



## **CENPES II, O NOVO CENTRO DE PESQUISAS DA PETROBRAS, NO RIO DE JANEIRO: UMA ATITUDE AMBIENTAL INOVADORA NA ARQUITETURA BRASILEIRA**

**Joana Carla Soares Gonçalves; Denise Duarte**

Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Departamento de Tecnologia, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, CEP 05508-080, São Paulo-SP, telefone +55 11 3091-4681, fax +55 11 3091-4539  
e-mail: [jocarch@usp.br](mailto:jocarch@usp.br); [dhduarte@terra.com.br](mailto:dhduarte@terra.com.br)

### **RESUMO**

Em 2004 a Petrobras promoveu o concurso envolvendo quatro escritórios de arquitetura do país, para a criação do seu novo centro de pesquisas, CENPES II, englobando mais de 100.000m<sup>2</sup> na Ilha do Fundão, na Baía de Guanabara. O projeto vencedor, de autoria da Zanettini Arquitetura, co-autoria do Arq. José Wagner Garcia e um grupo de consultores foi fortemente influenciado pelo clima quente-úmido. Desde o estágio conceitual, o projeto foi desenvolvido com base em avaliações de conforto térmico, iluminação, acústica e eficiência energética com o auxílio de simulações computacionais. Dentre os principais resultados, foi identificado um potencial de até 30% das horas de ocupação para o aproveitamento de ventilação nos ambientes de escritórios, justificando a recomendação da estratégia mista de climatização. A orientação das superfícies iluminantes em todo o complexo mostrou-se favorável para a iluminação natural, minimizando os ganhos térmicos. A principal conclusão é que, mesmo sob condições climáticas rigorosas, como as do local, os ambientes internos podem se beneficiar das estratégias passivas, tendo em vista a adequação do projeto de arquitetura ao clima. O objetivo deste artigo é apresentar de forma sintética a proposta bioclimática do CENPES II, exemplificando-a com resultados de avaliações de desempenho das edificações.

### **ABSTRACT**

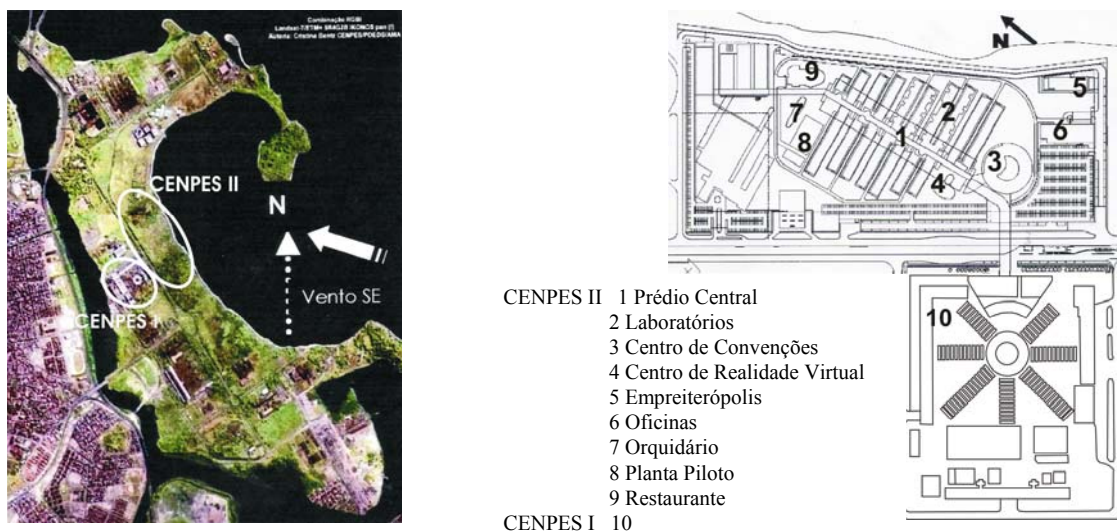
In 2004 PETROBRAS organized a design competition involving four national architectural practices for its new research centre, CENPES-II encompassing over 100.000m<sup>2</sup> by the Guanabara Bay. The winning scheme, from Zanettini Arquitetura, co-authored by Arch. José Wagner Garcia and a team of consultants, was strongly influenced by the local hot-humid climate. Since the conceptual stage the design process was informed by environmental assessments, including thermal, lighting, acoustics and energy matters using advanced simulation tools. Among the main results, the assessments came across the potential of up to 30% of natural ventilation in the office environments, justifying the mixed-mode strategy. With regards to daylighting, the orientation of the transparent surfaces in all buildings showed favorable results to the benefit of daylighting, minimizing the thermal loads. Ultimately, the chief conclusion is the possibility of passive strategies for the environmental control of interior spaces in a rigorous climate such as the one in Rio de Janeiro, based on the adequate architectural response to the local climatic conditions. The objective of this paper is to summarize the bioclimatic design of CENPES II with some of the outcomes of the buildings' environmental performance.

## 1. INTRODUÇÃO: A BUSCA PELA ARQUITETURA DE MENOR IMPACTO AMBIENTAL

A proposta para o novo centro de pesquisas da Petrobrás na Ilha do Fundão - o CENPES II, na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, traz para a discussão da arquitetura brasileira contemporânea a inserção de questões de sustentabilidade e impacto ambiental das construções, já presentes e marcantes no cenário internacional. A concepção de um projeto arquitetônico que tem como foco o tema da sustentabilidade certamente assume um papel histórico no contexto nacional, viabilizado por meio de um concurso de projeto que envolveu quatro escritórios brasileiros de arquitetura em 2004. Sendo assim, a proposta vencedora representa uma importante contribuição conceitual e técnica na formação de novos paradigmas, considerando o desenvolvimento de uma arquitetura de menor impacto ambiental no Brasil, desde o processo de projeto até o resultado final. Dentre outras exigências para o projeto, o edital do concurso colocou as questões de sustentabilidade na arquitetura (chamadas pela Petrobras de *eco-eficiência*) em dez tópicos de caráter eliminatório.

