

O AVANÇO TECNOLÓGICO POR MEIO DA ARQUITETURA: ESTRUTURAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA¹

SILVA DA, Sophia B.
MAREK, Carolina.²
RADAELLI, Patricia B.³

RESUMO

Este artigo analisa como a arquitetura de infraestruturas científicas, também conhecidas como *big science*, impulsiona o avanço tecnológico e contribui para o progresso da humanidade. A proposta parte da compreensão de que projetos científicos de grande escala exigem ambientes altamente especializados, nos quais a arquitetura desempenha papel essencial para viabilizar a precisão técnica, a colaboração interdisciplinar e a inovação contínua. Para investigar essa relação, foram estudados três casos emblemáticos: a sede da SpaceX, o *Extremely Large Telescope* (ELT) e o Projeto Sirius. Cada um desses exemplos representa diferentes áreas do conhecimento — aeroespacial, astronômica e físico-química — e evidencia como o planejamento arquitetônico é decisivo para o sucesso das operações científicas. No desenvolvimento, foram exploradas as soluções arquitetônicas e técnicas adotadas em cada infraestrutura, com destaque para a integração de sistemas de controle ambiental, isolamento de vibrações, modulação de espaços e suporte a tecnologias de ponta. As análises foram fundamentadas exclusivamente em fontes selecionadas, priorizando citações diretas para preservar a fidedignidade das informações. Nas considerações finais, conclui-se que a arquitetura de grandes infraestruturas científicas não é apenas um suporte físico, mas um elemento estruturante do processo científico contemporâneo. Ao proporcionar condições ideais para experimentos complexos e ambientes de colaboração entre áreas distintas, essas estruturas tornam-se agentes ativos na produção de conhecimento, inovação e desenvolvimento sustentável, fortalecendo a posição das nações no cenário científico e tecnológico global.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetura científica, Big science, Infraestruturas tecnológicas, SpaceX, ELT, Projeto Sirius

1. INTRODUÇÃO

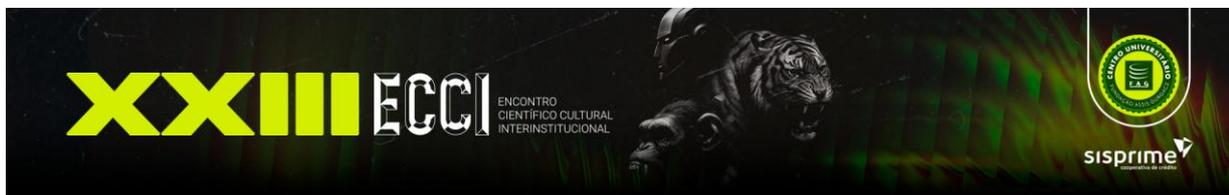
Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa teórica, com enfoque interdisciplinar, promovido a partir da confluência dos objetivos das disciplinas do 5º período do curso de Arquitetura e Urbanismo, com as especificidades da disciplina de Comunicação, sobre a arquitetura de infraestruturas científicas.

A arquitetura de infraestruturas científicas constitui um campo estratégico e fundamental para o avanço do conhecimento e da inovação tecnológica. Ao integrar planejamento técnico, soluções de engenharia de ponta e ambientes altamente especializados, essas estruturas viabilizam experimentos complexos, observações precisas e a produção de dados em larga escala, essenciais para a ciência contemporânea.

¹ Esse artigo foi desenvolvido na disciplina de Comunicação em um trabalho articulado às demais disciplinas do 5º período do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Assis Gurgacz.

² Acadêmica do 5º período do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Assis Gurgacz.

³ Professora orientadora. Docente do curso de Arquitetura e Urbanismo. Graduada em letras e pedagogia, mestre e doutora em letras pela Unioeste.



A investigação deu-se pelo viés da seguinte questão norteadora: como a arquitetura de infraestruturas científicas impulsiona o avanço tecnológico e contribui para o progresso da humanidade. Justamente por se entender as contribuições dessa análise para o processo de formação acadêmica. Estudar sobre a arquitetura de infraestruturas científicas, requer investigar de que forma esses espaços projetados com alto grau de complexidade técnica contribuem diretamente para o avanço tecnológico. A problemática está em compreender como essas construções, além de abrigarem a ciência, potencializam descobertas e inovações que impactam a sociedade em escala global, tornando-se fundamentais para o progresso humano.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

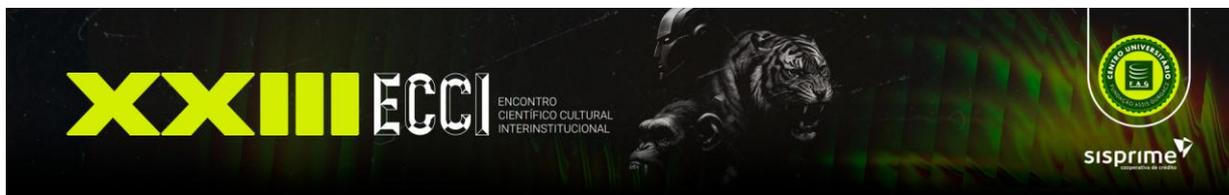
Segundo Gastrow e Oppelt (2018): “a noção de "big science" surgiu como uma abreviação para os projetos científicos cada vez maiores que proliferaram pela primeira vez durante a Guerra Fria.

"Infraestrutura de pesquisa em larga escala" inclui telescópios; aceleradores; instalações para pesquisa biomédica; fontes de radiação laser, de nêutrons ou síncrotron, técnicas de imagem molecular, campos magnéticos elevados etc.; e supercomputadores e redes de alto desempenho.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

“A ciência exigia recursos financeiros que só poderiam ser encontrados fora do limitado universo das universidades e instituições de pesquisa. A construção de instrumentos cada vez mais avançados e caros estava se tornando decisiva para o progresso em muitos campos científicos.” (GIUDICE, 2012).

Gastrow e Oppelt (2018) sustentam que “o conhecimento e a tecnologia desenvolvidos em grandes instalações científicas não apenas promovem nossa compreensão do universo, mas também geram novas classes de produtos e serviços que revolucionam mercados e transformam vidas”.

“Outras dimensões analíticas que distinguem a big science do cenário científico mais amplo incluem questões de geografia (o crescimento da big science para abranger, às vezes literalmente, cidades ou regiões), economia (a proliferação de projetos multibilionários), multidisciplinaridade (a big science requer múltiplas disciplinas acadêmicas e tecnologias de engenharia) e globalização (projetos de big science geralmente exigem colaboração internacional em vários níveis).” (GASTROW e OPPELT, 2018).



Assim, “os grandes projetos científicos exigem legitimidade social, sustentada pela aceitação pública e pelo benefício mútuo.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

“Tal contrato social deve, idealmente, ser apoiado por resultados de desenvolvimento humano que justifiquem os custos financeiros e de oportunidade dos grandes projetos científicos. Os contextos culturais, sociais e políticos desempenham papéis importantes na formação das percepções públicas sobre a ciência.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

Gastrow e Oppelt (2018) reiteram que “o desenvolvimento humano, como resultado de intervenções científicas e tecnológicas, deve, idealmente, ser alcançado por meio de processos que incluam o desenvolvimento de capacidades, o engajamento social e a participação pública.”

