renovação do ar ocorre de forma mecanizada, por uma diferença de pressão artificial criada por insufladores e exaustores.

Devem ser avaliadas as necessidades como a taxa de renovação do ar, o equilíbrio de pressão e a filtragem de ar requerida, associando-se essas demandas à climatização de ambientes, no controle de temperatura e umidade relativa (R. HIRATA, 2012).

O manuseio de substâncias químicas voláteis e de determinados grupos de organismos biológicos deve ser realizado em mobiliário dotado de coifas ou em capelas de segurança de forma a garantir que os usuários evitem o contato com ar contaminado por estes materiais. Coifas e capelas realizam aspiração de ar interno, criando uma pressão negativa no espaço e dessa forma também devem ser consideradas no balanço da renovação do ar (R. HIRATA, 2012).

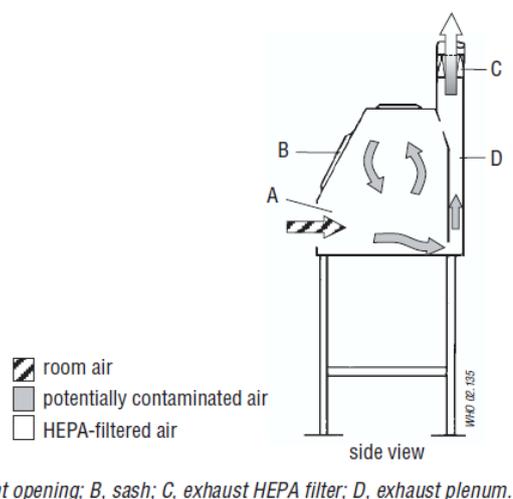


Figura 18. Desenho esquemático de capela biológica classe 1. Fonte: WHO, 2004.

Os dutos de exaustão devem ser adequados e devidamente vedados para que o ar carregado de substâncias possivelmente explosivas, tóxicas, corrosivas ou contaminadas por organismos patogênicos possam ser exauridos corretamente (R. HIRATA, 2012).

6.2.9. Acústica

É considerado ruído todo o som assimilado como desagradável. Essa percepção é subjetiva e varia de pessoa para pessoa (SIMÕES, 2011). A exposição excessiva a ruídos pode levar a fadiga nervosa e em casos extremos o desenvolvimento de doenças (FROTA et al, 2003).

Nas edificações, o desempenho acústico apresenta dois tipos distintos e independentes de ocorrência. O primeiro é chamado de absorção sonora, que determina a qualidade acústica interna dos edifícios para as fontes de som e de recepção presentes num mesmo ambiente. O segundo, a transmissão sonora, é um fenômeno em que fonte de som e de recepção encontram-se em ambientes distintos e o som se transmite por meio dos materiais que configuram o ambiente (paredes, esquadrias, etc) (SIMÕES, 2011).

Tabela 10. Absorção x Transmissão.

Acústica de Edificações		
FENÔMENOS:	ABSORÇÃO	TRANSMISSÃO
Fonte e Receptor:	Mesmo Ambiente	Ambiente Diferente
Forma de Atuar:	Condicionamento Acústico	Isolamento Acústico: - ruído aéreo - ruído estrutural
Parâmetros:	Tempo de Reverberação Inteligibilidade	Nível de Pressão Sonora NPS (dB ou dBA)
Controle:	Materiais de Revestimento E Geometria	Lei de Massa Lei de Massa-Mola-Massa

Fonte: SIMÕES, 2011

No universo dos edifícios de laboratório, que apresentam uma série diversificada de equipamentos técnicos, de climatização, exaustão, ventilação que representam potenciais fontes de ruído, o ambiente interno deve receber tratamento acústico de forma a obter uma condição de absorção ou transmissão sonora para manter os níveis de ruído adequados à atividade laboral (R. HIRATA, 2012).

É importante contemplar barreiras acústicas nas fontes de ruídos, com a instalação de abafadores, por exemplo, e trabalhar o projeto arquitetônico de forma integrada com as

fontes de ruído, pela forma do espaço e pela escolha adequada de materiais (R. HIRATA, 2012).

6.2.10. Segurança e prevenção de incêndio

As questões de segurança e prevenção de incêndio devem ser contempladas desde a concepção do projeto de arquitetura de edifícios laboratoriais (R. HIRATA, 2012).

Corredores para saída de emergência devem ser adequadamente projetados, considerando dimensões para evacuação rápida, sinalização visível, espaço com visibilidade proporcionada por iluminação adequada e materiais seguros antiderrapantes. Portas corta-fogo e barras antipânico, alarmes e equipamentos de proteção devem ser considerados. Hidrantes e extintores de incêndio devem ser instalados em locais estratégicos e de fácil visualização, assim como equipamentos de proteção coletiva, como chuveiros de emergência e lava-olhos também devem ser contemplados no projeto seguindo estas características (WHO, 2004).

A visibilidade geral de laboratórios também é importante à medida que seja possível que usuários de outros espaços possam ter conhecimento de acidentes para prestar socorro ou acionar os responsáveis pela segurança. Dessa forma, é recomendável que sejam instalados visores ou divisórias transparentes em locais adequados do laboratório (WHO, 2004).

6.2.11. Utilidades de laboratório

Dentre as utilidades de laboratório a serem consideradas, o responsável técnico pela implantação das estruturas deve analisar as demandas, dimensionar as utilidades e compatibilizar os projetos complementares com o arquitetônico na fase de planejamento conforme as recomendações de WHO (2004) e R. Hirata (2012):

- fornecimento de instalações elétricas, com distribuição de carga elétrica compatível com equipamentos e iluminação artificial, incluindo previsão de ampliações de carga para atualizações tecnológicas ou reestruturações futuras. Deve-se prever sistemas de emergência para iluminação e equipamentos, com gerador, *no-breaks* e outras demandas identificáveis para o funcionamento local. Os sistemas elétricos devem ser posicionados de forma compatível com outras instalações, evitando contato com derramamento de líquidos que possam causar curto circuito;

- um abastecimento confiável de água de boa qualidade é essencial, com avaliação para fornecimento de água destilada ou deionizada;

- fornecimento de linhas para vácuo, gás comprimido, gás natural, entre outros. Deve-se empregar o uso de cores para identificar as canalizações e facilitar a manutenção, seguindo as normas vigentes;

- fornecimento adequado de gases líquidos e especiais, a depender da demanda do laboratório, com previsão de instalações de cilindros em área externa protegida e dotada de ventilação natural.

6.2.12. Tratamento e descarte de resíduos

Resíduos são todos os materiais que devem ser descartados. Num laboratório, deve-se planejar a questão do descarte de resíduos e de tratamento de efluentes (R. HIRATA, 2012).

Segundo Santos (2009), os resíduos químicos abrangem uma ampla faixa de materiais, descritos na norma NBR 10004⁴¹, com a relação dos compostos nos anexos A e B do documento (SANTOS, 2009). Resíduos biológicos também apresentam demandas próprias de gestão, com necessidades específicas a depender da classe de contaminação do material.

Dessa forma, o projeto arquitetônico das instalações laboratoriais deve incorporar estruturas para auxiliar a gestão de resíduos, com a minimização de produção e reaproveitamento, como por exemplo, destilação de determinados solventes que se mostra bastante útil para que esse material retorne no ciclo de ensaios.

As substâncias a serem descartadas devem ter áreas de armazenamento previstas, considerando as compatibilidades químicas dos compostos. Esses locais de armazenamento devem necessariamente ser separados do ambiente de trabalho, por motivos de segurança e saúde dos usuários. Locais para a guarda de solventes devem apresentar pluques e lâmpadas antiexplosão e portas corta-fogo (R. HIRATA, 2012).

6.2.13. Sistemas de comunicação

Há uma crescente importância da Tecnologia da Informação (TI) em diversas áreas do conhecimento. Na dinâmica das atividades de laboratório, essa regra também é válida. O reflexo dessa tendência demonstra uma aproximação entre os espaços de laboratório e espaços administrativos e o incremento de conexões de cabos de rede e sistemas sem fio nos laboratórios (BRAUN et al, 2005).

Há ainda a questão da integração de monitoramento de sistemas de segurança, ventilação, refrigeração, entre outros com sistemas da tecnologia da informação (R. HIRATA, 2012).

6.3. Interpretação da NBR ISO/IEC 17025 sob o ponto de vista arquitetônico

Com base na análise das condicionantes arquitetônicas relevantes a um laboratório no item 6.2 deste trabalho, mostra-se relevante observar mais detalhadamente a abordagem

⁴¹ ABNT NBR 1004 de 2004: Classificação de resíduos sólidos

específica da NBR ISO/IEC 17025 sobre as questões arquitetônicas, em especial em seu conteúdo do item 5.3 – Acomodações e condições ambientais.

O texto da NBR ISO/IEC 17025 é direcionado à qualidade dos ensaios e calibrações e suas diretrizes não fazem referências acerca das questões de sustentabilidade no edifício e saúde, conforto e segurança dos usuários.

Dessa forma, os itens de interesse do texto da norma serão transcritos e comentados a seguir, sob o olhar dos temas arquitetônicos discutidos anteriormente:

5.1.1 Diversos fatores determinam a correção e a confiabilidade dos ensaios e/ou calibrações realizados pelo laboratório. Esses fatores incluem contribuições de:

- fatores humanos;
- acomodações e condições ambientais;
- métodos de ensaio e calibração e validação de métodos;
- equipamentos;
- rastreabilidade da medição;
- amostragem;
- manuseio de itens de ensaio e calibração. (ABNT, 2005b).

No item 5.1.1 a norma insere as questões de acomodações e condições ambientais como fatores determinantes para a qualidade dos ensaios e calibrações, e ainda que não entre no mérito da saúde e conforto dos usuários, esse item demonstra interesse nos fatores humanos que podem influenciar a confiabilidade dos dados gerados nos laboratórios. Desta forma, com base neste texto, o olhar da análise arquitetônica da NBR ISO/IEC 17025 terá sempre os fatores humanos como parâmetro de influência sob os ensaios e calibrações quando aplicáveis.

5.1.2 A extensão na qual os fatores⁴² contribuem para a incerteza total da medição difere consideravelmente entre (tipos de) ensaios e entre (tipos de) calibrações. O laboratório deve levar em conta esses fatores no desenvolvimento dos métodos e procedimentos de ensaios e calibração no treinamento e qualificação do pessoal e na seleção e calibração do equipamento que utiliza (ABNT, 2005b).

