



FABRICACIÓN DIGITAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA ERGONOMÍA Y EL DISEÑO UNIVERSAL

De Paris, Sabine. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. sparis.arq@gmail.com
Pasa, Mariana. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. mariana_pasa@hotmail.com
Righi, Ángela Weber. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. angela.w.righi@ufsm.br
Dornéles, Vanessa Goulart. UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. vanessa.g.dorneles@ufsm.br

Resumen

La enseñanza de la Ergonomía y el Diseño Universal en los cursos de Arquitectura e Ingeniería requiere un enfoque teórico y práctico a través de metodologías que utilicen las nuevas tecnologías disponibles en el mercado. Abordando específicamente la Antropometría, el uso de la fabricación digital y la impresión 3D permite a los estudiantes desarrollar habilidades de experimentación y resolución de problemas. El objetivo de este estudio es presentar el proceso de desarrollo de material didáctico para la enseñanza de la Ergonomía y el Diseño Universal (UD), a través de la fabricación digital y la impresión 3D, con el fin de apoyar y contribuir a la comprensión de los temas. El desarrollo de un prototipo a escala implicó pruebas y estudios de mejoras para el diseño de un modelo que utiliza percentiles antropométricos. Mediante modelos a escala en los percentiles deseados (5%, 50% y 95%) es posible demostrar en el aula la relación entre el entorno y su usuario con la impresión de elementos de nuestra vida cotidiana como mobiliario, rampas, escaleras y fenestraciones. Se entiende que el uso de la fabricación digital en la enseñanza de la Ergonomía y el Diseño Universal responde a nuevas metodologías para el proceso de enseñanza-aprendizaje, estimulando a los estudiantes a estudiarlas.

Palabras clave: Ergonomía; Diseño Universal; Fabricación Digital; Antropometría.

1. Introducción

El estudio de los espacios centrados en el usuario implica tanto el conocimiento de las dimensiones físicas humanas (altura de pie, altura sentado, entre otras) como las dimensiones de trabajo, que abordan la dinámica del cuerpo en el espacio. Además, factores como la antigüedad y la limitación física demuestran que no es apropiado utilizar en el proyecto dimensionamientos establecidos por valores promedio, desconociendo las necesidades reales de quienes utilizan el espacio (PANERO, ZELNIK; 2008). En la relación entre el usuario y el espacio construido también se incluyen elementos culturales y valores individuales de la percepción del espacio, que afectan a la calidad de vida de las personas (HERZBERGER, 1999; HALL, 2005). Áreas de conocimiento como la Ergonomía y el Diseño Universal (DU)

proporcionan métodos para comprender las necesidades del usuario y, por lo tanto, puede colaborar con procesos de proyecto centrados en el usuario (DORNELES; BINS ELY, 2018).

Para Iida y Buarque (2016), la Ergonomía consiste en la aplicación de conceptos de anatomía, fisiología y psicología para resolver problemas que surgen en la relación entre el hombre y el medio ambiente. Moraes y Mont'Alvão (2003) consideran la ergonomía más allá de la relación entre el hombre y la herramienta, incluyendo las interacciones y comunicaciones que tienen lugar en el entorno. En el caso del Diseño Universal, MACE *et al.* (1996) lo definen como el diseño de productos, edificios y espacios abiertos que satisfacen las diferentes necesidades espaciales y las diferentes limitaciones de los usuarios. Sin embargo, el uranio empobrecido difiere de la accesibilidad, de modo que la accesibilidad promueve un diseño que es accesible para individuos específicos o grupos de individuos con limitaciones (ORMEROD; NEWTON, 2011).

Los temas están ganando cada vez más espacio dentro de la formación de nuevos profesionales. El UD, por ejemplo, pasó a ser contenido obligatorio para los cursos de Arquitectura e Ingeniería a través de la resolución N° 1, del 26 de marzo de 2021 (CNE, 2021). Por lo tanto, las diferentes perspectivas relacionadas con el proceso de enseñanza-aprendizaje y las estrategias metodológicas son fundamentales para cumplir con la resolución (MALULI; SOTAVENTO; VERGARA, 2022; NIETO; ANDRADE; RIBEIRO, 2022; SIMONETTO; MEDEIROS, 2022). El

