

ARQUITETURAS ROBÓTICAS: INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS MECATRÔNICOS EM EXPERIMENTAÇÕES COM ESTRUTURAS ADAPTÁVEIS EM UMA EXPERIÊNCIA INTERDISCIPLINAR

Me. Rodrigo Paulino – rodrigo@unifor.br
UNIFOR - Universidade de Fortaleza - CCT
Av. Washington Soares, 1321 – Edson Queiroz
60811-905 – Fortaleza - Ceará

Dr. Clarissa Ribeiro - almeida.clarissa@gmail.com
UNIFOR - Universidade de Fortaleza - CCT
Av. Washington Soares, 1321 – Edson Queiroz
60811-905 – Fortaleza - Ceará

Me. Átila Girão – atilagirao@unifor.br
UNIFOR - Universidade de Fortaleza - CCT
Av. Washington Soares, 1321 – Edson Queiroz
60811-905 – Fortaleza - Ceará

Me. Wellington Brito – wbrito@unifor.br
UNIFOR - Universidade de Fortaleza - CCT
Av. Washington Soares, 1321 – Edson Queiroz
60811-905 – Fortaleza - Ceará

Resumo: Explorando as qualidades adaptativas de estruturas geometricamente complexas, o projeto aqui apresentado consiste em uma experiência acadêmica transdisciplinar que foi projetada para promover um diálogo produtivo entre a arquitetura e a mecatrônica. Estruturado como uma iniciativa conjunta, o projeto envolve estudantes do primeiro ano de Arquitetura e Urbanismo e da Engenharia de Controle e Automação. O processo que foi dirigido e supervisionado por professores de ambas disciplinas na Universidade de Fortaleza, Brasil, foi projetado como um convite para explorar e dominar o conhecimento básico em eletrônica, computação, física e estratégias de modelagem para estruturas geometricamente complexas considerando problemas da vida real. A produção final foi apresentada em uma exposição pública no campus onde as comunidades acadêmicas e locais foram convidadas a discutir as ideias. Um painel constituído pelos supervisores avaliou os projetos e o entusiasmo - como cada membro da equipe estava contribuindo de forma produtiva, assumindo uma parte da responsabilidade, aprendendo com críticas construtivas. Um dos principais objetivos do projeto foi construir um modelo para futuras colaborações envolvendo áreas disciplinares distintas e conduzido por pesquisadores que trabalham em conjunto para criar conhecimento conceitual e metodológico inovador.

Palavras-chave: Crowdfunding; arquitetura robótica; arquitetura adaptativa; estratégias transdisciplinares; estratégias de modelagem para geometrias complexas.

1 INTRODUÇÃO

Tendo a adaptabilidade como uma estratégia de sofisticação adicional em explorações envolvendo a modelagem de estruturas geometricamente complexas em Arquitetura, a proposta aqui apresentada constitui um experimento de integração entre os cursos de Arquitetura e o de Engenharia de Controle e Automação (Mecatrônica). O desafio integra alunos de duas cadeiras específicas: Laboratório de Modelagem de Geometrias Complexas e Introdução a Engenharia de Controle e Automação, organizados em equipes mistas (2 alunos da Arquitetura e 2 da Automação) como tentativa de construção de uma cultura transdisciplinar em que engenheiros aprendam sobre os níveis de realidade acessados pelos arquitetos e onde os arquitetos aprendam a navegar por aqueles que integram o universo da mecatrônica.

Combinando estratégias de design como *FreeForm* e *Formfiding* para trabalho com estruturas geometricamente complexas como, por exemplo, tessituras deformáveis, a integração de sistemas que utilizam linguagens de programação de alto nível é proposta com o objetivo de estudar a performance dos objetos arquitetônicos produzidos em função de variantes ambientais – pensando a arquitetura em sua gênese formal sobretudo como um sistema. Um dos objetivos é construir uma metodologia em processo para exploração de uma perspectiva onde é apresentada uma realidade ao aluno que irá presenciar, em um futuro mercado de trabalho, situações como alinhamentos de decisões, desafios apresentados durante o processo de elaboração do projeto, relação interpessoal, entre outras. A estratégia didática desse laboratório dá continuidade e acontece em paralelo às investigações realizadas pelos pesquisadores do grupo *CrossLab* na Universidade de Fortaleza.