O item 5.1.2 apresenta diretrizes para ponderar a influência de cada fator dentro do sistema de gestão técnico da norma. Essa estimativa é feita a partir do cálculo de incerteza de medição⁴³. Cada tipo de ensaio ou calibração apresenta variações dos fatores componentes do cálculo da incerteza de medição. A arquitetura entra como uma dessas variáveis de influência em “acomodações e condições ambientais”.

⁴² Aqui a palavra “fatores” se refere aos sete termos elencados no item 5.1.1.

⁴³ Incerteza de medição: “parâmetro não negativo que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando, com base nas informações utilizadas” (INMETRO, 2012). A incerteza de medição descreve uma faixa de valores determinada por cálculos estatísticos necessários em consequência de variações dos fatores que envolvem o ensaio ou calibração (INMETRO, 2012). Considerando a incerteza de medição, por exemplo, o peso de um quilograma de um determinado composto é expresso por $(1,0 \pm 0,1)$ kg, ou seja, um quilograma com variação de 0,1 quilograma para mais ou para menos. Dessa forma, há uma certeza de que o peso se encontra dentro desta faixa de valores 0,9 e 1,1 kg. Em metrologia, a incerteza de medição é um elemento assertivo para a certeza de um valor.

Nos sistemas de qualidade, o Diagrama de Ishikawa⁴⁴ é um meio gráfico para identificar as fontes possíveis de incerteza. A seguir, um exemplo desse diagrama com destaque ao fator de interesse desta monografia:

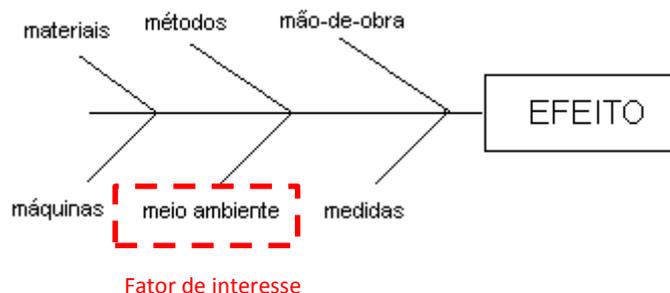


Figura 19. Diagrama de Ishikawa. Fonte: adaptado do website <http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>

A título de exemplo para contextualizar o conceito de incerteza de medição dentro das condições arquitetônicas laboratoriais, serão propostos dois cenários: o primeiro, um determinado laboratório A responsável por ensaios que apresentam variações bastante sensíveis na incerteza de medição relacionadas a alterações de quantidade de luz do ambiente; o segundo, um certo laboratório B, em que a variação de luminância demonstra significância desprezível dentro do cálculo de incerteza de medição de seu ensaio.

Nessas hipóteses, enquanto o laboratório A deve apresentar soluções arquitetônicas bastante rígidas em relação ao tipo de iluminação e ao controle quantitativo de luz, o laboratório B tem mais flexibilidade na proposição de soluções e dessa forma, pode admitir outras condicionantes relacionadas ao conforto visual dos usuários locais e a eficiência energética para um resultado arquitetônico diferente.

Logo, a incerteza de medição tem papel ativo para as definições de um projeto de arquitetura de laboratório satisfatório. Nesse caso, para a aplicação desse tema nas soluções espaciais é necessário identificar dentro da metodologia de ensaios e calibrações todas as condicionantes arquitetônicas representativas no cálculo de incerteza de medição e dessa forma incluí-las hierarquicamente dentro do programa de necessidades do edifício.

5.3 Acomodações e Condições ambientais:

5.3.1 As instalações do laboratório para ensaio e/ou calibração, incluindo mas não se limitando a fontes de energia, iluminação e condições ambientais, devem ser tais que facilitem a realização correta dos ensaios e/ou calibrações.

O laboratório deve assegurar que as condições ambientais não invalidem os resultados ou afetem adversamente a qualidade requerida de qualquer

⁴⁴ Diagrama de Ishikawa: “*também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe permite estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema ou oportunidade de melhoria*” (<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>). “*Trata de uma ferramenta gráfica utilizada para explorar e representar opiniões a respeito de fontes de variações em qualidade de processo*” (SANTOS, 2009).

medição. Devem ser tomados cuidados especiais quando são realizados amostragens, ensaios e/ou calibrações em locais diferentes das instalações permanentes do laboratório. Os requisitos técnicos para as acomodações e condições ambientais que possam afetar os resultados dos ensaios e calibrações devem estar documentados (ABNT, 2005b).

Neste item 5.3.1, a norma NBR ISO/IEC 17025 determina às instalações laboratoriais um caráter de suporte às atividades executadas no laboratório e suas áreas de apoio, uma vez que elas devem ser projetadas e construídas com o objetivo de auxiliar a correta realização dos ensaios e calibrações. A natureza do ensaio determinará o programa de necessidades e os requisitos técnicos para laboratório.

O item elenca alguns dos elementos integrantes das acomodações e condições ambientais e os insere no sistema de gestão de qualidade a partir da documentação dos requisitos pertinentes à qualidade dos ensaios e calibrações.

5.3.2 O laboratório deve monitorar, controlar e registrar as condições ambientais conforme requerido pelas especificações, métodos e procedimentos pertinentes, ou quando elas influenciam a qualidade dos resultados. Deve ser dada a devida atenção, por exemplo, à esterilidade biológica, poeira, distúrbios eletromagnéticos, radiação, umidade, alimentação elétrica, temperatura e níveis sonoro e de vibração, conforme apropriado para as atividades técnicas em questão. Os ensaios e/ou calibrações devem ser interrompidos quando as condições ambientais comprometerem os resultados” (ABNT, 2005b).

O atendimento desse item deriva em primeiro lugar do funcionamento administrativo da gestão do laboratório, uma vez que são requisitados procedimentos de monitoramento, controle e registro das condições ambientais do local pertinentes às análises e calibrações. Ou seja, é importante ter entendimento dos métodos adotados e das atividades desenvolvidas para assim ser possível elencar as condições ambientais monitoráveis. Um bom projeto arquitetônico e projetos complementares devem incorporar soluções que prevejam essas questões numa perspectiva de vários olhares, e nesse aspecto, deve-se observar quais pontos de segurança, saúde e sustentabilidade podem estar incorporadas nessas soluções.

Para ilustrar, é possível ponderar desdobramentos pressupostos acerca de um dos termos mencionados pelo item da norma, por exemplo, a temperatura. Em geral, as análises e calibrações exigem a permanência em faixas de temperatura fixas, com limitações de oscilação mais ou menos restritivas vinculadas ao tipo de metodologia adotada.

Nesse exemplo, então, interpreta-se o item 5.3.2 da norma como um requisito em que o projeto arquitetônico deve considerar todos os aspectos do comportamento térmico da construção para atingir os níveis mandatórios de temperatura. E isso inclui conformação da climatização mecânica de refrigeração (ou aquecimento), adequação da envoltória (paredes e janelas) do espaço quanto a material e formato para minimizar trocas térmicas entre o

interior e o exterior da edificação e assim garantir o máximo de eficiência energética possível, além do fator de conforto térmico relacionado aos indivíduos responsáveis pela análise. Em eventuais demandas de temperatura fora da faixa de conforto humano, a arquitetura não é a área de conhecimento que dará a solução do problema.

O importante nesse caso exemplificado é entender que um único fator, como a temperatura ambiente, reflete em diversos campos do funcionamento laboratorial e a solução arquitetônica não pode estar isolada do raciocínio geral das atividades executadas no local.

5.3.3 Deve haver uma separação efetiva entre áreas vizinhas nas quais existam atividades incompatíveis. Devem ser tomadas medidas para prevenir contaminação cruzada” (ABNT, 2005b).

O espaço do laboratório deve apresentar uma configuração determinada pelas atividades desempenhadas, ou seja, incompatibilidades devem necessariamente ser separadas por estruturas físicas adequadas e materiais com desempenho esperado. No âmbito da arquitetura, este item da norma é uma paráfrase do preceito consagrado pela arquitetura moderna, “a forma segue a função”⁴⁵. Vale lembrar que as questões que determinam a forma devem seguir parâmetros diversos e não apenas os aspectos puramente técnicos.

5.3.4 O acesso e uso de áreas que afetem a qualidade dos ensaios e/ou calibrações devem ser controlados. O laboratório deve determinar o nível do controle, baseado em suas circunstâncias particulares (ABNT, 2005b).

O item 5.3.4 se refere à proteção aos laboratórios, onde o sistema de gestão deve determinar hierarquias de acesso para seus espaços. Uma vez escalonadas as permissões, o projeto deve prever as barreiras de controle adequadas, sem prejudicar outras funcionalidades como rotas de fuga e ergonomia, por exemplo.

5.3.5 Devem ser tomadas medidas que assegurem uma boa limpeza e arrumação no laboratório. Onde necessário, devem ser preparados procedimentos especiais (ABNT, 2005b).

A ergonomia, sistemas para a conservação da qualidade do ar, escolha de materiais e o formato dos acabamentos são determinantes para o atendimento deste item. Alguns exemplos práticos são insufladores com filtros eficientes, bancadas com materiais adequados, cantos arredondados para evitar acúmulo de poeira, superfícies lisas e pisos de bom desempenho. A arrumação no laboratório determina espaços apropriados e ergonômicos para armazenamento de instrumentos, equipamentos, aventais, reagentes

⁴⁵ Frase de Louis Sullivan, um dos arquitetos precursores da arquitetura modernista mundial.

entre outros. Materiais especiais ou perigosos devem receber soluções adequadas às suas condições.

Ainda que não esteja diretamente ligado ao tema de “acomodações e condições ambientais”, o item 5.8.4, inserido dentro do fragmento 5.8 referente a “Manuseio de itens de ensaio e calibração” complementa o item 5.3.5:

5.8.4 O laboratório deve ter procedimentos e instalações adequadas para evitar deterioração, perda ou dano no item de ensaio ou calibração durante o armazenamento, manuseio e preparação. As instruções para manuseio fornecidas com o item devem ser seguidas. Quando os itens tiverem que ser armazenados ou acondicionados sob condições ambientais especificadas, estas condições devem ser mantidas, monitoradas e registradas. Quando um item de ensaio ou calibração, ou parte dele, tiver que ser mantido em segurança, o laboratório deve ter meios de armazenamento e segurança que protejam a condição e a integridade desses itens ou partes deles (ABNT, 2005b).

Neste item, além das questões de arrumação do laboratório, na prática do dia-a-dia dos ensaios e calibrações, o local de trabalho deve oferecer condições adequadas para o desempenho das atividades, e no que se refere a manuseio e preparação, além de garantir a integridade dos instrumentos e equipamentos, mais uma vez, há uma correlação inerente entre o bom funcionamento da aparelhagem laboratorial e a boa performance dos recursos humanos envolvidos, estes, entre outros aspectos, influenciados pela ergonomia disponibilizada pelo espaço.