La aproximación teórica y práctica, tanto en Ergonomía como en UD, a través de dinámicas de enseñanza que relacionen conceptos con la experimentación es fundamental para que los estudiantes desarrollen la capacidad de resolver problemas (BRAATZ *et al.*, 2017). La multidisciplinariedad de la Ingeniería con la Arquitectura permite la relación entre los sistemas de interacción humano-tecnología en el diseño de artefactos (VERGARA, 2005), que proporcionan la discusión de conceptos a través de la aplicación de pruebas de usabilidad (GONÇALVES, 2017). Además, el uso de nuevas tecnologías en la producción de artefactos hace que los temas sean más atractivos para los estudiantes, al tiempo que los prepara para el mercado.

Las nuevas formas de producción asociadas a la tecnología digital funcionan como grandes aliados en la innovación de proyectos, manufactura y construcción. Los medios de producción recientes, que incluyen la creación rápida de prototipos y la fabricación digital,

incorporan la fabricación de artefactos con nuevas perspectivas de avance e innovación en el aprendizaje y la asimilación del conocimiento (SCHEEREN, 2021). Por lo tanto, el objetivo de este artículo es presentar el proceso de elaboración de material didáctico para la enseñanza de la Ergonomía y el Diseño Universal, a través de la fabricación digital y la impresión 3D, para que ofrezca soporte como material didáctico y contribuya a la comprensión de los temas.

2. Desarrollo

El estudio se caracteriza por ser cuantitativo-cualitativo en cuanto a su enfoque, centrándose en la explicación de las dinámicas que involucran la relación entre el usuario y el espacio. En cuanto a su naturaleza, se caracteriza como investigación aplicada, ya que está dirigida a la resolución de problemas específicos. En cuanto a los objetivos, la investigación se clasifica como exploratoria, ya que busca la información y la construcción de hipótesis (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

La Figura 1 ilustra las etapas de desarrollo del presente estudio: Etapa 1. revisión de la literatura; Paso 2. definición de la finalidad del material; Paso 3. referencias sobre modelos utilizados anteriormente; Paso 4. modelado y prototipado; y Paso 5. Análisis de mejoras. Con el fin de acercar al investigador a los contenidos ya publicados sobre los temas de estudio (MARCONI; LAKATOS, 2003), la etapa 1 de este estudio consistió en la recolección de datos que involucró investigaciones en revistas y eventos científicos sobre los conceptos de Ergonomía y DU y su enseñanza en los cursos de Arquitectura e Ingeniería. Además, se realizó una revisión bibliográfica sobre el uso de la fabricación digital, las técnicas de fabricación y la integración del prototipado en la etapa de diseño y diseño, así como sus impactos en la experimentación, la solución de problemas de diseño y el desarrollo de los estudiantes como profesionales reflexivos.

Figura 1 – Etapas de desarrollo de la investigación



Fuente: Autores, 2023

Debido a la amplitud de los temas de estudio, después de la revisión de la literatura, se comprendió que la antropometría acerca los cursos de Arquitectura e Ingeniería al involucrar procedimientos y técnicas para la comprensión de las medidas y formas del cuerpo humano y su relación con el medio ambiente (GONÇALVES, 2017). En el diseño del diseño, la comprensión de estas mediciones es una parte fundamental para definir la dinámica de usos y el dimensionamiento de los espacios. Se observó, como parte de la Etapa 2, que los maniqués articulados representan, generalmente en escalas reducidas, medidas y proporciones humanas y son herramientas que, junto con elementos constructivos, pueden ser utilizadas en la enseñanza de la Ergonomía y el DU. Por lo tanto, este fue el tema elegido para el desarrollo de las siguientes etapas.

Para una mejor comprensión de los vínculos entre los modelos antropométricos y la enseñanza de la Ergonomía y el UD, la Etapa 3 tuvo como objetivo la búsqueda de modelos previamente utilizados, dentro y fuera del entorno científico mediante estudios de caso, considerando las características físicas e identificando las pautas aplicadas.

Luego de la revisión de la literatura y formulación teórica del estudio antropométrico relacionado con la fabricación digital, se iniciaron las pruebas de modelación (Etapa 4) basadas en los percentiles antropométricos disponibles en el libro de Másculo y Vidal (2011). Debido a los conocimientos previos de los autores, se decidió utilizar inicialmente la versión educativa del software SketchUp. Durante el modelado, la necesidad de buscar otro software que

modelado más complejo, ya que las herramientas de SketchUp se limitan al modelado anatómico.