A.Orientação Solar Adequada; B.Forma Arquitetônica: Adequada aos condicionantes climáticos locais e padrão de uso para a minimização da carga térmica interna; C.Material Construtivo das Superfícies Opacas e Transparentes: Termicamente eficiente; D.Superfícies Envidraçadas: Taxa de WWR (*window wall ratio*) adequada às condições de conforto térmico e luminoso internos; E.Proteções Solares Externas: Adequadas às fachadas; F.Ventilação Natural: Aproveitamento adequado dos ventos para resfriamento e renovação do ar interno; G.Aproveitamento da Luz Natural; H.Uso da Vegetação; I.Sistemas para uso racional de água e reuso; J.Materiais de baixo impacto ambiental: dentro do conceito de desenvolvimento sustentável.

Vale destacar que, das dez exigências listadas dentro do tema da eco-eficiência, as oito primeiras, de “A” a “H”, estão relacionadas diretamente com os aspectos do conforto ambiental e da consequente eficiência energética do projeto. Paralelamente, o item “I” refere-se aos sistemas prediais e o item “J” diz respeito ao impacto ambiental dos materiais, considerando o processo de industrialização dos mesmos. A origem distinta de tais requisitos gerou uma interação entre as disciplinas do projeto, incluindo: arquitetura, paisagismo, estruturas, sistemas prediais e conforto ambiental, desde a etapa de concepção e proposição.



**Figura 1 – À esquerda, mapa da área de implantação do CENPES II. À direita, Planta de situação dos edifícios novos e sua ligação com o CENPES I – complexo existente da década de 70.**

Dentro de uma concepção integrada entre arquitetura e suas disciplinas afins, o programa de edifícios do CENPES II complementa as instalações do CENPES I, centro de pesquisa da Petrobrás já existente, e reúne em mais de 100.000m<sup>2</sup> as seguintes funções: Centro de Convenções, Laboratórios, Escritórios, CRV - Centro de Realidade Virtual, CIC, Restaurante, Oficinas, Empreiteirópolis, Planta-Piloto (sistemas e geração de energia). O projeto vencedor do concurso tem autoria arquitetônica do renomado escritório brasileiro Zanettini Arquitetura S.A., incluindo desde a fase inicial o projeto de conforto ambiental do LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAUUSP. A equipe do concurso foi ampliada, ao longo das etapas de

desenvolvimento e detalhamento, com a inserção de novos consultores para tratar de outras áreas afins, totalizando cerca de 140 profissionais. Atualmente, o projeto do CENPES II encontra-se em fase final de detalhamento, tendo em vista o início das obras ainda em 2005 e o funcionamento dos primeiros edifícios (a conexão com o CENPES I, o Centro de Convenções, o CRV e parte dos Laboratórios) no 1º semestre de 2007.

O objetivo deste artigo é apresentar de forma sintética a proposta bioclimática do CENPES II, exemplificando-a com resultados de avaliações de desempenho das edificações. Devido à abrangência da abordagem quanto às diferentes áreas do conforto ambiental e à eficiência energética e às muitas particularidades dos estudos realizados, a metodologia específica em cada uma delas não é detalhada nesta apresentação do trabalho. Exemplos dessa complexidade são: o banco de dados climáticos, as cargas térmicas internas e os próprios modelos de avaliação de desempenho das diferentes áreas envolvidas.

## **2. CONCEITUAÇÃO: ARQUITETURA E CLIMA**

Quanto ao partido arquitetônico e à adequação climática, a proposta aborda o desafio do menor impacto ambiental da construção, ou seja, da eco-eficiência, criando ambientes externos e internos que favoreçam o conforto ambiental do usuário, a eficiência energética dos edifícios, a possibilidade de geração de energia limpa e o aproveitamento da paisagem natural na composição dos espaços. As condições do clima local foram tomadas como fatores determinantes para os critérios de projeto, desde a etapa de implantação do novo conjunto, até a definição da arquitetura dos edifícios. Definida por um partido predominantemente horizontal, a implantação do conjunto propõe edifícios intercalados por espaços de transição, incluindo áreas cobertas e descobertas, enriquecidas ambientalmente pela inserção de vegetação e pela consequente formação de espaços sombreados. Nessa abordagem, destacam-se na parte central da implantação, as alas de Laboratórios, o Prédio Central, o Centro de Convenções e o Centro de Realidade Visual (Figura 1).

Um diagnóstico preliminar das condições climáticas locais destacou a importância de estratégias de sombreamento e ventilação como meios passivos para o conforto ambiental nos espaços internos e externos do conjunto. Seguindo essa abordagem, o tratamento dos edifícios inicia-se pela elaboração do entorno imediato às construções. Assim, coberturas e envoltórias assumem um papel importante na concepção dos espaços abertos e edificados. Com ênfase nos ambientes internos, somam-se às estratégias mencionadas anteriormente o isolamento térmico dos edifícios, com a finalidade de minimizar os ganhos térmicos externos por diferença de temperatura entre interior e exterior.

