

ESTRA

FRAMEWORK PARA IMPLANTAÇÃO DE SMARTPORTS  
UMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA DA TEORIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

## RESUMO

O termo “inteligente” associado a sistemas dinâmicos de múltiplas entradas e saídas, seja um processo fabril, uma cidade ou no presente objeto de estudo, o porto, indica que esse sistema é gerenciado de maneira a entregar mais resultado, com mínimo uso de recursos. O desejo e habilidade de controlar processos é inerente ao espírito humano, e a isso deve-se grande parcela dos avanços socioeconômicos, sistemas inteligentes tem como premissa o bem-estar dos atores envolvidos no seu ecossistema, sejam empresas, pessoas ou o meio ambiente no qual está inserido. O desenvolvimento de modelos matemáticos e tecnologias 4.0 com foco no controle e automação de processos tem expandido a fronteira das possibilidades dos chamados portos inteligentes.

Este artigo tem por objetivo propor um framework de implantação de portos inteligentes partindo da hipótese de que a aplicação estratégica da teoria de controle na implantação de tecnologias 4.0 torna o sistema passível de controle computacional, tirando o máximo proveito dos modelos numéricos-computacionais e de ambientes ciber-físicos para sua gestão. Dado o próprio caráter disruptivo das inovações ainda que o estudo levante o estado da arte das tecnologias em uso, este levantamento deve ser usado com um caráter balizador, com isso o problema de pesquisa a ser respondido é: como fazer uso estratégico da teoria de controle e automação para implantação de tecnologias 4.0 em portos inteligentes? Para atingir este objetivo o artigo estrutura-se da seguinte forma: introdução, metodologia, revisão da literatura sobre a teoria de controle e automação, levantamento dos processos portuários, das tecnologias 4.0 em portos inteligentes, suas áreas de implantação *KPIs* (indicadores-chave de performance), encerrando-se com as conclusões e considerações dos autores.

**Palavras-Chave:** Teoria de Controle; Portos Inteligentes; Framework

## ABSTRACT

The term “intelligent” associated with dynamic systems of multiple inputs and outputs, whether a manufacturing process, a city, or in the present study object, the port, indicates that this system is managed in a way that delivers more results, with minimal use of resources. The desire and ability to control processes is inherent to the human spirit, and this is due to a large part of the socioeconomic advances, intelligent systems are premised on the well-being of the actors involved in their ecosystem, whether companies, people or the environment in which is inserted. The development of mathematical models and 4.0 technologies focused on process control and automation has expanded the frontier of possibilities for so-called smart ports.

This article aims to propose a framework for implementing smart ports based on the hypothesis that the strategic application of control theory in the implementation of 4.0 technologies makes the system susceptible to computational control, taking full advantage of numerical-computational models and cyber-physical environments for their management. Given the disruptive nature of innovations, even though the study raises the state of the art of the technologies in use, this survey should be used with a guiding character, so the research problem to be answered is: how to make strategic use of control theory and automation for the deployment of 4.0 technologies in smart ports? To achieve this objective, the article is structured as follows: introduction, methodology, literature review on the control theory and automation, a survey of port processes, 4.0 technologies in smart ports, their areas of implementation KPIs (key performance indicator), ending with the authors' conclusions and considerations.

**Keywords:** Control Theory; Smartports; Framework

## INTRODUÇÃO

Portos inteligentes são sistemas a serem medidos, controlados e continuamente melhorados sob o ponto de vista de utilização de recursos e desempenho (CHEN *et al.*, 2019). Achar o equilíbrio entre entregas e recursos requer a utilização estratégica de muitas ferramentas de gestão associadas aos conceitos fundamentais de controle e automação para gerar mais produtividade, segurança e sustentabilidade socioambiental com menos recursos humanos e materiais (DEMMING, [s. d.]; GONZÁLEZ-CANCELAS *et al.*, 2020), face a esse desafio crescente da utilização racional de recursos propõe-se este framework para uma abordagem estratégica da teoria de controle na implantação de *smartports*.

O controle automático de processos com *feedback* já é conhecido e utilizado há mais de 2000 anos, os gregos incorporaram um sistema de *feedback* aos relógios d'água aumentando sua precisão, baseado nos relatos técnicos *De architectura* (Vitruvius, 30-15 a.c.), anos mais tarde, Leonardo Da Vinci incorporou o protótipo do relógio de Vitruvius entre sua série intitulada como *automata* (BRILLARELLI *et al.*, 2020).

