

EVALUACION DE LA ILUMINACION NATURAL HACIA EL INTERIOR DE AULAS A TRAVÉS DEL SIMULADOR *DESKTOP RADIANCE 2.0*.

Anna Sophia B. Baracho (Ms. Arq.)¹, Fernando Cruz Silva (Dr. Arq.)², Catharina C. de Macedo (Ms. Arq.)³.

Laboratorio de Conforto Ambiental y Conservación de Energía (LCC)

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAURB) – Universidad Federal de Uberlandia – (UFU)

Bloque 11, Sala 43, Campus Santa Mónica, Uberlandia – 38400-902 – Minas Gerais – Brasil

Tel. 55 34 3239-4494 – E-mail¹: m350_asbb@hotmail.com, e-mail²: fercruz@triang.com.br, e-mail³: cacamecz@bol.com.br

RESUMEN: El trabajo muestra la evaluación del programa *Desktop Radiance Version 2.0 Beta* como herramienta en el desarrollo del proyecto de iluminación natural hacia el interior de aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la ciudad de Uberlandia, Brasil. Se realizaron simulaciones por ordenador en las principales épocas del año – equinoccios, solsticios de verano y de invierno, en tres horarios distintos – para dos situaciones diversas: (i) análisis del comportamiento del edificio real, sin la presencia de dispositivos de iluminación natural; y (ii) análisis del mismo, con el empleo de algunos dispositivos proyectados para las condiciones específicas del edificio.

El objetivo es facilitar las consideraciones de las estrategias de luz natural en el interior de aulas y su eficiencia energética lumínica ante la presencia de los sistemas de iluminación natural utilizados y de esta manera asegurar la implementación del mejor dispositivo de iluminación natural antes de su construcción y ubicación en el edificio.

Palabras clave: *Desktop Radiance*, simulación, iluminación natural, dispositivos de iluminación natural.

INTRODUCCION

El interés por la luz natural para iluminar espacios interiores ha tenido fluctuaciones a lo largo de este siglo. Su uso en edificios comerciales, institucionales e industriales se ha incrementado en los últimos años, entre otros motivos porque puede reducir el gasto de energía eléctrica. Todavía, su uso indiscriminado puede producir efectos negativos que influyen en el ambiente interior de los edificios.

En arquitectura cuando se dibuja con la luz natural es muy importante hacer algunos cuestionamientos básicos mientras se estudia las condiciones de los espacios (UBBELOHDE Y HUMANN, 1998):

- ¿Cómo se presenta el espacio iluminado naturalmente?
- ¿Cuánta iluminación provee la luz del día y para adónde?
- ¿Cómo la iluminación se altera a partir de las condiciones del cielo?
- ¿Cómo la presencia de dispositivos de iluminación natural influyen en el interior de los espacios?

Las contestaciones a estos cuestionamientos permiten un análisis detallado del comportamiento de la luz natural a través de las aperturas, con o sin dispositivos, pues la introducción y manipulación de la luz del día son muy importantes para reducir la necesidad de luz artificial y crear un medio interno visual adecuado.

Un dispositivo para la iluminación natural es un mecanismo óptico que tiene por función captar un flujo de iluminación natural, conducirlo eficazmente hacia el interior del edificio, y distribuirlo de forma apropiada en los lugares de interés. El dispositivo óptico para la iluminación natural lateral de un recinto debe (SOLER Y OTEIZA, 1996):

- Proporcionar una protección solar efectiva, evitando la penetración de luz directa en el interior del local y el deslumbramiento.
- Redirigir la luz natural hacia un lugar fijo cuando el sol se mueve en su ciclo diurno y estacional.
- Distribuir uniformemente el flujo de luz natural en el local, aumentando, por tanto, los niveles de iluminancia en las partes más alejadas de la ventana.
- Mantener una variación relativamente pequeña de los niveles de luz natural en el interior cuando fluctúan los niveles exteriores de luz natural.

La concepción y dimensionamiento de los sistemas para la iluminación natural puede realizarse para edificios ya existentes, utilizando modelos a escala o programas de simulación. El simulador de luz directa debe reproducir las características de la luz natural que llega proveniente del sol.