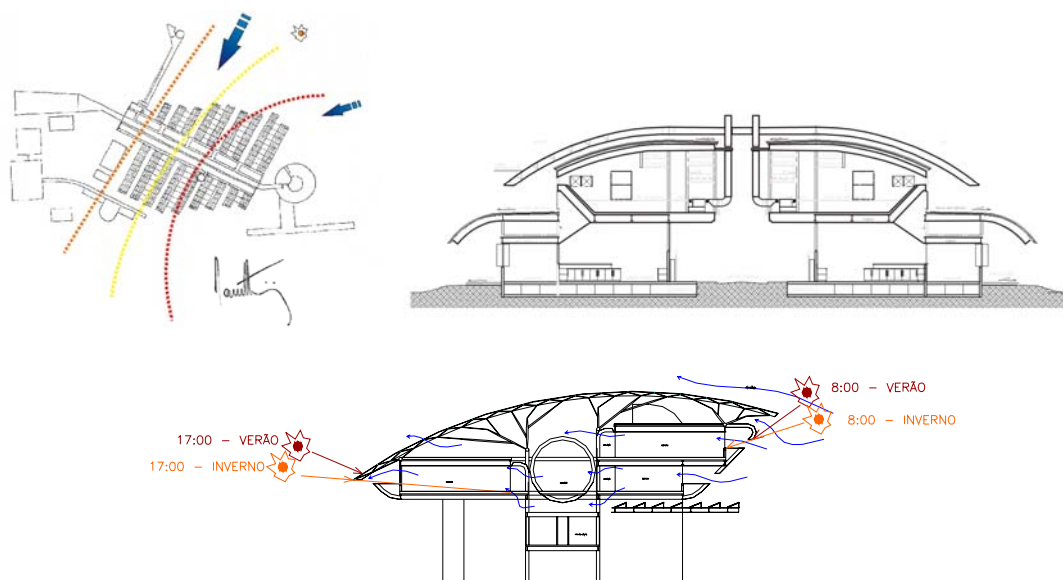
Quanto aos recursos de proteção climática, envoltórias e membranas atuam na mediação entre o meio externo e os espaços internos, protegendo os edifícios do acesso direto de sol e chuva, mantendo o aproveitamento da ventilação e iluminação natural. O aproveitamento da luz natural marca a proposta arquitetônica de duas maneiras: filtrando-se a luz direta pelas coberturas e pela vegetação e incorporando-se amplamente a luz difusa. No que tange ao interior dos edifícios, a proposta de mediação das condições climáticas é marcada por dois objetivos principais. Primeiramente está a maximização do uso de estratégias passivas para a climatização, nos períodos de condições externas favoráveis. Para os períodos de ocupação correspondentes à necessidade de sistemas ativos de climatização, a proteção dada aos edifícios tem a função de minimizar o consumo de energia.

Na implantação do conjunto foram privilegiadas as orientações norte e sul, com ênfase para os edifícios principais de laboratórios. Essa predominância diminui a exposição destes edifícios à radiação direta proveniente das orientações leste e oeste. A orientação solar das fileiras de laboratórios favoreceu a inserção de painéis fotovoltaicos orientados para o norte. Para o aproveitamento da ventilação natural, a forma alongada no eixo leste-oeste privilegia o acesso dos ventos predominantes, vindos de sudeste, nos espaços abertos entre as fileiras de laboratórios e escritórios, favorecendo as condições microclimáticas de entorno das essas salas.

Os demais edifícios do complexo foram orientados de acordo com critérios complementares aos de insolação e ventos. Um exemplo disso é o conjunto de salas suspensas sobre a área de laboratórios/escritórios, voltadas para leste, no qual se privilegia a vista para o mar e a direção predominante dos ventos. Da mesma forma, os edifícios relacionados à central de utilidades, salas de convenções e os correspondentes aos serviços de apoio, como restaurantes e vestiários, seguem diretrizes do partido de implantação, que proporcionam o aproveitamento da ventilação e da

iluminação do conjunto. Nestes casos, as questões de incidência da radiação solar direta são tratadas na elaboração das proteções de fachadas e coberturas.

A composição arquitetônica de formas lineares, priorizada para os usos de laboratórios e escritórios, é estratégica para os benefícios ambientais em uma região de clima quente-úmido. Com a forma horizontal alongada, os ambientes internos dos edifícios posicionados na parte central do complexo são definidos por plantas estreitas, sendo estas mais favoráveis para o uso eficiente da ventilação e iluminação natural. Esta forma horizontal é apropriada para as questões de conforto térmico e da iluminação natural dos ambientes internos, e também é favorável ao crescimento do complexo arquitetônico (item exigido no edital do concurso), já que a disposição horizontal e alongada permite um crescimento contínuo e de fácil ampliação estrutural (Figura 2).



**Figura 2 – À esquerda (acima), croqui da implantação. À direita (acima), corte dos Laboratórios (N/S). No centro, corte do Prédio Central (L/O) - edifício suspenso.**

No Centro de Convenções, a forma circular marca o principal acesso de pedestres, com as principais atividades direcionadas aos visitantes do centro. Formado por salas de conferências, por um auditório e um espaço de eventos, um anel de ambientes fechados, afastados por áreas de passagem, é protegido por uma cobertura têxtil tensionada. Esse anel é disposto ao redor de um vazio interno aberto para a insolação, a iluminação natural, os efeitos de ventilação e as chuvas. A criação deste vazio central facilita a iluminação e a ventilação natural desses espaços, enquanto uma área aberta de passagem e permanência, localizada entre e ao redor dos ambientes fechados, sob a cobertura tensionada, propicia proteção contra a radiação direta e as chuvas.

Nos demais edifícios, a influência dos requisitos da função sobre as definições da forma foi determinante, resultando em espaços internos de dimensões maiores, incluindo pés-direitos duplos e triplos, como no caso dos edifícios Planta-Piloto e Central de Utilidades. Como resultado final, o conjunto é caracterizado por formas que valorizam cheios e vazios entremeados por áreas verdes, valorizando os espaços de circulações externas e áreas livres cobertas, heranças válidas da arquitetura moderna carioca, que tradicionalmente referenciava-se ao clima.