“Em contraste com o estudo do desenvolvimento econômico, que se concentra na dinâmica da atividade econômica, o estudo do desenvolvimento humano tem um foco mais amplo na questão do bem-estar humano. Esse escopo se alinha aproximadamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e seu objetivo de aumentar a prosperidade e a harmonia em um mundo sustentável.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

Giudice (2012) reforça essa ideia ao afirmar: “Grandes projetos científicos, assim como obras de arte inspiradoras, capturam a imaginação do público e transferem conhecimento de maneiras particularmente eficazes para todas as camadas da sociedade.”

Contudo, “os benefícios das grandes instalações científicas precisam ser ponderados em relação aos seus custos financeiros e aos custos de oportunidade associados à dedicação de recursos à grande ciência em vez de intervenções mais diretas orientadas para o desenvolvimento humano.” (GASTROW, e OPPELT, 2018).

“A relevância econômica e tecnológica nem sempre conduz à melhor ciência e, portanto, nem sempre se traduz em um melhor investimento para a sociedade. No entanto, os enormes custos dos grandes projetos científicos justificam análises precisas das possíveis consequências econômicas e spin-offs⁴ tecnológicos por parte das agências de financiamento.” (GIUDICE, 2012).

⁴ Spin-offs: benefícios tecnológicos ou aplicações indiretas resultantes de pesquisas científicas.



À vista disso, "o desafio é identificar a pegada social das instalações com uma missão científica primária." (GASTROW e OPPELT, 2018).

Ainda nesse contexto, Gastrow e Oppelt (2018) abordam que: “para essas instalações científicas, a inovação parece ser o principal mecanismo por meio do qual os resultados do desenvolvimento humano são alcançados.”

“Aplicações mais específicas da teoria da inovação incluem estudos sobre como os grandes centros científicos operam como ambientes de aprendizagem para empresas fornecedoras industriais, bem como o benefício mútuo mais amplo dos processos conjuntos de inovação entre a indústria e a grande ciência.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

Giudice (2012) consolida essa ideia ao dizer que: “os pedidos dos cientistas por protótipos de ponta levam as indústrias a desenvolverem novas técnicas de fabricação cujo desenvolvimento seria muito arriscado em um ambiente meramente de mercado.”

Além disso, “grandes infraestruturas de pesquisa atraem os melhores pesquisadores do mundo, com base nos quais a instalação se torna um cluster ou centro de conhecimento no qual há interação intensificada entre as funções científicas e tecnológicas da instalação.” (GASTROW e OPPELT, 2018).

Logo, Gastrow e Oppelt (2018) mencionam que “há consenso na literatura de que a big Science fornece um retorno positivo sobre o investimento e é de benefício líquido substancial para a sociedade, mesmo levando em consideração os altos custos financeiros e de oportunidade.”

No que se refere às infraestruturas científicas privadas, o vídeo de Lavish Woo (2025) destaca a sede da SpaceX fundada pelo empresário sul-africano Elon Musk, nos seguintes termos:

“Está localizada em Hawthorne, Califórnia, e fica em 500.000 pés quadrados de espaço. O que antes era um local de fabricação para fuselagens do Boeing 747 agora é um centro multimilionário para a criação, design e teste de um grande número de peças da nave espacial da SpaceX, que estão atualmente redefinindo a indústria espacial.” (LAVISH WOO, 2025).

Por isso, a arquitetura é projetada para integrar tecnologia, produção e controle com máxima eficiência. Everett (2016) descreve que “o lugar inteiro é basicamente uma sala gigante, [...] completamente ao ar livre”, o que revela um espaço ideal para o fluxo de produção de foguetes.

Porém, como observa Everett (2016):



“A primeira coisa que você nota ao chegar e estacionar do outro lado da rua é o quão pequeno o prédio parece, especialmente para um lugar que faz foguetes espaciais gigantes. Na verdade, não é maior do que uma garagem de estacionamento de shopping padrão e talvez até menor do que alguns desses.” (Everett, 2016).

Portanto, esse contraste entre a aparência modesta da infraestrutura externa e a complexidade tecnológica que abriga internamente revela uma estratégia arquitetônica funcionalista, que prioriza eficiência e integração dos processos, em vez de imponência visual.

Ademais, de acordo com Everett (2016): “a maioria das máquinas não tem mais de 10 pés de altura, [...] isso inclui as longas seções cilíndricas do meio do foguete, [...] elas ficam de lado para que possam caber no prédio e serem trabalhadas facilmente.”

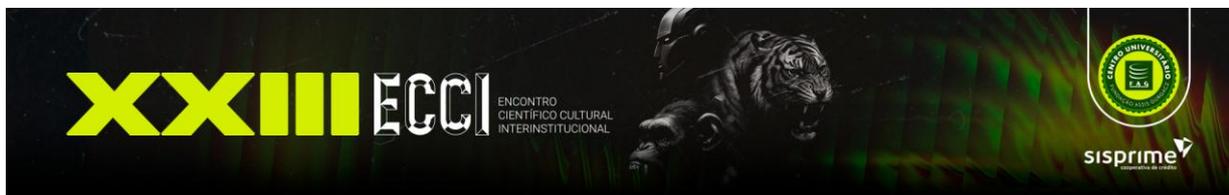
Essa flexibilidade espacial, possibilita, por exemplo, o monitoramento de fabricação, como destaca o vídeo da Simply Tech: “uma esteira gigante de componentes para o foguete percorre o espaço e todas essas são peças que passaram por inspeções e controles de precisão.” (SIMPLY TECH, 2025).

“A área onde eles conduzem todas as suas inspeções, o espaço é climatizado, já que diferentes metais se expandem e contraem em diferentes temperaturas, uma temperatura constante de 68 graus os mantém estáveis e permite que eles realizem as mais minuciosas medições de precisão.” (Simply Tech, 2025).

Assim, esse detalhamento evidencia não apenas a preocupação com a funcionalidade e segurança da infraestrutura, mas também demonstra como o ambiente foi planejado para suportar operações complexas e de alta demanda como Everett (2016) pontua em:

“Há diferentes estações, algumas salas limpas, e o piso e os pilares são todos pintados de branco. Claro que há um pouco de poeira e marcas de arranhões no piso, como você pode esperar, mas no geral é uma experiência limpa. Olhando para cima, você vê as vigas I cruzando o telhado, completas com elevadores pintados de azul que podem suportar cargas extremamente pesadas. Um na parede mais distante diz "20 toneladas".” (Everett, 2016).

Everett (2016) ressalta que “os trabalhadores usam toucas, botas de sapato e coberturas para suas roupas para minimizar a interferência de partículas com o produto”, evidenciando ainda mais o rigor da SpaceX na preservação de um ambiente controlado para garantir a qualidade dos processos.



Segundo o vídeo da Simply Tech (2025) outro procedimento que evidencia o compromisso com a avaliação detalhada da resistência dos componentes, fundamental para o sucesso das missões espaciais está descrito em:

“Uma sala de vibração e uma instalação de teste de estresse. A sala de vibração simulava as enormes cargas acústicas e vibracionais que os componentes experimentam quando são disparados para o espaço” — se aprovados nessa etapa, seguem para o próximo estágio do processo. (Simply Tech, 2025).

Conforme Everett (2016) menciona em:

“Há longas listras escuras pintadas no chão de cada lado da passarela, junto com algumas áreas isoladas com cordas. Elas recebem muitos visitantes e isso só ajuda a evitar que as pessoas entrem nas estações de trabalho dos funcionários. Há bancadas de trabalho, peças de máquinas, motores de foguete meio montados, peças de reposição e todo tipo de coisa acontecendo. Você percebe que é principalmente para sua segurança e foco dos funcionários.” (Everett, 2016).

