

Seleção de indicadores ambientais com foco em armazém verde

Selection of environmental indicators with focus on green warehouse

DOI:10.34117/bjdv8n9-248

Recebimento dos originais: 30/08/2022

Aceitação para publicação: 27/09/2022

Rodrigo Rodrigues de Freitas

Doutorado em Engenharia de Transportes

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
(UEAD) - Itaguaí

Endereço: Acesso para Rodovia - RJ, 099, Ponte Preta, Itaguaí – RJ, Brasil

E-mail: rodrigodefritas@gmail.com

Tássia Faria de Assis

Doutorado em Engenharia de Transportes

Instituição: Programa de Engenharia de Transportes (COPPE-UFRJ)

Endereço: Av. Horácio Macedo, 2030, Bloco H, sala 117, Cidade Universitária - RJ

E-mail: tassiafa@hotmail.com

Mariane Gonzalez da Costa

Mestre em Engenharia de Transportes

Instituição: Programa de Engenharia de Transportes (COPPE-UFRJ)

Endereço: Av. Horácio Macedo, 2030, Bloco H, sala 117, Cidade Universitária - RJ

E-mail: mariane.gonzalez@pet.coppe.ufrj.br

Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida

Mestre em Engenharia de Transportes

Programa de Engenharia de Transportes (COPPE-UFRJ)

Endereço: Av. Horácio Macedo, 2030, Bloco H, sala 117, Cidade Universitária - RJ

E-mail: isabelarochapombo@poli.ufrj.br

Pedro Henrique de Castro Albuquerque Machado

Graduação em Engenharia Civil

Instituição: Programa de Projeto de Estruturas (PPE- POLI-UFRJ)

Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Ilha do Fundão, Centro de

Tecnologia - Bloco D, sala 203

E-mail: pedro.de.machado@poli.ufrj.br

Marcio de Almeida D'Agosto

Doutor em Engenharia de Transportes

Instituição: Programa de Engenharia de Transportes (COPPE-UFRJ)

Endereço: Av. Horácio Macedo, 2030, Bloco H, sala 117, Cidade Universitária - RJ

E-mail: dagosto@pet.coppe.ufrj.br

RESUMO

As emissões geradas por edifícios de logística, incluindo armazéns e instalações de triagem, são significativas, representando cerca de 11% das emissões da cadeia de

suprimentos. No caso da operação de um armazém, a iluminação, refrigeração/aquecimento e equipamentos de carga são os principais responsáveis pelo consumo energético e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Entretanto, a norma ISO 14001, que trata da gestão ambiental, não define quais os principais indicadores a serem utilizados para avaliação e monitoramento da operação. Desta forma, foi identificada a necessidade de se adotar práticas verde na operação de armazém. A proposta deste artigo é apresentar um método para selecionar indicadores que permitam avaliar e monitorar práticas que tornem a operação do armazém, de fato, verde. Esta pesquisa analisa a confiabilidade dos indicadores escolhidos por meio do método alfa de Cronbach, seguido de sua validação. O resultado aponta 27 indicadores mais relevantes a serem considerados para armazém verde.

Palavras-chave: armazém verde, indicadores ambientais, alfa de Cronbach.

ABSTRACT

Emissions generated by logistics buildings, including warehouses and sorting facilities, are significant, accounting for about 11% of supply chain emissions. In the case of a warehouse operation, lighting, cooling/heating, and loading equipment are the main contributors to energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions. However, the ISO 14001 standard, which deals with environmental management, does not define which are the main indicators to be used to evaluate and monitor the operation. Thus, the need to adopt green practices in the warehouse operation was identified. The purpose of this paper is to present a method for selecting indicators to evaluate and monitor practices that make the warehouse operation, in fact, green. This research analyzes the reliability of the indicators chosen by means of Cronbach's alpha method, followed by their validation. The result points to 27 most relevant indicators to be considered for a green warehouse.

Keywords: green warehouse, environmental indicators, Cronbach alpha.