### **3. A LEITURA DO CONTEXTO AMBIENTAL E A INTERAÇÃO COM O PROJETO**

A leitura do contexto ambiental e climático para os trabalhos de eco-eficiência envolveu a construção de um banco de dados climáticos para uma avaliação mais detalhada do clima local, seguida por estudos de insolação e ventilação externa do conjunto. Os resultados desses trabalhos auxiliaram não apenas os estudos de desempenho térmico e luminoso das edificações, mas também contribuíram para o projeto de paisagismo e de conforto ambiental dos espaços abertos, apontando recomendações para uma melhor resposta da arquitetura às questões ambientais.

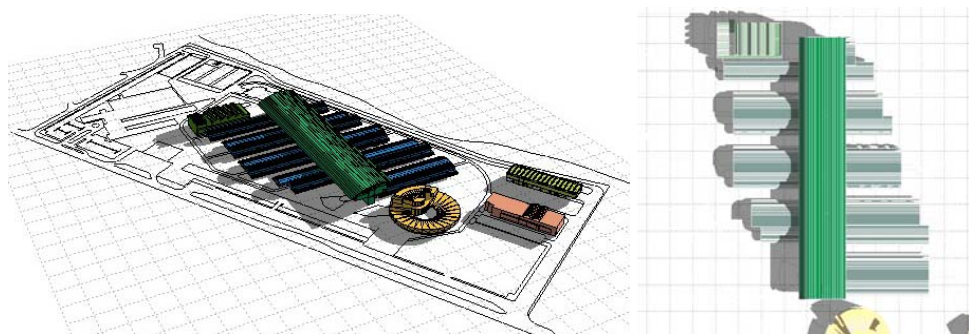
### 3.1 O Banco Climático para o Rio de Janeiro

A construção deste banco de dados trata da determinação do ano climático de referência para o Rio de Janeiro, do mês crítico de verão e do dia de referência de projeto de verão, por meio do tratamento de dados provenientes da estação meteorológica do Galeão<sup>1</sup>, dos últimos cinco anos. Esse banco foi elaborado com o objetivo de alimentar as simulações de desempenho térmico e eficiência energética, considerando tanto o condicionamento ambiental passivo como ativo. Com os dados horários de 2000 a 2004, foram feitas as médias horárias de temperatura e umidade, visando à construção do ano de referência de projeto com 8.760 horas. Para os dados de vento consideraram-se os dados anuais hora a hora, utilizando-se para as simulações os valores referentes ao quadrante predominante (SE). Os dados de radiação foram obtidos a partir da estação meteorológica do INMET, localizada no centro da cidade.

Pela série histórica de dados climáticos foi identificado o mês de fevereiro de 2003 como sendo o mais quente dos últimos cinco anos, tendo sido utilizado como referência para consideração do caso extremo relativo ao verão carioca. Nesse mês foram estudados os períodos de maior estabilidade atmosférica, extraíndo-se o dia 9 para ser a referência de verão para as simulações de desempenho térmico das edificações, em que o ciclo de 24 horas é necessário para as análises de materiais e componentes construtivos. A análise dos resultados do banco apontou a necessidade de se buscar soluções arquitetônicas que respondessem à difícil realidade climática de elevadas frequências de ocorrência de altos valores de temperatura e umidade do ar. Por exemplo, a umidade relativa do ar, em 66% do tempo, apresenta valores superiores a 70%.

### 3.2 Insolação

Para a avaliação do impacto da insolação na implantação e nos edifícios do complexo arquitetônico, foram realizados os seguintes estudos de geometria solar: 1) projeções de sombra do conjunto de edifícios; 2) traçado de máscaras de obstrução e 3) períodos de incidência solar nas fachadas. Por meio dos estudos de máscaras, pôde-se estimar a influência dos elementos construídos na obstrução da abóbada celeste, a fim de se obter as informações necessárias para os estudos de iluminação natural e quantificar a sua influência no desempenho térmico da edificação. Nas projeções de sombra dos edifícios, observa-se pouca interferência entre os mesmos durante o solstício de verão. A mais significativa é proveniente da sombra do prédio central sobre os laboratórios quando, às 7 horas, nota-se uma faixa de aproximadamente 25 metros de sombra na cobertura dos mesmos, lindeira à fachada oeste do Prédio Central (Figura 3). Quanto às áreas externas, verificou-se que as ruas entre os laboratórios estão ensolaradas durante todo o período do verão.



**Figura 3 - À esquerda, solstício de verão no período da manhã (9h). À direita, vista da cobertura com a sombra do Prédio Central sobre os Laboratórios, no solstício de verão.**

No solstício de inverno há uma maior interferência das sombras entre os edifícios. As ruas entre os laboratórios são mais sombreadas nesse período, pois, além do prédio central, os laboratórios influenciam o acesso da radiação solar de maneira significativa sobre o seu entorno imediato. O impacto acontece principalmente nos períodos do início da manhã e final da tarde. Na região prevista