Portanto, essa organização reforça a prioridade dada à segurança tanto dos visitantes quanto dos trabalhadores, além de destacar o papel das visitas na ampliação do conhecimento sobre o complexo funcionamento operacional.

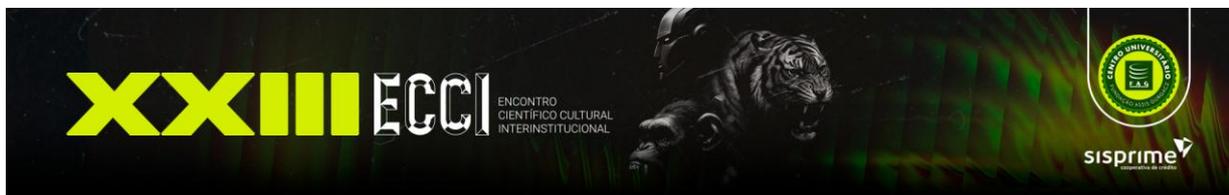
Everett (2016) também reitera que: “outras áreas do edifício, [...] incluem os escritórios de vidro suspensos com vista para todo o andar da fábrica, além de outros escritórios corporativos onde os PhDs e a equipe administrativa trabalham.”

Em suma, essa descrição evidencia a valorização da transparência e da abertura no ambiente de trabalho, uma vez que a ausência de portas favorece a comunicação e a integração entre as equipes.

Por fim, Everett (2016) afirma que:

“Nunca estive dentro da sede de uma empresa, nem mesmo no campus do Google, onde as pessoas estão literalmente lá 24x7x365, vestindo o equipamento e construindo coisas fisicamente porque estão se dirigindo para algo maior do que elas mesmas. Maior do que sua empresa.” (Everett, 2016).

Nesse sentido, a reflexão está na importância de uma arquitetura que promova ambientes colaborativos e inspiradores em infraestruturas científicas, essenciais para fomentar a inovação



sustentável, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, especialmente aqueles relacionados à indústria, inovação e infraestrutura (ODS 9).

Quanto às infraestruturas científicas de conhecimento astronômico, Padovani e Cirasuolo (2023) apresentam o telescópio ELT (Extremely Large Telescope):

“O programa ELT foi aprovado em 2012 e a luz verde para a construção do Cerro Armazonas, no deserto do Atacama, no Chile, foi dada no final de 2014. O ESO⁵ tem trabalhado em conjunto com uma comunidade mundial e dezenas de empresas europeias de vanguarda para levar o ELT à sua "primeira luz técnica" ainda essa década.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).

Segundo Padovani e Cirasuolo (2023): “a decisão sobre o local do ELT baseou-se em uma extensa investigação meteorológica comparativa, que durou vários anos.

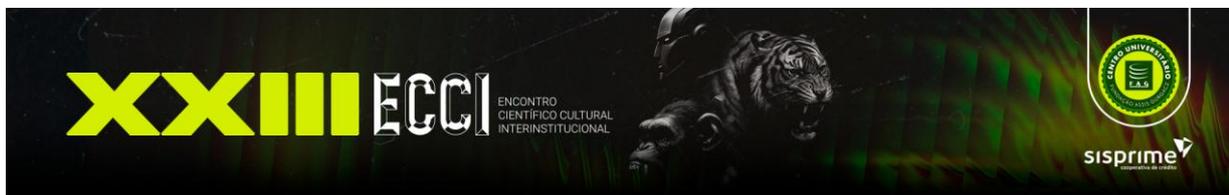
“Muitos fatores influenciaram a escolha desta montanha em particular. A turbulência e a quantidade de vapor d'água, o vento e a chuva. Imagine construir um telescópio tão grande em um local onde você precisa manter a porta fechada 50% do tempo porque está chovendo. Outros fatores a serem considerados incluem as condições do solo, a altitude, a existência de poluição luminosa e o quão claro ou escuro o céu está. O Atacama preencheu todos os requisitos.” (The B1M, 2025).

Também se considerou “o impacto da localização no custo e no cronograma da construção, considerações sobre onde a equipe do observatório viveria, a proximidade das redes elétricas, o abastecimento de água, a estabilidade política e sísmica, e assim por diante.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

Entretanto, havia problemas” montanhas tendem a ser pontiagudas, e o telescópio precisava de uma superfície plana e nivelada para ser construído.” (The B1M, 2025).

A solução? Cortar a parte superior. Para permitir o início da construção, o cume foi nivelado em 2014. Isso foi feito perfurando grandes buracos, enchendo-os com explosivos e acendendo o pavio. Em seguida, os escombros foram removidos e uma estrada foi construída para que os veículos pudessem chegar ao local.” (The B1M, 2025).

⁵ ESO: (European Southern Observatory): organização europeia de pesquisa em astronomia, responsável por operar alguns dos mais avançados observatórios do mundo, localizados no Chile.



Não obstante, “enquanto escavávamos, percebemos que a metade central da montanha era composta por muita rocha fraturada e areia, e, como você certamente entende, não é bom colocar uma fundação sobre areia.” (The B1M, 2025).

Em parte, por isso, “foi somente em 2019 que as fundações e o contorno da estrutura começaram a tomar forma. O material da superfície, porém, não foi o único problema; esta é uma das regiões mais sismicamente ativas do mundo.” (The B1M, 2025).

Por isso, “para evitar que as diversas partes frágeis sejam danificadas em um terremoto, o ELT repousa sobre uma base de concreto separada do solo. No vão entre elas, foram instalados isoladores que absorvem as forças laterais e verticais em caso de terremoto.” (The B1M, 2025).

Outrossim, como é mostrado no vídeo do canal The B1M (2025): “em 2023, chegou a hora de começar a construir o domo⁶.”

“Ele é composto por segmentos de aço que pesam até 70 toneladas cada. Para levar esses pedaços de metal montanha acima, eles começaram como vigas de aço individuais que foram unidas em um acampamento base próximo. Em seguida, foram colocados na parte traseira desses transportadores controlados remotamente, que os levaram até o cume. Lá, os guindastes assumiram o controle, montando o exterior como um enorme conjunto de Lego. Quanto à forma como os componentes chegaram a toda essa área, grande parte da infraestrutura já estava instalada.” (The B1M, 2025).

“O telescópio e sua estrutura interna ficarão alojados na cúpula gigante do ELT, que fornecerá proteção contra o ambiente extremo do deserto do Atacama, no Chile. A estrutura principal do telescópio abrigará seus cinco espelhos e óptica, incluindo o enorme espelho primário de 39 m. (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

“O ELT empregará sofisticadas tecnologias de "óptica adaptativa" (AO) para compensar a turbulência da atmosfera terrestre e garantir que suas imagens sejam mais nítidas do que as de qualquer outro telescópio. Ele também terá outros componentes, como uma estação pré-focal que funciona como elo entre o telescópio e seus instrumentos. Por fim, terá um sistema de controle moderno que permitirá ao usuário operar o telescópio para observações científicas e atividades de manutenção.” (Padovani e Cirusuolo, 2023).

⁶ Domo: é uma abóbada hemisférica (metade de uma esfera) ou esferoide.



De acordo com Padovani e Cirusuolo (2023) o domo: “consiste em uma parte inferior fixa, o pilar de concreto, uma parte superior giratória e o recinto, equipado com duas portas de fenda motorizadas que se abrem lateralmente durante as observações.”