1 INTRODUÇÃO

As atividades logísticas compreendem uma parte significativa das operações executadas na cadeia de suprimentos, onde a natureza de suas atividades geralmente não ocorrem de forma ambientalmente amigável (Agyabeng-Mensah *et al.*, 2020), pois visa coordenar a produção com objetivo de atender a demanda a um custo mínimo, levando à externalização dos custos ambientais, isto é, não considerando como custo do sistema os impactos provocados no ambiente (Santos *et al.*, 2015).

Segundo Bartolini *et al* (2019), as emissões geradas por empreendimentos logísticos, incluindo armazéns e instalações de triagem, são significativas, representando 11% das emissões da cadeia de suprimentos. No caso da operação de um armazém, por exemplo, a iluminação, refrigeração/aquecimento e equipamentos de carga são os principais responsáveis pelo consumo energético e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Ainda, os gastos com iluminação e aquecimento podem corresponder a 70% dos

gastos totais de um armazém (Fichtinger *et al.*, 2015), principalmente em armazéns de cargas refrigeradas (Fikiin *et al.*, 2017), intensificado o consumo com o aumento do tamanho do armazém (Rüdiger *et al.*, 2016).

Um armazém pode ser considerado verde quando tanto sua construção quanto sua manutenção e operação visam à redução dos impactos ambientais negativos relacionados à emissão de GEE e poluentes atmosféricos (PA), ao uso da energia proveniente de combustíveis fósseis, ao consumo de água e à utilização de recursos naturais. Ainda, visam o conforto térmico no interior do armazém e a gestão dos resíduos sólidos e sua destinação final adequada (Chen *et al.*, 2016). No caso da operação, o modo como o armazém é gerido interfere no consumo de energia e na emissão de GEE (Ene *et al.*, 2016).

No entanto, devido à grande variedade de tipos de armazém, existem pouca regulamentação e certificações a respeito das práticas verdes em armazéns. Ainda, de acordo com Chen *et al.* (2016), há poucos estudos que abordam a gestão de práticas verdes na fase de operação de um armazém e ressalta que as empresas tendem a adotar uma gestão que prioriza práticas verdes apenas quando não representam um gasto econômico.

O método BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) elaborado no Reino Unido, assim como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), elaborado nos Estados Unidos, são as principais e mais conhecidas certificações para construções sustentáveis, sendo o LEED o mais utilizado, com aplicação na certificação de desempenho ambiental de edifícios comerciais em grandes cidades. No entanto, como parte considerável de sua pontuação total depende da obtenção de créditos referenciados em normas, características climáticas e construtivas de seu país de origem, não possui flexibilidade para certificar construções localizadas em regiões diferentes (Bueno e Rossignolo, 2003).

As normas ISO 14001 possuem aplicabilidade na operação da cadeia de suprimentos na área de gestão ambiental, diferentemente das certificadoras acima mencionadas, que consideram apenas os processos relacionados à construção e à reforma de infraestrutura existentes de edificações verdes. No entanto, as normas não definem indicadores relacionados ao aspecto ambiental, que podem auxiliar as organizações a quantificar e relatar o desempenho de seus sistemas de gestão, bem como monitorar sua operação. Desta forma, o levantamento e definição de indicadores ambientais são necessários para quantificar, avaliar e monitorar as operações em armazéns verdes.

Nesse contexto, este estudo busca identificar indicadores ambientais por meio de uma Revisão Bibliográfica Narrativa, que permitam avaliar a fase de operação de um armazém verde. A partir disso, realiza a aplicação de um método de fiabilidade qualitativa, que permite estabelecer, dentre os indicadores identificados, aqueles mais relevantes para garantir que uma operação do armazém seja, de fato, considerada verde. Além desta introdução, apresenta-se a revisão bibliográfica na seção 2, de modo a identificar e caracterizar os indicadores e definir o método para a seleção. Na terceira seção, o método é aplicado e, na quarta seção, são apresentados os resultados obtidos. Por fim, na quinta seção é apresentada a conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para este estudo, optou-se realizar uma Revisão Bibliográfica Narrativa que, segundo Rother (2007), é caracterizada por não utilizar critérios explícitos e sistemáticos para busca e análise crítica da literatura. A revisão foi dividida em duas fases, na qual buscou-se identificar indicadores ambientais utilizados em operações de armazém verde e, em seguida, identificar a ferramenta mais adequada para seleção desses indicadores.