---

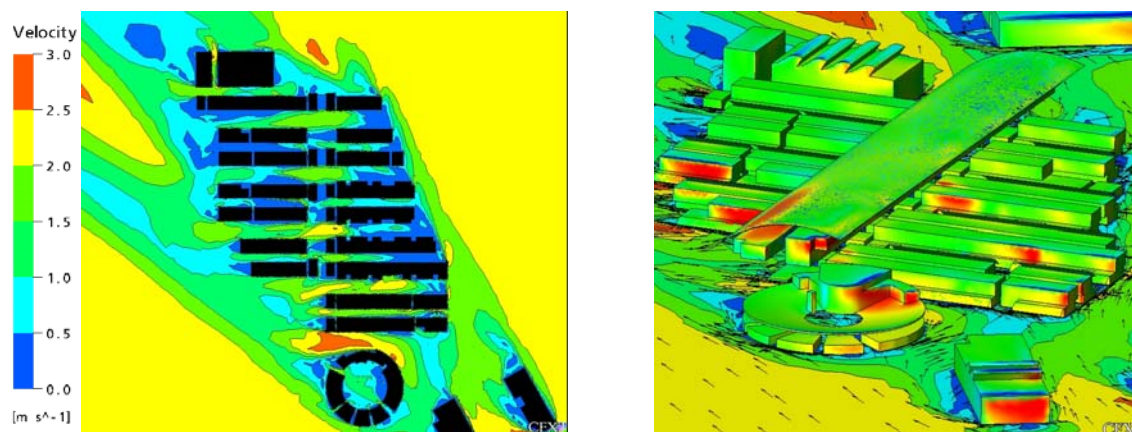
<sup>1</sup> Dados cedidos pelo Laboratório Máster – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, IAG/USP.



para a instalação dos painéis fotovoltaicos, foram determinadas áreas preferenciais para o aproveitamento dessa energia, de acordo com a duração dos períodos de incidência solar direta ao longo do ano.

### 3.3 Ventilação Externa

Os estudos de ventilação foram realizados objetivando a visualização e a quantificação da velocidade do vento e das pressões, necessárias para as avaliações de conforto ambiental externo e ventilação natural nos ambientes internos. Como parâmetro inicial foi utilizada a velocidade média anual de 3m/s, proveniente de sudeste, conforme o banco de dados climáticos, para simulações a 1,5m e a 10m de altura. Essas alturas foram determinadas em função do nível do pedestre e da altura das janelas do edifício de escritórios suspenso - o Prédio Central (Figura 4).



**Figura 4 – À esquerda, distribuição da velocidade do vento no nível do pedestre, a 1,5m. À direita, distribuição de pressões de vento sobre as envoltórias.**

Os resultados mostraram velocidades do vento no nível do pedestre entre 0 e 1,0m/s chegando ocasionalmente a 1,5m/s nos pátios entre os laboratórios na parte Leste do conjunto (principais áreas destinadas ao uso de passagem e de estar externo). Nos pátios entre os laboratórios da ala Oeste foram registradas velocidades ainda maiores devido à influência do prédio central. Dessa forma, é identificada boa ventilação externa em grande parte dessas áreas, contribuindo para o conforto ambiental dos espaços externos e internos. Nas áreas circundantes às edificações, a 10m de altura, foram encontradas velocidades constantes entre 1,0 e 2,0m/s, sendo esses resultados importantes para o conforto da grande área aberta de passagem e estar sobre o Prédio Central e, ainda, favoráveis para a ventilação natural dos ambientes internos.

### 3.4 Conforto Ambiental nos Espaços Externos

Para o cálculo de conforto térmico em áreas externas utilizou-se o Índice de Temperatura Neutra Exterior, proposto por Aroztegui (1995), no qual a Temperatura Neutra Exterior é definida com base nas mesmas variáveis que compõem a Temperatura Neutra Interna, incorporando variáveis relativas à radiação solar e à velocidade do vento. Assim, no contexto do CENPES II, foram estudadas três tipologias de ambientes externos, configurando-se nove situações distintas. Foram considerados para o estudo os seguintes espaços externos: a área central do Centro de Convenções, a área entre as alas de Laboratórios e os terraços do Prédio Central. A seleção desses ambientes foi decorrente do período de utilização proposto na concepção arquitetônica, com possibilidade de permanência média a prolongada por parte dos usuários.

Dentro dos critérios apresentados, na área central do Centro de Convenções, tem-se, na situação exposta ao sol, aproximadamente metade das horas do ano. Quando a condição for de sombreamento, em aproximadamente 85% do tempo o usuário está em conforto. Com relação às áreas entre os laboratórios, verificou-se que, onde a velocidade do ar é mais baixa, tem-se situação de conforto em apenas 13% do tempo nos locais com radiação solar direta, porcentagem esta que aumenta para 23% quando 90% da radiação solar é barrada pelas arvoretas. Por outro lado, onde a velocidade do ar é mais alta, tem-se situação de conforto em 67,5% do tempo nos locais com radiação solar direta, porcentagem esta que aumenta para 98% quando se tem o sombreamento provocado pelas arvoretas.

Quanto ao terraço do Prédio Central (Figura 2), foram simuladas duas opções de cobertura: telha metálica sanduíche e tela metálica. Observa-se que a solução de cobertura com telha metálica sanduíche proporciona maior porcentagem de tempo em conforto (77%) quando comparada à solução com tela metálica (64%). Contudo, quando se considera a solução com tela metálica acompanhada de estratégias de sombreamento mais localizadas (por exemplo: arvoreta, caramanchão, guarda-sol) essa porcentagem fica próxima à da primeira solução (75%).

De maneira geral, os casos estudados cumprem satisfatoriamente a sua função de área aberta de estar, mediante o tratamento planejado para os espaços externos, com sombreamento e diferentes estratégias de ventilação, criando situações de conforto frente às condições ambientais externas.