Controlar um sistema pode ser definido em seu *lato sensu* simplesmente como analisar se o seu comportamento é satisfatório dado um critério estabelecido, numa abordagem técnica pode-se conceituar o controle como o monitoramento do comportamento e quando necessária a atuação corretiva do desvio de comportamento desejável.

As revoluções industriais e as inovações tecnológicas incorporadas por estas trouxeram grandes benefícios à sociedade especialmente no que diz respeito a produtividade, segurança e sustentabilidade socioambiental, o advento de microprocessadores e outras tecnologias como as ciber-físicas, possibilitou o controle e automação de processos de múltiplas variáveis em tempo real e precisão insuperáveis pelo ser humano, a transferência e controle de tarefas repetitivas e muitas vezes insalubres é um dos principais benefícios das revoluções industriais (DAVIS, 2016).

Transferir a parte sistemática do controle e automação não substitui o ser humano no processo produtivo, pelo contrário liberta o capital humano para seu maior potencial na gestão de sistemas, a aplicação do poder criativo.

## METODOLOGIA

O estudo é de natureza aplicada, uma vez que se propõe a indicar um produto final na forma de um framework e objetivo descritivo com utilização prática pela academia e mercado. Sua abordagem é qualitativa, utilizando-se da pesquisa bibliográfica, documental e levantamentos para se obter as fontes de evidência necessárias à construção do estudo, conforme preconiza (CRISTIANO; PRODANOV, 2013).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Matematicamente um dado sistema pode ser representado pela equação geral de controle:

$$A(y) = f(v) \tag{1}$$

Aqui,  $y$  é o estado, a incógnita do sistema a ser controlado e pertence ao espaço vetorial  $Y$ . O controle é representado pela variável  $v$ , e pertence ao conjunto de controles admissíveis  $U_{ad}$ . Sendo  $v$  a variável a ser escolhida no conjunto  $U_{ad}$  para atuar no sistema.

O operador  $A$  determina a equação que deve ser satisfeita pelo estado variável  $y$ .

A função  $f$  indica a forma como o controle  $v$  atua no sistema governando o estado.

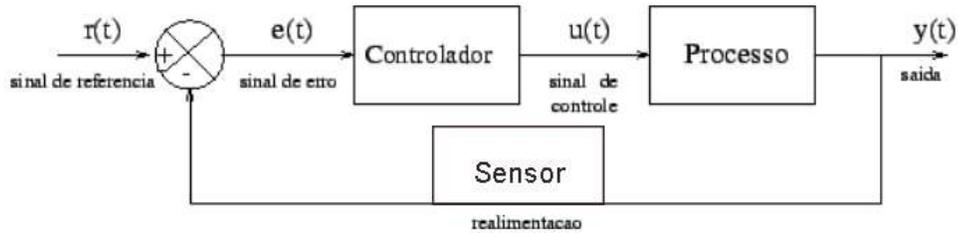
Assim sendo, para cada  $v$  em  $U_{ad}$  a equação de estado possui exatamente uma solução única  $y=y(v)$  em  $Y$ .

Desse modo em termos matemáticos, controlar  $A(y) = f(v)$  é encontrar  $v \in U_{ad}$  tal que a solução para a mesma se aproxime do estado desejado.

O melhor  $v$  entre todos os controles existentes em  $U_{ad}$  que satisfaça o estado desejado é frequentemente referido como o controle ótimo. (FERNANDEZ CARA; ZUAZUA, 2003).

A teoria de controle utiliza um diagrama com blocos para representar as ações de cada etapa dos sistemas, dado um processo a ser controlado sendo  $r(t)$  o sinal de referência que pode ser tomado como os indicadores desejáveis de performance, a esse sinal de referência soma-se o sinal  $y(t)$  medido na saída dos processos por sensores, obtém-se então o sinal de erro  $e(t)$ , sendo a diferença entre o desejável e o medido, este então é passado ao bloco de controle que analisará o erro  $e(t)$  e emitirá uma ação corretiva, enviando a entrada do processo o sinal de controle  $u(t)$ , o processo então é realizado com as novas informações de entrada e ao final do ciclo  $(t)$  as informações de saída  $y(t)$  são captadas pelo bloco de sensor, este ciclo é realizado indefinidamente com o objetivo de manter o processo dentro do estado desejável de performance.