Além disso, “esta última possui um revestimento de alumínio com isolamento térmico, que permite o condicionamento térmico da câmara do telescópio durante o dia e limita o resfriamento radiativo durante a noite.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

Logo, “esta estrutura giratória também é equipada com guindastes especiais para realizar as operações durante o dia, quando as fendas estão fechadas.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

Já “o pilar da cúpula é cercado por um edifício auxiliar, com a área de montagem dos instrumentos e o hall de entrada voltados para o sul, a jusante do vento predominante.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

“As diversas instalações elétricas, térmicas e hidráulicas utilizadas para operar a cúpula e o telescópio estão distribuídas em diferentes salas do edifício. As demais salas são utilizadas para armazenamento de segmentos de espelhos, salas de computadores e para abrigar uma instalação para revestimento de espelhos. (Padovani e Cirusuolo, 2023).

Em relação a atividade sísmica da região, Padovani e Cirusuolo (2023) mencionam que a estrutura: “baseia-se em isoladores sísmicos, que são colocados abaixo do telescópio, entre a camada de base da fundação e a rocha.”

Em caso de terremoto, o telescópio e a fundação da cúpula podem deslizar horizontalmente sobre esses isoladores em até 30 cm para compensar os movimentos do solo, minimizando os choques no telescópio. O telescópio foi projetado para sobreviver aos terremotos mais poderosos já registrados no Chile.” (Padovani e Cirusuolo, 2023).

Inclusive, “o mecanismo de rotação é, na medida do possível, estruturalmente desacoplado da base de concreto da cúpula, [...] para garantir um movimento suave e livre de vibrações e a precisão necessária do rastreamento do telescópio durante a observação.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

De modo que, “uma série complexa de acessos dentro da estrutura e das portas de fenda permite que os engenheiros alcancem todos os mecanismos das portas, venezianas de ventilação e equipamentos instalados.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).



Ainda, conforme Padovani e Cirasuolo (2023): “O ELT terá um design óptico pioneiro com cinco espelhos, todos com diferentes formatos, tamanhos e funções, mas funcionando perfeitamente em conjunto.”

“O M1 — o espelho principal — é o maior de todos e consiste em quase 800 segmentos hexagonais. Sua função é coletar a luz do espaço e refleti-la para o segundo espelho — M2 — acima dele. A luz é então enviada para o M3 antes de retornar ao M4. Este espelho pode corrigir quaisquer distorções causadas pela turbulência atmosférica. Ele faz isso ativando um conjunto de lasers potentes.” (The B1M, 2025).

Quanto ao último espelho citado, o M4 é o principal espelho adaptativo do telescópio, e “um dos componentes mais desafiadores e empolgantes do ELT.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

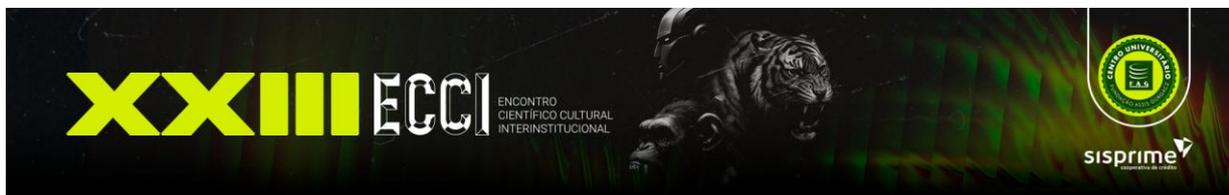
“A turbulência na atmosfera terrestre faz com que as estrelas brilhem de uma forma que obscurece os mínimos detalhes do cosmos. Observar diretamente do espaço pode evitar esse efeito de desfoque atmosférico, mas o alto custo de construção, lançamento e operação de telescópios espaciais, em comparação com o uso de instalações terrestres, limita o tamanho e o alcance dos telescópios que podemos colocar fora da Terra.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).

Dessa forma, para Padovani e Cirasuolo (2023) “os astrônomos recorreram a um método chamado óptica adaptativa:

“Espelhos sofisticados e deformáveis, controlados por computadores, podem corrigir em tempo real a distorção causada pela turbulência da atmosfera terrestre, tornando as imagens obtidas quase tão nítidas quanto (ou, no caso do ELT, mais nítidas que) aquelas obtidas no espaço.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).

Somado a isso, “os diversos componentes mecânicos e ópticos avançados, ou subsistemas, do ELT são operados por meio de um sistema de controle.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

“Este sistema complexo integra os vários componentes do telescópio e funciona como interface de usuário para o ELT. Ele proporciona uma operação coordenada e segura dos subsistemas como um único sistema para realizar observações científicas e dar suporte às atividades de engenharia e manutenção.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).



E, “a infraestrutura de comunicação permite que a maioria das unidades de computação seja hospedada na sala de computadores no prédio auxiliar da cúpula.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

Na opinião de Padovani e Cirasuolo (2023): “o ELT enfrentará os maiores desafios científicos da nossa era”, mas:

“Buscará uma série de conquistas notáveis, incluindo a busca por planetas semelhantes à Terra em torno de outras estrelas nas zonas habitáveis onde a vida poderia existir, [...] também fará contribuições fundamentais para a cosmologia, investigando a natureza da matéria escura e da energia escura.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).

Para completar, “Outras áreas científicas importantes incluem o estudo de estrelas em nossa Galáxia, [...] buracos negros, evolução de galáxias distantes, [...] as primeiras galáxias na chamada “Idade das Trevas”,⁷ [...] e a observação da expansão do Universo em tempo real.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

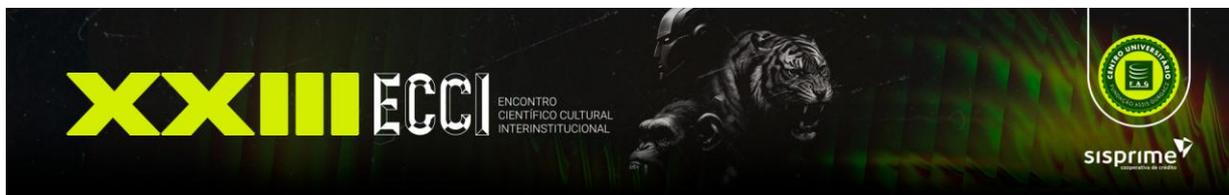
Com isso, “ao obter repetidas imagens de alta resolução e espectros de planetas e luas com superfícies e atmosferas em evolução, o telescópio será capaz de montar um atlas único de centenas de objetos do Sistema Solar.” (PADOVANI e CIRASUOLO, 2023).

“O ELT será o único telescópio capaz de obter imagens diretas de exoplanetas rochosos fora do nosso sistema solar — aqueles que podem ser capazes de sustentar vida. [...] Seremos capazes de entender se a atmosfera ao redor desses planetas permite a vida como a conhecemos. Então, haveria clorofila, haveria água, CO₂, poluição — se houver alguém causando poluição, como estamos fazendo na Terra. Portanto, será extremamente poderoso.” (The B1M, 2025).

Vale destacar o questionamento em torno dos custos desse projeto científico como é esclarecido no vídeo do canal The B1M (2025): “espera-se que o total gire em torno de US\$ 1,6 bilhão. O financiamento veio desses 16 estados-membros, que fizeram várias contribuições.”

Porém, “nenhum estado-membro sozinho seria capaz de investir tanto financiamento, tanto dinheiro, em um projeto científico. Dividir a conta dessa forma não faz sentido apenas

⁷ Idade das Trevas: época mais antiga do Universo, que começou 380.000 anos após o Big Bang.



financeiramente; todos esses países também se beneficiarão dos resultados do projeto.” (The B1M, 2025).