## **4. ESTUDOS ANALÍTICOS E O DESEMPENHO AMBIENTAL DOS EDIFÍCIOS**

### **4.1 Conforto e Desempenho Térmico e o Impacto no Consumo de Energia**

Devido ao rigor climático e às exigências especiais de uso na maior parte dos ambientes, cabe colocar que o projeto de eco-eficiência teve três focos distintos. Nos ambientes de escritórios e restaurante, o objetivo foi a otimização do projeto para a eficiência energética das estratégias ativas de climatização, porém, ainda considerando o potencial da ventilação natural quando possível, por meio do modo-misto de climatização<sup>2</sup>. Paralelamente, nos ambientes de laboratórios, convenções, CRV e CIC, a especificidade do uso exige o controle artificial das condições ambientais internas por 100% do tempo de ocupação. Por essa razão, assim como no caso anterior, o projeto de arquitetura é avaliado e detalhado para o melhor desempenho térmico, tendo em vista a redução do consumo de energia pelo ar-condicionado. Finalmente, nos edifícios das Oficinas, Planta-Piloto, Utilidades e Empreiteiropolis – basicamente galpões de grandes dimensões, a eco-eficiência foi totalmente direcionada para a maximização das estratégias passivas de projeto, tendo em vista a não inserção de sistemas ativos de climatização.

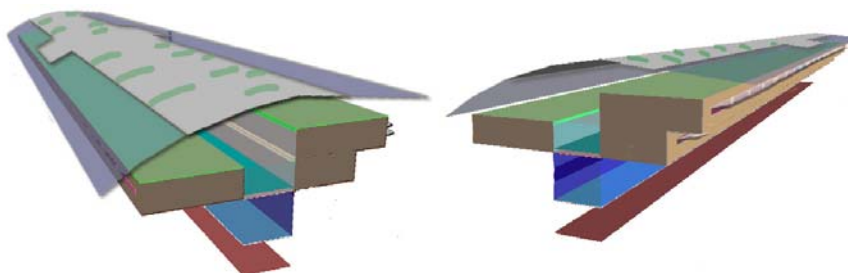
Dentro dos trabalhos de eco-eficiência, a avaliação do conforto térmico nos ambientes internos seguiu dois parâmetros distintos de acordo com o modo determinado para a climatização: artificial ou natural. Para ambientes condicionados naturalmente, utilizou-se um modelo adaptativo para conforto térmico, no qual as temperaturas de conforto (TC) variam em função das temperaturas externas. Considera-se que o ambiente está em conforto (máximo de 10% de pessoas insatisfeitas) quando as temperaturas efetivas internas (ET) estão no intervalo  $(TC-2,5^{\circ}C) \leq ET \leq (TC+2,5^{\circ}C)$ . Para ET entre  $TC \pm 3,5^{\circ}C$ , considera-se que 20% dos usuários estarão insatisfeitos. Para ambientes condicionados artificialmente, são aceitas temperaturas do ar até 26°C e umidade relativa do ar até 65% (em conformidade com NBR 6401, ASHRAE 55 e ISO 7736). No caso dos edifícios climatizados segundo o modo-misto, foram aplicados ambos os critérios, variando de acordo com os períodos de climatização artificial e natural.

Quanto ao desempenho térmico dos ambientes de escritórios, tomando-se como referência os gabinetes do laboratório, as simulações mostraram ser possível o condicionamento natural durante cerca de 30% do período de ocupação, principalmente nos ambientes voltados para o sul, onde há menor incidência de radiação solar. Em termos de eficiência energética, nesse caso o condicionamento tipo modo-misto proporcionou uma redução de cerca de 10% no total das cargas térmicas para o ar-condicionado nos gabinetes norte e sul. Nos ambientes do Prédio Central, observou-se o maior ganho de cargas térmicas devido às fontes internas (Figuras 5 e 6). Contudo, nos escritórios voltados a leste, foi identificada uma redução das cargas térmicas de cerca de 50% em relação ao escritório oeste, mostrando a influência ainda bastante significativa dos ganhos solares para a carga térmica interna total. Paralelamente, no Centro de Convenções, observou-se a necessidade da utilização exclusiva de condicionamento artificial em alguns ambientes. Observar os valores maiores referentes à carga térmica a ser retirada devido ao calor latente, indicando a influência da ocupação na eficiência energética do edifício. As cargas térmicas do auditório não são concentradas. Essa distribuição deve

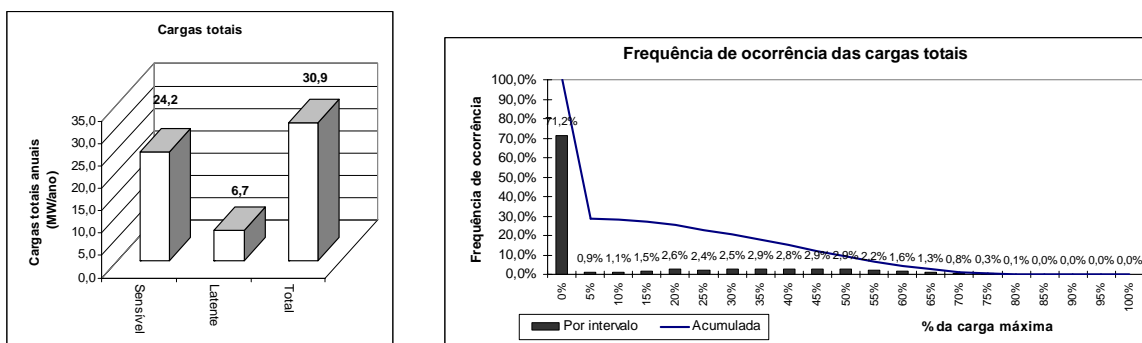
---

<sup>2</sup> Neste caso, o sistema de condicionamento artificial só é ligado quando as condições climáticas ou outros fatores externos impedem a obtenção de conforto nos ambientes internos por meios naturais. Esta estratégia se justifica pelos ganhos ambientais e econômicos de um menor consumo de energia e pela possibilidade de maior interação entre os usuários e o meio externo (quando este é favorável ao conforto).