El programa elegido para el modelado del estudio fue Rhinoceros, utilizando la versión de prueba gratuita, que satisfizo la demanda percibida anteriormente. La producción de los prototipos piloto se imprimió en filamento PLA (Biopolímero de Ácido Poliláctico) en una impresora Creality, modelo CR-10S Pro, en los espacios del Laboratorio de Fabricación Digital del Centro de Tecnología de la Universidad Federal de Santa María (UFSM) - Fábrica CT.

Finalmente, se llevó a cabo la Etapa 5 de análisis de los prototipos impresos, y todo el proceso de desarrollo, con el objetivo de mejoras.

3. Resultados

A partir de los métodos antes mencionados, definidos estratégicamente para el objetivo de este estudio, se presentan las evidencias obtenidas para el análisis. En las siguientes secciones se analizan los resultados encontrados para cada etapa del desarrollo del estudio.

3.1. Revisión de la literatura sobre fabricación digital y enseñanza en Ergonomía y DU

La fabricación digital permite la producción masiva de diferentes elementos personalizados, lo que se conoce como *personalización masiva* (CELANI; PUPO, 2008). Este proceso se asocia al diseño digital y a la manipulación virtual de las formas, de modo que los procedimientos son controlados por ordenador y codificados para su posterior producción (BARBOSA NETO, 2013). Considerando la producción a escala industrial en el sector de la construcción civil, la fabricación digital se asocia a la producción final de encofrados o partes finales de edificios u otros elementos que componen la construcción. En el caso del prototipado rápido, se asocia a la fabricación y materialización de prototipos que se utilizarán para el análisis y verificación de modelos virtuales (PUPO, 2009).

La creación rápida de prototipos se divide a su vez según el tipo de fabricación: aditiva, sustractiva o formativa. La fabricación aditiva se define por la superposición de capas de material, ya sea sólido o líquido, a través de equipos como la impresora 3D. La fabricación sustractiva se refiere al desbaste de un material en equipos como fresas, corte por láser y chorro de agua. La fabricación formativa es aquella basada en un molde sobre el cual el material se deforma y se adapta (PUPO, 2009; BARBOSA NETO, 2013; FACCA et al., 2022).

En los cursos de Arquitectura e Ingeniería, el uso de prototipos rápidos sirve como ayuda para el proceso de diseño como herramienta de creación y aplicación, uniendo los mundos digital y físico. La experimentación que proporciona el modelado y la creación de prototipos estimula la curiosidad de los estudiantes, a la vez que genera un entorno de intercambio de conocimientos (FACCA et al., 2022). La solución de problemas de diseño potencia las diferentes capacidades de los estudiantes a través de la investigación de datos, el uso de la innovación y la toma de decisiones (FERREIRA; FREITAS-GUTIERRES, 2022). Además, proporcionan su desarrollo como profesionales reflexivos, reflexionando sobre la acción y sobre la acción (SCHÖN, 2009).

3.2. Definición de la finalidad del material: Antropometría

En la literatura, existen estudios que utilizan el modelado y la fabricación aditiva para la fabricación de prótesis y órtesis, productos médicos, mobiliario, productos cotidianos y mapas táctiles en diferentes disciplinas y temáticas (BATISTELLO et al., 2015; SOUZA et al., 2017; ANDRADE; AGUIAR, 2018; SOUSA ET AL., 2019; KERMAVNAR; SHANNON; O'SULLIVAN, 2021). Sin embargo, se observó que existen pocos estudios con modelos antropométricos para la enseñanza de la Ergonomía y el UD. Los modelos disponibles en el mercado, como los maniqués en cierto modo, representan la articulación de los movimientos y la proporcionalidad entre dimensiones del cuerpo humano. Apenas se encuentran modelos creados a partir de patrones de medición, según percentiles antropométricos. Además, elementos de nuestra vida cotidiana como puertas, escaleras y muebles, que son ejemplos didácticos básicos de Ergonomía y DU, no están asociados como modelos físicos que puedan utilizarse en la enseñanza práctica.