¹ Arquitecto Investigador LCC/FAURB/UFU

² Coordinador del Proyecto LCC/FAURB/UFU

³ Arquitecto Investigador LCC/FAURB/UFU

LA ELECCIÓN DEL PROGRAMA

Además de los métodos “manuales”, actualmente se dispone de programas computacionales que, utilizando una base de datos de iluminación, real o calculada, permiten predecir la iluminación interna en los espacios.

Este estudio no objetiva un estudio comparativo entre softwares disponibles para señalar lo que es mejor que el otro, pero proporcionar la regeneración técnica de las capacidades y limitaciones de softwares del punto de vista del investigador que puede orientar las pautas para mejorar la utilidad y aplicación y futura implementación de la iluminación basada en softwares arquitectónicos auxiliares:

- Softwares diferentes tienen entradas, rendimientos y formatos diferentes. El problema se pone complicado sobre todo con los datos de los materiales. Es probable que el número de parámetros varíen, dependiendo de las especificaciones de los materiales, pero el tipo de los parámetros deben ser consistentes en todos los softwares.
- Los modelos computacionales deben permitirle al investigador definir los varios cielos además de la referencia de los modelos del cielo de CIE (International Commission on Illumination).
- Aunque la tecnología actual no esté avanzada bastante para desplegar alto rango dinámico de luminancia e información del color cuando comparado a los sistemas visuales humanos, una herramienta apropiada para la investigación de la luz debe poder computarlos.
- Las herramientas de los análisis se hacen positivamente necesarias para la investigación de la iluminación arquitectónica. (INANICI, 2001)

Para la concepción y evaluación de dispositivos de iluminación natural es necesario disponer de utilidades informáticas que permitan simular la propagación de la luz natural de estos dispositivos y en el interior de los locales. La simulación/visualización basada en el edificio real y complementada con la información numérica se propone para facilitar la buena comprensión de los comportamientos de la luz y del material a través de los cálculos avanzados de la iluminación. El investigador puede alterar los datos de la entrada fácilmente para realizar análisis cualitativo y cuantitativo de las escenas alternativas. Por otro lado, cada modelación/simulación/visualización es una simplificación de fenómenos. El problema es si estas aproximaciones son consistentes con los objetivos de la investigación.

El programa *Desktop Radiance*, que se usa para realizar estudios detallados de iluminación natural utiliza la técnica de “lanzar” rayos (*ray-tracing*) en sentido inverso a su dirección natural de propagación, partiendo del punto de vista del observador. Este programa permite obtener con calidad fotográfica imágenes de síntesis de ambientes luminosos locales, determinar isolíneas para los factores de luz de día, y evaluar el confort visual. (SOLER Y OTEIZA, 1996)

Desktop Radiance tiene una biblioteca con los tipos de materiales básicos, plástico, metales, y materiales transparentes. En los tipos de plástico existen materiales que tienen colorado difuso y reflexiones especulares descoloradas; los tipos de metal, reflexiones especulares coloridas y los dos son definidos con el color (RGB) y aspereza. Se definen los materiales transparentes con su transmisión, y especularidad transmitida, así como su color, especularidad y aspereza. Se usan los valores de RGB para calcular la reflectancia media. Es importante notar que solamente *Desktop Radiance* tiene su propio sistema de RGB que es basado en CIE. (INANICI, 2001)

Otros elementos importantes en la simulación de la luz del día son la luz del sol y modelos del cielo. Pueden calcularse la dirección e intensidad de luz del sol basado en varias informaciones como la latitud, longitud, tiempo, condición del cielo, y turbiedad. Muchos simuladores no llevan en cuenta el índice de turbiedad de la atmósfera, que es la mayor variable del cielo modelado, y su cambio altera la distribución de luminancia para una situación dada. Las condiciones del cielo cambian imprevisiblemente, pero es común usar la referencia del cielo de CIE para los propósitos de investigación. El modelado exacto de simulación de la luz del día permite al investigador que analice la variabilidad a través del curso del año. En *Desktop Radiance* es posible escoger los cielos cubierto, despejado, intermedio y uniforme según CIE. Según INANICI (2001), *Desktop Radiance* es muy exacto para un rango de condiciones de cielo realistas.