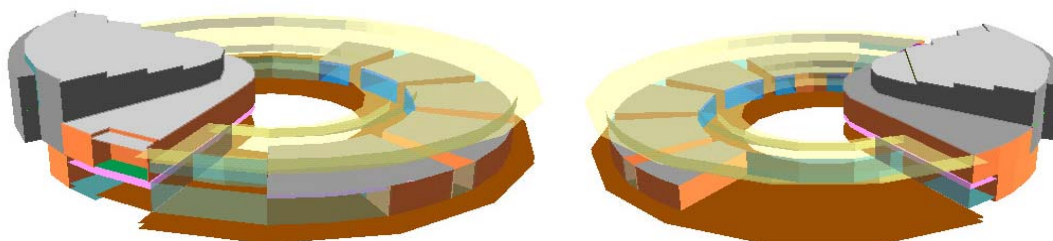
ser levada em conta na definição do sistema de condicionamento artificial e especificação das máquinas para que as mesmas funcionem na sua eficiência máxima (Figuras 7 e 8). Por outro lado, nas áreas abertas desse mesmo edifício, verificou-se uma melhora significativa, devido à colocação da cobertura têxtil.



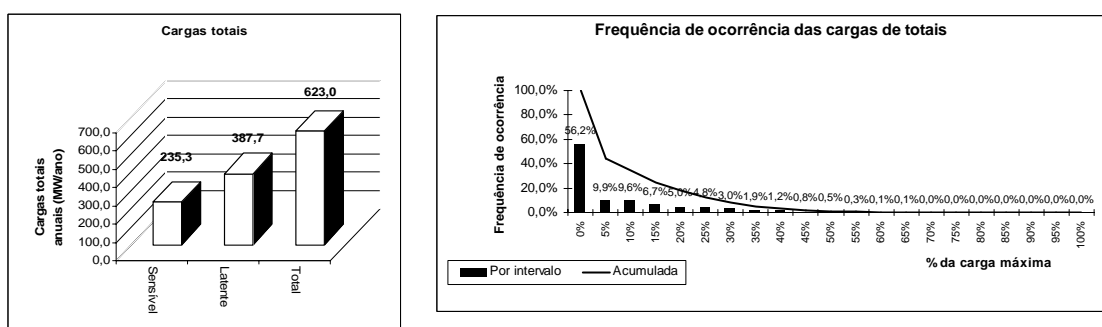
**Figura 5 - Prédio Central: modelagem no aplicativo de simulação com cobertura de telha metálica sanduíche, faixas de vidro verde laminado e chapa metálica perfurada nas extremidades.**



**Figura 6 – Prédio Central, cargas térmicas do escritório leste no primeiro pavimento, com o uso de vidro simples incolor (condicionamento misto para A/C a 26°C e 65% UR).**



**Figura 7 - Centro de Convenções: modelagem no aplicativo de simulação com cobertura têxtil**



**Figura 8 - Cargas térmicas do auditório, condicionado artificialmente por 100% do tempo de ocupação.**

## 4.2 Conforto e Desempenho Luminoso

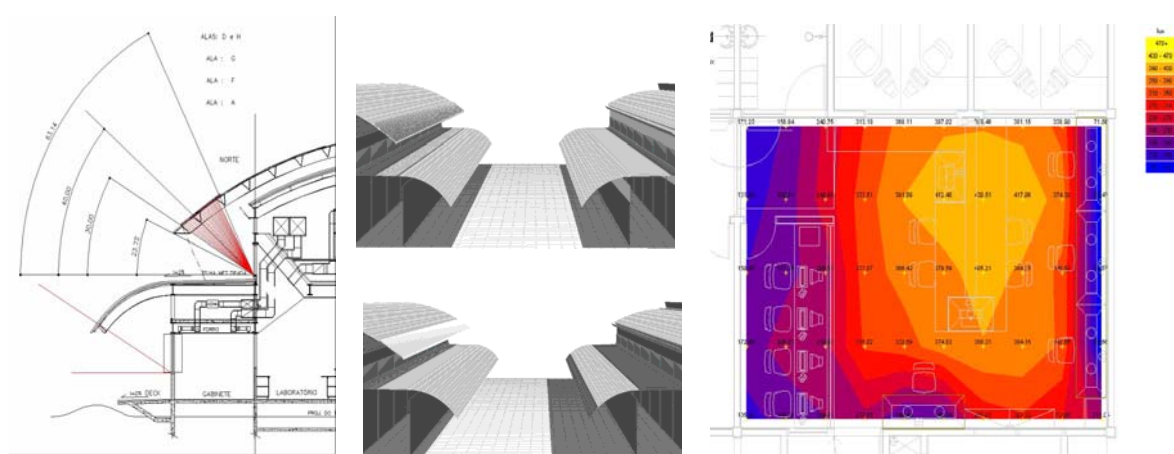
Nas análises e recomendações da eco-eficiência para os edifícios, buscou-se o melhor resultado térmico e luminoso para as soluções de orientação, proteção e especificação das aberturas. Por essa razão, adotou-se vidro verde nas aberturas zenitais e vidro incolor nas aberturas laterais. Os estudos de



desempenho luminoso (natural) revelaram que, na maior parte dos ambientes avaliados, são atendidas satisfatoriamente as exigências previstas na norma brasileira NBR 5413.

Nos resultados encontrados nos ambientes de Laboratórios (Figura 9), constataram-se níveis razoáveis para a iluminação geral, com distribuição homogênea, mostrando a influência das aberturas laterais voltadas para o exterior com proteção contra a radiação direta, permeabilidade e reflexão da luz para o espaço interior. Destaca-se a participação da cobertura inferior na reflexão da luz natural para o interior por meio de janelas altas. A complementação com a iluminação artificial é necessária em pontos específicos das bancadas e postos de trabalho.