Por fim, o ELT:

“Terá capacidades científicas extremamente empolgantes e únicas, abrangendo toda a Astronomia, com um forte envolvimento da comunidade e sinergias significativas com muitas outras instalações astrofísicas. O ELT abrirá novas janelas para o nosso Universo. Historicamente, essas novas janelas causaram revoluções na forma como entendemos a Natureza.” (Padovani e Cirasuolo, 2023).

Seguindo com a análise das infraestruturas científicas, agora de conhecimento físico-químico, Galdino, Morales Vilha e García Fernández (2024) relatam que:

“Em 2012, um projeto audacioso saía do papel e começava a ganhar vida na cidade de Campinas (SP). Menos de 8 anos após seu marco inicial, o Sirius, a nova fonte de luz síncrotron⁸ brasileira, considerado a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no País.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 2).

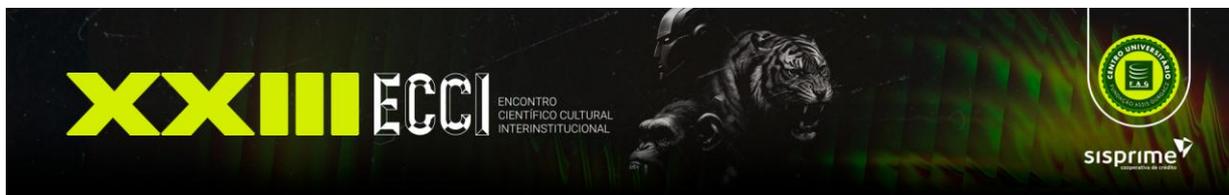
Porém, “o Sirius não é apenas a infraestrutura científica mais complexa já construída no Brasil; ele também representa o que há de mais moderno e inovador em relação às fontes de luz síncrotron existentes no mundo todo.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 2).

Também, “em um mundo cada vez mais competitivo, o desenvolvimento social, económico e ambiental do País está cada vez mais atrelado à sua capacidade de gerar conhecimento, bem como de convertê-lo de forma eficaz em produtos inovadores, de alto valor agregado.” (CNPEM, 2014^a, p. 2).

Assim, “a busca de um lugar de destaque na economia mundial requer necessariamente, uma infraestrutura de pesquisa mundialmente competitiva.” (CNPEM, 2014^a, p. 2).

Dentre tantas outras, o CNPEM (2014^a, p. 2) afirma que: “a luz síncrotron é a ferramenta experimental com o maior número de aplicações e de maior impacto sobre o conhecimento e desenvolvimento de materiais avançados.”

⁸ Luz Síncrotron: permite a observação da estrutura interna de materiais a partir da radiação emitida por elétrons em alta velocidade, quando desviados por um campo magnético.



“O desenvolvimento da tecnologia de luz síncrotron também vem atraindo cada vez mais empresas para estudos de fármacos, energia (catalisadores, baterias, células de combustível. etc.), microeletrônica, petroquímica, metalurgia, cosméticos, alimentos e materiais estruturais (cimentos, vidros etc.).” (CNPEM, 2014^a, p. 2).

Logo, “a realização desse projeto foi um desafio tanto para as empresas brasileiras, responsáveis por 85% da tecnologia usada no seu desenvolvimento, como para a instituição responsável pela sua concepção, o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 2).

Além de que, “é fundamental que o Brasil invista na construção de uma fonte de terceira geração que assegure posição de destaque do País em áreas estratégicas e portadoras de futuro.” (CNPEM, 2014^a, p. 3).

No que diz respeito ao CNPEM, Galdino, Morales Vilha e García Fernández (2024, p. 2) mencionam que:

“É uma organização social (OS) vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Isso significa que a instituição atua de forma diferente àquela dos órgãos da administração direta ligados aos governos federal, estaduais e municipais. Na prática, uma OS tem mais agilidade para contratar profissionais e adquirir recursos materiais e equipamentos.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 2).

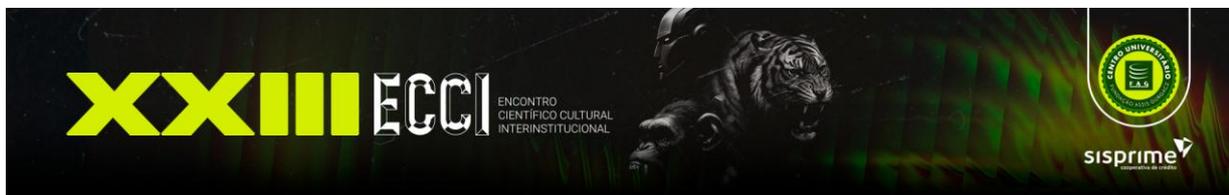
Entende-se que: “a lacuna no atual corpo de pesquisa científica é evidente. Poucos trabalhos se dedicam a explorar as organizações sociais para ciência e tecnologia (C&T) no Brasil, principalmente no que se refere ao seu papel na promoção da inovação. (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 2).

Como abordado anteriormente, “Sirius é o nome da nova fonte de luz síncrotron brasileira, que substituiu recentemente o UVX⁹, desenvolvido pelo LNLS¹⁰.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 14).

“Todo laboratório síncrotron é composto por duas partes: um acelerador, onde a radiação síncrotron é produzida pela aceleração de elétrons (partículas elementares da matéria), e um

⁹ UVX: primeiro acelerador de elétrons no Brasil.

¹⁰ LNLS: Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.



conjunto de estações experimentais, conhecidas como linhas de luz, para as quais a radiação produzida no acelerador é guiada e condicionada e onde os experimentos são efetivamente realizados.” (CNPEM, 2014^a, p. 4).

Portanto, o CNPEM (2020, p. 81) assegura que:

“Sirius tem em seu coração aceleradores de partículas, responsáveis por acelerar feixes de elétrons até velocidades altíssimas, muito próximas da velocidade da luz, e por mantê-los circulando em órbitas estáveis por várias horas em ultra-alto vácuo, enquanto produzem a luz síncrotron.” (CNPEM, 2020, p. 81).

O que significa que “esses minúsculos pacotes de elétrons devem percorrer uma trajetória circular de 500 metros de circunferência, por 600.000 vezes a cada segundo, durante horas, sem que sua posição oscile mais que um décimo de seu tamanho.” (CNPEM, 2020, p. 81).

É fundamental observar que “quanto mais estáveis e focalizados forem os feixes de elétrons circulando nos aceleradores de partículas, melhor e mais brilhante será a luz síncrotron produzida e entregue para os pesquisadores.” (CNPEM, 2020, p. 81).

Assim, consistirá em:

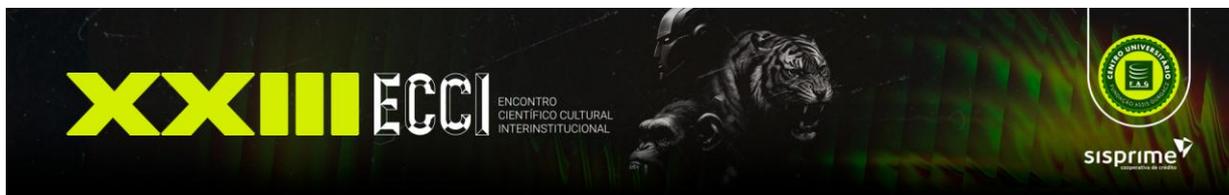
“Um equipamento chamado Canhão de Elétrons, essas partículas são inicialmente emitidas a partir do aquecimento de uma liga metálica. A seguir, os elétrons são acelerados por campos elétricos oscilantes até velocidades próximas à da luz. Em seguida, as partículas são transferidas para o Acelerador Injetor, ou Booster¹¹.” (CNPEM, 2020, p. 54).

