

RESUME

Des contraintes solaires à des opportunités de projet urbain: optimisation de typo-morphologies urbaines en climat tropical au Brésil

Tathiane Agra de Lemos Martins

Directeurs de thèse: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos e Luc Adolphe

Environ trois quarts des ressources globales sont aujourd'hui consommés dans les aires urbaines. Le processus d'urbanisation induit des changements sévères du climat local, de la qualité environnementale des espaces, ainsi qu'une augmentation significative de la demande d'énergie des bâtiments. Les projections statistiques sur la croissance de la population urbaine indiquent que cette situation tendra à s'aggraver dans les années à venir. Il devient donc impératif de chercher d'autres stratégies pour mieux adapter les environnements urbains aux nouvelles demandes énergétiques, afin de réduire l'empreinte environnementale des villes. Dans ce contexte, ce travail est une contribution à la recherche énergétique urbaine, plus particulièrement en ce qui concerne l'énergie consommée et potentiellement produite par les bâtiments à l'échelle urbaine locale. La morphologie urbaine est ici considérée comme un paramètre crucial dans le processus d'amélioration de l'efficacité énergétique du cadre bâti. Dans les zones de basses latitudes, sous climat tropical, l'énergie solaire est extrêmement abondante. Toutefois, la bonne utilisation de cette ressource dans les bâtiments peut suggérer l'adoption de formes urbaines très peu denses et étales, en vue de réduire les obstructions produites par l'environnement proche. A rebours, ces formes urbaines très peu denses peuvent entraîner une augmentation des apports solaires sur les façades, élevant la demande énergétique. Le contrôle des gains solaires sur les façades pour la réduction de la demande énergétique peut ainsi représenter une perte potentielle en terme d'éclairage naturel des espaces, et une réduction du potentiel de production d'énergie solaire. Afin de quantifier le potentiel de ces stratégies conflictuelles, il devient indispensable de convoquer des modèles d'analyse pluridisciplinaires, permettant de mettre en œuvre des approches multicritères dans le processus de conception de la forme urbaine. Cette thèse s'appuie sur une réflexion prospective sur les quartiers de la ville de Maceió, Alagoas, au Brésil. Dans un premier temps, un ensemble de paramètres morphologiques plus pertinents sont employés pour identifier et caractériser le potentiel solaire de typologies de référence de la ville. Ensuite, ces paramètres sont analysés à partir d'une analyse de sensibilité via plan d'expérience. Les paramètres statistiquement significatifs sont alors intégrés à une méthode paramétrique d'optimisation dans laquelle l'algorithme génétique NSGA-II est couplé à un algorithme simplifiée de radiosité, visant à maximiser le potentiel de production d'énergie sur les toitures des bâtiments, tout en minimisant les apports solaires sur ses façades. Nous considérons des seuils d'éclairage naturel et intégrons des règles locales d'urbanisme comme contraintes aux projets. Cinq typologies représentatives du tissu urbain de Maceió ont ainsi été identifiées. L'ensemble des indicateurs les plus influents sur le potentiel solaire des formes urbaines a été hiérarchisé, en mettant l'accent notamment sur le rôle du prospect moyen ou de l'albédo des surfaces. La méthode d'optimisation a permis de tester plus de 80.000 configurations d'ilots urbains et les résultats obtenus font apparaître une grande diversité de morphologies «optimum». Ces projets ont des performances solaires supérieures à celles des typologies existantes dans la ville. Cette intégration de stratégies énergétiques contradictoires montre qu'au-delà de l'intégration de contraintes variées et d'une meilleure adaptation à la complexité du processus de design urbain, l'approche utilisée ici apparaît très utile pour la recherche de solutions urbaines performantes à l'échelle des quartiers. Cette approche peut ainsi participer au renouvellement de l'Architecture de la Ville.

Mots-clés: morphologie urbaine; potentiel solaire; énergétique urbaine; analyse de sensibilité; optimisation; algorithme génétique; climat tropical.

Rio de Janeiro,
Mars 2014.

RESUMO

De condicionantes solares à oportunidades de desenho urbano: otimização de tipo-morfologias urbanas em contexto de clima tropical

Tathiane Agra de Lemos Martins

Orientadores: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos e Luc Adolphe