Diferente de otros programas, *Desktop Radiance* ofrece dos soluciones para el comportamiento de las ventanas en las simulaciones (INANICI, 2001):

- Como fuente difusa de luz: una distribución luminosa constante es aplicada, ignorando la direccionalidad de la luz del día.
- Como material transmisible: el vidrio tiene una distribución de intensidad luminosa disforme por su superficie, físicamente creíble.

Otra ventaja de este programa es que él ofrece análisis de la sensibilidad humana que es básicamente una variedad lineal y no lineal que se filtra para imitar la visión humana. Una herramienta del análisis es la fase de imágenes coloridas (*falsecolor*), donde un rango de colores (isolíneas) entre el azul y rojo se asigna la luminancia o valores de iluminación. Tal análisis ayuda la visualización de la luminancia y distribuciones de la iluminación dentro de un espacio. El formato tabular de tales informaciones es benéfico para un análisis detallado.

El gráfico (Figura 1) muestra que la elección del programa de simulación y el nivel de esfuerzo empeñado para el rendimiento afecta directamente la producción. El eje horizontal indica el esfuerzo relativo requerido en el rendimiento y el eje vertical la calidad y detalle producidos. El rendimiento deseado afecta el nivel de esfuerzo requerido en la producción de acuerdo con la elección del programa de simulación. *Lumen Micro* es bueno para espacios y cálculos simples. *Lightscape* trabaja bien en un nivel de detalle intermedio y *Desktop Radiance* para espacios con muchos detalles. El hecho de que las líneas sean curvas al revés de rectas refleja directamente en la disminución del proceso de simulación desde que el usuario gaste tiempo en esfuerzos adicionales en la entrada/producción de los datos (WARD, 1996). Además, se observa que con *Desktop Radiance* se obtiene más opciones en la producción y rendimiento a través de sus parámetros para cualesquiera simulaciones.

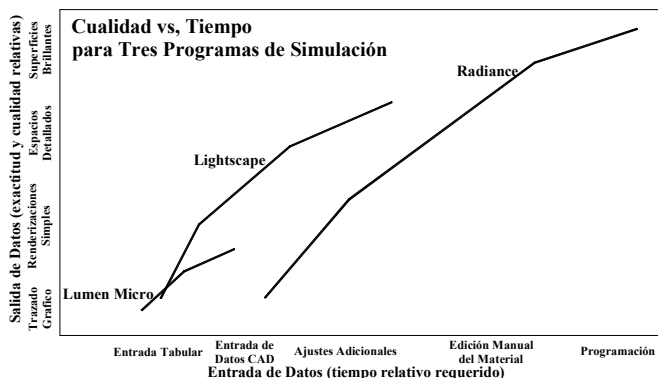


Figura 1: Tres curvas indicando la calidad de salida de datos versus el tiempo de entrada de datos para tres programas de simulación de luz natural. (apud WARD, 1996)

OBJETO DE ESTUDIO

La ciudad de Uberlandia esta ubicada en la latitud 18°55' Sur y longitud 48°17' W, donde los meses más fríos coinciden con los meses más secos y con gran índice de insolación diaria. Estos índices de insolación están relacionados al ritmo estacional seco y lluvioso, cuando el tiempo se presenta claro y estable (época seca), ocurriendo una disminución en la época lluviosa, cuando el tiempo permanece inestable y cubierto durante varios días. (BERTE, 2000)

Dentro del objetivo general de maximizar las condiciones de confort lumínico en espacios de aulas, con consumos mínimos de energía convencional, se deberían privilegiar los siguientes aspectos para la definición del partido:

- Configuración de un bloque único, compacto en 2 plantas, con gran desarrollo de superficie expuesta al norte y circulación principal longitudinal.
- Aulas al norte, en planta alta para el ingreso de iluminación natural desde la ventana superior.
- Espacios de servicio ubicados al sur en ambos niveles.
- Iluminación natural unilateral, a través de una apertura superior al norte que favorece la penetración de la luz natural hacia los planos de trabajo más alejados de la ventana.
- Colocación de una repisa de luz externa para maximizar la iluminación natural y reforzar la componente reflejada en los meses en que el alero superior sombrea toda la superficie de la ventana.
- Colocación de difusores interiores para realizar una difusión de la componente directa exterior.