7. Estudo de Caso: análise arquitetônica em um Laboratório de Toxicologia

Este estudo de caso faz uma análise das condicionantes arquitetônicas e projeto do Laboratório de Toxicologia da CETESB, localizado na cidade de São Paulo e implantado para realizar ensaios toxicológicos de metais pesados em organismos aquáticos como forma de determinar os níveis de qualidade dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGRHI6).

Para a implementação do programa de pesquisa, era necessário realizar a adequação do laboratório, com ampliação de área em construção existente e instalação de novas infraestruturas.

7.1. Programa de pesquisa

A seca histórica nos anos de 2014 e 2015 colocou em evidência a necessidade do aperfeiçoamento constante na gestão ambiental da água, em especial aqueles que abastecem áreas de grande adensamento populacional. Os recursos hídricos procedentes da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (UGRHI6), particularmente aqueles provenientes dos reservatórios Billings e Guarapiranga, são estratégicos para o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

O adensamento urbano e a presença de indústrias no entorno dos mananciais são situações desafiadoras para a gestão ambiental dos dois reservatórios, onde o aproveitamento hídrico dos recursos é utilizado para abastecimento público, aproveitamento hidrelétrico, recreação, irrigação, navegação e pesca.

Neste contexto, o programa de pesquisa relativo ao estudo de caso tem como objetivo realizar uma avaliação integrada da contaminação ambiental dos reservatórios Billings e Guarapiranga, com estudos para a quantificação de frações totais e especiação⁴⁶ de metais e compostos organometálicos⁴⁷ em amostras biológicas, em especial peixes, bem como caracterização química na água, sedimento e macrófitas.

O programa de pesquisa, então, segue o seguinte método analítico para os ensaios⁴⁸:

- a) Coleta de amostra: o programa utiliza equipe e pontos de coleta de amostras preexistentes da rede de monitoramento para os Índices de Qualidade da Água, com determinados procedimentos específicos para os ensaios deste projeto. São

⁴⁶ Na área química, qualquer elemento, composto ou íon de interesse é chamado de espécie. Um mesmo elemento pode se apresentar em diferentes formas (espécies) e cada uma delas impõe características e níveis de toxicidade próprios. Pela especiação é possível determinar a forma química em que o elemento de interesse se encontra e assim estabelecer sua toxicidade (HARRIS, 2013).

⁴⁷ Compostos organometálicos são substâncias orgânicas com pelo menos um átomo de metal ligado a um átomo de carbono. Em geral, a forma orgânica dos metais é mais tóxica aos seres vivos uma vez que são mais solúveis em meios orgânicos e podem se acumular nos tecidos celulares.

⁴⁸ O método transcrito é uma síntese do projeto de pesquisa apresentado por CETESB (2012b), das entrevistas com os profissionais responsáveis e das etapas de sequência analítica definidas por Krug (2008).

parte das amostras água, sedimento, peixes e outros seres aquáticos destes locais;

- b) Pré-preparo da amostra bruta: neste processo, a amostra laboratorial recebe um tratamento para homogeneização adequada para a medição do analito. Esta etapa é realizada em área de apoio preexistente;
- c) Preparo de amostra para testes: esta etapa é um segundo processo de tratamento de amostra, para diluição e/ou concentração da amostra, a ser realizada no laboratório de Toxicologia deste estudo de caso;
- d) Medição: é a obtenção da quantificação do analito nas alíquotas de amostras submetidas a leitura digital aos equipamentos transdutores deste projeto. São quatro equipamentos descritos a seguir:
 - Espectrômetro de Emissão Atômica de Massa (ICP-MS⁴⁹): este equipamento analisa e quantifica elementos na forma química (átomos e moléculas). O ICP-MS é capaz de identificar quase todos os metais contidos na tabela periódica e apresenta capacidade de resposta de quantificação extremamente sensível e limites de quantificação em baixíssimas concentrações. Neste programa de pesquisa, para quantificações de compostos específicos, o ICP-MS será utilizado em conjunto com um cromatógrafo líquido, que possui a função de separar os compostos organometálicos antes da quantificação pelo espectrômetro;
 - Espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite: apresenta as mesmas funcionalidades do ICP-MS, no entanto, os elementos identificáveis são mais restritos. Em contrapartida, o forno de grafite requisita apenas um pré-preparo mínimo de amostra, em um volume muito reduzido;
 - Analisador Direto de Mercúrio: este equipamento analisa amostras sólidas, líquidas e gasosas para identificar e quantificar mercúrio total, ou seja, este equipamento não realiza a especiação do elemento mercúrio nas amostras. Este analisador requer pouco pré-preparo nas amostras e seu tempo de medição é de 5 minutos, o que permite produtividade nas análises.
 - Analisador Automático de Metil-mercúrio: equipamento para análise de amostras para identificação e quantificação de metil-mercúrio, uma espécie mais tóxica aos seres vivos deste elemento químico. Este equipamento apresenta um limite de quantificação bastante baixo e seu tempo de medição é de 6 a 7 minutos, o que define alto rendimento.

⁴⁹ Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry.

Para a implantação deste programa de pesquisa, o Laboratório de Toxicologia existente não apresentava condições de comportar toda a estrutura básica descrita. Desta forma, era necessário reformar o laboratório existente, com ampliação da área útil, uma vez que, além de adequar o local para este programa de pesquisa, o laboratório deveria contemplar melhorias para as acomodações existentes para análises em um novo programa de pesquisa com objetivo para atender a convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes⁵⁰ (POPs) a qual o Brasil é signatário desde 2004. Para este futuro programa, a previsão é de compartilhamento das instalações relacionadas ao preparo de amostras para testes e instalações para a utilização de três novos cromatógrafos.

Desta forma, o projeto arquitetônico do laboratório relacionado a este estudo de caso, irá considerar as necessidades derivadas dos procedimentos vinculados às etapas de preparo de amostras para testes e medição do programa de pesquisa, bem como e as previsões de infraestrutura para a análise de POPs.

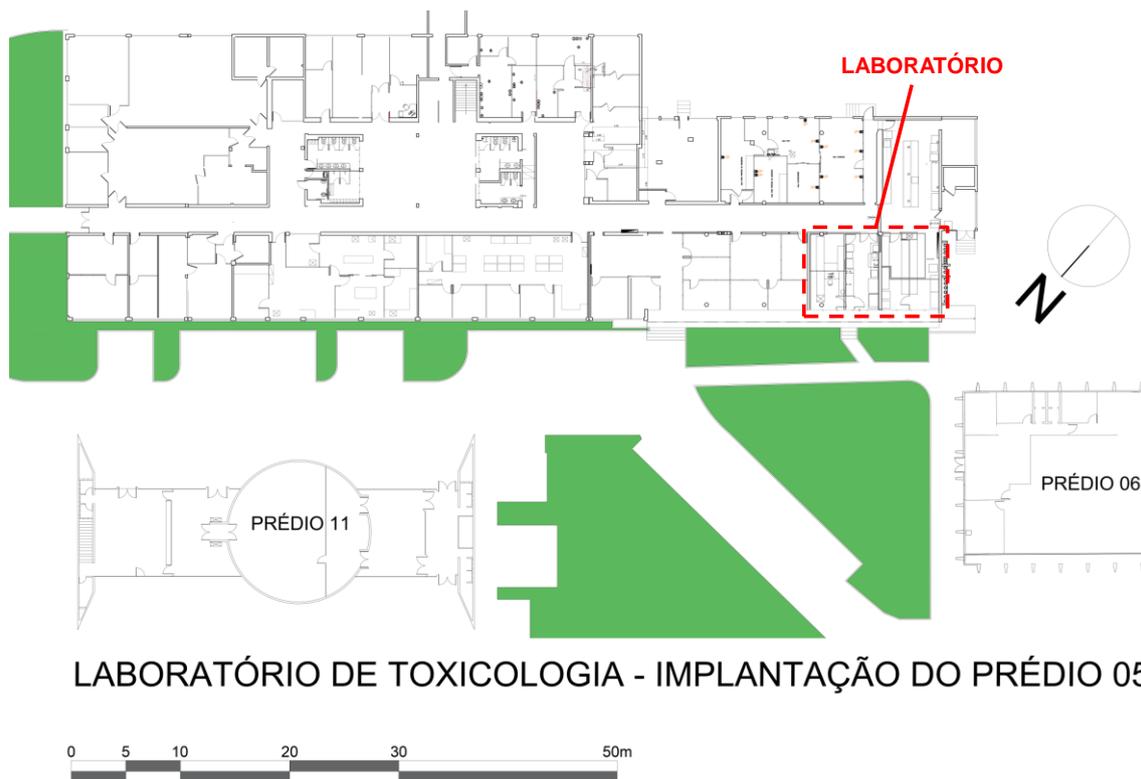
7.2. Visita de campo para referências arquitetônicas

Durante a elaboração do projeto, foram realizadas visitas nos laboratórios de alimentos do ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos) em Campinas e nos laboratórios da empresa Agilent em Barueri, fabricante de equipamentos analíticos. Ambos laboratórios visitados foram escolhidos por apresentarem equipamentos semelhantes, com potencial de quantificação de analitos em baixíssimas concentrações.

7.3. Local de implantação do laboratório

O local de implantação do novo laboratório está localizado dentro de um edifício para uso exclusivo de atividades laboratoriais. O edifício não foi concebido para abrigar atividades de laboratório, sendo adaptado posteriormente para este uso. Como curiosidade, este edifício foi o primeiro prédio da CETESB e inicialmente funcionava toda a parte administrativa e diretorias da Companhia.

⁵⁰ “A Convenção de Estocolmo é um tratado internacional que visa a proteção da saúde humana e do meio ambiente, contra os efeitos das substâncias químicas conhecidas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Essas substâncias, que apresentam ampla distribuição geográfica, permanecem nos ecossistemas por longos períodos, além de se acumularem no tecido adiposo dos seres vivos, podendo causar sérios riscos à saúde humana, animal e ao meio ambiente”. Fonte: <http://pops.cetesb.sp.gov.br/>



LABORATÓRIO DE TOXICOLOGIA - IMPLANTAÇÃO DO PRÉDIO 05

Figura 20. Implantação do Prédio 05 e localização do Laboratório de Toxicologia. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

O laboratório existente a ser reformado estava dividido em três salas, sendo uma destinada ao preparo de amostras para testes e outras duas para equipamentos analíticos. No espaço reservado a ampliação do laboratório, funcionava as instalações provisórias do Laboratório de Química Orgânica, que permaneceu por cerca de 2 anos no local enquanto o laboratório definitivo permanecia em reforma. O pé-direito de ambas as salas é de 3,00m.

