XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

VENTILAÇÃO EM MEIO URBANO ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO EM CFD: O CASO DA ORLA MARÍTIMA DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB

Victor Fernandes (1); Juliana M. S. Costa Morais (2); Lucila Chebel Labaki (3)
(1) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, victorsf1007@hotmail.com, Universidade Federal da Paraíba, Tel.: 55 83 98829-2201
(2) Prof. Drª Departamento Arquitetura e Urbanismo, jumagnacosta@hotmail.com, Universidade Federal da Paraíba, Tel.: 55 83 3216 7115
(3) Prof. Visitante Universidade Federal da Paraíba, llabaki@gmail.com, Tel.: 55 83 3216 7115

RESUMO
Este trabalho apresenta um estudo acerca da ventilação natural intra-urbana em um bairro da orla da cidade de João Pessoa - PB, que conta com uma restrição de gabarito diferenciada, gerando um estado de verticalização característico na área. Esta análise foi feita a partir de simulação computacional usando software CFD (*Computational Fluid Dynamics).* Após a seleção do bairro, iniciou-se a elaboração do modelo tridimensional do mesmo na situação atual (em programa CAD), em seguida partiu-se para geração da malha (no ANSYS ICEM) e por fim realizou-se a simulação da ventilação natural propriamente dita (no ANSYS CFX). Foram extraídos resultados de ventilação em planos de corte horizontais e verticais. Os planos horizontais mostraram que o caso mais crítico observado foi o do nível do pedestre, como é de se esperar, visto que o vento perde velocidade quanto mais próximo do nível do solo. No entanto, observou-se que existem várias áreas onde esta ventilação é quase nula, gerando áreas estagnadas ou turbulentas. Porém, é possível notar que existem áreas em que a ventilação atinge boa velocidade, sendo isto resultado de efeitos de canalização localizados principalmente nas ruas e quarteirões que apresentam maiores recuos entre edificações (questão muito importante a ser considerada). Nos planos de cortes verticais confirma-se o rampamento do vento obedecendo ao escalonamento proposto no plano diretor, no entanto, observa-se que o aumento de rugosidade dos edifícios contribui para o trânsito do mesmo em regiões inferiores (ainda que seja mais turbulento).
Palavras-chave: ventilação natural, fluidodinâmica computacional, malha urbana

ABSTRACT
This work presents a study about intra-urban natural ventilation in a district in the coast of João Pessoa - PB, which has an unique building height restriction, creating a state of verticalization characteristic to the area. This analysis was made through digital simulation using CFD (Computational Fluid Dynamics). After the district selection, the tridimensional modelling of the current situation of the buildings was initiated (using a CAD software), then it was created a mesh (through ANSYS ICEM) and finally, the natural ventilation simulation was properly started (in ANSYS CFX). There were extracted results in horizontal and vertical section planes. The horizontal planes showed that the most critical state observed was in the pedestrian level, as it is expected, because the wind loses speed the closer it is to the ground. On the other hand, it was observed that there are several areas where the wind speed is almost null, generating stagnated or turbulent areas. However, it is possible to notice that there are areas which the wind speed reaches comfortable levels, being that the effect of channelization located mostly on the streets and blocks that present a greater distance between buildings (a highly important topic to be considered). In the vertical planes we could confirm the ramping of the wind obeying the scaling factor of the buildings proposed by the city laws, however, it is shown that the increase in rugosity of the buildings contributes to the transit of the wind in the lower levels (even though it becomes turbulent).
Keywords: natural ventilation, computational fluid dynamics, urban mesh.

1. INTRODUÇÃO

As cidades vêm se desenvolvendo conforme o passar dos anos, muitas vezes de forma verticalizada, o que gera diversos desafios e problemáticas que afetam diretamente a qualidade de vida e o bem-estar de sua população. O conforto destes habitantes pode ser prejudicado por meio de poluição sonora, poluição visual, desconforto térmico, ocasionado pelas altas temperaturas, muitas vezes acompanhada e potencializada por pouca ocorrência de ventilação natural. Este artigo trata justamente para deste último aspecto, e, visa contribuir para a discussão de algumas ações de planejamento urbano, as quais rebatidas em prescrições urbanísticas, podem favorecer mais ou menos aquisição de ventilação natural na malha urbana.

A cidade de João Pessoa apresenta-se como um caso especial em relação ao controle da verticalização urbana. Isto se deve ao fato de seu Plano Diretor possuir uma restrição de altura nos edifícios situados na orla da cidade, gerando um escalonamento conforme estes se afastam da praia. Esse assunto gera divergências de opiniões acerca de sua funcionalidade -de um lado a maior parte da população acredita que este modelo permite a ventilação contínua das quadras conforme se afasta do mar, por não criar grandes barreiras nas fachadas da orla; por outro lado, algumas pesquisas, a exemplo de Peregrino (2005), indicam que a disposição em escalonamento gera o rampamento do vento, prejudicando a ventilação nas porções mais baixas dos edifícios.

Surgindo como uma ferramenta da era digital, a fluidodinâmica computacional por meio dos *softwares* CFD (*computational fluid dinamycs)* permite a simulação de fluidos (como o vento) no meio ambiente físico realizando esta simulação em ambiente digital, com parâmetros controlados pelo usuário (o qual precisa ter amplo conhecimento da ferramenta). A simulação computacional trabalha de forma matemática, executando cálculos intensos a demonstrando graficamente os resultados destes cálculos. Em comparação com os meios de análise físicos- como mesa d'água ou túnel de vento- o CFD apresenta uma maior rapidez na obtenção dos resultados, o que tende se tornar ainda mais breve com os avanços tecnológicos dos processadores (CELINSKI, SANTOS, MENDES, 2003 *apud*. LEITE, 2015).