Estas condiciones de confort, mejoran en todo sentido el proceso educativo y, psicológicamente, las variaciones horarias naturales de la luz diurna dan un sentido de ubicación en el tiempo con respecto a la hora del día y la estación del año.

Tras estos enfoques, ha sido electo el bloque de aulas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo del Campus Santa Monica de la Universidad Federal de Uberlandia, buscando aliar el ahorro energético y el aumento de luz natural hacia las aulas del edificio, que posee casi en su totalidad los aspectos citados encima. (Figura 2)

Según PARADELA (2001), locales situados en las plantas más altas de un edificio tienen mayor iluminación natural que los situados en las plantas inferiores, debido a la distinta superficie limitada por la línea de "no-cielo" (fijada por los obstáculos exteriores, y determinada por los puntos frontera del local a partir de los cuales no es posible ver el cielo). Por esta razón han sido electas como principal objeto de estudio para las simulaciones, las aulas de la planta baja del bloque del edificio de Arquitectura y Urbanismo, donde se encuentra la situación mas critica a lo largo de todo el año: mediciones en maqueta y simulaciones comprobaron que este es el espacio que recibe luz directa de las ventanas unilaterales a noroeste sobre todo en el solsticio de invierno durante el periodo de la tarde, promoviendo deslumbramiento, desconfort térmico, haciéndose necesario cerrar las persianas y el uso de la iluminación eléctrica con lámparas fluorescentes.

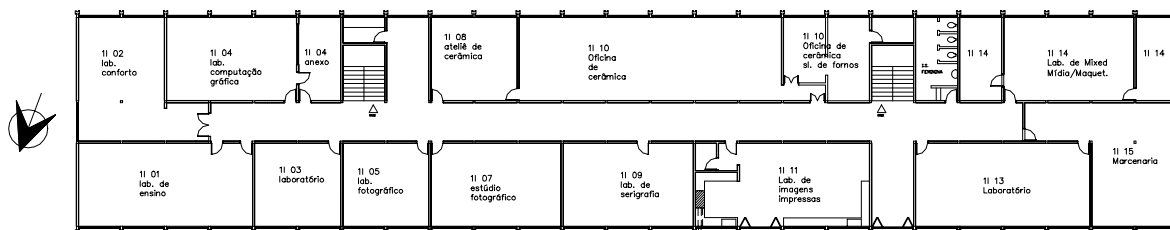


Figura 2: Planta baja del bloque de Arquitectura y Urbanismo – FAURB - UFU

El espacio interno del bloque es dividido en modulaciones de 315cm de anchura y 600cm de longitud. La gran mayoría de las aulas poseen al máximo 4 módulos con estas dimensiones. Para facilitar la comprensión del programa, la escena electa para se realizaren las simulaciones fue un aula compuesta por estos módulos. (Figura 3)

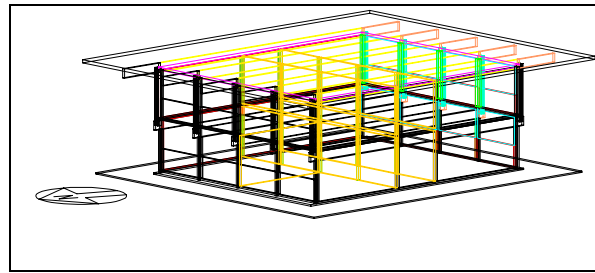


Figura 3: Vista axonométrica del bloque parcial de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Aulas de 4 módulos.

DISPOSITIVOS DE ILUMINACIÓN NATURAL SIMULADOS

Este estudio envuelve la imitación creíble de las condiciones físicas, no solamente para simular la apariencia del espacio, pero sobre todo analizar a los siguientes aspectos:

- Analizar/comprobar el grado de aproximación a la realidad a través del uso de programas de simulación.
- Nivel de iluminación en la superficie de la tarea.
- Variabilidad de la luz durante su curso a lo largo del día y del año.
- Distribución de la luz en las superficies del espacio y sus áreas de tarea.
- Deslumbramiento directo y reflejado (de la pizarra, de los pupitres del estudiante, de los ordenadores).
- Cantidad de iluminación natural en la proximidad de las ventanas, donde es máxima, descendiendo exponencialmente hacia el interior del local.
- Reflexiones especulares, sobre todo para el análisis cualitativo.