Na sequência, “neste acelerador circular, os elétrons vindos do Linac¹² dão cerca de 600 mil voltas a cada segundo. A cada volta, as partículas têm sua energia aumentada até alcançarem a energia necessária para serem transferidas para o Acelerador Principal, ou Anel de Armazenamento.” (CNPEM, 2020, p. 55).

Já “no acelerador principal, os elétrons são mantidos circulando por horas e horas em órbitas estáveis, guiados por ímãs. Sempre que os elétrons são desviados por campos magnéticos e forçados a fazerem uma curva eles emitem radiação eletromagnética.” (CNPEM, 2020, p. 55).

¹¹ Booster: acelerador circular.

¹² Linac: “Linear Accelerator” - em português acelerador linear.



Então, “essa radiação, que possui amplo espectro (desde o infravermelho até os raios X) e alto brilho, é chamada de luz síncrotron. Ela é emitida na direção tangente à curva feita pelos elétrons e direcionada para as estações de pesquisa, chamadas linhas de luz.” (CNPEM, 2020, p. 55).

Como mencionado por CNPEM (2020, p. 54): “as linhas de luz são como microscópios complexos, que condicionam e focalizam a luz síncrotron para que ela ilumine as amostras dos materiais que se quer analisar.”

“A partir do modo como a luz síncrotron é absorvida, refletida ou espalhada pelos átomos do material, é possível avaliar os tipos de átomos e de moléculas que o constitui, seus estados químicos, sua organização espacial e propriedades elétricas, eletrônicas, magnéticas, entre outras características.” (CNPEM, 2020, p. 54).

Conseqüentemente, “as fontes de luz síncrotron comportam diversas linhas de luz, otimizadas para diferentes experimentos, que funcionam de forma independente entre si. Isso permite que diversos grupos de pesquisadores trabalhem simultaneamente em diferentes pesquisas.” (CNPEM, 2020, p. 57).

É relevante destacar que o CNPEM (2020, p. 59) afirma: “quanto mais brilhante for a luz, maior é a qualidade e a variedade das pesquisas que podem ser realizadas em suas estações de pesquisa. Assim, há uma busca constante pela construção de fontes de luz cada vez mais brilhantes.”

Para tanto, “Sirius se destaca por ter o maior brilho, entre as fontes de luz síncrotron com sua faixa de energia no mundo. Por isso, ele permitirá a realização de experimentos até então impossíveis no Brasil, e em alguns casos impossíveis em todo o mundo.” (CNPEM, 2020, p. 59).

Para completar, “os aceleradores, bem como as linhas de luz síncrotron serão abrigados em um edifício com aproximadamente 43 mil metros quadrados de área construída a ser implantado no Campus do CNPEM, em Campinas.” (CNPEM, 2014^a, p. 4).

Para ser bem-sucedido, necessitou de um “rigoroso planejamento e acompanhamento de diferentes aspectos de gestão, como aquisição de materiais e equipamentos, análise de riscos, definição e monitoramento do cronograma e orçamento.” (CNPEM, 2014^a, p. 81).

Outra questão importante de mencionar, é o fato de o projeto passar por inúmeras revisões e aprimoramentos durante seu processo de desenvolvimento, isso ocorria em “busca de soluções factíveis” ao mesmo tempo que inovadoras, muitas das quais inexistentes no mercado. (CNPEM, 2014^a, p. 81).



“O número de aquisições intensificou-se a partir de 2013, demandando grandes cuidados na qualificação e seleção das empresas. A meta era que 70% das empresas contratadas fossem nacionais, para estimular a indústria brasileira a gerar inovações.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 16).

Galdino, Morales Vilha e García Fernández (2024) citam que:

“De acordo com o CNPEM, apenas no ano de 2016, tomando como referência um momento específico, mais de 200 empresas brasileiras de todos os portes estavam envolvidas de alguma forma na construção do Sirius; delas, cerca de 40 trabalhavam na época nos desenvolvimentos tecnológicos.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 16).

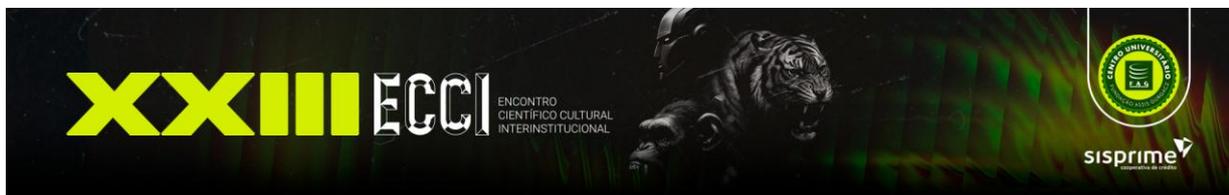
Ou seja, o envolvimento de empresas nacionais na construção do projeto não apenas reduziu a dependência tecnológica do exterior, como também impulsionou a qualificação da engenharia nacional. E, a geração de empregos altamente especializados movimentou setores estratégicos da economia e fortaleceu cadeias produtivas ligadas à ciência e tecnologia.

No que tange aos “desafios para a construção das instalações que abrigam o Sirius, desde a estabilidade do piso contra deformações e o cuidado com o isolamento das vibrações internas e externas até a estabilidade térmica dos ambientes e componentes.” (CNPEM, 2020, p. 81).

“A fundação da edificação é dividida em duas bases totalmente independentes entre si: a primeira suporta a estrutura do prédio e a segunda suporta o piso da área dos aceleradores e da região experimental. A fundação da área dos aceleradores é composta por cerca de 1300 estacas de concreto, de 15 metros de comprimento, cuidadosamente dispostas sob quase três metros de solo modificado com alto grau de compactação.” (CNPEM, 2020, p. 83).

A respeito dos “pisos que suportam a área dos aceleradores e a região das linhas de luz são feitos em concreto armado, com 90 e 60 centímetros de espessura, respectivamente.” (CNPEM, 2020, p. 83).

Por sua vez, “o túnel que abriga os aceleradores de elétrons tem comprimento de mais de 500 metros, construído como uma peça monolítica de concreto armado. O túnel dos aceleradores tem paredes e cobertura com espessuras que variam entre 80 centímetros e 1,5 metro.” (CNPEM, 2020, p. 83).



Ademais, “a temperatura dentro do túnel dos aceleradores deve ser muito bem controlada com variação máxima de $0,1^{\circ}\text{C}$ para mais ou para menos. Também na área experimental é necessário um bom controle de temperatura, com variação máxima de $0,5^{\circ}\text{C}$ para mais ou para menos.” (CNPEM, 2020, p. 83).

“As tubulações de utilidades são superdimensionadas, o que diminui a velocidade de deslocamento de fluidos e a geração de vibrações durante sua propagação. Tubulações de utilidades são também suspensas por molas para diminuir a propagação de vibrações.” (CNPEM, 2020, p. 83).

À vista disso, é crucial garantir conforto acústico e estabilidade nos ambientes científicos, onde interferências mínimas podem comprometer medições sensíveis e o desempenho dos equipamentos.