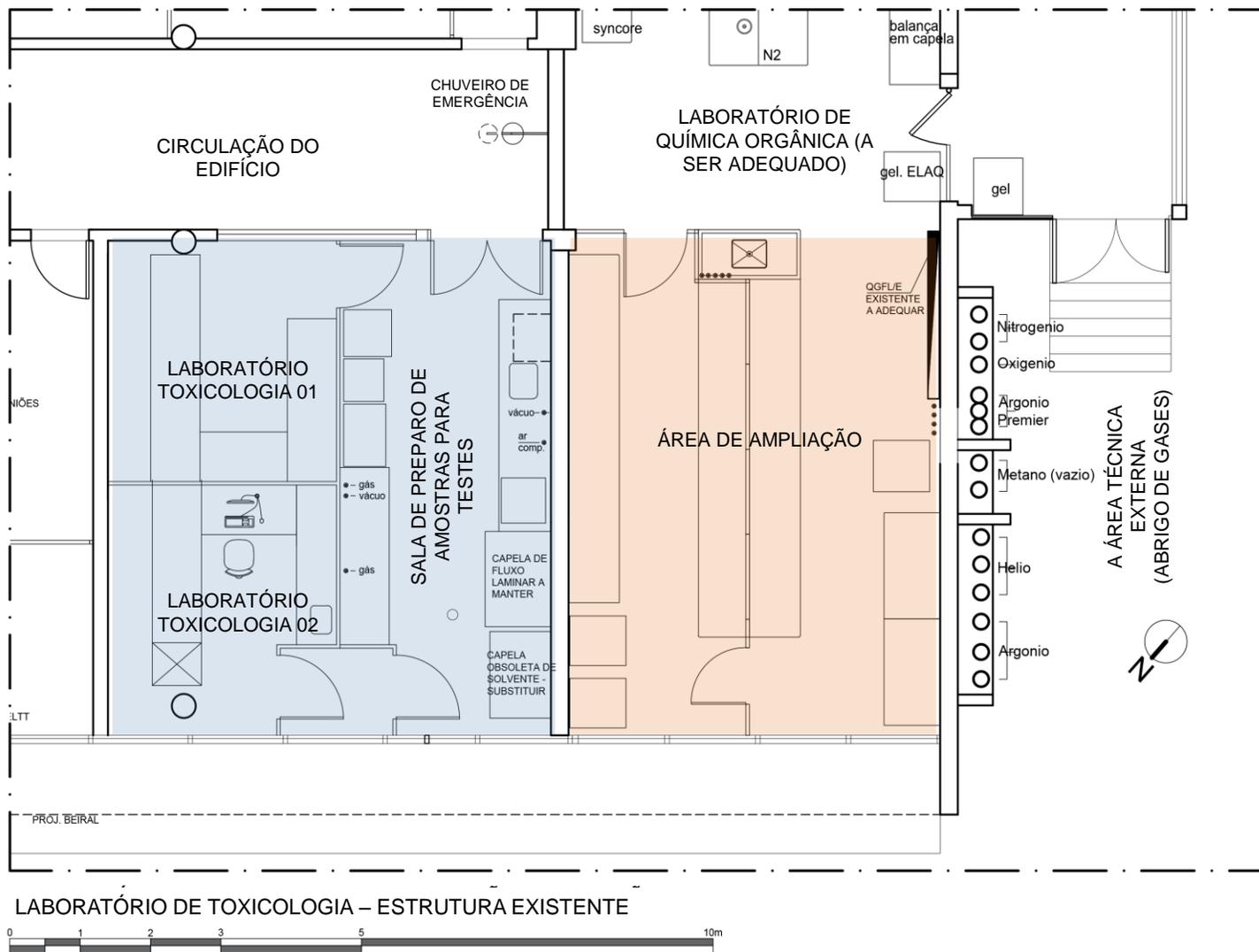


Figura 21. Laboratório de Toxicologia - estrutura existente e área de ampliação. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

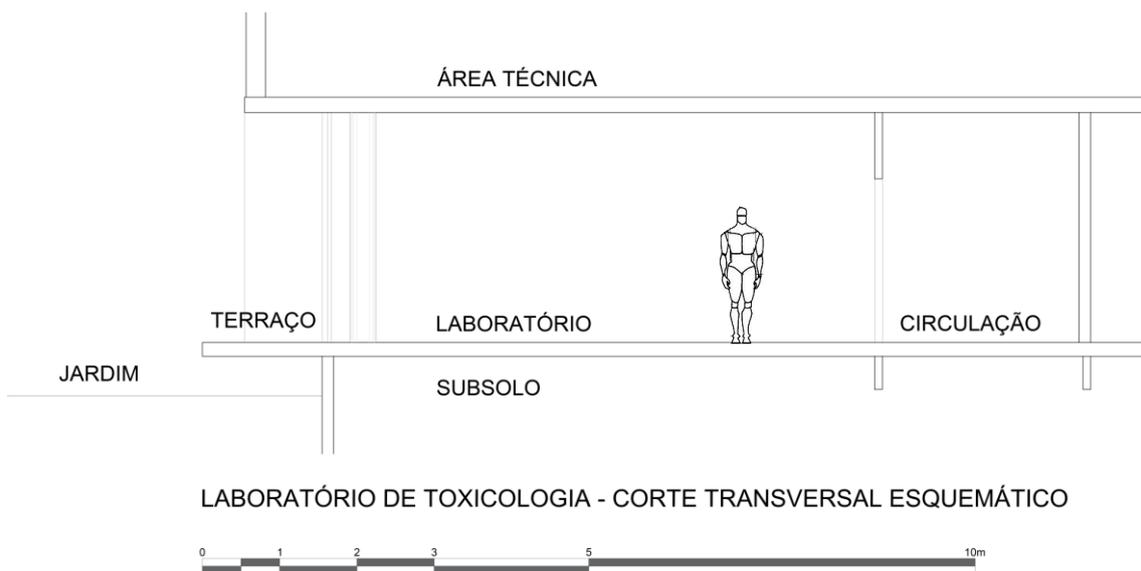


Figura 22. Corte esquemático do laboratório. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



Figura 23. Sala de preparo de amostras para testes. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



Figura 24. Laboratório de Toxicologia 01. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



Figura 25. área de ampliação. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

O laboratório de Toxicologia existente e sua área de ampliação estavam separados por uma parede de alvenaria espessa. O edifício possui uma área técnica no pavimento superior, por onde estão a maior parte das instalações elétricas, sistemas de ventilação e exaustão e utilidades de laboratórios, como mostra esquematicamente a Figura 22.

As fachadas de fechamento da área são orientadas a noroeste e sudoeste, esta última, sem aberturas e apresentando abrigos de gases especiais. A fachada

noroeste consta de caixilhos de vidro em toda a extensão do laboratório. O entorno imediato apresenta jardim com plantas rasteiras e árvores de grande porte que proporcionam resfriamento por evapotranspiração e sombreamento da fachada na maior parte do ano. A fachada também apresenta sombreamento do Prédio 06 (térreo mais dois pavimentos) próximo ao local.



Figura 26: Fachada noroeste. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

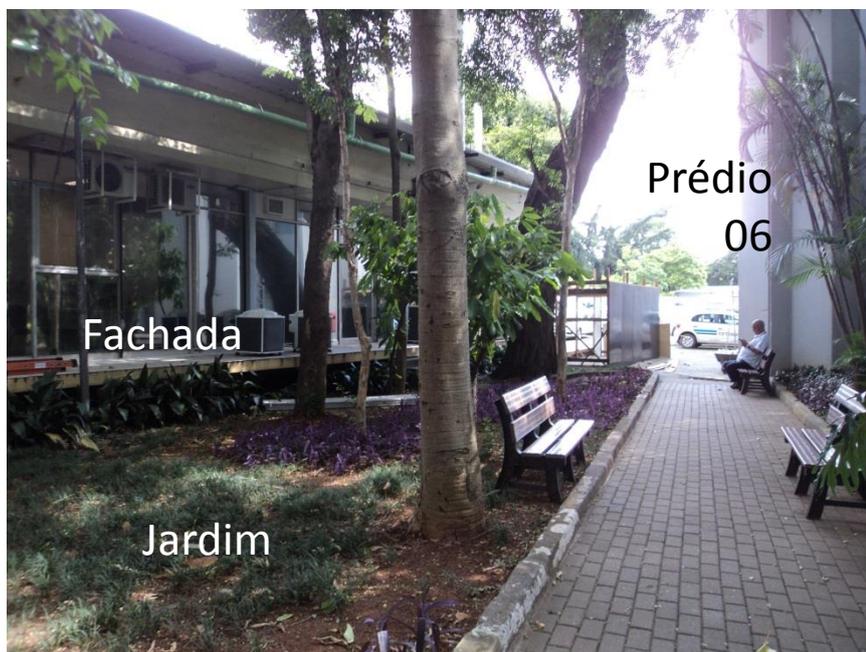


Figura 27. fachada noroeste e jardim no entorno imediato. Fonte: autora, 2017.

A carta solar demonstrada na Figura 28 demonstra que o entorno protege a fachada do Laboratório contra a incidência solar direta, exceto nos meses de junho a agosto, onde no final da tarde o ângulo solar mais baixo não encontra barreiras e acarreta em entrada de luz direta no laboratório.