Cabe destacar que la antropometría debe entenderse como una herramienta de inclusión, ya que entre los principios del uranio empobrecido (DORNELES et al., 2013) se encuentran el uso equitativo, el bajo esfuerzo físico y el espacio para la aproximación y el uso dependen de un dimensionamiento adecuado para los diferentes usuarios que utilizan un espacio y/o mobiliario. La eliminación de las barreras físicas depende de la asimilación de la antropometría y de la relación usuario-entorno a través de aplicaciones prácticas que demuestren a los alumnos la importancia del tema.

3.3 Referencias a modelos utilizados anteriormente

La investigación científica sobre modelos creados a partir del escaneo 3D de cuerpos reales, digitalizados para impresiones posteriores de maniqués, busca ayudar en la fabricación de ropa, zapatos y accesorios de acuerdo con las medidas de las respectivas poblaciones en estudio (SPAHIU et al., 2016; OH; SUH, 2021; COPILUSI et al., 2023). Mandesso Design, liderado por el ingeniero industrial Manu Álvarez, desarrolló 29 modelos humanos digitales que abordan los percentiles 1%, 50% y 95% en las edades comprendidas entre un bebé de 2 meses y adultos. Lamentablemente, no es posible acceder a los datos del estudio de Álvarez (MANDESSO, 2023). Otros modelos disponibles digitalmente, sin carácter científico y de libre acceso se pueden encontrar en sitios específicos de impresión 3D como Thingiverse y Cults.

A pesar de los modelos y estudios disponibles, todavía existen pocos recursos dirigidos a la enseñanza de la ergonomía y el uranio empobrecido, especialmente aquellos que no requieren grandes recursos de inversión. Por lo tanto, el desarrollo de material didáctico que pueda ser utilizado en diversos cursos e instituciones de educación superior es esencial para la difusión del conocimiento.

3.4. Modelado y prototipado

Para el desarrollo inicial del modelo de estudio se probó el dibujo mediante la superposición de imágenes en el software Sketchup. A partir del montaje de los maniqués de madera disponibles en el mercado, se comprobó que el herraje original realizado por clavos y muelles era de difícil acceso para su fabricación debido a la escala de impresión. A pesar de que los ensayos se realizaron en las escalas 1:20 y 1:10 (Figura 2), difícilmente sería posible producir las piezas necesarias para el montaje, convirtiéndose en una producción manual y

artesanal, lo que no ocurrió coherente con el objetivo del estudio. El uso de un taladro de banco y la fabricación de los resortes harían que el proceso fuera largo y difícil de replicar.

Figura 2 – Impresión y perforación de pruebas basadas en maniqués de madera



Fuente: Autores, 2023

Así, en una segunda fase, se decidió utilizar un modelo articulado disponible en la biblioteca de la web de Thingiverse (Figura 3). A pesar de no tener medidas ergonómicas, el modelo cuenta con un sistema de ajuste que, tras la impresión, funcionó correctamente para el estudio. Sin embargo, el modelo tiene derechos de uso y no cumplió con las posiciones deseadas como la fijación de tramos y la posición de pie/sentado, teniendo articulaciones más allá de las necesarias para el objetivo del estudio.

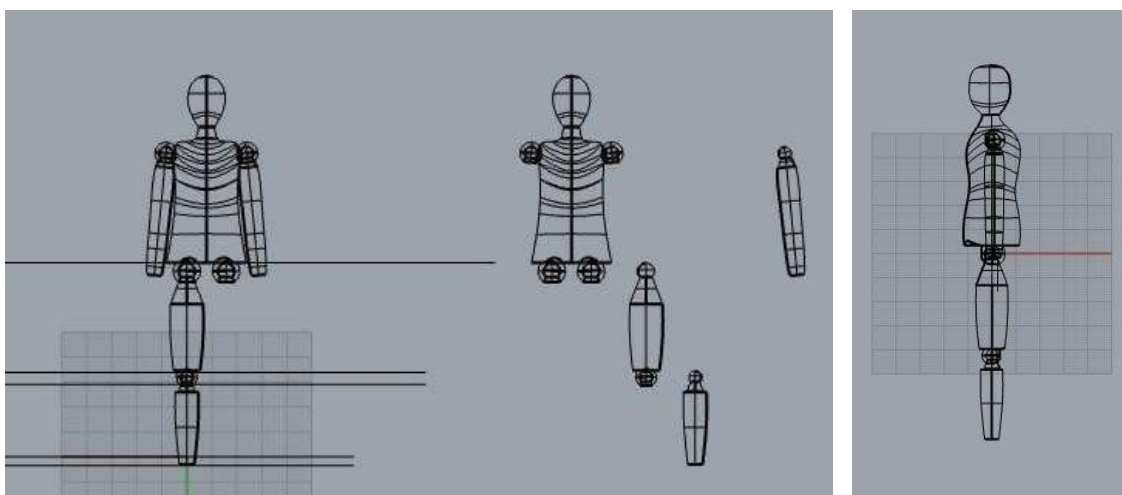
Figura 3 – Impresión de un modelo disponible en Internet