La iluminación natural de los edificios constituye hoy en día un aspecto muy importante del aprovechamiento de la energía solar en forma pasiva, a través de dispositivos de iluminación natural: repisas de luz y lamas horizontales.

ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES							
VIDRIOS		TECHOS, PAREDES E VIGAS INTERNAS				DISPOSITIVOS DE ILUMINACIÓN NATURAL	
Nombre Común	Clear Coated Low-E Guardian grd-Pplus 23c	Nombre Común	arctic_ice	blue-gray Ral 1e119	concrete-gray	Nombre Común	white
Reflectancia (%)	3,80	Reflectancia (%)	65,61	12,00	20,00	Reflectancia (%)	85,77
Transmitancia (%)	77,80	Especularidad (%)	2,68	3,00	3,00	Especularidad (%)	0
Grosor (mm)	2,21	Transmitancia (%)	0,00	0,00	0,00	Transmitancia (%)	0
Color	Clear	Rugosidad (%)	1,00	2,00	2,00	Rugosidad (%)	0

Tabla 1: Materiales de la biblioteca del programa Desktop Radiance utilizados para las simulaciones.

Después de las etapas de dibujo del objeto de estudio, la aplicación de los materiales semejantes a los del edificio (Tabla 1), y el empleo de todos los parámetros exigidos de los ficheros del programa *Desktop Radiance*, se simularon el modulo de aulas sin la presencia de los dispositivos de iluminación natural en tres horarios y épocas estacionales distintos (Tabla 2).

Tras los resultados observados en el comportamiento de la luz natural en las aulas, se dibujaron los dispositivos de acuerdo con los rayos de incidencia solar en el solsticio de invierno (Figuras 4 y 5), época, según las simulaciones y las experiencias reales, es la situación que más necesita de un protector solar que redirija la luz hacia el interior.

SIMULACIONES PLANTA BAJA SIN DISPOSITIVOS			
HORA	EQUINOCCIOS	SOLSTICIO DE VERANO	SOLSTICIO DE INVIERNO
9 PM			
12 PM			
3 PM			

Tabla 2: Isolíneas Orientación Noroeste

Según los rayos de incidencia solar, las repisas de luz y las lamas horizontales simuladas con materiales especulares (Tabla 1) se presentaron como las mejores soluciones para este estudio, disminuyendo el deslumbramiento y redirigiendo la luz hacia el interior.

Repisas de luz

Las repisas de luz son elementos planos o curvos situados en la apertura de la ventana. Redirigen la luz por reflexión. Pueden ser externas, internas, o una combinación de ambos tipos. Tanto la parte interna como la externa pueden tener diferentes inclinaciones. Con la inclusión de la repisa de luz la ventana se subdivide en dos secciones, la parte inferior a donde se ubica la repisa, que permite la visión del exterior, y la parte superior que permite la entrada de la luz natural y la refleja hacia el techo del local, para que después se redistribuya en el interior iluminando las zonas más alejadas de la ventana. Los parámetros que afectan a su rendimiento como dispositivos para la iluminación natural son: su longitud, su altura y la reflectancia de todas las superficies (SOLER Y OTEIZA, 1996).

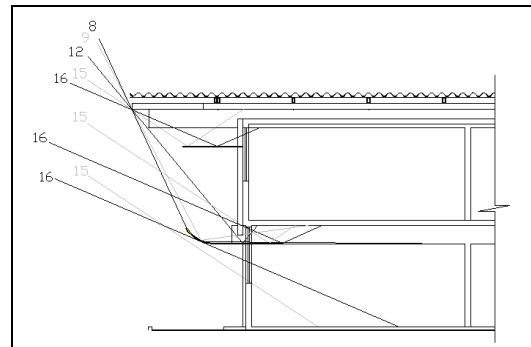


Figura 4: Repisa de luz curva: sección del bloque parcial y los rayos de incidencia solar en el solsticio de invierno.