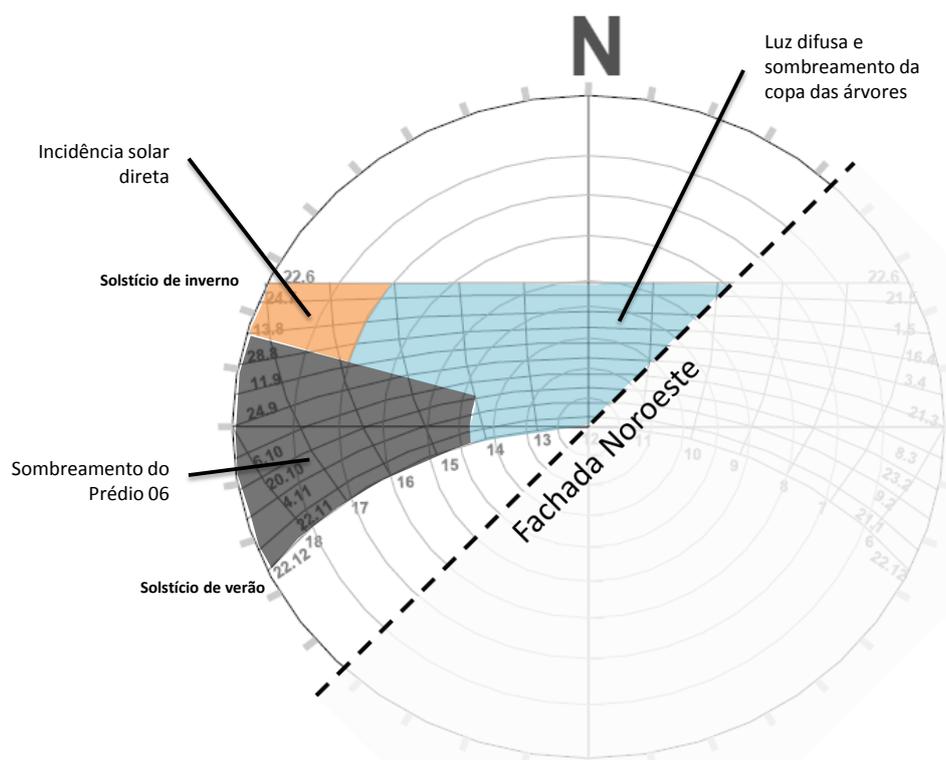


Figura 28. Carta solar Latitude 24° Sul (São Paulo), máscaras e incidência solar da fachada noroeste. Fonte: Frota et al, 2003, adaptado.

7.4. Necessidades arquitetônicas e análise crítica

No local a ser adequado, foi definido que as atividades a serem realizadas serão limitadas ao preparo de amostras para testes e medição dos analitos para o programa de pesquisa de organometais e para ensaios em compostos com POPs, além de um local específico para o processamento de dados técnicos das análises. A idéia é que o laboratório fosse concebido já considerando uma definição da separação dos espaços. Desta forma, durante o levantamento de necessidades arquitetônicas, foram definidos os espaços a serem implantados:

- Sala de Preparo de Amostras;
- Sala de Espectrometria – programa de pesquisa em organometais;
- Sala de Cromatografia – futuro programa de pesquisa em POPs;
- Escritórios para processamento de dados técnicos.

A partir da análise do programa de pesquisa e entrevistas com funcionários, chegou-se a um consenso acerca da interação entre os espaços. O ponto mais importante da funcionalidade dos espaços diz respeito ao alcance imediato entre a Sala de Preparo e as Salas de análise (Espectrometria e Cromatografia). Desta forma, ambas as salas de medição deveriam ser adjacentes a área de preparo de amostras e sem comunicação com a circulação do edifício, uma vez que estes são os locais de

maior controle de qualidade laboratorial. Isto é, tecnicamente a questão do acesso ao laboratório seria resolvida como ingresso ao espaço ocorrendo pelo Escritório ou pela Sala de Preparo. O Escritório tinha como premissa estar em local de fácil acesso de todos os outros espaços, no entanto, não havia imposição de que fosse adjacente as demais áreas, podendo inclusive, apresentar um acesso independente das demais salas e direto pela circulação do edifício. A Sala de Preparo, no entanto, apresenta vantagens em ter um acesso direto para a circulação do edifício, devido a necessidade de integração com outros laboratórios do mesmo prédio onde ocorrem as etapas anteriores de pré-preparação de amostras.

O resultado das definições entre as interações dos espaços pode ser vista na matriz representada na Figura 29.

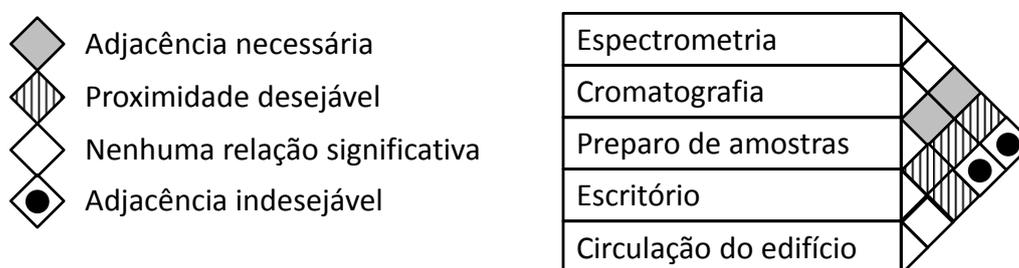


Figura 29. Matriz de interações dos espaços. Fonte: adaptado, DIBERADINIS (2001)

Em referência aos fatores arquitetônicos de influência mais críticos para os ensaios, representado cálculo de incerteza da medição, o entendimento das atividades laboratoriais relatadas pelos funcionários e a interpretação do programa de pesquisa foram fundamentais. Pela natureza da análise e pelos níveis de quantificação em baixíssimas concentrações, estava evidente a importância do controle da limpeza do local e da qualidade do ar em todas as definições arquitetônicas. Particulados e compostos voláteis não controlados formam possíveis fontes de interferências de medição e prejudicam a confiabilidade dos resultados.

A investigação também apontou a temperatura do ambiente também como um ponto crítico na concepção do projeto. Os equipamentos de leitura quantitativa apresentam faixas de temperatura ambiente bastante flexíveis para os ensaios, no entanto, com processos que liberam muita energia térmica chegando internamente até 4.000°C, esses equipamentos são fontes internas de calor. O aquecimento da sala, então, poderia representar o mau funcionamento dos aparelhos de medição por superaquecimento. Particularmente, as instruções documentadas pelo “*site preparation*” fornecidas pelo fabricante do espectrômetro ICP-MS demonstram diversos cuidados acerca da temperatura, demandando inclusive uma área técnica

separada para a dissipação de calor do chiller acoplado ao aparelho. Estabeleceu-se, então, a faixa de temperatura ambiente entre 18 a 20°C para manter os equipamentos resfriados durante o desempenho dos mesmos.

Em relação à organização e ergonomia, o levantamento das atividades demonstrou que os funcionários atuam em quase todo o tempo em pé. Desta forma, todas as bancadas deveriam ser dotadas de armários e gavetas sob o tampo, dando preferência a gavetas pelo caráter dos materiais a serem organizados. Outro ponto de destaque levantado foi a previsão para espaços reservados para a manutenção de equipamentos.

Em resumo, os pontos críticos do projeto e norteadores das definições arquitetônicas são norteados pelos controles da limpeza, da qualidade do ar e temperatura, seguidos da funcionalidade e ergonomia do espaço.

7.5. Considerações orçamentárias

O orçamento para a execução do projeto se limitou às adequações internas do laboratório. Com um entorno favorável, readequações na envoltória para melhoria do desempenho térmico e de iluminação demonstraram uma relação custo-benefício pouco vantajosa. Desta forma, foram descartadas as opções de execução de melhorias do desempenho das fachadas do edifício, exceto adequações de vedação dos caixilhos.

A incorporação de elementos sustentáveis no projeto se tornou mais complexa à medida que há restrições de orçamento. Na Figura 30 é possível verificar os parâmetros de decisão norteadores das condicionantes de interesse arquitetônico.

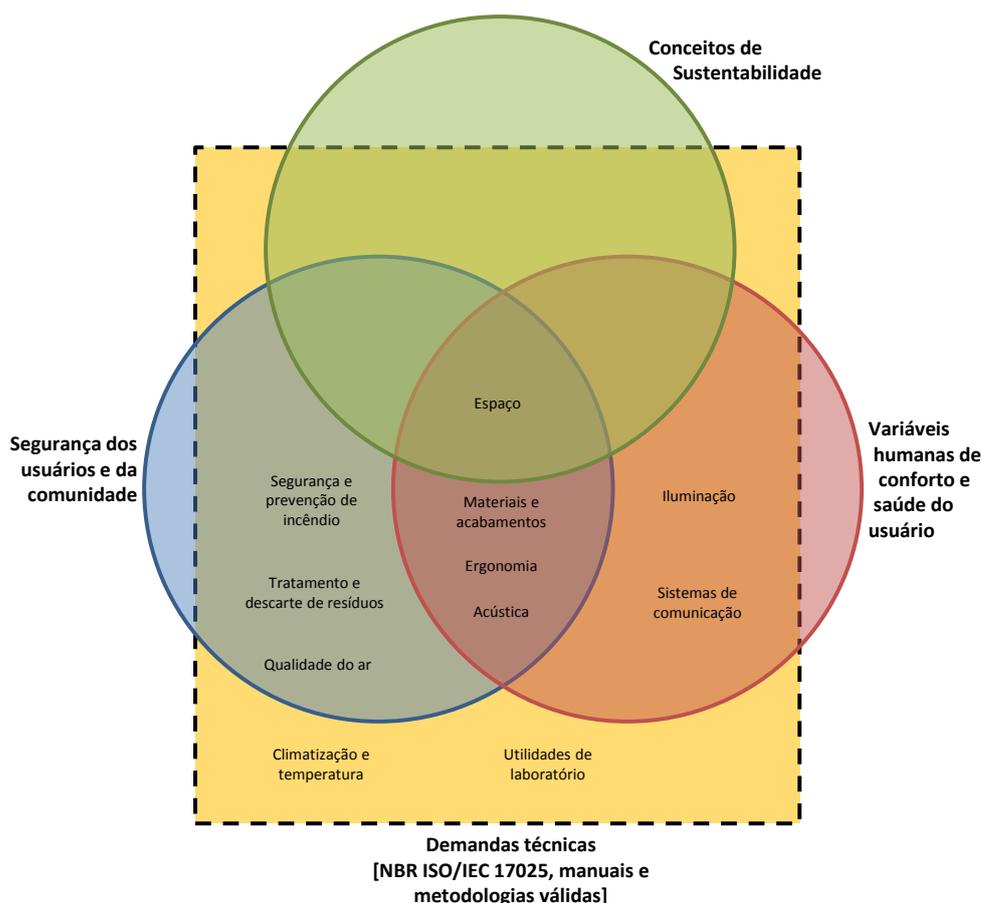


Figura 30. Distribuição das condicionantes de interesse arquitetônico no projeto do estudo de caso. Fonte: da autora, 2017.

7.6. Programa de necessidades do laboratório

O programa de necessidades para o laboratório foi definido conciliando as premissas levantadas e as restrições orçamentárias para o projeto.

Tabela 11. Tabela com o programa de necessidades do Laboratório de Toxicologia.