Na arquitetura o CFD é utilizado de duas principais maneiras: para a análise prévia da ventilação no entorno das edificações e do tecido urbano, e para análise da ventilação nos ambientes internos. Na Europa, o uso de ferramentas computacionais para a análise de ventilação em meio urbano vem sendo utilizado há mais de 30 anos, porém, no Brasil essa técnica ainda é relativamente nova. O repertório nacional inclui trabalhos como o de Toledo (1999) que questiona o critério de dimensionamento das aberturas sugerido pelo IBAM/PROCEL; Bittencourt e Lôbo (2003) que verificam o uso de captadores de ventos em habitações populares; Torres *et al* (2006) que compara diferentes arranjos construtivos de três conjuntos habitacionais; Prata (2005) realizou análise da ventilação urbana para verificar o impacto da ocupação edilícia na orla da cidade de Santos através do uso de CFD (no caso utilizou-se o ANSYS CFX, mesmo software utilizado neste artigo); Leite (2010) seguiu na mesma linha investigativa, e, verificou o impacto da ocupação edilícia na orla da cidade de Fortaleza; Morais (2013) realizou estudo de ventilação no ambiente interno de edifícios multifamiliares do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Campinas; e, por fim, cita-se Nascimento *et al.* (2016), que realizaram estudo acerca do modo de implantação de condomínios em Maceió - AL.

1.1. Ventilação natural em meio urbano

No meio urbano, o vento é influenciado por alguns aspectos. O primeiro deles é o **gradiente de velocidade**, que varia de um valor nulo junto à superfície, até sua intensidade máxima altura livre de obstáculos. Isso ocorre devido à **rugosidade** da superfície terrestre, com suas variações de relevo e presença de obstáculos, em destaque nas áreas urbanas, que provoca uma desaceleração do vento (BITTENCOURT & CÂNDIDO, 2005).

A Equação 1, definida por GASCH *apud* LEITE (2010), relaciona a velocidade do vento (v) com altura (h) em perfil logarítmico, permitindo o cálculo da velocidade do vento em uma altura h qualquer a partir de dados de uma altura de referência (href) e da rugosidade da região:

$$V(h) = Vref \frac{ln(\frac{h}{z_0})}{ln(\frac{href}{z_0})} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:
V = velocidade do vento na altura desejada [m/s]
h = altura desejada para obter-se a velocidade do vento [m]
Vref = velocidade do vento medida na altura de referência [m/s]

href = altura de referência de medição da velocidade do vento [m]
z_0 = rugosidade [m]

1.2. Fenômenos da ventilação no conjunto edificado

O tecido urbano é composto de edificações e estas surgem como obstáculos ao vento. O encontro dessa massa fluida e os blocos sólidos causam uma série de implicações e fenômenos que influenciam diretamente na velocidade e direção do vento não apenas naquele ponto de encontro, mas também em seus arredores.

Primeiramente, deve-se entender o que ocorre quando o fluido entra em contato com a edificação. As faces diretamente expostas ao vento (faces a **barlavento)** sofrem um impacto do mesmo, causando um aumento de pressão nestes pontos, uma **pressão positiva**. Já as faces não expostas à incidência direta do vento (faces a **sotavento**) tendem a criar zonas de baixa pressão ou **pressão negativa**, pois o vento busca seguir sua direção e sentido iniciais, gerando áreas menos densas onde ocorrem turbilhões de vento, ou seja, o vento nestas áreas possui uma característica bem menos definida, apresentando velocidade baixa e diversas direções e sentidos, o que se chama de região turbulenta.

Entender estes conceitos gerais é de suma importância, pois a partir dele podem-se gerar as estratégias de ventilação, em destaque a ventilação cruzada, onde o vento no ambiente flui de uma abertura com pressão positiva à uma abertura de pressão negativa.

A influência dessas zonas de diferentes pressões também atinge o entorno da edificação, o que gera um alto grau de complexidade quanto se trata do tecido urbano, onde diversas edificações irão influenciar e ser influenciadas pelo entorno. Assim, têm-se alguns casos mais comuns onde se pode predizer o comportamento do vento conforme a aerodinâmica e implantação dos edifícios.

1.3. Legislação de João Pessoa

A secretaria de planejamento urbano de João Pessoa segue a Lei do Plano Diretor da cidade, homologada em 1992, com uma nova versão homologada em 2009, sem alterações no que se diz respeito à restrição de gabarito na orla. O Artigo 25 do plano diretor determina que a altura máxima das edificações situadas em uma faixa de 500 metros ao longo da orla deve ser calculada segundo mostra a Equação 2:

$$h = 12{,}9 + (0{,}0442 \times d) \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
h = a altura máxima da edificação [m]
d = distância do ponto médio da testada principal do lote à testada da quadra da orla mais próxima [m]

A Figura 1 mostra o mapa da cidade de João Pessoa/PB onde demarcou-se de sutil linha roxa a faixa litorânea atingida pela restrição de gabarito e de vermelho a região de estudo desta pesquisa.