Figura 1 - Diagrama de Controle

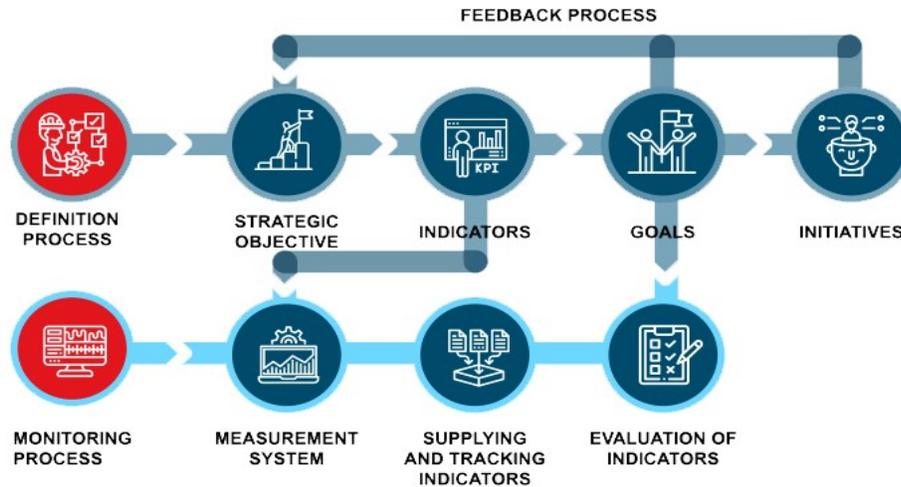


Elaborado pelo Autor

Com o crescente aumento das variáveis envolvidas na cadeia de suprimentos global, a velocidade exigida nas operações e o cenário competitivo entre os mercados, modelos de simulação tornaram-se as ferramentas viáveis para a tomada de decisão nas atividades portuárias fazendo com que os sistemas portuários inteligentes antecipem as oscilações indesejáveis e possuam rápida convergência para o cenário ótimo de performance (FERNANDEZ CARA; ZUAZUA, 2003).

De acordo com o MANUAL SMART PORTS STRATEGY AND ROADMAP (2019), verifica-se que através do *Balance Scorecard* pode-se utilizar um modelo proposto pela teoria de controle e automação como ferramenta de suporte à decisões do negócio.

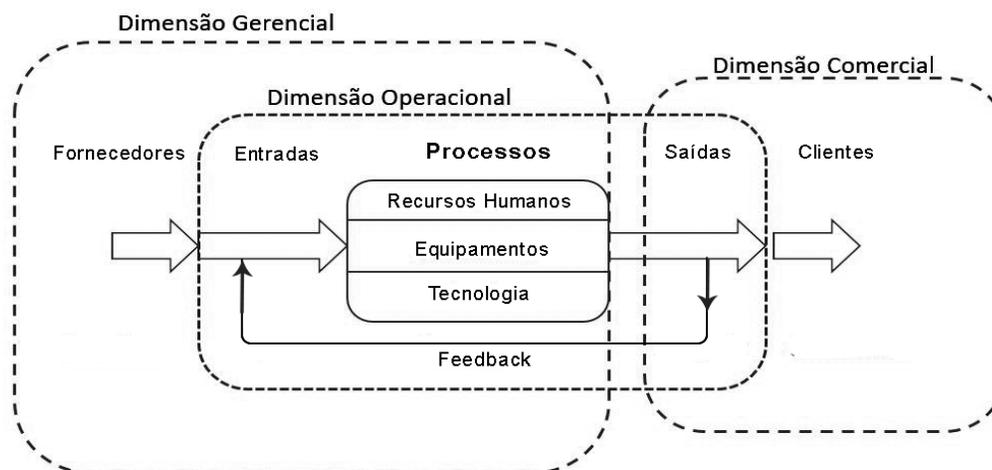
Figura 2 - *Balance Scorecard Feedback Process*



Fonte: (FUNDACIÓN VALENCIAPORT, 2019, fig. 9)

A ferramenta *SIPOC* (*supplier, input, process, output, customer*) delineada pela metodologia *Six Sigma* oferece ferramental adequado para o levantamento dos processos portuários (JAFARI; PROVINCE, 2013, p. 346). É essencial mapear as entradas, saídas, fluxo das informações e entes envolvidos, nesse sentido a utilização da ferramenta aumenta a confiabilidade do levantamento tornando-o sistemático, conforme demonstra-se nos estudos elaborados por (NOORAMIN; AHOUEI; SAYAREH, 2011; STUDY *et al.*, 2012).