Local	Descrição resumida	Diretrizes
Todas as Salas	Necessidades comuns a todas as salas	Organização: armários sob o tampo de todas as bancadas, privilegiando locais para a guarda de peças pequenas (gavetas). Sem previsão para espaço para cadeira alta permite o aproveitamento total para armazenamento
		Prever armário fechado para avental em área próxima ao acesso do laboratório
		Para o controle da qualidade do ar, todas as salas para atividades de laboratório deverão apresentar ventilação 100% mecânica. No entanto, foi uma opção de projeto em não incorporar antecâmaras nos espaços para otimizar a circulação. Para então controlar a qualidade do ar, seria necessário limitar a entrada e saída de pessoas, restringindo o acesso e desta forma cumprir requisitos de controle de qualidade do ar
		Para a segurança, visores em todas as salas, com vidro duplo e encaixe que evite o acúmulo de poeira
		Buscar aproveitar a furação existente na laje para instalação de equipamentos de ventilação e exaustão
		Escolha de materiais de fácil limpeza, design que evite o acúmulo de poeira: - Piso monolítico em epóxi autonivelante; - Divisórias padrão sala limpa com vedação em silicone e enchimento termo-acústico; - Rodapé e rodapê sanitário em meia cana em alumínio. - Tampos das bancadas em granito e bordas arredondadas;
		Sistema de climatização dedicado com backup
		Mobiliário ergonômico para computadores acoplados a equipamentos: padronização de 80 x 60 x 75 (largura x profundidade x altura), com rodízios

Sala de Preparo de amostras	Sala para manuseio de amostras, pesagem de substâncias controle	Aproveitamento máximo para bancadas;
		Pia para pequenas lavagens com água corrente sem tratamento específico e filtro de carvão ativado;
		Previsão para duas geladeiras analíticas com instalações elétricas ligadas ao gerador
		Capela de fluxo laminar existente a manter, com uso em cadeira baixa (sem armário na parte inferior)
		Substituição de capela de solventes com linhas de vácuo, ar comprimido, nitrogênio e exaustão no armário inferior para armazenamento de materiais inflamáveis.
		Capela química resistente a materiais corrosivos com linhas de vácuo, ar comprimido, nitrogênio e armário inferior simples.
		Controle da qualidade do ar: pressão negativa
		Bancadas para equipamentos: balança, centrífuga, vórtex, shaker, homogeneizador, ultrassom, dessecador: - Linha de nitrogênio; - Instalações elétricas: previsão de tomadas 110 / 220V - Armários para armazenamento dos equipamentos, que estarão sobre a bancada apenas durante o uso
Espectrometria	Sala para ensaios referentes ao programa de pesquisa de contaminação dos recursos hídricos da Bacia Alto Tietê	Bancada para ICP-MS com previsão de cromatógrafo e sampler para amostras. Considerar: - Altura de bancada padrão 90cm; - Espaço para manutenção dos equipamentos em bancadas fixas ou prever rodízios nos mobiliários; - Prever mesa para computador acoplado; - Prever área técnica próxima ao equipamento para separação física de bomba e chiller para evitar acúmulo de calor - Instalações elétricas: prever rede elétrica ligada a gerador, no break e estabilizador - Linhas de gases especiais: oxigênio, hélio e hidrogênio - O equipamento demanda uma exaustão dedicada (exclusiva do equipamento) para remoção de calor e vapores.
		Bancada para Forno de Grafite: - Altura de bancada especial de 75cm; - Espaço para manutenção do equipamento; - Prever mesa para computador acoplado; - Prever local para instalação de chiller; - Instalações elétricas: prever rede elétrica ligada a gerador, no break e estabilizador - Exaustão dedicada para remoção de calor
		Analisador Direto de Mercúrio DMA-80: - Altura de bancada padrão 90cm; - Não é necessário espaço de manutenção do equipamento; - Equipamento não demanda computador; - Instalações elétricas: prever rede elétrica ligada a gerador e estabilizador
		Analisador de Metil Mercúrio: - Altura de bancada padrão 90cm; - Não é necessário espaço de manutenção do equipamento; - Equipamento não demanda computador; - Instalações elétricas: prever rede elétrica ligada a gerador e estabilizador - Linha de nitrogênio.
Cromatografia	Sala para ensaios referentes ao programa de pesquisa de POPs	Previsão para a instalação de 3 cromatógrafos - Altura de bancada padrão 90cm; - Espaço para manutenção dos equipamentos em bancadas fixas ou prever rodízios nos mobiliários; - Prever mesa para computador acoplado para cada equipamento; - Instalações elétricas: prever rede elétrica ligada a gerador, no break e estabilizador - Linhas de gases especiais: hélio e metano
		Bancada de apoio - Instalações elétricas: prever tomadas 110 / 220v
Escritório	Sala para processamento de dados técnicos e armazenamento de documentos	Mesas de trabalho: - Altura da mesa padrão 75cm; - Instalações elétricas: tomadas 110V - Instalações de lógica: previsão para rede e telefonia
		Armários com prateleiras: mínimo 3 unidades

Fonte: autora, 2017.

7.7. Estudo de massas

No estudo massas, a distribuição dos espaços foi concebida a partir da demanda de controle da qualidade do ar, da funcionalidade e segurança, adequando questões de conforto ambiental e buscando limitar as intervenções na infraestrutura existente. Mobiliários e divisórias leves tiveram o reaproveitamento desconsiderado, no entanto, peças reaproveitáveis foram disponibilizadas para outros espaços da Companhia.

Optou-se por manter a Sala de Preparo no mesmo local de funcionamento do antigo laboratório, uma vez que sua posição central seria estratégica para o acesso adjacente aos laboratórios de Espectrometria e Cromatografia. Além disso, seria possível utilizar os mesmo furos existentes na laje para os sistemas de exaustão de duas das capelas e parte das prumadas de vácuo e gás comprimido.

O acesso do laboratório foi definido por uma entrada única para os quatro espaços, ocorrendo o ingresso pela Sala de Preparo de Amostras, o local com menores restrições de qualidade do ar. O acesso pela Sala de Preparo ainda beneficiava requisitos de segurança por estar a um fácil alcance da saída e chuveiro de emergência mais próximos.

Havia ainda a necessidade de isolar o quadro de luz e força geral do edifício das instalações laboratoriais. Desta forma, a organização dos espaços partiu das premissas representadas na Figura 31.

O controle da qualidade do ar foi definido em conjunto com os engenheiros responsáveis de forma a garantir que não houvesse turbulência ou entrada de ar séptico por frestas. Desta forma, o sistema de circulação do ar teria insuflamento pelos laboratórios e exaustão pelas capelas da Sala de Preparo, como demonstra a Figura 32.

Foi estabelecido que o escritório de processamento de dados não teria um acesso independente, isto é, o escritório é parte integrante do conjunto de laboratórios. Assim, em uma futura ampliação de ensaios laboratoriais, a área de escritórios seria facilmente revertida para um novo uso como laboratório por estar inserida no local para compartilhamento da sala de Preparo de Amostras e do sistema de controle de qualidade do ar.

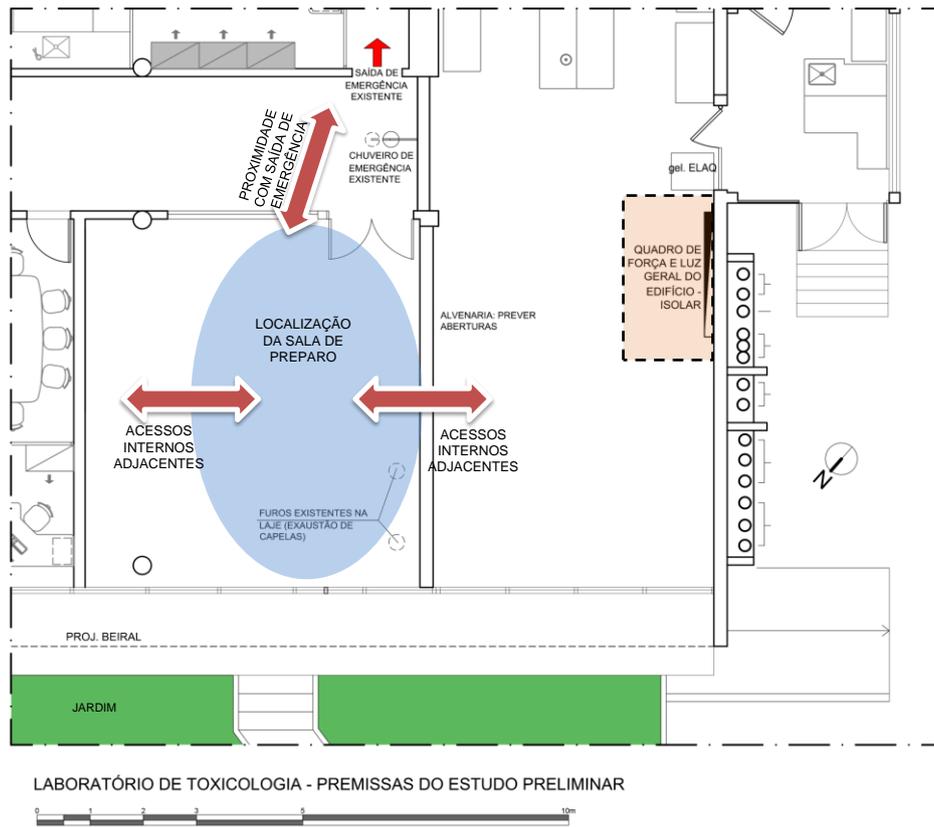


Figura 31. Premissas orientadoras da configuração do espaço. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.

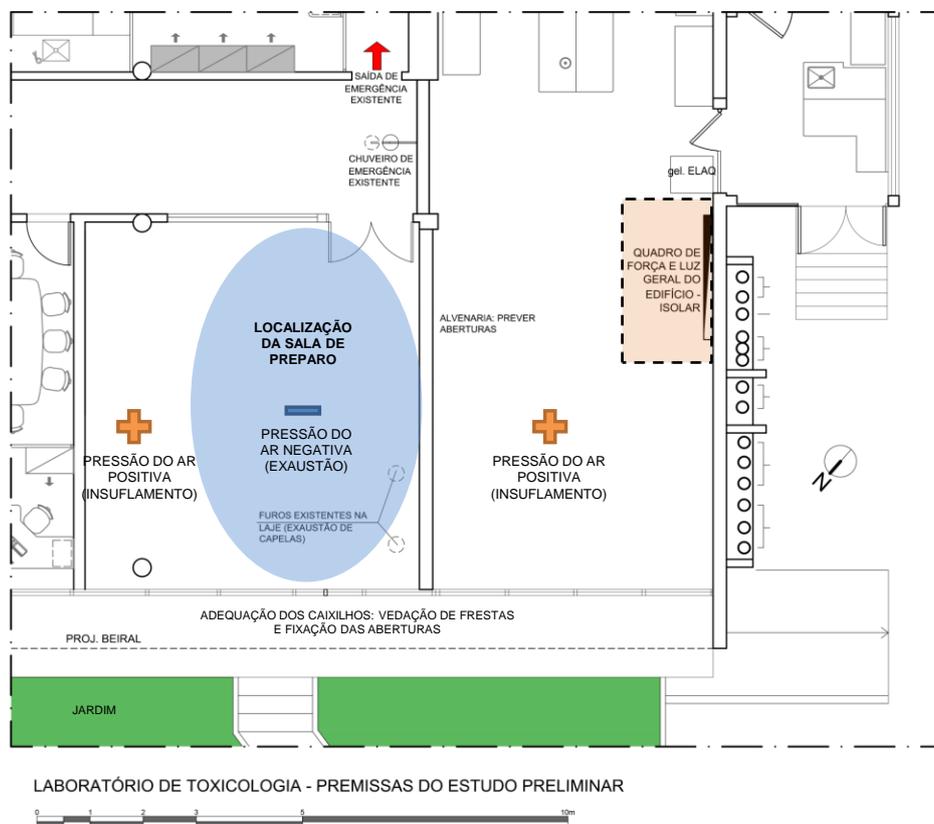


Figura 32. Esquema de controle mecânico da qualidade do ar. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.