2.1 INDICADORES AMBIENTAIS

Os indicadores são variáveis quantitativas que buscam fornecer informações simplificadas de outras variáveis que pertencem a um sistema mais complexo e que podem ser utilizados como referência para tomada de decisão (Bockstaller e Girardin, 2003). Além disso, por representarem apenas uma parte do estado de todo sistema, só há aumento da confiança na informação quando a combinação de indicadores pertencentes aos diferentes aspectos possa ser verificada (Maclaren, 1996 e Gudmundsson, 2004).

Para o levantamento dos indicadores ambientais, a pesquisa foi realizada nas bases *Web of Science* e *Science Direct*, considerando as palavras-chave “*indicators AND green warehouse*”, “*indicators AND warehouse*”, entre os anos de 2008 a 2022, resultando na identificação de 40 indicadores ambientais apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Síntese dos indicadores ambientais levantados

Atributo	Indicador	Medida
Energia	Aproveitamento da luz natural	%, m ²
	Consumo de energia não renovável	MJ/t.km, kWh/t de carga movimentada no armazém
	Consumo de energia renovável e combustíveis alternativos	MJ/t.km, kWh/t de carga movimentada no armazém
	Consumo fixo de energia nas instalações e espaço físico do armazém	kWh/CD; kWh/m ²
	Consumo de energia relacionado aos processos de armazenagem	kWh/unidade; kWh/t; kWh/mês
	Consumo de energia variável para obter uma unidade de produto	kWh/kg
	Consumo de energia do equipamento de manuseio de materiais móveis	kWh/m
	Fator de iluminação	kWh/m ²
	Fator climático (conforto térmico)	kWh/m ²
	Fator de automação	kWh/m ²
	Redução do consumo de energia (Consumo de energia do ano atual/Consumo de energia do ano anterior)	%
	Energia gasta pelo veículo elétrico	kW/veículo
	Eficiência do motor (equipamento de manuseio ou veículo de carga)	% ou kW
	Distância média para processos de armazenamento e reabastecimento	kWh/m
	Parcela de veículos de carga com uso de energia limpa (Veículos abastecidos com energia limpa/ total de veículos)	%
Velocidade média no armazém	km/h	
Gases de Efeito Estufa (GEE)	Emissão de CO ₂	kg CO ₂ /t.kg; CO ₂ /pallet
	Emissão de CH ₄	g CH ₄ /t de carga movimentada no armazém
	Emissão de N ₂ O	g N ₂ O /t de carga movimentada no armazém
	Emissão de GEE associado à energia consumida na planta	kg CO ₂ eq/kWh
	Emissão de GEE para o transporte	kg CO ₂ eq/(t. km)
Consumo de materiais	Emissão de GEE para tratamento de resíduos gerados da produção	kg CO ₂ eq/t de carga movimentada no armazém
	Consumo de embalagem eficiente (Consumo real de embalagem/Consumo de embalagem por t)	kg/(kg/t)
	Descarte adequado de materiais	%/CD ou kg/CD
Emissão de Poluentes atmosféricos	Reciclagem de materiais	%/CD ou kg/CD
	Emissão de CO	g CO/t de carga movimentada no armazém
	Emissão de HC	g HC/t de carga movimentada no armazém
	Emissão de HCNM	g HCNM/t de carga movimentada no