Cerca de 3/4 dos recursos globais são consumidos hoje em assentamentos urbanos. O processo de urbanização produz modificações severas no clima local, na qualidade ambiental dos espaços, além de um aumento importante na demanda de energia das edificações. Previsões estatísticas sobre o crescimento da população urbana apontam que esta situação tende a ser agravada nos próximos anos, tornando-se, portanto, imperativo buscar estratégias e medidas alternativas que visem melhor adaptar os ambientes urbanos às novas demandas energéticas, a fim de reduzir o impacto ambiental das cidades. O presente trabalho traz uma contribuição ao debate sobre a energia nas cidades, com foco naquela que é consumida e potencialmente produzida pelos edifícios na escala urbana local. A morfologia urbana é considerada como aspecto crucial de transformação das cidades no sentido da eficiência energética de suas construções. Em regiões de clima tropical, a energia de fonte solar possui um potencial de aproveitamento extremamente elevado. No entanto, o bom aproveitamento desse recurso para produção de eletricidade nos edifícios pode sugerir a adoção de formas urbanas muito pouco adensadas e dispersas, de modo a reduzir as obstruções produzidas pelo entorno próximo. Paradoxalmente, formas urbanas dispersas e pouco densas podem resultar em aumento importante da carga térmica solar em suas fachadas. O controle dos ganhos solares nas fachadas pode, por sua vez, representar perdas importantes no nível de iluminação natural dos espaços, além de reduzir o potencial de aproveitamento solar para produção de energia. A fim de quantificar o potencial destas estratégias conflituosas de projeto urbano, torna-se indispensável a aplicação de modelos multidisciplinares de análise, permitindo integrar os múltiplos critérios do processo de concepção da forma construída. A presente pesquisa é uma contribuição para requalificação e concepção urbana a partir de uma abordagem energética, com foco na forma construída de vizinhanças urbanas na cidade de Maceió(AL), em clima tropical. Primeiramente, um conjunto de parâmetros morfológicos relevantes são empregados para classificar e caracterizar o potencial solar de tipologias de referência existentes na cidade. Num segundo momento, esses parâmetros são analisados por meio de uma análise de sensibilidade. Os parâmetros estatisticamente influentes são, então, submetidos a uma metodologia paramétrica de projetos via otimização multiobjetivo, onde o algoritmo genético NSGA-II (*non-dominated sorting genetic algorithm*) é acoplado a um algoritmo simplificado de radiosidade, visando a maximização do potencial de produção de energia nas superfícies de cobertura das edificações e minimização dos ganhos solares nas fachadas das mesmas. Níveis mínimos de luz natural para os ambientes e os parâmetros morfológicos do código de edificações são considerados como restrições de projeto. Cinco tipologias representativas do tecido urbano de Maceió foram avaliadas. Um conjunto de indicadores mais influentes no potencial solar das formas urbanas foram hierarquizados, destacando-se o papel preponderante do prospecto médio e do albedo das construções. A aplicação do método de projeto por otimização permitiu testar mais de 80.000 configurações urbanas, apontando para uma grande diversidade de morfologias “ótimas” de quadras urbanas. Esses projetos apresentaram desempenho solar superior aos encontrados nas tipologias existentes na cidade. A abordagem de estratégias energéticas conflituosas de projeto mostrou que muito além da imposição de restrições e complexidades ao processo, há oculta uma grande oportunidade na procura para novas soluções que possibilitem uma revisão da Arquitetura da cidade.

Palavras-chave: morfologia urbana; potencial solar; energia nas cidades; análise de sensibilidade; otimização algoritmos genéticos; clima tropical.

Rio de Janeiro,
Março de 2014.

ABSTRACT

From solar constraints to urban design opportunities: optimization of urban typologies in a tropical city in brazil

Tathiane Agra de Lemos Martins

Supervisors: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos e Luc Adolphe

At the beginning of 21th century, the world was faced with unprecedented environmental transformations. The urbanization process reached record levels and it keeps increasing, especially in developing countries. Around 3/4 of global resources are currently consumed in urban settlements, with corresponding adverse environmental consequences which leads to severe local climate changes, affecting environmental quality of spaces and leading to a significant increase of energy demand in buildings. A projection of the world urban population indicates that this situation will worsen in the coming years. It is therefore imperative that we understand how to design less resource intensive urban settlements. This research consists of a contribution to the energy debate in cities, focusing on the energy potentially consumed and produced by the built environment in the neighborhood scale. Urban morphology has been pointed out as a pivotal issue on shifting to climate adapted urban environments towards energy efficiency of buildings. In tropical climate regions, solar energy represents a high potential for renewable electric production in buildings, recording high levels of irradiation throughout the year. Though, engaging such a strategy may suggest applying sparsely low-density urban forms, aiming at reducing obstructions caused by the urban built surroundings. On one hand, scattered and less dense urban forms may result in significant increase of solar thermal load in buildings vertical facades, but on the other hand, the control of the solar heat gains in urban facades may represent significant losses on indoors daylight levels and also reducing solar energy harness. Estimating the relative potential of these conflicting design strategies, taking into account the constrained parameters related to local building regulation, requires coupling multidisciplinary and multiobjective models of analysis in order to integrate multi-criteria approach in the urban design process. This thesis aims to contribute to a prospective energy debate toward sustainable urban districts for the city of Maceió in Brazil. Firstly, a set of energy-related morphological parameters are applied to identify, classify and characterize the solar potential of local urban typologies. Then, these parameters are analyzed by means of a sensitivity analysis using a design of experiments reduced factorial method. The statistically most significant parameters are then submitted to a parametric design methodology via optimization, in which the non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) are coupled with a simplified radiosity algorithm. The solar constraints are integrated as design criteria aiming at maximizing the solar energy potential on building roofs and minimizing solar gains on the their vertical facades. Daylight threshold levels as well as local building regulation parameters are taken into account as design constraints. Five representative types of urban fabric of Maceió were identified which allowed examining and adapting them from the use of energy-related indicators of the urban form. A set of most influential indicators of solar potential of urban forms was hierarchized, highlighting the role of the aspect ratio and albedo of urban surfaces. The application of optimization algorithm allowed testing more than 80,000 urban settings, pointing out a great diversity of “optimum” morphologies of urban blocks. The urban block designs obtained behaved better compared to the existing local typologies. Dealing with conflicting energy strategies by means of a constrained evolutionary optimization design process offered a great opportunity in searching for new solutions to the urban design in the neighborhood scale, helping to guide urban designers' decisions and allowing a renewal of the Architecture of the city.

Keywords: urban morphology; solar potential; energy in cities; sensitivity analysis; constrained optimization; genetic algorithms; Tropical climate.

Rio de Janeiro,
March 2014.