Para este estudio, según las simulaciones, la repisa de luz curva fue la que obtuve un desempeño mejor (Tabla 3). Sus dimensiones fueron construidas de acuerdo con los rayos de incidencia solar en el solsticio de invierno, donde se ve que la entrada de radiación directa ocurre sobre todo durante la tarde (Figura 4). Además de impedir la entrada de la radiación directa, se observa un aumento considerable en la cantidad de luz hacia las paredes más alejadas de las ventanas, donde los niveles de iluminancias aumentaron en relación a la escena sin la presencia de estos dispositivos.

SIMULACIONES PLANTA BAJA CON REPISA DE LUZ CURVA			
HORA	EQUINOCCIOS	SOLSTICIO DE VERANO	SOLSTICIO DE INVIERNO
9 PM			
12 PM			
3 PM			

Tabla 3: Isolíneas Orientación Noroeste

Lamas paralelas

El estudio óptico del efecto en el interior de un recinto de un dispositivo formado por lamas paralelas planas o curvas, ha sido desarrollado parcialmente en Littlefair, 1992 y Vázquez, 1995. Según los experimentos en Aizlewood, 1993, aunque el dispositivo utilizado podía redirigir parte de la luz incidente hacia el techo del local para posteriormente la luz reflejada llegase a espacios distantes de la ventana, no se superaban en la práctica los niveles de iluminancias que se obtenían sin ellos, por lo que sólo proporcionaban protección solar. Una opinión distinta se da en Vázquez, 1995, afirmándose con una experimentación escasa, que con el dispositivo propuesto es posible conseguir un incremento de la iluminación sobre el plano de trabajo en regiones alejadas de la ventana, de 3.5 veces la que se obtendría sin utilizarlo (SOLER Y OTEIZA, 1996).

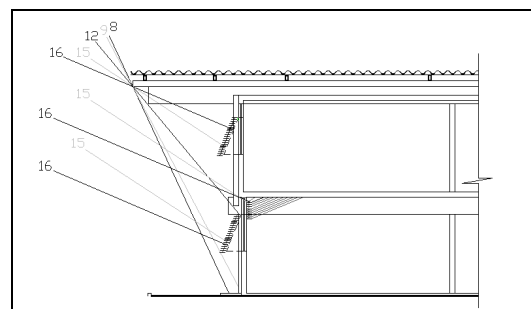


Figura 5: Lamas horizontales: sección del bloque parcial y los rayos de incidencia solar en el solsticio de invierno.

En primera analice, las lamas horizontales de la fachada noroeste dibujadas a partir de los rayos solares incidentes (Figura 5), tal como las repisas de luz curva, impidieron la entrada de la radiación directa, pero su nivel de iluminancia no fue significativo como en el primer dispositivo simulado (Tabla 4).

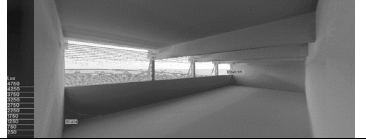
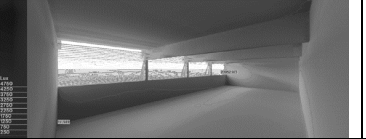

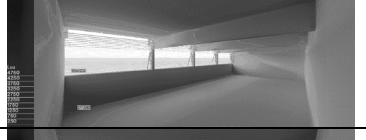
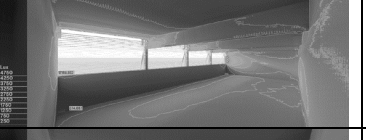
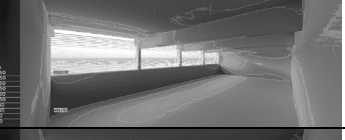
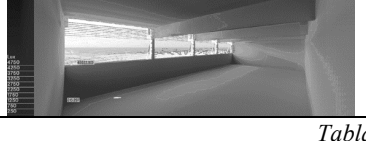
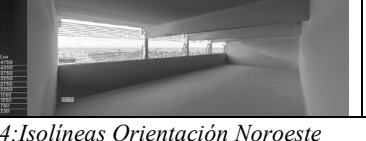