Atributo	Indicador	Medida
		armazém
	Emissão de MP	g MP/t de carga movimentada no armazém
	Emissão de RCHO	g RCHO/t de carga movimentada no armazém
	Emissão de SO _x	g SO _x /t de carga movimentada no armazém
	Emissão de Benzeno	g Benzeno/t de carga movimentada no armazém
	Emissão de NO _x	g NO _x /t de carga movimentada no armazém
	Emissão de COV	g COV/t de carga movimentada no armazém
Consumo de água	Taxa de redução do consumo de água potável (Redução do consumo/consumo total)	%
	Taxa de reuso da água (Consumo de água de reuso/água total)	%
	Captação de água da chuva	m ³ /dia
	Uso de tecnologia no tratamento de água (eficiência do tratamento)	%
Geração de efluentes	Geração de efluentes líquidos	m ³ /dia
Ruído	Conforto acústico	dB

Fonte: Elaboração própria com base em Aravindaraj e Rajan Chinna (2022); Azevedo Filho *et al.* (2011); Bartolini *et al.* (2019); Bueno e Rossignolo (2003); Dalkmann (2012); Egilmez *et al.* (2014); Feitó-Cespón *et al.* (2017); Fichtinger *et al.* (2015); Greschner Farkavcova *et al.* (2016); Jabbour *et al.* (2015); Leite (2011); Mckinnon *et al.* (2010); Oliveira e D'Agosto (2017); Reisi *et al.* (2014); Silva *et al.* (2015); Silva e Miranda (2012); Turi *et al.* (2014); Zhang *et al.* (2014); Costa *et al.* (2008); Hagahshenas *et al.* (2015); Silva *et al.* (2015); Ahi *et al.* (2016); Oliveira (2016).

2.2 MÉTODO PARA SELEÇÃO DOS INDICADORES

A fim de definir uma ferramenta para escolha de indicadores, foi realizada uma pesquisa na base *Science Direct* por meio das palavras-chaves “green logistic” e “green supply chain” AND “tool” or “method”, entre os anos de 2008 e 2022, tendo como objetivo de inclusão, artigos que utilizassem ferramentas aplicadas em processos de escolha em atividades de operação logística.

A partir da leitura dos artigos, foram adotadas como critério principal de avaliação ferramentas utilizadas para escolher um conjunto de atributos, indicadores, ou outros fatores que pudessem ser replicados para atingir o objetivo proposto no estudo. Os principais estudos selecionados são os que seguem: Vachon e Mao (2008), Paulraj (2009), Banomyong e Supatn (2011), Zailani *et al.* (2012), Schoenherr (2012), Schoenherr e Talluri (2013), Gimenez e Sierra (2013), Wong (2013), Ortas *et al.*, (2014), Avelar-Sosa

et al. (2014), Wolf (2014), Marshall *et al.* (2015), Ahmad e Mehmood (2015), Chen *et al.* (2015); García-Alcaraz *et al.* (2015), Jabbour *et al.* (2015), Liu *et al.* (2016), Longoni e Cagliano (2016), Ge *et al.* (2016), Yazan (2016), e Hong *et al.* (2018).

Dentre esses, foram verificadas em 23 estudos aplicações de teste de hipótese univariado ou multivariado. O método Análise de Variância (ANOVA) foi utilizado em 35 % das aplicações, a escala likert e coeficiente alfa de Cronbach em 17 % das aplicações cada, enquanto o método da Variância do Método Comum (do inglês, *Common Method Variance* - CMV), teste KMO e teste de esfericidade de *Bartlett*, *Partial Least Square* (PLS); econometria, teste de causalidade de Granger e teste qui-quadrado de Pearson, utilizados em 4% das aplicações cada.

Nos estudos em que as três ferramentas mais representativas (teste de hipótese, escala likert e coeficiente alfa de Cronbach) foram aplicadas, verifica-se grande similaridade entre seus objetivos, que buscam avaliar o impacto da força da cadeia de suprimentos no ambiente natural, identificar os principais atributos da qualidade do serviço de logística e examinar como esses atributos influenciam a seleção de fornecedores de serviços terceirizados, bem como avaliar como a adoção de práticas sustentáveis afetam os indicadores de desempenho ambiental.