7.8. Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico seguiu rigorosamente o programa de necessidades e a matriz de interações dos espaços definidos.

O acesso ao Laboratório se dá pela Sala de Preparo de Amostras, adjacente às salas de Espectrometria e Cromatografia, além do Escritório de processamento de dados técnicos. As bancadas apresentam as utilidades e instalações elétricas para o uso de todo o tipo de equipamento como balanças, dessecadores, microscópios, vórtex, etc. A manipulação de solventes, ácidos e materiais biológicos se dá respectivamente nas capelas de solvente, química e de fluxo laminar.

Nas Salas de Espectrometria e Cromatografia, as bancadas foram dimensionadas para os equipamentos e computadores. O ICP-MS apresenta bancada com rodízios para manutenção e uma sala técnica de suporte para a instalação dos equipamentos que liberam calor. Todos os materiais são estanques e de fácil limpeza, conforme descrito no programa de necessidades.



Figura 33. Sala de Preparo. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



Figura 34. Sala de Preparo - capelas químicas, fluxo laminar e solventes. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

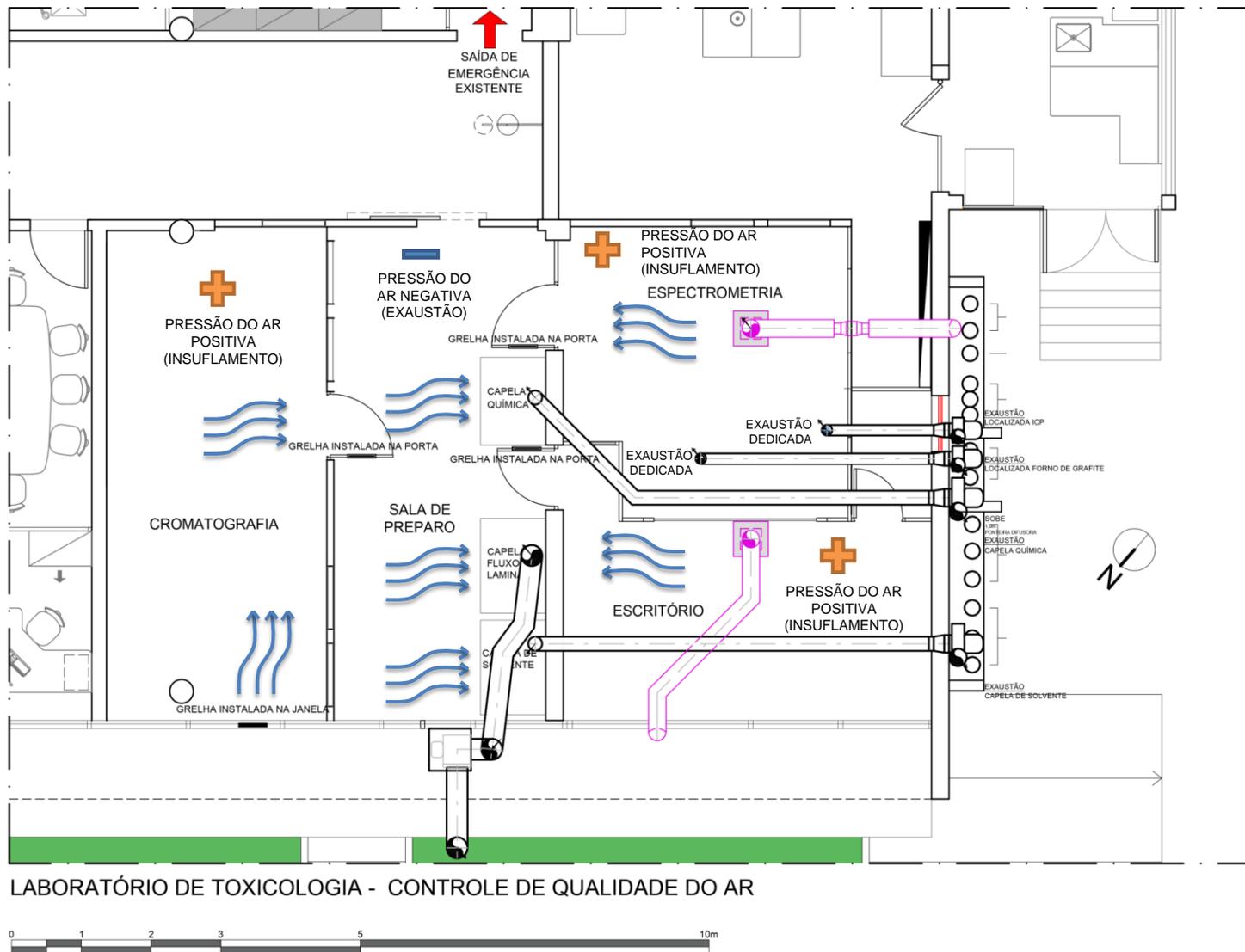
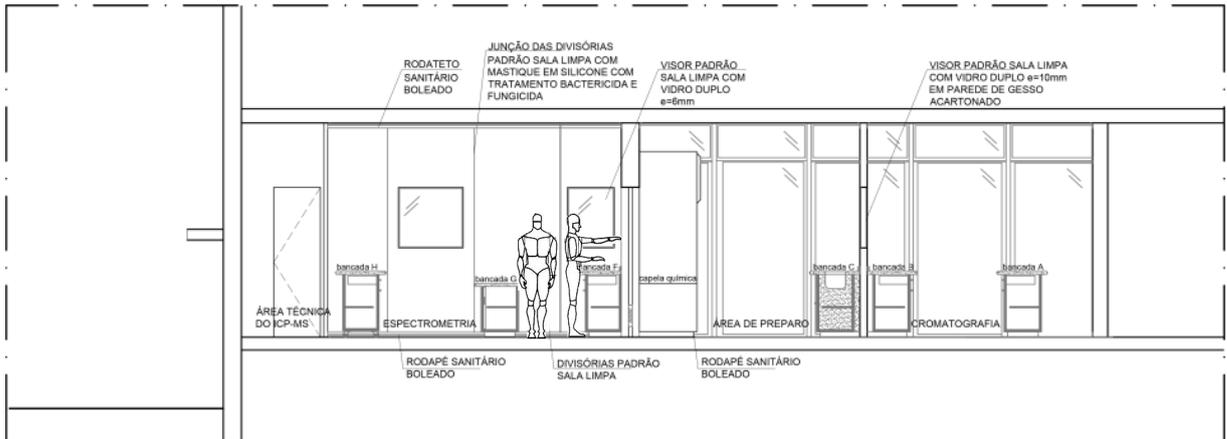


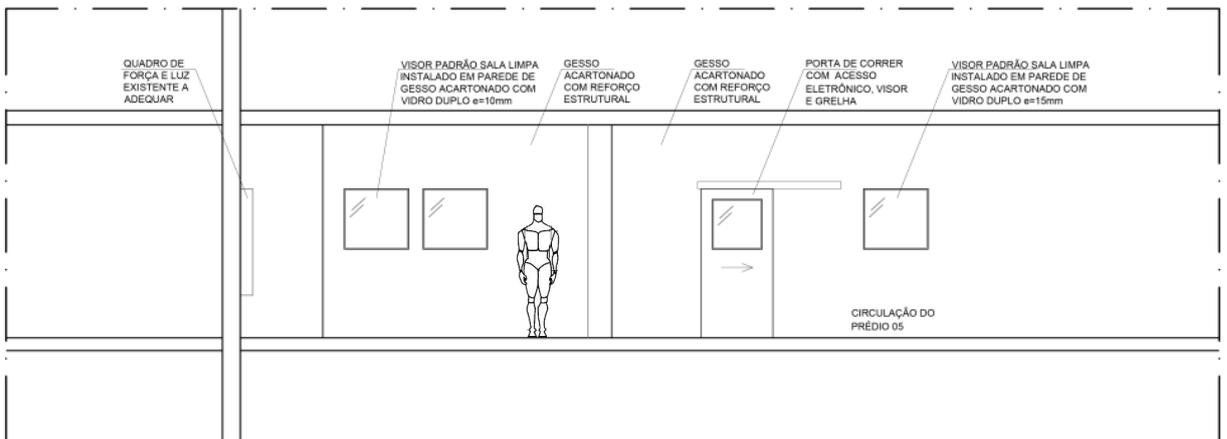
Figura 36. Projeto preliminar dos sistemas de insuflamento e exaustão. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



LABORATÓRIO DE TOXICOLOGIA - CORTE AA



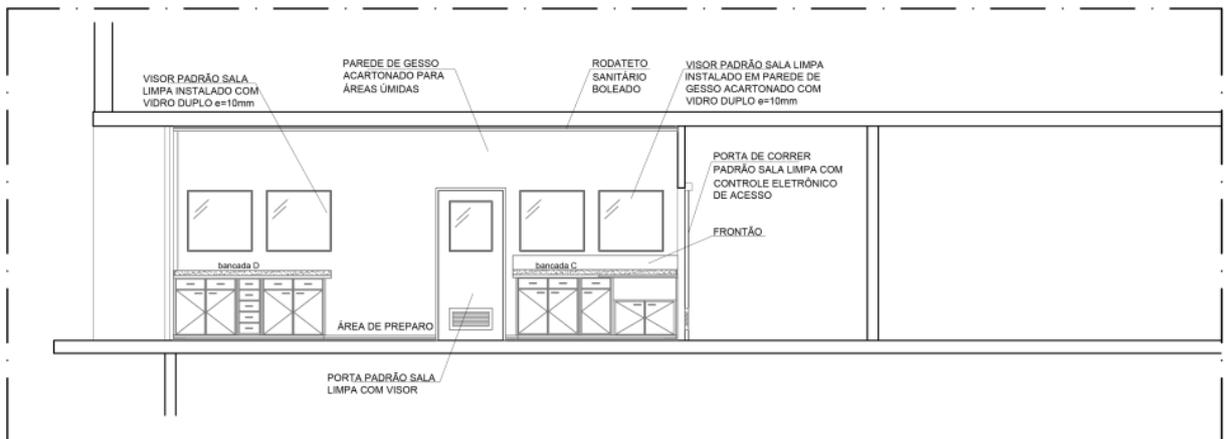
Figura 37. Corte AA. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



LABORATÓRIO DE TOXICOLOGIA - CORTE BB



Figura 38. Corte BB. Fonte Setor de Engenharia, CETESB



LABORATÓRIO DE TOXICOLOGIA - CORTE CC



Figura 39. Corte CC. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB



Figura 40. Sala de Espectrometria. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.