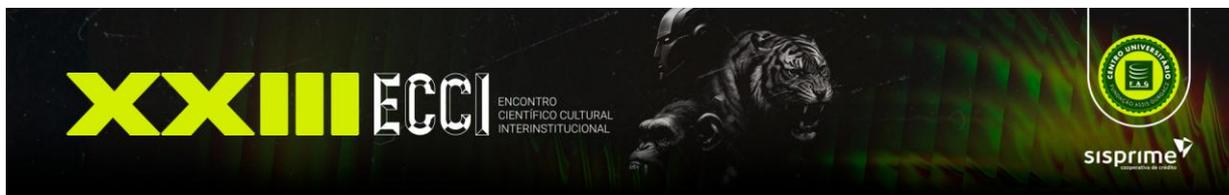
Inicialmente, “o projeto conceitual das edificações foi desenvolvido pelo CNPEM em conjunto com um escritório de arquitetura. A partir desse esboço, foram iniciados em setembro de 2012 os trabalhos para a contratação da empresa que realizaria o projeto executivo.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 17).

Por esse viés, “com 68 mil metros quadrados de área construída, o prédio principal tem quatro pavimentos com capacidade para até 620 pessoas, entre funcionários e visitantes.” (CNPEM, 2020).

“Em 2013, uma área de 150 mil metros quadrados, adjacente ao CNPEM, foi desapropriada pelo Governo do Estado de São Paulo para construção do Sirius. No mesmo ano teve início a terraplenagem do terreno, concluída em 2014. Em 19 de dezembro de 2014 ocorreu a assinatura do contrato com a construtora e o lançamento da pedra fundamental da obra.” (CNPEM, 2020, p. 108).

Em seguida, “em 2013, uma área de 150 mil metros quadrados, adjacente ao CNPEM, foi desapropriada pelo Governo do Estado de São Paulo para construção do Sirius. No mesmo ano teve início a terraplenagem do terreno, concluída em 2014.” (CNPEM, 2020, p. 108).

“Em janeiro de 2015 deu-se efetivamente início às obras das edificações. Ao final daquele ano, quase 20% das obras civis estavam completas. Em 2017 as obras civis alcançaram 75% de conclusão, com a execução bem sucedida da fase mais crítica da construção: a implantação do piso especial sobre o qual posteriormente foram instalados os aceleradores e as linhas de



luz. Em 2018, as obras civis foram concluídas e deu-se início à instalação dos equipamentos.” (CNPEM, 2020, p. 108-109).

Em relação aos custos, Galdino, Morales Vilha e García Fernández (2024, p. 9) constatam que: “a construção da fonte de luz síncrotron, as obras civis e as instalações especiais demandarão cerca de R\$ 200 milhões ao longo de seis anos.”

“O Sirius, quando estiver totalmente pronto, vai operar com 40 linhas de luz. A primeira fase do projeto, no entanto, cobrirá a construção de 13 linhas. Sete dessas linhas terão altíssimo brilho. Cada uma das linhas possui uma especificação singular e servirá para um determinado tipo de análise, ou técnica experimental.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 19).

Enfim, “as tecnologias necessárias para as linhas de luz viriam trazer novas oportunidades para as empresas brasileiras.” (GALDINO; MORALES VILHA; GARCÍA FERNÁNDEZ, 2024, p. 19).

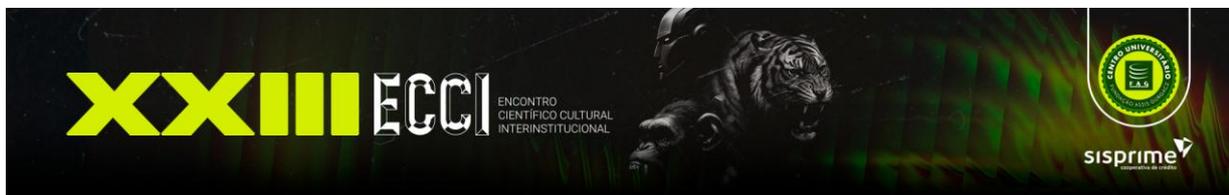
Também, conforme o CNPEM (2020, p. 15) “o estudo desses tipos invisíveis de luz permitiu o desenvolvimento das mais diversas tecnologias que as utilizam:

“Como as ondas de rádio transmitidas por aparelhos de rádio e redes Wi-Fi, as micro-ondas de fornos e das redes de celulares, a luz infravermelha de controles remotos e portas automáticas, a radiação ultravioleta utilizada na esterilização de objetos e no tratamento de água, os raios X das radiografias e tomografias hospitalares e os raios gama utilizados em terapias contra o câncer.” (CNPEM, 2020, p. 15).

Desse modo, “é possível realizar experimentos nas mesmas condições em que as amostras se encontram na natureza – como no interior da crosta terrestre – ou nas condições em que os materiais serão utilizados, como em processos industriais, por exemplo.” (CNPEM, 2020, p. 25).

Seguindo o CNPEM (2020, p. 27): “o solo é uma combinação sólida e heterogênea de compostos orgânicos e inorgânicos, imersos em soluções aquosas e em meio a raízes de plantas.”

“A luz síncrotron permite a investigação da estrutura desta região, chamada de rizosfera, em diversas escalas e em alta resolução, [...] dessa forma, os processos que ocorrem no solo podem ser mais bem conhecidos e controlados, contribuindo para uma produção agrícola mais eficiente e menos agressiva ao meio ambiente.” (CNPEM, 2020, p. 27).



Bem como, “a partir do momento em que uma molécula relacionada a alguma doença é identificada, seja ela produzida por um agente infeccioso ou pelo próprio organismo humano, ela pode se tornar um alvo terapêutico, isto é, um alvo para a ação de um fármaco.” (CNPEM, 2020, p. 29).

“A luz síncrotron é uma ferramenta essencial na investigação da estrutura tridimensional de moléculas, que permite entender a fundo sua ação no organismo e os processos pelo quais um potencial fármaco deve ligar-se a ela. Dessa forma, é possível descobrir novos fármacos, ou entender o funcionamento de medicamentos já conhecidos e aumentar sua efetividade.” (CNPEM, 2020, p. 29).

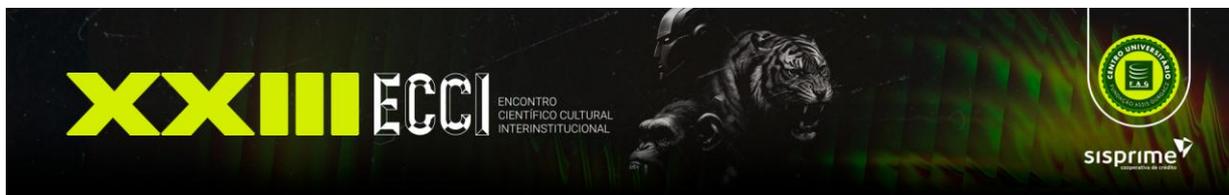
Além do mais, “catalisadores são substâncias facilitadoras de reações químicas utilizadas em praticamente todos os processos industriais que envolvem a transformação de produtos primários.” (CNPEM, 2020, p. 31).

De tal forma que “a busca por catalisadores mais eficientes e mais acessíveis tem impacto direto sobre a economia e o meio ambiente, por exemplo, ao baratear processos produtivos e ao proporcionar uma produção industrial mais limpa.” (CNPEM, 2020, p. 31).

Outro exemplo, “são as chamadas doenças tropicais negligenciadas. Essas são doenças endêmicas de regiões tropicais, que afetam especialmente as populações de baixa renda, [...] há investimento insuficiente em pesquisa, produção de medicamentos e controle de transmissão.” (CNPEM, 2020, p. 35).