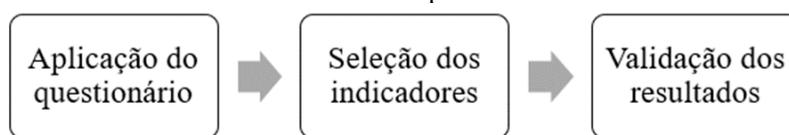
No entanto, de acordo com Chen *et al.* (2015), as ferramentas estatísticas como, por exemplo, o teste de hipótese, utilizado para a tomada de decisão entre duas ou mais hipóteses, apresentam limitações, necessitando de grandes amostras para gerarem resultados significativos. A fim de aumentar a confiabilidade na avaliação dos resultados, o estudo de Vachon e Mao (2008) aponta que o uso do coeficiente Alfa de Cronbach pode contribuir para uma melhor segurança quanto aos resultados. O método do coeficiente Alfa de Cronbach (α) pode ser utilizado para avaliações de consistência interna de questionários (2020) e verificação do conjunto de indicadores. Segundo Rogers, Shmiti e Mullins (2002) e Sijtma (2009), o α é o coeficiente de qualidade de indicador mais aplicado para confiabilidade, pois explora fator em comum entre os atributos.

Segundo GE *et al.* (2016), a utilização da escala *likert*, ferramenta de atribuição de pontos de forma escalar, é capaz de gerar alta precisão ao alcance do cumprimento do objetivo de um estudo com aplicação de questionário, julgando a ferramenta de avaliação da confiabilidade dos dados mais adequada para avaliar o retorno de seus resultados o coeficiente alfa de Cronbach.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo tem como objetivo a utilização conjunta de métodos para avaliar a confiabilidade do processo de seleção de indicadores ambientais da operação de um armazém para que seja considerado, de fato, verde. Para isso, foi realizada a aplicação de um questionário entre especialistas e profissionais da área de logística e sustentabilidade para avaliação de indicadores ambientais, por meio da escala *Likert* (intervalo de 1 a 5), e, posteriormente foi aplicado o Método Alfa de Cronbach para a sua validação, como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Etapas de seleção de indicadores ambientais para promover armazém verde
Fonte: Elaborado pelos autores



3.1 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A aplicação do questionário tem como o objetivo identificar preliminarmente o grupo de indicadores relativo ao aspecto ambiental julgado necessário para a avaliação e monitoramento da operação de um armazém verde. Deste modo, o questionário foi estruturado apresentando os 40 indicadores ambientais levantados na literatura, que foi enviado para quatro especialistas e quatro profissionais nas áreas de logística e sustentabilidade, obtendo assim oito respostas. Para cada indicador, o especialista deveria selecionar uma opção na escala nominal como apresentado na Tabela 2. Segundo Hora *et al* (2010), as percepções dos especialistas quanto a importância dada a cada indicador são refletidas a partir da transformação de uma escala nominal para uma escala numérica. Neste sentido, a escala numérica adotada segue a escala de *Likert* de cinco pontos, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Escalonamento das respostas pelo modelo Likert

Escala nominal (Respostas dos especialistas)	Escala numérica (Likert)
Não concordo totalmente	1
Não concordo parcialmente	2
Indiferente	3
Concordo parcialmente	4
Concordo totalmente	5

Fonte: LIKERT (1932)

3.2 SELEÇÃO DOS INDICADORES

O coeficiente Alfa de Cronbach (α) pode variar entre a faixa de 0 até 1, apresentando maior grau de confiança dos indicadores quando α for mais próximo de 1. Cabe ressaltar que para este processo foi realizada a normalização dos indicadores de acordo com o método no qual o intervalo de pontuação varia entre 0,00 e 1,00 e, no qual, a soma dos pesos deve ser igual a 1,00. Essa lógica de peso semelhante é utilizada para não haver desvios na adição de novos indicadores. O acréscimo de novos indicadores com a mesma finalidade e peso não tende a criar erros estatísticos, seguindo as mesmas limitações da aplicação do coeficiente de Alfa de Cronbach como: i) os indicadores são agrupados por aspecto nas perguntas do questionário; ii) o questionário deve ser aplicado para um grupo heterogêneo para evitar baixa variância dos resultados; e iii) a escala deve ser validada.