Fuente: Makermachine, 2023

En la tercera fase, basándose en el sistema de ajuste y la revisión de las posiciones deseadas, los autores comenzaron a desarrollar su propio modelo en el software Rhinoceros (Figura 4). El software, orientado al modelado digital, permite crear y modificar diferentes formas. Sus características permiten la interacción y asociación de diferentes objetos, así como el desarrollo de un diseño paramétrico mediante el plugin Grasshopper. Su principal desventaja es la condición de tener una licencia paga, incluso para estudiantes. Por lo tanto, se utilizó en la versión de prueba gratuita para verificar que se ajusta al estudio propuesto.

Figura 4 – Modelado de prototipos



Fuente: Autores, 2023

Fueron necesarias varias pruebas en partes de las piezas para el funcionamiento de los herrajes, de modo que fueran posibles movimientos mínimos, tales como: extensión del alcance del brazo, posición de pie, posición sentada (Figura 5). La falta de estabilización del movimiento, así como la rotura de piezas durante el movimiento fueron los mayores desafíos para que el modelado trabajara en impresión. El ajuste fino de la dimensión de cada junta con su zócalo, así como su proporcionalidad a los movimientos, se garantizó después de constantes pruebas de impresión. Asimismo, la configuración del software de la impresora 3D, Ultimaker Cura, permite cambiar las densidades, las cantidades de capa y el dimensionamiento del espesor para reforzar la pieza y evitar que se rompa. También se pretende explorar el equilibrio de la composición de las formas del cuerpo con estos accesorios, haciendo que el conjunto sea más armonioso.

Figura 5 – Impresión y prueba de prototipos de accesorios



Fuente: Autores, 2023

3.5. Análisis de mejoras

El prototipo piloto se imprimió a escala 1:20 y 1:10 (Figura 6) con las dimensiones antropomórficas del percentil 50% (VIDAL, 2000) para la verificación final de los herrajes modelados. Se encontró que en la escala superior el modelo funciona de manera más adecuada para el estudio propuesto, así como el refuerzo realizado sobre las estructuras esféricas para evitar roturas durante el uso. El corte ajustado aporta mayor estabilidad y durabilidad al modelo final. A partir de los ajustes, es posible modelar los otros percentiles (5% y 95%) y crear modelos cercanos a la vida cotidiana de la población.

Figura 6 – Prototipos y puertos de simulación.



Fuente: Autores, 2023

En general, se debe considerar que es necesario profundizar las habilidades en el uso del software Rhinoceros para acelerar el proceso de modelado y minimizar los errores. El ajuste correcto del modelo requiere conocimiento y experiencia para identificar problemas como el cierre incorrecto y la intersección de objetos, la proporcionalidad de las formas y el dimensionamiento entre las piezas de ajuste. Adicionalmente, la configuración del software de impresión Ultimaker Cura que genera los soportes, espesor de capa, tipo de adherencia del objeto a la mesa y relleno sumado al tipo de filamento utilizado, que necesita satisfacer las necesidades del prototipo.

4. Conclusiones

El prototipo desarrollado para este estudio, a través de la fabricación digital y la impresión 3D, con el objetivo de ser utilizado como material didáctico para la enseñanza de la Ergonomía y el Diseño Universal, representa la aplicación práctica de las dimensiones y percentiles antropométricos. Los métodos utilizados para la realización del modelo y las pruebas en impresión 3D requirieron la investigación de los mejores medios para el diseño de un modelo que pudiera cumplir con las perspectivas de un material innovador. Mediante modelos a escala en los percentiles deseados (5%, 50% y 95%) es posible demostrar en el aula la relación entre el entorno y su usuario con la impresión de elementos de nuestra vida cotidiana como muebles, rampas, escaleras y fenestraciones.