Figura 41. Sala de Cromatografia. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB.



Figura 42. Escritório de processamento de dados. Fonte: Setor de Engenharia, CETESB

8. Conclusões

Durante a revisão bibliográfica, foi possível demonstrar o papel crucial dos laboratórios ambientais na gestão do meio ambiente, uma vez que, por meio de ensaios analíticos, são obtidas informações essenciais referentes à qualidade do meio ambiente para tomadas de decisão e para enquadramento legal de padrões.

Preliminarmente, a monografia insere o segmento dos laboratórios de controle ambiental dentro da complexa rede de gestão do meio ambiente e esclarece ao leitor a importância da informação gerada nesses laboratórios e o cuidado necessário para garantir sua confiabilidade.

A segunda parte do debate demonstra como a legislação e as normas vigentes de controle de qualidade laboratorial são fundamentais para manter padrões de desempenho necessários para assegurar esse controle, e dentro deles, como as soluções arquitetônicas dos laboratórios atuam nessas questões.

A monografia demonstra ao leitor como a concepção arquitetônica para um projeto de pesquisa de um laboratório ambiental constitui um poderoso fator de mediação entre condições técnicas, humanas e de sustentabilidade na rotina das atividades analíticas laboratoriais e sua influência dentro da confiabilidade da informação proveniente dos ensaios laboratoriais.

Os desdobramentos possíveis com base na arquitetura em meio a um projeto de laboratório são inúmeros e não é possível copiar receitas ou replicar modelos sem uma análise criteriosa. É necessário entender o programa de pesquisa, a dinâmica das atividades, empregar conceitos técnicos e de qualidade, seguir normas e legislação pertinentes, considerar a cultura corporativa das pessoas envolvidas, analisar as premissas locais e a infraestrutura disponível, contextualizar a aspiração ideal ao orçamento real, e, por fim, estabelecer as condicionantes de interesse arquitetônico com base em critérios que envolvem esse horizonte vasto de informações.

O estudo de caso buscou uma solução arquitetônica que convergisse todas essas questões em um espaço representativo de todas elas. Claramente, a abordagem poderia tomar outros rumos. E a ideia é justamente demonstrar ao leitor a diversidade possível de soluções para um mesmo projeto quando se segue outros métodos ou se faz uma análise sob pontos de vista distintos.

Nesta monografia, profissionais da área de arquitetura e seus clientes (usuários de laboratórios) podem encontrar insumos para a criação de um espaço apropriado para a realização dos ensaios. Arquitetos e engenheiros têm aqui uma fonte de referências para conduzir o processo de projeto e especificação de laboratório. Os usuários obtêm uma visão das discussões fundamentais para fomentar o responsável

pela concepção do espaço. Leigos interessados podem assimilar os principais fatores de influência na dinâmica de um laboratório

Dessa forma, a principal aplicação desta monografia se concentra em envolver os profissionais comprometidos na concepção arquitetônica dos espaços de laboratório com a perspectiva do todo sem perder a visão das particularidades.

9. Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: interior.** Rio de Janeiro: 2013.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/IEC 17000 – Avaliação de conformidade – Vocabulário e princípios gerais.** Rio de Janeiro: 2005a.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO/IEC 17025 – Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaios e calibração.** Rio de Janeiro: 2005b.
- ABRAHÃO, Júlia; SZNELWAR, Laerte Idal; SILVINO Alexandre; SARMET, Maurício; PINHO, Diana. **Introdução à ergonomia: da prática à teoria.** São Paulo: Edgard Blucher, 2009.
- ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Decreto 8468, de 8 de setembro de 1976. Regulamenta a Lei 997 de 1976 que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.** São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 9 de setembro de 1976a.
- ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Lei 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente.** São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 1 de junho de 1976b.
- ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Lei 9.509, de 20 de março de 1997. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.** São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 21 de março de 1997.
- BARBIRATO, Gianna Melo; TORRES, Simone Carnaúba; SOUZA, Lea Cristina Lucas. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.
- BARROSO-KRAUSE, Claudia. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.
- BENEVOLO, Leonardo. Preliminar. *In: História da arquitetura moderna.* São Paulo: Perspectiva, 1994.
- BITTENCOURT, Leonardo; CANDIDO, Chisthina. **Ventilação Natural em Edificações.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2010.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2 de setembro de 1981.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional dos Recursos Hídricos.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Diário Oficial da União, 9 de janeiro de 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Diretrizes para projetos físicos de laboratórios de saúde pública.** Brasília: Ed. MS, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 396 de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 7 de abril de 2008.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Capacitação de gestores ambientais**: licenciamento ambiental. Brasília: MMA, 2009.
- BRAUN, Hardo; GRÖMLING, Dieter; BLEHER, Helmut; [et al.]. Tradução Jörn Frenzel. **Research and technology buildings: a design manual**. Boston: Basel Birkhäuser-Publishers for Architecture, 2005.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **A CETESB do Século XXI**. São Paulo: CETESB, 2005.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **CETESB**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2012a.
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Departamento de Análises Ambientais. **Avaliação da Contaminação Ambiental por Metais Pesados nos Compartimentos Água, Sedimento e Peixes dos Reservatórios da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI 6)** [termo de referência]. São Paulo: CETESB, 2012b.
- CETESB. - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2015**. São Paulo: CETESB, 2016. http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2015_Partel_25-07.pdf
- COLEMAN, H. S.; WANK, Roland. **Laboratory design: National Research Council report on design, construction and equipment of laboratories**. New York: Reinhold Pub. Corp., 1951.
- DIBERADINIS, Louis J. **Guidelines for laboratory design: health and safety**. New York: Wiley, 2001, 3a edição.
- FERREIRA DOS SANTOS, Rozely. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais** [tese de doutorado]. Campinas: 2003.
- FREIRA, Rafael Costa. **Direito, gestão e políticas ambientais: da integração a efetividade** [tese de doutorado]. Campinas: UNICAMP, 2009.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de conforto térmico arquitetura e urbanismo**. São Paulo, Nobel, 2003.
- GONÇALVES, Joana Carla Soares; VIANNA, Nelson Solano; MOURA, Norberto Corrêa da Silva. **Iluminação Natural e Artificial**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.
- HARRIS, Daniel. **Análise química quantitativa**. Tradução e revisão técnica Oswaldo Esteves Barcia, Júlio Carlos Afonso. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- HERTZBERGER, Herman. **Lições de arquitetura**. Tradução Carlos Eduardo Lima Machado. São Paulo: Martins Fontes, 1999, 2ª edição.

- HIRATA, Mario Hiroyuki. *O laboratório de ensino e pesquisa e seus riscos. In Manual de biossegurança*. Barueri: Manole, 2012, 2.edição revisada e ampliada.
- HIRATA, Rosario Dominguez Crespo. *Biossegurança em laboratórios de pesquisa. In Manual de biossegurança*. Barueri: Manole, 2012, 2.edição revisada e ampliada.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Nit-dicla-035: **Princípios das Boas Práticas de Laboratório – BPL**. Revisão 02. Rio de Janeiro: INMETRO, 2011.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.
- KRUG, Francisco José. **Métodos de preparo de amostras: fundamentos sobre preparo de amostras orgânicas e inorgânicas para análise elementar**. Piracicaba: 2008
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
- LOMARDO, Louise Land Bittencourt. **Eficiência Energética nos Edifícios e Sustentabilidade no Ambiente Construído**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.
- MAMIZUKA, Elza Masae; HIRATA, Mario Hiroyuki. *Manuseio, controle e descarte de produtos biológicos. In Manual de biossegurança*. Barueri: Manole, 2012, 2.edição revisada e ampliada.
- NARVAES, Patrícia. **Dicionário ilustrado de meio ambiente**. São Caetano do Sul: Yendis Editora, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2012.
- OLIVARES, Igor Renato Bertoni. **Gestão de Qualidade em Laboratórios**. Campinas: SP: Editora Átomo, 2009. 146p.
- PRADA, Patrícia Regina. **Avaliação crítica do processo de implementação e amadurecimento de um sistema de gestão da qualidade integrado BPL (Boas Práticas de Laboratório) e ISO/IEC 17025**. São Carlos: UFSCar, 2013.
- SANTOS, Carlos Roberto dos. **Índice de qualidade laboratorial (IQL)**. Uma proposta para laboratórios de controle ambiental [tese de doutorado]. São Paulo: USP, 2009.
- SIMAS, Christina Maria; CARDOSO, Telma Abdala de Oliveira. Biossegurança e arquitetura em laboratórios de saúde pública. *In: Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, São Paulo, n. 24, p. 108-124, dec. 2008. ISSN 2317-2762. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43589>>. Acesso em: 20 oct. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i24p108-124>
- SIMÕES, Flávio Maia. **Acústica arquitetônica**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2011.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA 37, de 30 de agosto de 2006**. Dispõe sobre os requisitos dos laudos analíticos submetidos aos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais - SEAQUA.. São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 31 de agosto de 2006, Seção I.
- SMA – Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA 100, de 17 de outubro de 2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do SEAQUA. São Paulo: Diário Oficial do Estado de São Paulo, 22 de outubro de 2013, Seção I.

VEIGA, José Eli da. **Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Ed. SENAC, 2ª Edição, 2006.

WHO – World Health Organization. **Laboratory biosafety manual**. Genebra: 2004.

Websites de consulta:

<http://www.cetesb.sp.gov.br>

<http://www.ambiente.sp.gov.br/>

<http://www.inmetro.gov.br>

<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/> (Acesso em 21/09/2016)

<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm> (Acesso em 02/12/2016)