A aplicação clássica do modelo segue o seguinte teste: X valor observado, composto pelo valor verdadeiro da medição V e mais um erro aleatório E , conforme equação 1.

$$X = V + E \quad (1)$$

Contudo, uma análise quantitativa da variabilidade é mensurada pela variância (S^2). Logo, de acordo com a equação (2), assume-se que a variabilidade do valor esperado é a soma S^2 dos valores verdadeiros e dos erros (Lord e Novick, 1968, Hora *et al.*, 2010). Entretanto, se a variância do erro S^2E vai reduzindo com as interações, o valor S^2V se aproxima de S^2X , aumentando a precisão e a confiabilidade do resultado.

$$S^2X = S^2V + S^2E \quad (2)$$

Em que: S^2E é a variância do erro aleatório;
 S^2V é a variância de V ; e
 S^2X é a variância de X .

O coeficiente Alfa de Cronbach é aplicado para medir a correlação entre os indicadores de um questionário de acordo com a escala Likert. O resultado do questionário é uma matriz, em que o cálculo é realizado pelo somatório da variância dos indicadores e a soma da variância de cada especialista (equação 3).

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \times \left[1 - \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{S_t^2} \right] \quad (3)$$

Em que: k corresponde ao número de indicadores (perguntas) do questionário;

S_i^2 corresponde à variância de cada item; e

S_t^2 corresponde à variância total do questionário (soma das variâncias dos avaliadores).

Segundo Peterson (1994), os critérios de recomendação de confiabilidade estimada pelo Alfa de Cronbach podem ser percebidos de diferentes formas, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de recomendação de Fiabilidade estimada pelo α de Cronbach

Autor	Condição	α considerado aceitável
Davis (1964)	Previsão individual	Acima de 0.75
	Previsão para grupos de 25-50 indivíduos	Acima de 0.5
Kaplan & Sacuzzo (1982)	Investigação fundamental	0.7-0.8
	Investigação aplicada	0.95
Murphy & Davidsholder (1988)	Fiabilidade inaceitável	0.6
	Fiabilidade baixa	0.8
	Fiabilidade moderada a elevada	0.8-0.9
	Fiabilidade Elevada	0.9
Nunnally (1978)	Investigação preliminar	0.7
	Investigação fundamental	0.9
	Investigação aplicada	0.9-0.96

Fonte: Peterson (1994)

A aplicação do método Alfa de Cronbach ocorre de forma iterativa após a análise estatística, permitindo que o coeficiente α encontrado seja submetido a um processo para purificação dos indicadores, de modo que ocorra a seleção daqueles que mantêm o coeficiente considerado aceitável e a exclusão daqueles que apresentem um menor valor de α . A partir da exclusão desses, calcula-se novamente o coeficiente para o grupo dos indicadores selecionados. Dessa forma, se o novo α calculado for menor, assume-se que o item(ns) eliminado(s) é altamente correlacionado com o grupo de indicadores selecionados e, logo ele retorna a esse grupo. Esse processo é realizado até que não haja variação do coeficiente α .

3.3 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação do Método Alfa de Cronbach, o grupo de indicadores ambientais selecionados foi validado por meio da comparação com os indicadores utilizados em quatro Armazéns Verdes em operação localizados no Brasil, a fim de verificar a coerência entre os indicadores selecionados e os indicadores utilizados neste tipo de operação. Dentre os armazéns considerados tem-se uma empresa do setor de cosméticos, uma empresa do setor de alimentos e uma empresa do setor petroquímico.

4 RESULTADOS

A formação do grupo de indicadores é procedente da aplicação do questionário, da aplicação do método e da validação do resultado.

4.1 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

A simulação foi realizada por meio do *software IBM SPSS Statistics*, de modo a aumentar a precisão das respostas e padronizar a aplicação. Com isso, foi feita uma primeira verificação dos resultados da aplicação do questionário direcionado para especialistas e profissionais a fim de definir o valor de corte, neste caso correspondente a 0,825 para todos os indicadores. O processo de seleção consiste em excluir um indicador por vez, e verificar se houve a redução do α . Se no processo de exclusão o coeficiente α diminuir, o indicador excluído retorna ao grupo dos selecionados. Logo, o critério de inclusão ou exclusão de cada indicador é determinado a partir de seu valor.