2 CROSSLAB

O CrossLab consiste no projeto de implantação continuada de um laboratório experimental a partir da estruturação de um núcleo de pesquisas com foco no estudo, desenvolvimento e aplicação de tecnologias e metodologias que envolvam design paramétrico, CAD e CAM para modelagem de estruturas geometricamente complexas e adaptáveis partindo de estudos envolvendo Sistemas Complexos Adaptativos em abordagens cross-escalares. O projeto tem a intenção de corresponder às necessidades e desafios contemporâneos da atuação de arquitetos e engenheiros em âmbito internacional nas interseções entre Arquitetura, Tecnologias Computacionais, Engenharia Elétrica e Ciências de um modo geral, envolvendo a exploração de contextos e conhecimentos em diversas escalas, do micro e do nano ao macroscópico, com desdobramentos na proposição de projetos que potencialmente contribuam para uma sofisticação da produção dos estudantes.

Idealizado e dirigido pelos professores Clarissa Ribeiro, Wladimir Capelo e Daniel Lenz, a ideia do CrossLab é oferecer aos alunos e demais pesquisadores envolvidos nos projetos vinculados ao grupo uma plataforma consistente para exploração de ponta em Arquitetura numa perspectiva cross-áreas, integrando o grupo em uma rede internacional de diálogo com vistas ao desenvolvimento colaborativo de propostas via workshops e intercâmbios, envolvendo, dentre outros, parcerias já consolidados pelos professores responsáveis e que incluem: Laboratório do Curso de Mídia Interativa da UFC (Professor Antônio José Melo Leite Júnior), escritório Protobox de Campinas (Profa. Dra. Renata La Rocca); Art|Sci Center

and LAB UCAL Los Angeles (Profa. Dra. Victoria Vesna e Prof. Dr. James Gimzewsky); Roy Ascott Studio DeTAO Master Academy Shanghai (Prof. Stavros Didakis); Laboratórios do curso de Engenharia da UNIFOR (Prof. Rodrigo Paulino).

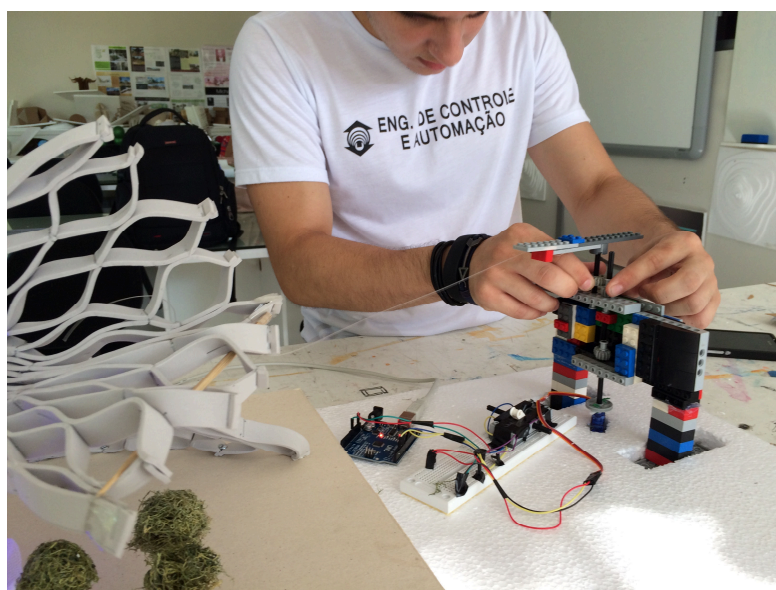
3 PROJETO INTEGRADOR

A proposta nasce em um primeiro momento das discussões abrigadas pelo CrossLab, muitas das quais vinculadas a uma implementação experimental na disciplina Elementos de Composição Tridimensional, explorando diversas estratégias para modelagem de estruturas geometricamente complexas e incorporando a adaptabilidade como perspectiva. Sob uma ótica mais ampla, a proposta integra as estratégias institucionais do Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da UNIFOR e da Assessoria Pedagógica de incentivo à realização de ‘Projetos Integradores’.