A) B)

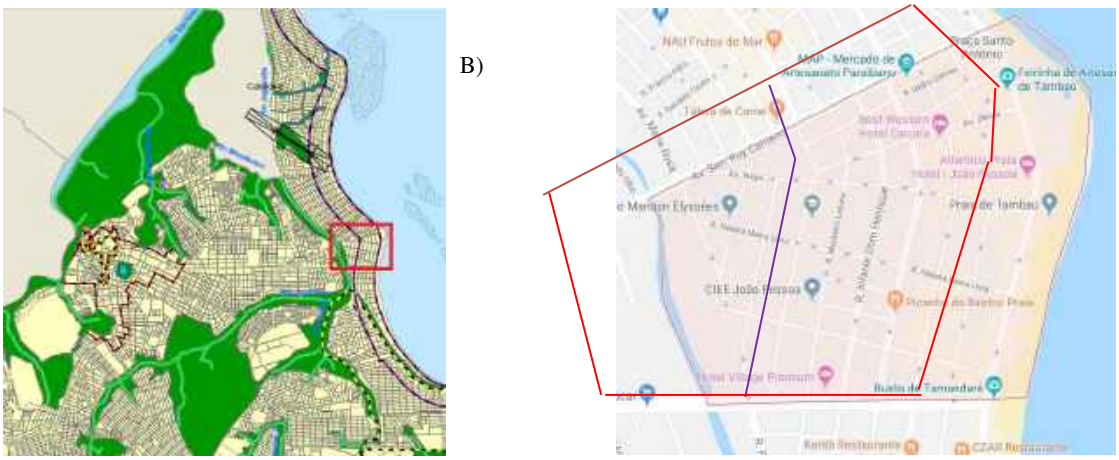


Figura 1: (A) Mapa da cidade de João Pessoa com restrição de gabarito da orla (contorno roxo faixa litorânea) e localização da área de estudo em vermelho; (B) área de estudo deste artigo (detalhe ampliado)

2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo analisar a ventilação natural de trecho criteriosamente escolhido da orla de João Pessoa, reabrindo a discussão acerca da eficácia ou não da restrição de gabarito desta área da cidade.

3. MÉTODO

O estudo iniciou-se com uma pesquisa teórica acerca do tema, juntamente com o aprendizado e testes práticos do software através de um estudo realizado na disciplina de Estágio Supervisionado I. A partir disso, com mais um ano de pesquisa, realizou-se a etapa de seleção do estudo de caso (recorte bairro Tambaú) e a caracterização de dados de ventilação da cidade de João Pessoa, permitindo a adoção de variáveis reais para o mesmo, que serviriam de dados de entrada para a simulação.

Após estas etapas, realizou-se a modelagem geométrica da área estudada, além de toda a preparação para a simulação de ventilação no CFD, passando pela configuração da malha, definição dos parâmetros de simulação, acompanhamento da simulação e extração de resultados.

3.1. Delimitação do estudo de caso

A área a ser estudada já era previamente definida pela característica do trabalho de estudar uma condição inerente à orla da cidade de João Pessoa. No entanto, foi necessário escolher um trecho específico por questões de volume de trabalho e capacidade de simulação de um grande número de objetos (edifícios). Para isso, buscou-se uma área que apresentasse uma boa taxa de ocupação, adensamento e verticalização. Foi escolhido o bairro de Tambaú, que atendia a todas estas características, sendo este um dos bairros mais verticalizados da cidade e apresentando diferentes tipologias e gabaritos, além de um evidente potencial de crescimento, que com a restrição de gabarito, torna o escalonamento das edificações cada vez mais perceptível.

Tendo-se escolhido a área de estudo, foi necessário executar a sua modelagem 3D. Para isso, precisava-se dos contornos e gabaritos dos edifícios para gerar os prismas a serem simulados. Utilizou-se então dados do Google Maps sobrepostos ao mapa disponível no site da prefeitura de João Pessoa, que permitiram construir no AutoCAD os perímetros das edificações, e através de imagens do Google Street View, pôde-se conferir o gabarito das edificações a partir de uma simplificação (adotou-se o valor de 3 metros de altura por pavimento).

Observando-se o modelo tridimensional (Figura 2) e o perfil lateral (Figura 3), pode se notar que o bairro apresenta uma certa diversidade em tipologias e formas de ocupação de lote. Possui uma característica residencial, com tipologias que variam de casas térreas, primeiro pavimento, pequenos edifícios (térreo mais dois ou três) e grandes edifícios, chegando a apresentar casos com mais de vinte pavimentos. Existem também edifícios mais "volumosos", sendo estes compostos por hotéis e edifícios comerciais (shoppings, mercados). Outro fato interessante é a existência de uma ocupação mais irregular em seu lado oeste, que pode ser atribuída historicamente aos antigos moradores da orla, que com a valorização da área a partir da abertura das avenidas Ruy Carneiro e Epitácio Pessoa foram se deslocando cada vez mais em direção ao Rio Jaguaribe, limite oeste do bairro de Tambaú, e ocupando áreas mais debilitadas.

Com isso, pode-se perceber o escalonamento presente na área de estudo, com edificações crescendo linearmente até certa faixa (500m da orla), e de forma mais acentuada a partir deste limite, gerando grandes edifícios verticalizados (Figura 4). Nota-se também que apesar de ter uma crescente taxa de verticalização, o bairro ainda não é tão verticalizado quanto se esperava, apresentando certo distanciamento entre edifícios de alto gabarito em sua maior parte.