Sin embargo, se observa como una limitación la curva de aprendizaje requerida en el conocimiento de diferentes softwares de modelado e impresión. Específicamente para la impresión, también existen variaciones según el tipo de impresora 3D, que puede utilizar software genérico (como Ultimaker Cura) o su propio software. También hay que tener en cuenta la relación entre el objeto modelado y el objeto impreso, teniendo cuidado con las escalas que utiliza cada software y el posible desfase entre ellas.

Animar a los estudiantes a participar en la fabricación de los elementos y a reflexionar sobre la interacción entre los diferentes cuerpos humanos, sus dinámicas y su alcance es fundamental para una enseñanza activa que los prepare para el mercado profesional. El uso del modelo en los cursos de Arquitectura y Urbanismo puede darse en las disciplinas de diseño, mientras que en los cursos de Ingeniería puede darse en las disciplinas de Ergonomía, ya que la antropometría debe entenderse por la diversidad de medidas y la interacción del cuerpo humano con el espacio.

Por último, la aplicación práctica y el conocimiento de los diferentes tipos de usuarios y su relación con el entorno permite sensibilizar al alumnado sobre las barreras que se encuentran en nuestro día a día y minimizar las barreras que no garantizan la inclusión en el conjunto.

5. Referencias

ANDRADE, A. F.; AGUIAR, B. C. X. C. O uso de mapas táteis no auxílio do processo de ensino-aprendizagem por meio do desenho universal. In: VII Congreso Internacional y XV Congreso Nacional de Profesores de Expresión Gráfica em Ingeniería, Arquitectura y Carreras Afines. Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP, 2018.

BARBOSA NETO, W. **Do projeto à fabricação: um estudo de aplicação da fabricação digital no processo de produção arquitetônica**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Unicamp, Campinas, 2013.

- BATISTELLO, P.; BALZAN, K. L.; PIAIA, L. P.; MIOTTO, J. Prototipagem rápida e fabricação digital em ateliê vertical: do processo à materialização. In: XIX Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital-Sigradi, p. 137-142, 2015.
- BRAATZ, D., PARAVIZO, E., TONIN, L., SILVA, S. Ensino de ergonomia e projeto: experiências de aplicação de uma dinâmica de concepção de espaço de trabalho. **Revista Ação Ergonômica da Associação Brasileira de Ergonomia**, v. 27, 2017.
- CELANI, M. G. C.; PUPO, Regiane Trevisan. Prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção: definições e estado da arte no Brasil. **Cadernos de pós-graduação em arquitetura e urbanismo**, v. 8, n. 1, 2008.
- CNE. Conselho Nacional da Educação. **Resolução nº 01/2001, de 26 de março de 2021**. Dispõe sobre as diretrizes curriculares nacionais dos cursos de graduação de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Brasília: Ministério da Educação. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=175301-rces001-21&category_slug=marco-2021-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 21 de jul. de 2023.
- COPILUSI, C.; GEONEA, I.; VLADU, C.; MARGINE, A. Design of a parameterized mannequin using rapid prototyping technology. In: International Conference of Mechanical Engineering (ICOME-2022). Atlantis Press, p. 27-35. 2023.
- DORNELES, V. G.; AFONSO, S.; ELY, V. H. M. B. O desenho universal em espaços abertos: uma reflexão sobre o processo de projeto. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 8, p. 55-55, 2013.
- DORNELES, V. G.; BINS ELY, V. H. M. Experiências didáticas em arquitetura e urbanismo: o ensino de desenho universal. **Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente**, v. 3, n. 2, p. 08-22, 2018.
- FACCA, C. A.; FERNANDES, A.; ALVES, J. L.; RANGEL, B.; BARBORA, A. M. **A impressão 3d e as tecnologias emergentes de fabricação digital: a (r)evolução nos processos de ensino de design, engenharia e manufatura**. In: ARRUDA, A. J. V.; ARAÚJO, G. G. Design & Narrativas Criativas nos Processos de Prototipagem. São Paulo: Blucher, 2022.
- FERREIRA, C. C.; FREITAS-GUTIERRES, L. F. Aprendizagem ativa por meio da prototipagem rápida em um curso de graduação em Engenharia de Energia. **Revista Thema**, v. 21, n. 3, p. 776-795, 2022.
- GHERHADT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.
- GONÇALVES, M M. O ensino de ergonomia em um curso de design de moda. **Revista de Ensino em Artes, Moda e Design**, v. 1, n. 1, 2017.
- HALL, E. **A dimensão oculta**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