Figura 3 - Diagrama Esquemático SIPOC com Feedback



Elaborado pelo Autor

Com a abordagem proposta pode-se acrescentar após a elaboração dos diagramas SIPOC o feedback dos processos em suas respectivas camadas, sendo a gerencial aquela que coordena as atividades funcionais do negócio, a camada operacional que trata da execução das operações e a camada comercial que gerencia as entregas aos clientes e demandantes.

Os fornecedores são assim designados por disponibilizarem as informações e o próprio objeto a ser incluído no processo, tecnicamente antes que estejam na função de fornecedores no início do ciclo, podem em segundo momento ser os próprios tomadores do objeto processado ao final, sendo nomeados então consumidores destes.

Baseado na figura 1, o sinal de referência  $r(t)$  é o *setpoint*<sup>1</sup> do processo, sendo nesse framework indicado como o *KPI*<sup>2</sup> (*key performance indicator*), tornando-se a meta do controle, seu desvio gera o sinal de erro  $e(t)$  e deverá ser corrigido através das ações de controle  $u(t)$ , note-se que pela tabela 3, as ações de controle serão feitas pelo bloco de controle, formado por recursos humanos, materiais e tecnológicos, portanto, como demonstrado na equação 1 a melhor solução será aquela que pertença ao conjunto das soluções admissíveis  $U_{ad}$ , faça convergir o estado da forma mais rápida e com o mínimo uso de recursos, com isso deve-se considerar para cada recurso envolvido seus impactos nos *KPIs*.

Como um norteador do processo até aqui descrito observa-se no quadro 1 o diagrama SIPOC de um processo de operações de exportação de carga geral ou containerizada, podendo-se verificar os parâmetros levantados, ressalta-se que o diagrama indicado não é exaustivo e pode variar de acordo com o cenário específico do porto a ser implantado e outras especificidades.

<sup>1</sup> *Setpoint* é o valor desejável dado a variável a ser controlada pelo sistema.

<sup>2</sup> *KPI* (*key performance indicator*) é um índice de performance atribuído a um processo ou sistema, sendo muitas vezes o referencial para tomada de decisões estratégicas de controle.

Quadro 1 - SIPOC Exportação – Contêiner e Carga Geral

Fornecedores	Entradas		Processos - Terminal	Processos - Costado	Saídas		Consumidores
	Contêiner	Nota Fiscal			Gate in Carga Geral/Contêiner	Manobra	
Armadores	Contêiner	Nota Fiscal	Gate in Carga Geral/Contêiner	Manobra			Armadores
Exportadores	Carga	Conhecimento de Embarque	Vistoria Contêiner	Atracação			Agentes
Agentes		Romaneio	Plano de Pátio/Bordo	Liberação-Navio Operação			Importadores
Transportadoras		Equipamentos de Transporte	Armazenagem Pátio	Carga/Descarga Navio		Carga Exportada	Transportadoras
OGMO		Recursos Humanos	Estufagem/Desova	Liberação-Navio Partida			
Operador Portuário			Segregação				
Terminal Portuário		Infraestrutura e Superestrutura	Conferência de Aduaneira				
Autoridade Portuária			Conferência de Carga			Contêiner Vazio	
Órgão Reguladores	Sistemas	LCPO	Movimentação Retaguada-Costado				
Concessionárias de Energia		Energia	Gate out Contêiner Vazio				
Distribuidoras		Combustíveis					
		Insumos					
Municípios		Acessos Terrestres					

Elaborado pelo Autor

Para agrupar e monitorar adequadamente os *kpi* (índices chaves de performance) dos processos, foram propostos domínios e subdomínios, estes agrupamentos variam de acordo com o autor, levou-se em consideração para o presente framework, adotou-se a tabela do estudo *A Framework for Building a Smartport and Smartport Index* (2020), devido ao uso de referenciais de notória excelência, dos portos entre os de melhor performance no mundo (AMSTERDAM, 2017; COMMITTEE, 2012; EXECUTIVE, 2015; GLOBAL, 2018; HPA, 2016).