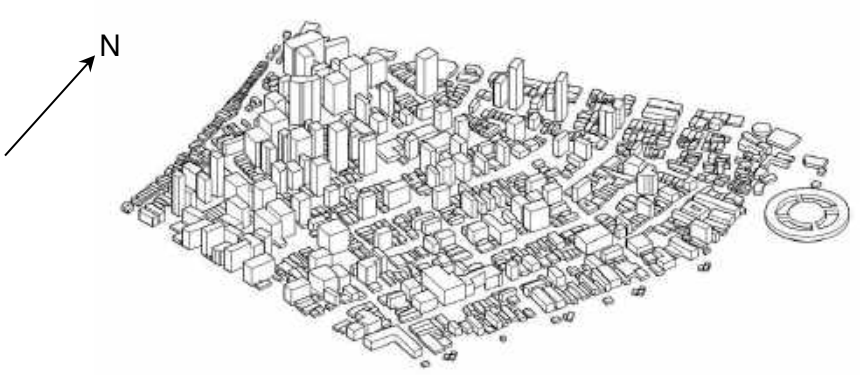


Figura 2: Modelo tridimensional da área estudada (situação atual) extraído do AutoCAD

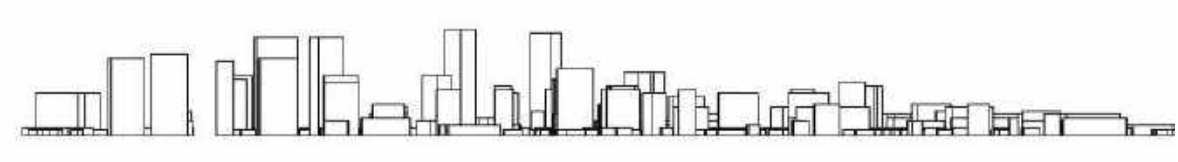


Figura 3: Vista perfil lateral do bairro onde se percebe o escalonamento na faixa litorânea

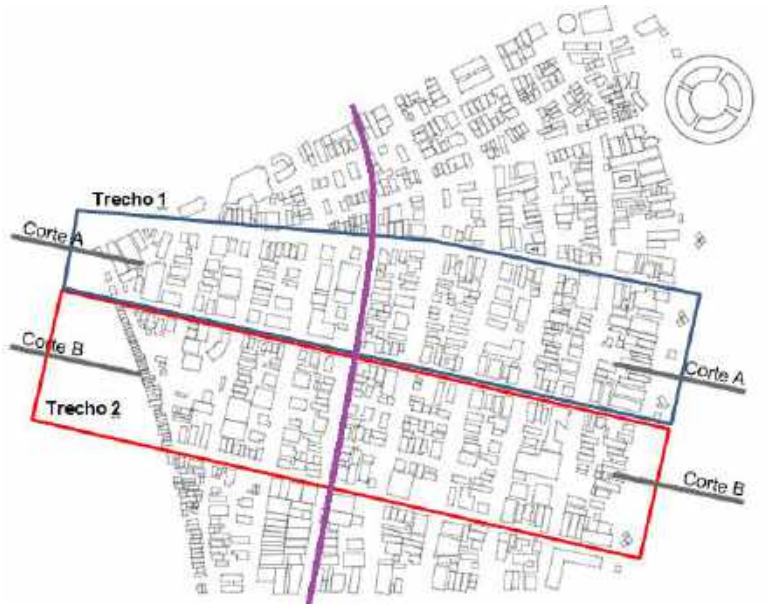


Figura 4: Trechos selecionados para estudos em corte (azul e vermelho) e faixa limite de 500m da orla (roxo)

3.2. Caracterização da ventilação na cidade de João Pessoa

Para este estudo, necessitava-se da caracterização de ventilação natural na cidade de João Pessoa. Para isso, consultou-se o trabalho de Oliveira (2013) que trouxe dados de direção e velocidade do vento predominante na cidade. Posteriormente foram obtidos dados de ventilação dos últimos 20 anos (1º de Janeiro de 1998 a 1º de Janeiro de 2018) através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET, onde se pôde confirmar a direção predominante Sudeste, além de velocidade média dos ventos de 3,6 m/s. Estes dados foram de suma importância para a simulação, servindo como dados de entrada.

3.3. Simulação computacional a partir do ANSYS CFX

O CFX (da empresa ANSYS) é um software de alto desempenho em CFD que agrega diversas funções atreladas à estudos de mecânica dos fluidos em geral. Funciona, na verdade, como um grupo de programas que dividem entre si as etapas necessárias para a execução de uma análise robusta e precisa.

O CFX é difícil de trabalhar a princípio, devido a seu grande leque de opções e parâmetros para configuração da análise, porém, com a prática percebe-se que trata-se de uma sequência lógica e direta que varia alguns pontos de acordo com as necessidades de cada projeto. Uma grande vantagem do CFX é que ele é moldável ao estudo que será realizado, podendo alterar os parâmetros de cálculo e outras configurações de entrada.

As etapas de elaboração do modelo de análise são divididas em diversos programas o que permite um processo executado em etapas e salvar o progresso inacabado dos cálculos, o que pode ser imprescindível em projetos bem complexos.

Essa robustez tem um preço: demanda de capacidade de processamento. Dependendo da complexidade do estudo, tanto o processo de criação manual quanto o de cálculo das equações podem levar bastante tempo, tornando o processo geral de design mais lento, porém analisado e estudado nos mínimos detalhes.

O método de uso do CFX é composto de diversas etapas, porém, seguindo corretamente a metodologia e com um pouco de prática o processo se torna simples e linear, mesmo assim, é um software que exige um conhecimento específico do usuário.

Inicia-se pelo desenvolvimento de um **modelo 3D sólido**, etapa esta realizada normalmente em ambiente CAD (no caso , utilizou-se AutoCAD 3D), recomendando-se utilizar comandos de sólidos e não de desenho, como o *extrude, presspull, subtract* e *union*. Deve-se então exportar o modelo tridimensional executado no CAD para o programa ICEM ANSYS, responsável por criar o **domínio** e a **malha**. Para a construção do domínio (espécie de "céu artificial" onde ocorrerá a simulação), criam-se **pontos** localizados nos vértices da geometria e nos extremos do espaço que se quer delimitar. No caso deste estudo, foram adotadas as dimensões recomendadas por Cost (2004) de cinco vezes a altura do maior objeto da geometria para a altura do domínio e dez vezes a altura em todas as direções laterais.