SIMULACIONES PLANTA BAJA CON LAMAS PARALELAS			
HORA	EQUINOCCIOS	SOLSTICIO DE VERANO	SOLSTICIO DE INVIERNO
9 PM			
12 PM			
3 PM			

Tabla 4: Isolíneas Orientación Noroeste

CONCLUSIONES

Actualmente las herramientas disponibles al auxilio de la arquitectura (programas de simulación), principalmente para análisis de comportamientos lumínico o térmico, son de gran ayuda al investigador, sobre todo si ellas facilitan las interpretaciones y los usos de sus técnicas para el desempeño de luz natural (objeto de este estudio) en los edificios ya existentes o en fase de desarrollo. Con el uso de estas herramientas, además de acertar en las selecciones de los elementos arquitectónicos no solamente se estará ahorrando energía, tiempo de ejecución, futuros errores en los proyectos, pero también una mejor adecuación de los dispositivos de iluminación natural al clima local. Otro punto de vista importante es el uso de la computación gráfica como una manera de mostrar aquellos que no son especialistas (clientes, empresarios, etc.) que la preocupación con los gastos de energía y su aprovechamiento de manera inteligente es benéfico para todas las áreas. Este programa, *Desktop Radiance Version 2.0 Beta*, ha sido electo para este estudio basado en artículos utilizados en las referencias ya citadas, como siendo lo que hay de más completo y moderno con relación a análisis del comportamiento de la luz natural. Se comprobó que su utilización es bastante eficaz, pues todos los resultados encontrados al final de las simulaciones correspondieron a las situaciones medidas en maquetas de las aulas del edificio de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Todavía para una mejor credibilidad del programa electo y para las análisis en el edificio real ya se ha empezado las simulaciones dibujando las aulas con todos sus detalles (colores de las paredes, muebles, pizarra, pupitres de los estudiantes) buscando la máxima aproximación con el real y compararlas a las mediciones “in loco”.

REFERENCIAS

- Berte, V. A. (2000). Acondicionamiento térmico natural: análise de caso na cidade de Uberlandia MG. Tesis de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP.
- Desktop Radiance 2.0 Beta User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Building Technology Department, http://radsite.lbl.gov/downloads/user_man20B.pdf.
- Inanici, M. N. (2001). Application of the state-of-the-art computer simulation and visualization in architectural lighting research. Seventh International IBPSA Conference, Building Simulation, vol. 2, 1175-1182.
- Paradela, G. Y. (2001). Tratamiento de la luz natural en edificios sanitarios, docentes y de vivienda. Cuaderno Máster en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática. Universidad Politécnica de Madrid, Modulo 8.
- Soler, A. y Oteiza, P. (1996). Métodos experimentales, utilidades informáticas y dispositivos para la iluminación natural de los edificios. *Tecnología y Construcción* 12 (II), 9-18.
- Ubbelohde, S. y Humann, C. (1998). Comparative evaluation of four daylighting software programs. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings. American Council for an Energy-Efficient Economy.
- Ward, G. J. (1996). Tools for lighting design and analysis. SIGGRAPH'96 Course. <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/sg96crs.pdf>.

ABSTRACT

This work shows an evaluation of the *Desktop Radiance Version 2.0 Beta* software as a tool for development of a natural lighting project of classrooms in the School of Architecture and Urban Design in the city of Uberlandia, Brazil. Computer simulations were done for the main stations of the year — equinox and summer and winter solstices, at three different times of day — for two distinct situations: (i) analysis of the behavior of the building as is, without the addition of solar light redirecting mechanisms; and (ii) analysis of the same building, with the employment of some redirecting elements designed for the building's specific conditions.

The aim is to validate a pragmatic tool for design considerations on natural lighting strategies for classrooms and their luminous and energetic efficiency for the employment of possible systems, thus assuring the selection of the best natural lighting device prior to its construction and installation in the building.

Keywords: *Desktop Radiance*, computer simulation, natural lighting, natural lighting devices.