Levando em consideração as metas da Agenda 2030 da ONU, especialmente a ODS 7, “os desafios para se alcançar um desenvolvimento sustentável passa pela disponibilidade de energia abundante, limpa e barata.” (CNPEM, 2020, p. 37).

“Novos materiais precisam ser desenvolvidos para aprimorar a conversão de biomassa em combustíveis e para canalizar de forma eficiente a energia luminosa do sol, energia cinética dos ventos ou energia potencial dos recursos hídricos, [...] a luz síncrotron oferece uma enorme variedade de formas de enxergar, em detalhe, as interações dos elétrons entre si e com a luz, as ligações entre elementos químicos e suas interações com outras substâncias. A combinação dessas ferramentas é essencial para o desenvolvimento de novos materiais.” (CNPEM, 2020, p. 37).



Por fim, “a luz síncrotron contribui no estudo de nanopartículas de forma geral, e no desenvolvimento deste e de outros novos métodos para o tratamento do câncer, para o combate a bactérias resistentes, vírus e muitas outras novas formas inovadoras de tratamento.” (CNPEM, 2020, p. 41).

Encerra-se com a ideia de que:

“Sirius irá disponibilizar para as comunidades acadêmica e industrial brasileiras o melhor que este tipo de tecnologia tem atualmente a oferecer, e permitirá que centenas de pesquisas acadêmicas e industriais sejam realizadas anualmente, por milhares de pesquisadores, nas mais variadas áreas do conhecimento.” (CNPEM, 2020, p. 117).

Inclusive, “no contexto brasileiro, é de especial importância ainda que as diretrizes políticas em prol da inovação estimulem a criação de infraestruturas científicas de ponta, que operem de forma aberta e que estejam disponíveis para a comunidade acadêmica.” (CNPEM, 2020, p. 117).

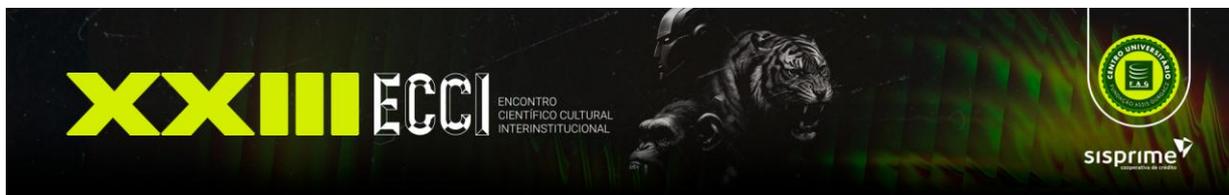
De maneira conclusiva, como o CNPEM (2020, p. 117) relata: “a ciência é fundamental para enfrentar os grandes desafios com os quais a humanidade se depara, sejam eles relacionados à saúde, ao acesso a fontes renováveis de energia, ou no combate aos efeitos das mudanças climáticas.”

“Cada civilização, cada época histórica, deixa um legado para as gerações futuras. Acredito que o legado da nossa sociedade será encontrado nas descobertas científicas revolucionárias que foram e estão sendo feitas, e no rápido progresso tecnológico que foi e está sendo alcançado por meio delas, que mudaram drasticamente não apenas a forma como vivemos, mas especialmente a maneira como pensamos e compreendemos o universo.” (GIUDICE, 2012).

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se por uma abordagem dialética, qualitativa, com metodologia de revisão teórica – pesquisa bibliográfica, exploratória, com análise de artigos, livros e documentos. Do ponto de vista dos objetivos, caracteriza-se como pesquisa descritiva.

Em relação aos procedimentos técnicos, os fundamentos teóricos serviram de suporte para análise e discussões e proposição de futuras pesquisas com novas propostas metodológicas.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das infraestruturas científicas da SpaceX, do ELT e do Projeto Sirius mostra que a arquitetura é um elemento estratégico na construção do conhecimento e da inovação. Projetar espaços para a ciência vai além das necessidades físicas, pois envolve criar ambientes que garantem precisão, estabilidade, controle e integração entre áreas do saber, tornando-se parte ativa do processo científico e viabilizando descobertas transformadoras

Nesse sentido, pensar a arquitetura como componente científico é reconhecer seu papel na viabilização de práticas que demandam precisão, ambientes controlados e interações complexas. Mais que edifícios funcionais, trata-se de projetar espaços que respondam aos desafios da ciência contemporânea, incorporando flexibilidade, sustentabilidade e inovação, fazendo da arquitetura uma aliada da ciência no presente e no futuro tecnológico e social.

REFERÊNCIAS

EVERETT, Sean. My Tour of SpaceX Yesterday. **Humanizing Tech**. Disponível em: <<https://humanizing.tech/my-tour-of-spacex-yesterday-f22353fe1ee8>> Acesso em: 10, ago, 2016;

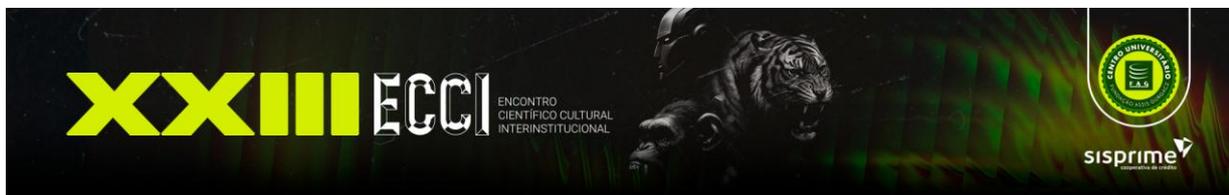
Por dentro da sede insana da SpaceX. YouTube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yJC2hUuJuB4>> Acesso em: 01, abr, 2025.

Padovani, Paolo; Cirusuolo, Michele. O Telescópio Extremamente Grande. Física Contemporânea, Volume 64, Edição 1, p.47-64, janeiro, 2023.

South America's \$1BN Desert Megaproject. The BIM. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=loWQTKrRzXw>> Acesso em: 15, abr, 2025.

GASTROW, M.; OPPERT, T. Big science and human development: what is the connection? *South African Journal of Science*, v. 114, n. 11/12, art. #5182, 7 p., 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.17159/sajs.2018/5182>> Acesso em: 24, maio, 2025.

GIUDICE, G. F. Big science and the large hadron collider. *Physics in Perspective*, v. 14, p. 95–112, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00016-011-0078-1>> Acesso em: 24, maio, 2025.
Projeto Sirius: a nova fonte de luz síncrotron brasileira. Campinas: Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), 2014. Disponível em: <<https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5054>> Acesso em: 24, maio, 2025.



CNPEM – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. Projeto Sirius – a nova fonte de luz síncrotron brasileira. Campinas, out. 2014a. Disponível em: O Projeto Sirius.pdf (ipea.gov.br). Acesso em: 29, maio, 2025.

GALDINO, Emanuel; MORALES VILHA, Anapátricia; GARCÍA FERNÁNDEZ, Ramón. A trajetória de uma organização social para a ciência e tecnologia na construção da maior e mais complexa infraestrutura científica do Brasil. **Revista Inovação, Projetos e Tecnologias**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e25029, 2024. DOI: 10.5585/iptec.v12i1.25029. Disponível em: <https://ununove.emnuvens.com.br/iptec/article/view/25029>. Acesso em: 29 maio. 2025.

CNPEM – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENERGIA E MATERIAIS. *Sirius: acelerando o futuro da ciência*. Campinas: CNPEM, 2020. Disponível em: https://cnpem.br/wp-content/uploads/2020/11/low_livro-sirius_2020.pdf. Acesso em: 29 maio 2025.