Após a criação dos pontos deve-se uní-los por meio de arestas, formando as **superfícies** do domínio, para então criar um *body* (ponto material que define onde está a atmosfera ou fluido) no centro do domínio. Passa-se então para a criação das **partes** utilizando as faces do domínio, onde serão alocadas as direções de entrada de saída do vento no domínio. Para este estudo optou-se por utilizar um **domínio octogonal** para simulação de ventos a sudeste (135º).

Com esses elementos criados, devemos partir para a configuração da malha. Quanto à malha, os principais parâmetros seguiram padrões estabelecidos em outras simulações computacionais de ventilação natural em meio urbano (LEITE, 2010). As malhas podem ser classificadas como estruturadas e não-estruturadas. Na pesquisa utilizou-se a malha não-estruturada tetraédrica por se ajustar melhor a geometrias complexas, além disso requer uma menor complexidade computacional e consequentemente um tempo menor de simulação.

Devem ser definidos os **tamanhos dos elementos** de cada parte da malha, onde elementos maiores terão um menor número de cálculos e resultados mais gerais, e elementos menores terão um grande volume de cálculos e resultados bem precisos. Em geral, nas bordas do domínio utilizam-se elementos grandes (Ex.: 20m) e nas bordas da geometria elementos pequenos (Ex.: 0,3m). Depois de obtida a malha, exporta-se o arquivo para o CFX-Pre, onde são delimitadas as fórmulas matemáticas e definições de entrada e saída de ar do domínio (Equação 1) demonstrada no início do trabalho. Deve-se definir também o **modelo de turbulência,** que neste caso, utilizou-se o modelo k-ε (*k-Epsilon*) que é mais usado para escoamentos externos, caso desta pesquisa, assim como foi usado por outros autores em pesquisas similares (LEITE, 2010; PRATA, 2005). Além disto, selecionou-se a quantidade de **iterações**, ou seja, número de vezes que as equações serão solucionadas (como nas pesquisas mencionadas adotou-se entre 300 e 10000). Este número deve ser pensado tendo em vista a complexidade do modelo, visto que a simulação deve ser executada até o gráfico de resultado passar a ter uma **estabilidade ou convergência**, significando que a análise atingiu uma **solução definida**. Cumpridas estas etapas inicia-se a simulação de fato, que pode ser acompanhada no módulo CFX-Solver.

Após a estabilização ou convergência, inicia-se o módulo CFX-Post, onde poderão ser obtidos os resultados das mais variadas formas, incluindo gráficos, tabelas, planos, linhas, *isolinhas* e animações. Todas relacionadas ao comportamento do vento com sua visualização de direção e velocidade (m/s).

4. RESULTADOS

Atribuído aos estudos de ventilação propriamente ditos no CFD. Obtiveram-se os resultados das simulações e geraram-se imagens onde o comportamento do vento na área estudada pôde ser compreendido e explorado. Elas foram separadas em três cortes horizontais (1,5m, 3m e 6m de altura) e dois cortes verticais (Corte A e Corte B), localizados ao meio dos Trechos 1 e 2, demonstrados no tópico anterior.

4.1.1. Corte horizontal nível 1,5m (nível do pedestre)

No corte ao nível do pedestre (Figura 5) é possível perceber a dificuldade do vento em adentrar certos espaços do tecido urbano. Nota-se que a velocidade neste nível varia entre 0 e 2,6m/s, porém percebe-se vários pontos onde a velocidade do vento fica próxima de zero, principalmente em espaços internos aos quarteirões, onde geralmente se tem uma proximidade maior entre edificações. Pode-se notar também áreas em que a própria morfologia do tecido urbano gera um aumenta de velocidade do vento através dos efeitos, em especial os efeitos de canalização (contorno vermelho) e efeito venturi (contorno amarelo). Como esperado, o vento apresenta uma maior penetração nas quadras próximas da orla, utilizando-se dos recuos

das edificações e das ruas, mantendo uma velocidade relativamente constante nas quadras localizadas mais à leste do bairro.