HETZBERGER, H. **Lições de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

IIDA, I.; BUARQUE, L. I. A. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

KERMAVNAR, T.; SHANNON, A.; O'SULLIVAN, L.W. The application of additive manufacturing/3D printing in ergonomic aspects of product design: A systematic review. **Applied Ergonomics**, v. 97, p. 103528, 2021.

MACE, R. L.; HARDIE, G. J. PLACE, J. P. **Accessible environments: toward Universal Design**. NC: Center for Universal Design, 1996.

MALULY, C. V.; LOPES, S. A. P.; VERGARA, L. G. L. Recursos ópticos para ensino-aprendizagem: revisão sistemática sobre tecnologia assistiva voltada à baixa visão. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]** São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

MAKERMACHINE. Poseable mannequin. Thingiverse. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:101451>. Acesso em: 21 jul. 2023.

MANDESSO. **Mandesso Design, Manu Alvarez**. Disponível em: <https://mandesso.com/>. Acesso em: 21 jul. 2023.

MÁSCULO, F. S.; VIDAL, M. C. **Ergonomia: trabalho adequado eficiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia, Conceitos e Aplicações**. Rio de Janeiro: iUsEr, 2003.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

NETO, V. B.; ANDRADE, E. H. A.; RIBEIRO, P. L. S. Metodologia de ensino-aprendizagem em saúde e segurança do trabalho: um relato de experiência. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]** São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

OH, S.; SUH, D. Mannequin fabrication methodology using 3D-scanning, modeling and printing. **International Journal of Clothing Science and Technology**, v. 33, n. 5, p. 683- 695, 2021.

ORMEROD, M.; NEWTON, R. Is your inclusive my exclusive?: Edinburgh College of Architecture. In: Open Space: People Space 3, An international conference on Research into Inclusive Outdoor Environments for All. Edinburgh, 2011.

PANERO, J.; ZELNIK, M. **Dimensionamento humano para espaços interiores**. Barcelona: Editora GG, 2008.

PUPPO, R. T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Unicamp, Campinas, 2009.

SCHEEREN, R. **Fabricação digital na América do Sul: laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção**. 2021. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Penso Editora, 2009.

SIMONETTO, L.; MEDEIROS, C. R. P. X. “DEERGO” - Projeto de ensino da ergonomia por meio do Instagram: uma iniciativa de divulgação democrática e acessível da disciplina. In: Anais do Congresso Brasileiro de Ergonomia da ABERGO. **Anais[...]** São José dos Campos: Parque Tecnológico de São José dos Campos, 2022.

SOUSA, F.; GATINHO, N.; DEMAISON, A.; CAMPOS, L. F. Design, ergonomia e impressão 3d: um exercício prático de projeto para protetores de tomada. **Ergodesign & HCI**, v. 7, n. Especial, p. 168-179, 2019.

SOUZA, L. F. D.; ANDRADE, M. F. D.; GRAÇA, I.; CANTALICE, J. D. D. A. Projeto de mobiliário multifuncional-ergonomia aplicada a design de produto. **Revista Ação Ergonômica**, v. 12, n. 2, 2017.

SPAHIU, T.; GRIMMELSMANN, N.; EHRMANN, A.; SHEHI, E.; PIPERI, E. On the possible use of 3D printing for clothing and shoe manufacture. In: Proceedings of the 7th International Conference of Textile, Tirana, Albania. p. 10-11, 2016.

VERGARA, L. G. L. **Avaliação do Ensino de Ergonomia para o Design aplicando a Teoria da Resposta ao Item (TRI)**. 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIDAL, M. C. **Introdução à ergonomia. Apostila do Curso de Especialização em Ergonomia Contemporânea/CESERG**. Rio de Janeiro: COPPE/GENTE/UFRJ, 2000.