Quanto aos ambientes de trabalho no Prédio Central, buscando melhorar o desempenho luminoso dos escritórios, foram estudadas alternativas para potencializar o ganho em iluminação das aberturas laterais leste e oeste. Paralelamente, estas necessitam de proteção da radiação solar direta no início e final da tarde. Os estudos constataram que tanto a distribuição como o nível de iluminação são favorecidos com a aplicação de *brises*. Com a influência desses dispositivos, a iluminância média nos espaços voltados para a orientação leste é de 315lux, além da penetração da luz difusa até as áreas mais afastadas das aberturas, melhorando a distribuição.



**Figura 9 – À esquerda, estudo com aletas refletoras na cobertura. No centro, solstício de verão (acima) e inverno (abaixo) às 12h. À direita, simulação da iluminação nos laboratórios.**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência de projeto do CENPES II, orientada por diretrizes de menor impacto ambiental, destacou a importância do interesse do cliente e do usuário final, desde a proposta inicial, no processo de projetos com tal preocupação. Certamente, a relevância considerada para as questões de conforto ambiental já na fase do projeto conceitual arquitetônico assegurou um desempenho potencial dos edifícios e espaços abertos a esse respeito. Passando para a fase de desenvolvimento do projeto nos trabalhos de eco-eficiência, cabe ressaltar que *softwares* de simulação como Radiance e CFX foram ferramentas essenciais para as análises de desempenho e conseqüentes ajustes e aprimoramentos da arquitetura.

As considerações com os aspectos de sustentabilidade do projeto, classificados pelo edital como eco-eficiência, levaram ao interesse da PETROBRAS, empresa investidora e usuária do novo complexo arquitetônico, pela certificação do CENPES II como um empreendimento de baixo impacto ambiental. O sistema escolhido para essa avaliação foi o LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*, proposto pelo Departamento de Energia do Governo Norte-Americano. Para tanto, o processo de projeto, reunindo todas as áreas envolvidas, foi informado constantemente pelas diretrizes e exigências do padrão de certificação adotado.

É sabido que as diferenças entre o contexto norte-americano e o brasileiro, no que tange às questões ambientais e climáticas, assim como do mercado nacional da construção civil e de suas normatizações, podem incorrer em incompatibilidades entre as exigências do LEED e o efetivo impacto ambiental na situação desse projeto. Contudo, a aplicação dessa metodologia de avaliação mostrou ser possível e válida como uma primeira abordagem quanto à avaliação das questões de eco-eficiência.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE (1992). *ASHRAE 55-1992: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta, USA.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LABAUT (2004). *CENPES-II, Arquitetura e Eco-eficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto* (Relatório técnico de acesso restrito). FAUUSP. São Paulo.

\_\_\_\_\_. *CENPES-II, Arquitetura e Eco-eficiência: Conforto e Desempenho Térmico das Edificações II* (Relatório técnico de acesso restrito). FAUUSP. São Paulo.

\_\_\_\_\_. *CENPES-II, Arquitetura e Eco-eficiência: Conforto e Desempenho Luminoso das Edificações II* (Relatório técnico de acesso restrito). FAUUSP. São Paulo.

\_\_\_\_\_. *CENPES-II, Arquitetura e Eco-eficiência: Conforto e Desempenho Acústico das Edificações II* (Relatório técnico de acesso restrito). FAUUSP. São Paulo.

METAR (2004). *Dados climáticos do Aeroporto do Galeão 1998-2004*. Laboratório Master – Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos para o grupo de professores-pesquisadores, mestrandos e doutorandos do LABAUT – Laboratório de Conforto Ambiental e eficiência energética do Departamento de Tecnologia da FAUUSP, pelo seu grande esforço e dedicação na execução dos estudos de conforto ambiental e eficiência energética do projeto do CENPES II. Tais trabalhos de consultoria e projeto na área de conforto ambiental e eficiência energética (classificada pela Petrobrás como “eco-eficiência”) foram desenvolvidos por três equipes de projeto, formadas de acordo com as especialidades dos pesquisadores envolvidos, a fim de cobrir quatro áreas do conforto ambiental: térmica e ventilação, iluminação, acústica das edificações e conforto em espaços abertos. Os integrantes das três equipes são os seguintes: térmica e ventilação: **Alessandra Rodrigues Prata, Rafael Brandão, Leonardo Marques Monteiro, Cecília Mattos Mueller, Mônica Pereira Marcondes, Gisele De Benedetto e Gustavo Brunelli**; iluminação: **Márcia Peinado Alucci e Anna Christina Miana**; acústica: **José Fernando Cremonesi, José Ovídio Peres Ramos e Paula Constante Santos**.

Para os estudos de verificação da adequação do projeto do CENPES II ao sistema norte-americano de certificação de baixo impacto ambiental LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*, ficam os agradecimentos para **Celso Shimomura, Andréa Vosgueritchian e Alessandra Rodrigues Prata**. Agradecimentos também às professoras Dra. **Márcia Alucci** e Dra. **Anésia Barros Frota** e ao engenheiro-pesquisador do IPT, Dr. **Fulvio Vittorino**, pelas consultorias na área de térmica e iluminação, consultorias essas que foram fundamentais para o sucesso desse trabalho. Nesse conjunto de especialistas, a equipe do LABAUT teve como gerente de Projeto a Professora Dra. **Joana Carla Soares Gonçalves** e como Coordenadora de Projeto a Professora Dra. **Denise Duarte**.

Representando a equipe do projeto de arquitetura no escritório Zanettini Arquitetura S.A., agradecimento especial a **Siegbert Zanettini e Érika Bataglia**, pela incansável disposição no acompanhamento e na colaboração com os estudos de conforto ambiental e eficiência energética. Finalmente, agradecimentos à Petróleo Brasileiro, **PETROBRAS**, pela autorização concedida para a publicação das informações técnicas do projeto do CENPES II.