Tabela 1 - Domínios e Subdomínios em Portos Inteligentes

Domains	Subdomains	References
Operations	Productivity	Hamburg Port Authority (2016b), Port of Rotterdam (2016), and Port of Amsterdam (2017), Kalmar Global (2018), The Maritime Executive (2015), Homeland Security Committee (2012)
	Automation	
	Inteligente Infrastructure	
Environment	Environmental Management Systems	
	Emissions and Pollutions Control	
	Waste Management	
	Water Management	
Energy	Efficient Energy Consumption	
	Producing and Use of Renewables	
	Energy Management	
Safety and Secure	Safety Management Systems	
	Security Management Systems	
	Integrated Monitoring and Optimization Systems	

Adaptado de: (MOLAVI; LIM; RACE, 2020)

Os domínios são as áreas cujos processos se agrupam pelos *kpi* (índices chaves de performance), as saídas dos processos os impactam individual ou conjuntamente.

Cada subdomínio pode ser representado por um ou vários processos e podem ter entradas e saídas em comum. Com isso a variável de controle pode afetar de forma diferente cada processo, a obtenção do melhor conjunto de variáveis de controle utilizando o mínimo de recursos e produzindo o melhor desempenho será considerada como o controle ótimo conforme preconiza

Portos são sistemas integrantes de cadeias de valor, e contribuem para a competitividade das cadeias de suprimentos (ROBINSON, 2002) que atendem integrados a outros atores no cenário logístico (CARBONE, V; DE MARINO, 2003). Esses atores têm objetivos, meios e possíveis impactos diferentes na capacidade dos portos de encontrar o equilíbrio ótimo entre demandas e entregar valor (WINKELMANS, W; NOTTEBOOM, 2007).

A quarta revolução industrial caracteriza-se por gerenciar toda a cadeia de valor, da concepção do produto, sua manufatura, os canais de venda e entrega até a

logística reversa e pós atendimento (GILCHRIST, 2016). O mesmo conceito de *smartfactory* aplica-se aos smartports, o controle e gerenciamento de toda a cadeia de valor envolvida de porta-à-porta, desde a sincronização de oferta/demanda entre importadores e exportadores, o planejamento, acompanhamento em tempo real do embarque, navegação e entrega da carga, assim como todos os serviços oferecidos pela logística integrada (BASTUG *et al.*, 2020).

As tecnologias 4.0 são os meios habilitadores de todo conceito da aplicação do controle ótimo como exposto neste framework, pois através da captação e digitalização das múltiplas variáveis de estado do sistema através de sensores e outros dispositivos, possibilita-se atuar no sistema utilizando todo poder de processamento digital, seja em nuvem ou localmente, inclusive através dos dispositivos *IOT*<sup>3</sup> (Internet das Coisas) embarcados em máquinas e equipamentos (MITTAL *et al.*, 2018).

Figura 4 – Tecnologias Habilitadoras 4.0 em *Smartports*



Adaptado de (MENDES; BORTOLI; COSTA, 2020, fig. 3)