O Centro de Ciências Tecnológicas da UNIFOR promoveu, em 2014, uma reforma curricular em todos os cursos do Centro onde um dos objetivos desejáveis seria fidelizar alunos dos primeiros semestres com aplicação de metodologias ativas diferenciadas que ultrapassem o ambiente de sala de aula, reduzindo a evasão e atenuando frustrações causadas, principalmente nos cursos de engenharia, por uma elevada carga de disciplinas teóricas que estão distantes do ciclo profissional do curso como é o caso de Cálculo e Física. Além da antecipação na oferta de disciplinas que tradicionalmente envolvem práticas de laboratório, algumas dessas disciplinas (novas ou revisadas em seus projetos de ensino) assumiram papel fundamental na estratégia, como a disciplina de Introdução à Engenharia de Controle e Automação.

3.1 Disciplina de Introdução à Engenharia de Controle e Automação

Figura 1 – Projeto Integrador; automação utilizando sensores LDR e servomotores.



Na abordagem proposta pelo Professor Me. Rodrigo Paulino, professor da disciplina de Introdução à Engenharia de Controle e Automação da UNIFOR, um grupo de estudos em Arduino, acompanhado por alunos veteranos e supervisionado pelo professor da disciplina, introduzem aos ingressantes do curso, em um primeiro momento, conceitos sobre atuadores, sensores, linguagem de programação do dispositivo microcontrolado (plataforma Arduino) e exemplos de aplicação na engenharia. Todas essas experiências, anteriormente à integração com a Arquitetura, culminaram na elaboração de projetos onde os temas eram relativamente abertos, utilizando uma programação acessível à alunos do primeiro semestre, sendo implementadas e demonstradas ao final de cada semestre. Por ser uma plataforma de prototipagem eletrônica com o código aberto, a Arduino foi desenvolvida com objetivo de minimizar as dificuldades na montagem do hardware, permitindo maior foco nas estratégias de programação em C/C++. Essa possibilidade é especialmente interessante em um contexto didático em que, no mesmo semestre, também é ofertada a disciplina de Algoritmos e Programação de Computadores, onde os alunos também utilizam a linguagem C/C++.

Por se tratar de um projeto itinerante em que, a cada semestre novas oportunidades são exploradas, em um dos semestres, a turma convidou um professor da Engenharia Mecânica da disciplina de ‘Projetos de Sistemas Mecânicos’ para uma abordagem sobre mecanismo que envolviam engrenagens, acoplamentos, sistemas de redução de velocidade, intertravamento mecânico entre outras possibilidades que iriam despertar no aluno a curiosidade pela busca da melhor solução técnica para o problema proposto e, com isso, agregar valor à solução apresentada.

3.2 Disciplina de Elementos de Composição Tridimensional

A abordagem ou recorte proposto para a disciplina Elementos de Composição Tridimensional pela professora Dra. Clarissa Ribeiro, inclui a exploração de tendências contemporâneas na arquitetura com foco no aprendizado de diferentes estratégias para modelagem de estruturas geometricamente complexas incluindo *freeform* e *formfiding*, genética, parametricismo e adaptabilidade com integração de sistemas robóticos. A disciplina inclui uma série de trabalhos na tentativa de cobrir o maior número de tendências contemporâneas possível no intervalo de aproximadamente 4 meses de aula, combinando modelagem física e computacional/paramétrica:

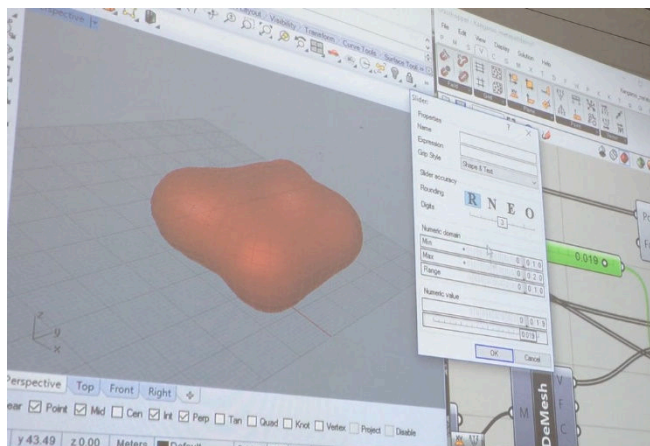
Trabalho 1: Freeform -- com deformação livre de superfícies e exercício da capacidade de conferir ao objeto/espço resultante características arquitetônicas utilizando recursos como desenho de observação com humanização, fotografia com iluminação (luz e sombra), definição de escala gráfica;

Trabalho 2: Desconstrutivismo -- desconstrução de objeto com geometria irregular pré-definido em elementos bidimensionais a partir de desenho de observação; desenvolvimento de composição a partir de estratégias de desconstrução; tridimensionalização em *Pop-Up* e dobradura e exercício da capacidade de conferir ao objeto/espço resultante características arquitetônicas utilizando recursos como desenho de observação com humanização, fotografia com iluminação (luz e sombra), definição de escala gráfica;

Trabalho 3: Sliced Architecture -- explorando estratégias de design genético para composição em camadas utilizando princípios advindos da incorporação da tecnologia CNC e corte a laser;

Trabalho 4: B.L.O.B -- geometrias BLOB com modelagem física e computacional/paramétrica, scan 3D do modelo físico e finalização em *Sketchup* para humanização e produção de animação;

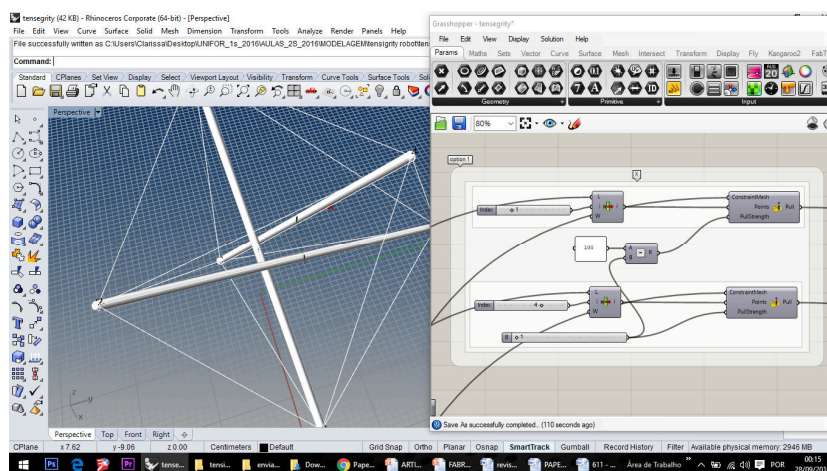
Figura 2 – B.L.O.B -- geometrias B.L.O.B. com modelagem computacional/paramétrica.



Trabalho 5: Estruturas Adaptativas -- malhas complexas e deformáveis com incorporação de sistemas robóticos (integração com curso de Automação).

Assim, foi como parte da estratégia didática da disciplina que a proposta de um projeto integrador cross-áreas se estruturou em uma sequência de etapas que envolveram, em um primeiro momento, investigação de experiências similares em projetos desenvolvidos em laboratórios experimentais do grupo *EmTech* da *Architectural Association* e uma grande variedade de experiências realizadas por outros diversos projetos em âmbito internacional, vinculados diretamente à academia ou não, e que abordavam de forma experimental a questão da adaptabilidade e automação na Arquitetura.

Figura 3 – Experimentações com parametricismo: série em que exploramos integridade tensional (*tensegrity*).