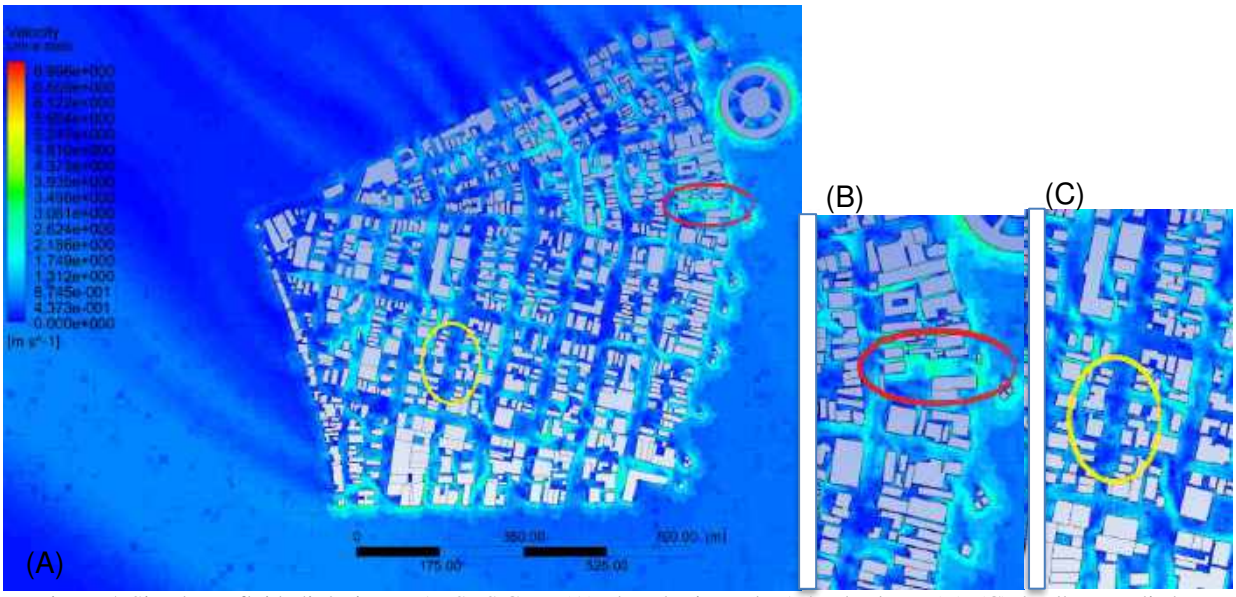


Figura 5: Simulação fluidodinâmica no ANSYS CFX: (A) Plano horizontal a 1,5m de altura; (B), (C) detalhes ampliados

4.1.2. Corte horizontal nível 3m (nível primeiro pavimento)

Já no corte ao nível do primeiro pavimento (Figura 6) consegue-se identificar uma maior velocidade média e máxima do vento, com pontos chegando à aproximadamente 4 m/s (contorno vermelho), devido aos fenômenos que a malha urbana provoca. Essas barreiras formadas pelos edifícios podem gerar efeitos de aceleração, como visto no exemplo anterior, ou de desaceleração e turbulência. Estes ocorrem em grande parte logo após um edifício de maior volume ou gabarito, como podemos identificar em certas regiões do recorte, principalmente em áreas com recuos menores entre edificações e que apresentam um gabarito mais homogêneo, como podemos identificar em alguns quarteirões da zona de escalonamento (contorno amarelo).

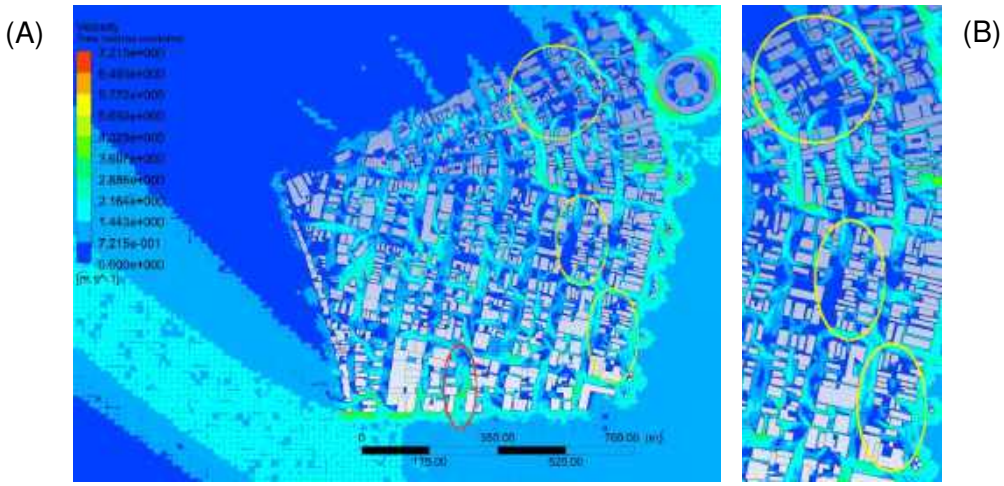


Figura 6: Simulação fluidodinâmica no ANSYS CFX: (A) Plano horizontal a 3m de altura; (B) detalhe ampliado

4.1.3. Corte horizontal nível 6m (nível segundo pavimento)

Como último plano horizontal, apresenta-se o corte no nível correspondente ao segundo pavimento, elevado 6m do solo (Figura 7).

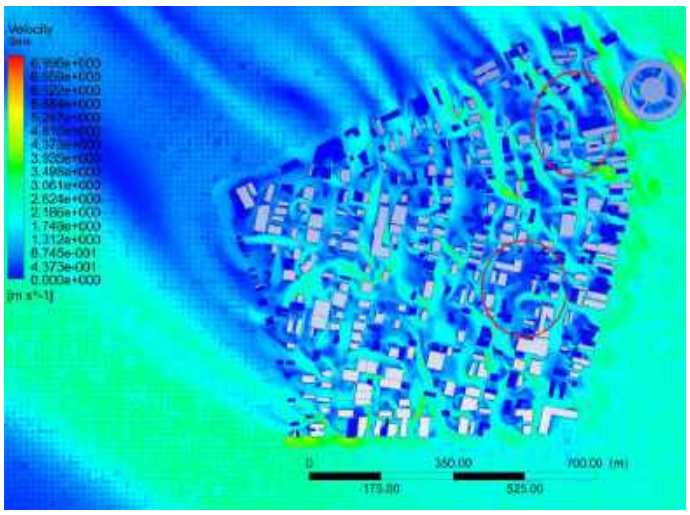
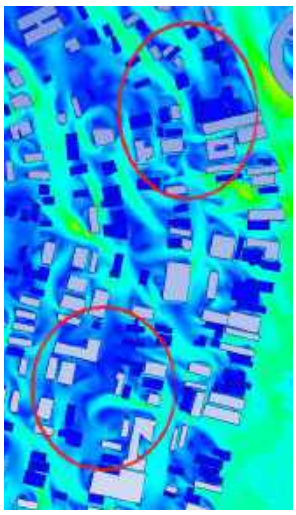
(A)   (B)