---

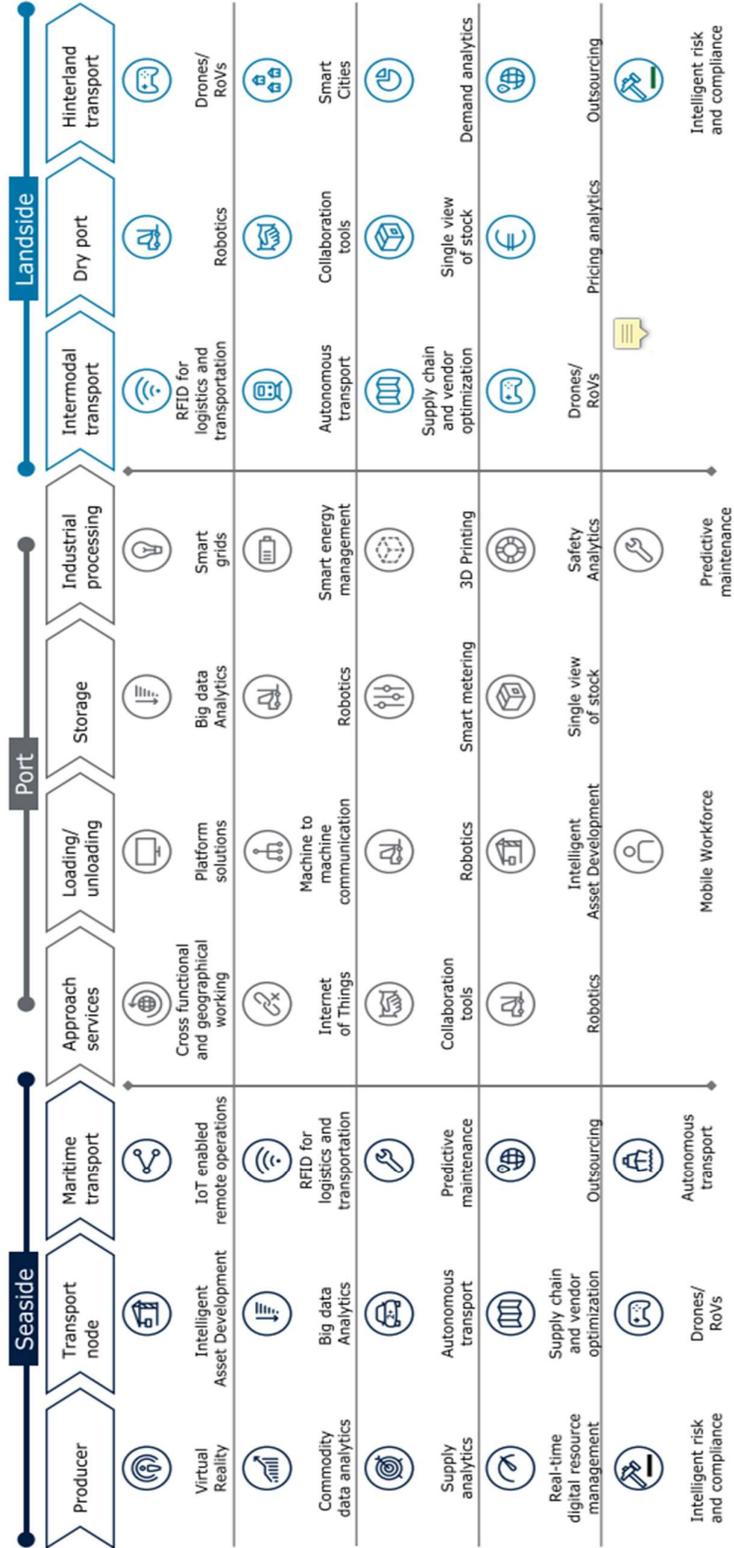
<sup>3</sup> *IOT (Internet of Things)*, denomina-se como a rede de objetos físicos incorporados a sensores, software e outras tecnologias com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet (ORACLE, 2022).

Tabela 2 - Tecnologias 4.0 em *Smartfactories* e *Smartports*

<i>Categories of Industry 4.0 technologies</i>	<i>Manufacturing logistics</i>	<i>Seaports</i>
Decision support and decision-making	Smart factory	Smart port
	Big data analytics	Big data analytics
	Augmented and virtual reality	Vessel traffic systems supported by augmented and virtual reality
	Enterprise resource planning (ERP)	Terminal operating system (TOS)
Identification and Interconnectivity	Sensors	Sensors
	Auto ID	Gate appointment systems
	Networking technology	Wireless networking technology
Seamless information flow	Real-time control	Port road and traffic control information system
	Integration of IT systems	Port single window
	Cloud computing	Cloud computing
Automation, robots and new production technology	Industrial robots	Drones
	3D printing	3D printing
	Automatic guided vehicles	Automatic guided vehicles, automated mooring systems, automated yard systems, etc.

Fonte: (GILCHRIST, 2016, p. 10)

Figura 5 - Inovações Tecnológicas 4.0 para Smartports



Fonte: (DELOITTE, 2020)

## CONCLUSÕES

O framework desenvolvido e apresentado no presente trabalho partiu de sólidos conceitos utilizados pela teoria de controle aplicados em caráter prático de maneira estratégica no modelamento dos diagramas de controle e automação que podem servir de base para o desenvolvimento e implantação de portos inteligentes de forma sistemática e ancorada em referencial teórico sólido, propõe-se que o presente framework seja abrangido por estudos posteriores a todo o sistema nos quais os portos estão inseridos, incluem-se aí as chamadas cidades, fábricas e todo um ecossistema inteligente. Apresentou-se ainda ferramental da metodologia *Six Sigma* baseados em revisão da literatura com o objetivo de otimizar o levantamento das entradas, saídas e processos a serem gerenciados. Complementarmente procedeu-se o levantamento do estado da arte das tecnologias 4.0 como meios habilitadores do framework proposto.