Dentre os projetos selecionados como estudos de caso, incluem-se as experimentações dirigidas pelo Professor Achim Menges cuja abordagem "[...] explora a reciprocidade entre

material e computacional, e seus desdobramentos e as profundas inter-relações entre tecnologia, biologia e cultura.” (Menges, 2015, p.7, tradução nossa).

Os procedimentos de modelagem e análise incluíram experimentações com materiais simples e de fácil manuseio e transformação como papéis de baixa gramatura e EVA, integrados com modelos digitais utilizando, combinados, o *Rhinoceros*, o *Firefly*, e o *Grasshopper*, associados a um microcontrolador Arduino, servo-motores e sensores como LDR, visando à automação dos modelos.

4 DIÁLOGOS

A proposta de integração entre as disciplinas ‘Elementos de Composição Tridimensional’ e ‘Introdução à Engenharia de Controle e Automação’ pode ser descrita como uma intervenção pedagógica integradora entre as disciplinas. Inicialmente trabalhando individualmente os objetivos de cada disciplina, a ação visou oferecer aos alunos de primeiro ano de Engenharia e Arquitetura uma atividade facilitadora do aprendizado e motivadora para o estudo de sistemas automatizados com aplicação em estruturas físicas. Experiências outras foram verificadas tanto no formato interdisciplinar, como foi o caso, mas também transdisciplinar onde foi explorado a integração de disciplinas do mesmo curso e do mesmo semestre. Além de Algoritmos, a disciplina de Desenho para Engenharia também serviu de contraponto para desenvolvimento de protótipos que seriam apresentados ao final do semestre.

5 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

A estratégia metodológica previu a realização de entregas e discussão/avaliação dos resultados e desenvolvimentos parciais do projeto em diversos momentos ao longo do semestre, visando a incorporação de uma compreensão da não-linearidade e recursividade inerentes ao processo de design. Em cada um dos momentos de apresentação-rediscussão-reelaboração das propostas das equipes, novas informações eram incorporadas. Observou-se ao longo de todo processo ampla interação entre elementos do sistema em diversos níveis e destes com o ambiente, reunidos em um todo organizado com vistas a alcançar um objetivo comum.

Figura 4 – Apresentação pública do Projeto Integrador para crítica e avaliação da comunidade acadêmica (semestre 2016.1).



Ao final do semestre, todos os trabalhos desenvolvidos foram apresentados publicamente no evento promovido pelo CCT denominado “Dia T”, em que as propostas foram rediscutidas e construtivamente criticadas pelos professores envolvidos nesse projeto integrador. Para além, técnicos, engenheiros e escritórios de arquitetura foram convidados para que haja a possibilidade de diálogo e crítica com vistas a compreender os desafios de uma hipotética implementação dos projetos em contextos reais, para além do ambiente acadêmico.

O sistema-equipe e os elementos-integrantes desses sistemas foram avaliados em relação à sua performance evolutiva e adaptativa, desenvolvimento de estratégias particulares para solução de problemas, proatividade, compartilhamento de informações, *crownthinking*, proposições de soluções, metodologias e ou conceitos inovadores empregando conhecimentos combinados das duas áreas.

Figura 5 – Dia T: Equipe do Projeto Integrador (semestre 2016.2).