Figura 7: Simulação fluidodinâmica no ANSYS CFX: (A)Plano horizontal a 6m de altura; (B) detalhe ampliado

Neste pode-se perceber a fluidez com que o vento passa a circular devido à diminuição de obstáculos no seu caminho. Como dito antes, o bairro de Tambaú ainda não apresenta um grau de verticalização tão excessivo, o que permite valores confortáveis de ventilação, ocorrendo pontos em que a velocidade do vento chega a ser maior do que a velocidade de entrada definida no estudo, devido aos efeitos de aceleração ocorridos em certos pontos. Nota-se que nesta altura já se apresenta uma menor densidade de ocupação, visto que segundo a legislação do Plano Diretor de João Pessoa, os edifícios com maior gabarito devem apresentar recuos maiores, proporcionais à sua altura, permitindo assim que o vento possa transitar entre os mesmos de maneira que a ventilação dos edifícios posteriores não seja tão prejudicada. No entanto, ainda pode-se notar certas áreas onde a ventilação é quase nula, devido à bloqueios por parte de edifícios de maior volume horizontal ou pequenos recuos (contorno vermelho).

4.1.4. Cortes verticais

Na análise dos cortes verticais (Corte A e Corte B) pode-se observar com mais clareza o comportamento do vento entre os prédios. Tomando por base um plano vertical no centro do trecho 1 e trecho 2 respectivamente (Figuras 8 e 9), nota-se à primeira vista que o vento gera uma ascendente, um rampamento, subindo seu fluxo livre de acordo com o gabarito das edificações. Observa-se ainda que nos edifícios mais próximos à orla, e, por conseguinte, de gabarito mais próximo, ocorre uma zona turbulenta entre os edifícios, gerando áreas de velocidade quase nula. Isto também ocorre na zona livre, após a área de escalonamento, no entanto, a variação de gabarito e os recuos mais acentuados conforme a altura do prédio parece amenizar este efeito, garantindo certa velocidade, mesmo que baixa, para estas zonas de sombra de vento. Ressalta-se também a disposição mais otimizada, onde se tem edificações mais afastadas, o que permite que o vento suba a partir da edificação mais à frente, mas tenha distância suficiente para retomar a sua altura original, permitindo assim uma ventilação favorável ao primeiro edifício e os posteriores.

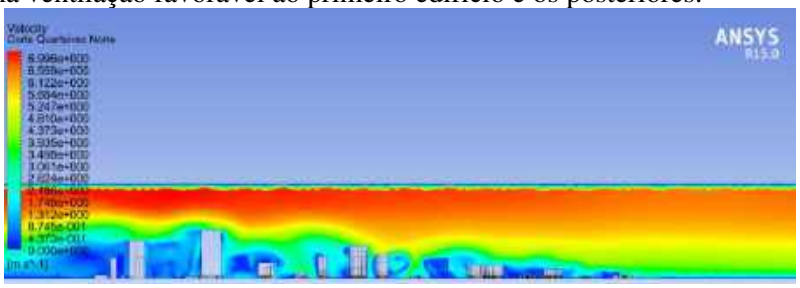


Figura 8: Simulação fluidodinâmica no ANSYS CFX. Plano vertical no centro Trecho 1 (Corte A).

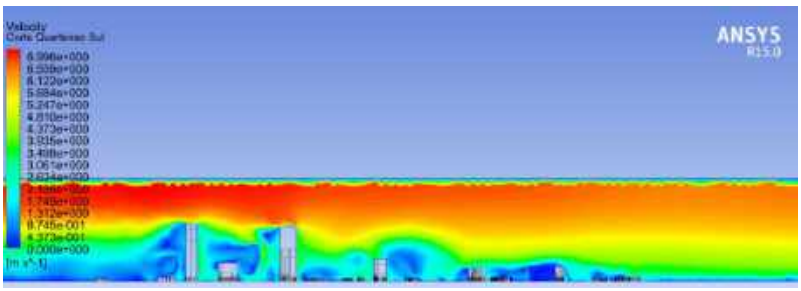


Figura 9: Simulação fluidodinâmica no ANSYS CFX. Plano vertical no centro Trecho 2 (Corte B).

4.1.5. Discussões

Analisando os resultados, pode-se retomar uma discussão acerca do efeito da zona de restrição de gabarito no bairro de Tambaú. Destaca-se a variação de altura entre os edifícios localizados na zona de restrição de gabarito e na área livre, sendo estes últimos quase duas vezes maiores em altura que os primeiros, no entanto, são geralmente mais esbeltos, devido à legislação que obriga recuos maiores conforme a altura da edificação.

O caso mais crítico observado foi o do nível do pedestre, como é de se esperar, visto que o vento perde velocidade quanto mais próximo do nível do solo. No entanto, pudemos notar que existem várias áreas onde esta ventilação é quase nula, gerando áreas estagnadas ou turbulentas. Porém, é possível notar que existem áreas em que essa ventilação parte para níveis agradáveis, sendo isto resultado de efeitos de canalização localizados principalmente nas ruas e quarteirões que apresentam maiores recuos entre edificações. A questão dos recuos entre os edifícios passa a ter destaque nos planos de corte de 3 e 6 metros, onde o vento já encontra mais aberturas devido à diminuição do número de edificações, visto que algumas apresentam apenas um ou dois pavimentos, e o aumento do espaçamento entre edifícios, permitindo uma maior permeabilidade dos quarteirões, facilitando o trânsito do vento dentro da malha urbana.