## REFERÊNCIAS

- AMSTERDAM, P. of. **Port of Amsterdam accelerates energy transition**. [S. l.], 2017. Available at: <https://www.portofamsterdam.com/en/press-release/port-amsterdam-accelerates-energy-transition>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- BASTUG, S. *et al.* A value chain analysis of a seaport from the perspective of Industry 4.0. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 367–397, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2020.108405>
- BRILLARELLI, S. *et al.* Digital experience of the work of vitruvius and leonardo. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 949, n. 1, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012041>
- CARBONE, V; DE MARINO, M. The changing role of ports in supply-chain management: an empirical analysis. **Maritime Policy & Management**, [s. l.], v. 30, n. 4, 2003.
- CHEN, J. *et al.* Constructing governance framework of a green and smart port. **Journal of Marine Science and Engineering**, [s. l.], v. 7, n. 4, 2019. Available at: <https://doi.org/10.3390/jmse7040083>
- COMMITTEE, H. S. **Homeland Security Committee Passes Smart Port Security Act**. [S. l.], 2012.
- DAVIS, N. **What is the Fourth Industrial Revolution?**. Geneve: World Economic Forum, 2016.
- DELOITTE. **Global Port Trends 2030: the future port landscape**. [S. l.: s. n.], 2020.
- DEMMING, W. **The Aim of Leadership**. [S. l.], [s. d.]. Available at: <https://deming.org/quotes/2565/>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- EXECUTIVE, T. M. **Singapore MPA unveils smart port initiatives**. [S. l.], 2015. Available at: <http://www.maritime-executive.com/article/singapore-mpa-unveils-smart-port-initiatives>. Acesso em: 10 fev. 2015.
- FERNANDEZ CARA, E.; ZUAZUA, E. Control theory history, mathematical achievements and perspectives. **Bol. Soc. Esp. Mat. Apl. n o**, [s. l.], v. 26, p. 79–140, 2003.
- FUNDACIÓN VALENCIAPORT. **MANUAL SMART PORTS STRATEGY AND ROADMAP**. [S. l.: s. n.], 2019.
- GILCHRIST, A. Industry 4.0 The Industrial Internet of Things. *In*: APRESS (org.). [S. l.]: Library of Congress, 2016.
- GLOBAL, K. **Kalmar SmartPort Automation**. [S. l.], 2018. Available at: <https://www.kalmarglobal.com/automation/kalmar-smartport/>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- GONZÁLEZ-CANCELAS *et al.* Using the SWOT Methodology to Know the Scope of the Digitalization of the Spanish Ports. **Logistics**, [s. l.], v. 4, n. 3, 2020.
- HPA, H. P. A. **<https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>**. [S. l.], 2016. Available at: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>. Acesso em: 10 out. 2016.
- JAFARI, H.; PROVINCE, K. Identification and Prioritization of Causes of Halt and Lag in Container Handling Operation. **International Journal of Basic Sciences & Applied Research**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 345–353, 2013.
- MENDES, C. R.; BORTOLI, F. S.; COSTA, C. da. The Digitalization of Manufacturing: A Case Study. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 100–106, 2020. Available at: <https://doi.org/10.22161/ijaers.76.13>

MITTAL, S. *et al.* A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). **Journal of Manufacturing Systems**, [s. l.], v. 49, n. October, p. 194–214, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>

MOLAVI, A.; LIM, G. J.; RACE, B. A framework for building a smart port and smart port index. **International Journal of Sustainable Transportation**, [s. l.], v. 14, p. 686–700, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>

NOORAMIN, A. S.; AHOUEI, V. R.; SAYAREH, J. A Six Sigma framework for marine container terminals. **International Journal of Lean Six Sigma**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 241–253, 2011.

ORACLE. **Internet of Things**. [S. l.], 2022. Available at: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>. Acesso em: 5 jul. 2022.

ROBINSON, R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm. **Maritime Policy and Management**, [s. l.], v. 29, 2002.

STUDY, C. *et al.* Evaluation of Causes of Delay in Container Handling Operation at Lebanese Container Ports. [s. l.], v. 5, n. December, p. 249–262, 2012.

WINKELMANS, W; NOTTEBOOM, T. **Port master planning: balancing stakeholders' interests**. 1ªed. Poland: [s. n.], 2007.