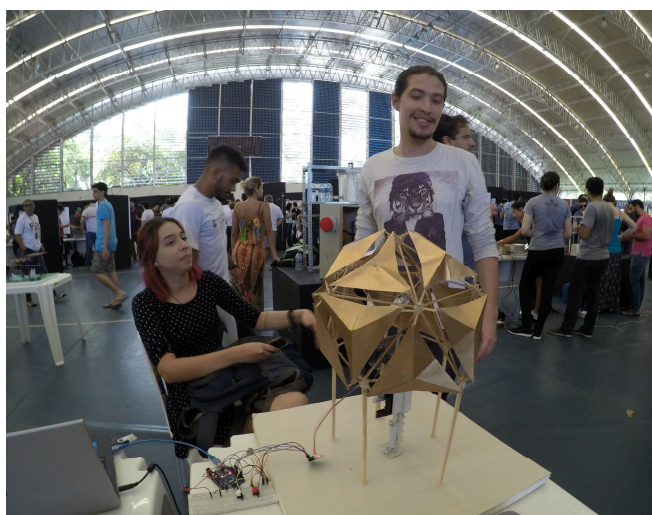
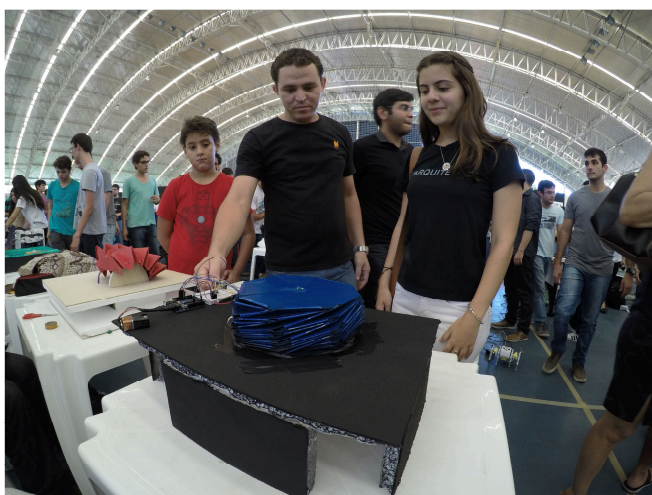


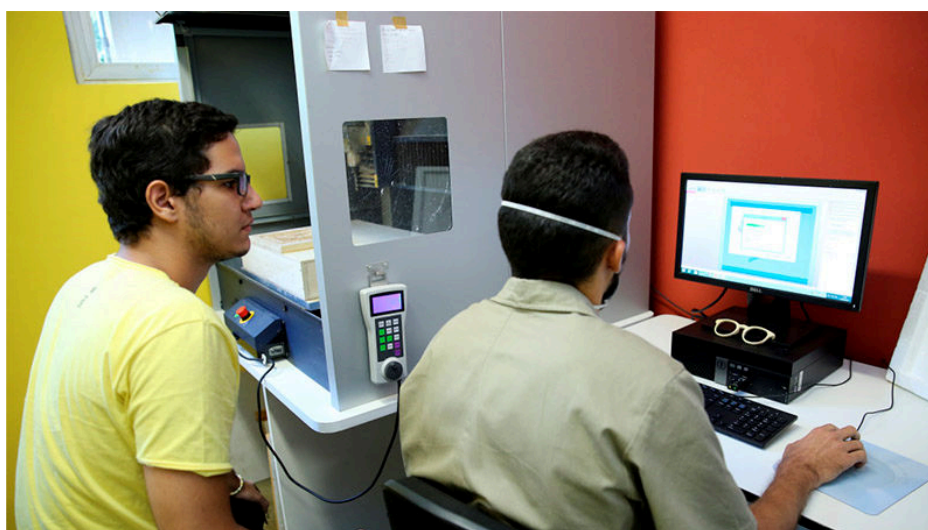
Figura 6 – Dia T: Equipe do Projeto Integrador (semestre 2016.2).