Nos cortes verticais, gera-se uma discussão interessante acerca da funcionalidade da restrição de gabarito em relação à ventilação dos edifícios posteriores. Primeiramente, deve-se notar que a velocidade do vento mantém-se constante até a altura das edificações, onde estes volumes sólidos irão acelerar ou frear o mesmo. Dito isto, é notável o rampamento desta linha de ventilação livre conforme as edificações vão aumentando de altura. Sendo assim, pode-se considerar que quanto maior for a edificação, mais difícil será de o vento atingir altas velocidades em níveis mais baixos posteriores ao edifício (nível pedestre, primeiro pavimento). No entanto, percebe-se nos cortes, que as áreas turbulentas ocorrem com maior intensidade no espaço entre edificações, especialmente nas quadras regidas pela restrição de gabarito. Isso pode ser causado por dois fatores: como dito anteriormente, a legislação aumenta os recuos conforme a altura dos edifícios aumenta, gerando um maior afastamento entre os mesmos e permitindo que o vento retome parte de seu caminho original; o outro fator pode estar relacionado à rugosidade que a malha urbana gera, fazendo com que a maior variação entre alturas de edifícios criem novos fluxos de ventilação, permitindo com que os níveis mais baixos possam receber ventos advindos de outras direções. Portanto o aumento da rugosidade é algo que deve ser priorizado no planejamento urbano do bairro bem como a presença de recuos laterais generosos (que na legislação local aumentam conforme aumenta altura do edifício) é algo vital para a permeabilidade do vento na malha urbana.

5. CONCLUSÕES

Inicialmente, é importante retomar a motivação deste estudo: estudar a ventilação urbana na orla de João Pessoa a partir de uma nova ferramenta, o CFD. Isto é fundamental visto que o trabalho não tem como objetivo determinar se a atual legislação é certa ou errada, também não tem o objetivo de propor alterações e novas soluções urbanas para o mesmo, pois, para tal são necessários diversos estudos sob diferentes ângulos de conhecimento. O assunto é muito extenso e complexo para ser determinado por apenas um estudo, sendo necessário abrir esta discussão para outros campos do planejamento urbano. Sendo assim, pode-se considerar esta análise pontual como uma chamada para novos estudos e debates acerca do planejamento urbano na cidade de João Pessoa, em destaque para sua orla.

Considera-se que o trabalho apresentou resultados importantes para a discussão da temática. Puderam-se compreender os efeitos dos edifícios na ventilação de seu entorno, assim como o impacto que a própria malha urbana gera no vento. Além disso, foi possível ver de forma prática e aplicada estes fenômenos em um ambiente controlado de simulação digital. A complexidade do ambiente urbano é um desafio que exige ao máximo as ferramentas disponíveis para realizar análises quantitativas e qualitativas,

como as deste trabalho, e a dificuldade é tamanha que foi necessário adotar simplificações para que o estudo pudesse ser realizado. Faz-se necessário destacar ainda que foi encontrada grande dificuldade para realização destas simulações por questões de capacidade de processamento dos computadores utilizados, por se tratar de uma simulação em escala de bairro, o que foi um grande desafio.

Espera-se que as discussões aqui levantadas sejam bem aproveitadas e abram novos debates sobre a legislação urbanística da cidade, instigando novas análises e ideias acerca do bom aproveitamento da ventilação no planejamento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2005.

COST,.**Cost Action 14: Recommendations on the use of CFD in predicting Pedestrian Wind Environment**. Bruxelas: COST, 2004.

COSTOLA, Daniel; ALUCCI, Marcia Peinado. **Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício.** Ambient. constr. (Online), Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 145-158, Março 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S167886212011000100010&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 30 de Outubro de 2017.

LEITE, Renan Cid Varela. **Cidade, vento, energia: limites da aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido**. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura), FAUUSP. São Paulo, 2015

LEITE, Renan Cid Varela. **Fortaleza: terra do vento. A influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: FAUUSP, 2010.

MORAIS, Juliana Magna da Silva Costa. **Ventilação natural em edifícios multifamiliares do programa "Minha Casa Minha Vida"**. Tese (doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.

NASCIMENTO, T. C. C.; BARROS, P. C. F.; BATISTA, J. O. **Avaliação da ventilação natural em arranjos de implantação de edifícios em condomínio de Maceió-AL.** 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades. Maceió, Brasil, 05 a 07 de Outubro de 2016.

OLIVEIRA, A. **A influência das recomendações do zoneamento bioclimático brasileiro no desempenho térmico da envoltória de edificações de interesse social nos municípios da Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal da Paraíba, 2013.

PRATA, A. R. **Impacto da altura de edifícios nas condições de ventilação natural do meio urbano.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PEREGRINO, P. **Inter-relações existentes entre os escoamentos de ventos e os padrões de ocupação do solo nos bairros do Cabo Branco e Tambaú/João Pessoa – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) João Pessoa: UFPB, 2005.

SALES, Gustavo de Luna. **Diagrama de ventilação natural: ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto**. Tese (doutorado – Arquitetura e Urbanismo), Universidade de Brasília, Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2016.

SANTAMOURIS, M; WOUTERS, P. Building ventilation: the state of the art. James and James, 2006.

TOLEDO, Alexandre Márcio. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió/AL.** Tese (doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

AGRADECIMENTOS

À agência brasileira de fomento à pesquisa, CNPq, pela participação do aluno de iniciação científica- modalidade PIVIC- neste projeto.