6 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como resultado do projeto destacamos a relevância da tentativa de construção de uma plataforma transdisciplinar para integração cross-áreas para geração de conhecimento. É importante ressaltar o fato que o material humano é basicamente constituído por alunos ingressantes nos cursos envolvidos, que ainda não possuem um vínculo consolidado com sua área de estudo se comparados a estudantes que já começam a se inserir no mercado de trabalho através, por exemplo, da realização de estágios. Além, a proposta privilegia uma visão de mundo que não se restringe a uma análise de problemas intrínsecos a áreas específicas isoladamente, mas propõe justamente explorar situações onde a interseção e a colaboração são essenciais à solução de um dado problema proposto. Destaca-se também que, após apresentação dos resultados gerados nos dois semestres em que o projeto foi aplicado, houve uma resposta, por parte da direção do Centro, em criar o Laboratório de Inovação e Prototipagem – LIP inaugurado em maio de 2017 com o propósito de estimular e consolidar a criação de novos projetos com essa perspectiva de produção acadêmica e outros projetos integradores do Centro que já geraram novos produtos como é o caso da Engenharia Elétrica com as disciplinas de Introdução e Desenho para Engenharia e o desafio de Cálculo com o estudo e criação de sólidos de revolução. No primeiro caso o projeto visava alunos de primeiro semestre de Engenharia Elétrica que tiveram de projetar no AutoCad um casco de um barco e imprimir o mesmo em uma das duas CNC do LIP. Posteriormente, através do uso de pequenos módulos fotovoltaicos, montou-se uma réplica de uma embarcação para uma competição ao final do semestre. O projeto de Cálculo, também com um edital no formato de competição, tinha como objetivo gerar um sólido através de uma curva dada por uma equação. Ao rotacionar essa curva em um determinado eixo, um sólido era gerado e usinado na CNC.

Figura 7 – LIP: Laboratório de Inovação e Prototipagem.



Com isso verificou-se que o bom uso do novo laboratório introduziu, aos alunos envolvidos, um aprendizado significativo e redução da evasão, principalmente, no que diz respeito aos primeiros semestres dos cursos.

Agradecimentos

Agradecemos à Professora Dra. Camila Girão, coordenadora do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da UNIFOR, por fazer as pontes que possibilitaram a realização do projeto integrador aqui apresentado e à Professora Dra. Rafaela Lisboa da assessoria pedagógica do CCT pelas orientações, acompanhamento e incentivo durante todo o processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHATURVEDI, Sanhita et al. Knitlectonics. (2016) Retrieved from http://cuminad.scix.net/data/works/att/acadia11_186.content.pdf
- GREG LYNN. (2016) SupraStudio: UCLA. Retrieved from http://www.aud.ucla.edu/programs/m_arch_ii_degree_1.html
- JABI, Wassim. (2013) Parametric Design for Architecture. London: Laurence King.
- JACKSON, Paul. (2011) Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form. London: Laurence King.
- MENGES, Achim. (2015) Material Synthesis: Fusing the Physical and the Computational (Architectural Design) 1st Edition.
- SCHUMACHER, Patrik. Design Parameters to Parametric Design, London 2014. In: Kanaani, Mitra; Kopec, Dak (ed). The Routledge Companion for Architecture Design and Practice: Established and Emerging Trends. New York: Routledge, Taylor and Francis, 2016.
- SÁ, L. H. do C. e; ALCÂNTARA, A.; PEREIRA, Elane. Ensinando e Aprendendo: Os Fundamentos da Docência no Ensino Superior. 200p. Ano: 2017.

ROBOTIC ARCHITECTURES: MECHATRONIC SYSTEMS INTEGRATION IN EXPERIMENTS WITH ADAPTIVE STRUCTURES

Abstract: *Exploring the adaptive qualities of geometrically complex structures, the project here presented consists in a transdisciplinary academic experiment that was designed to promote a productive dialogue between Architecture and Mechatronics. Structured as a joint initiative, the project involves freshman from Architecture and Urban Planning and from Automation and Control Engineering. The process that was directed and supervised by professors of both disciplines at the University of Fortaleza, Brazil, was designed as an invitation to explore and mastering basic knowledge in electronics, physical computing and modeling strategies for geometrically complex structures considering real life problems. The*

final production was presented in a public exhibition at the campus where the academic and the local communities were invited to discuss the ideas. A panel constituted by the supervisors evaluated the projects and the crowdthinking – how each member of the team was contributing productively, taking a share of the responsibility, learning from constructive criticism. One of the main objectives of the project was to build a model for future collaborations involving distinct disciplinary areas and conducted by researchers working jointly to create innovative conceptual and methodological knowledge.

Key-words: Crowdthinking; adaptive architecture; robotics in architecture; transdisciplinary strategies; modeling strategies for complex geometries.