A partir dessa iteração, foram selecionados 27 indicadores da operação de um armazém verde, dentre os 40 identificados na literatura. O grupo de indicador de conforto acústico foi excluído. O coeficiente Alfa de Cronbach dos indicadores selecionados foi de 0,908. Desta forma, os indicadores selecionados correspondem aos critérios de fiabilidade.

4.2 RESULTADO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ALFA DE CONBACH

Como resultado da aplicação do método observou-se que o coeficiente alfa de Cronbach dos indicadores selecionados foi de 0,908, satisfazendo a condição mínima para afirmar fiabilidade. Ao testar os indicadores selecionados observou-se que os indicadores apresentados na Tabela 4 permaneceriam no conjunto de selecionados por apresentarem valor do coeficiente alfa de Cronbach menor que 0,825, satisfazendo a regra previamente estabelecida.

Tabela 4: Grupo de indicadores obtido a partir do método α de Cronbach.

Atributo	Indicador	Medida	α de Cronbach com a exclusão do indicador
Energia	Aproveitamento da luz natural	% ou m ²	0,821
	Consumo de energia não renovável	MJ/t.km, kWh/t de carga movimentada no armazém	0,810
	Consumo de energia do equipamento de manuseio de materiais móveis	kWh /m	0,822
	Fator de iluminação	kWh/m ²	0,819
	Eficiência do motor (equipamento de manuseio ou veículo de carga)	% ou kW	0,823
	Distância média para processos de armazenamento e reabastecimento	kWh/m	0,822
Gases de Efeito Estufa (GEE)	Emissão de CO ₂	kg CO ₂ /t kg CO ₂ /pallet	0,821
	Emissão de CH ₄	g CH ₄ /t de carga movimentada no armazém	0,816
	Emissão de N ₂ O	g N ₂ O /t de carga movimentada no armazém	0,816
	Emissão de GEE associado à energia consumida na planta	kg CO ₂ eq / kWh	0,824
	Emissão de GEE para tratamento de resíduos gerados da produção	kg CO ₂ eq / t de carga movimentada no armazém	0,817
Emissão de Poluentes atmosféricos	Emissão de CO	g CO/t de carga movimentada no armazém	0,814
	Emissão de HC	g HC/t de carga movimentada no armazém	0,811
	Emissão de HCNM	g HCNM/t de carga movimentada no armazém	0,808
	Emissão de MP	g MP/t de carga movimentada no armazém	0,810
	Emissão de RCHO	g RCHO/t de carga movimentada no armazém	0,811
	Emissão de SO _x	g SO _x /R\$, g Sox/ t de carga movimentada no armazém	0,808
	Emissão de Benzeno	g Benzeno/t de carga movimentada no armazém	0,811
	Emissão de NO _x	g Nox/t de carga movimentada no armazém	0,811
	Emissão de COV	g COV/t de carga movimentada no armazém	0,823
	Consumo de materiais	Consumo de embalagem eficiente (Consumo real de	kg.e/(kg/t)

Atributo	Indicador	Medida	α de Cronbach com a exclusão do indicador
	embalagem/Consumo de embalagem por t de produto)		
	Descarte adequado de materiais	%/CD ou kg/CD	0,810
	Reciclagem de materiais	%/CD ou kg/CD	0,810
Consumo de água	Taxa de reuso da água (Consumo de água de reuso/água total)	%	0,826
	Captação de água da chuva	m ³ /dia	0,822
	Uso de tecnologia no tratamento de água (eficiência do tratamento)	%	0,823
Geração de efluentes	Geração de efluentes líquidos	m ³ /dia	0,812

Fonte: Elaboração própria

4.3 VALIDAÇÃO DOS PRINCIPAIS INDICADORES AMBIENTAIS

Após a verificação da fiabilidade dos indicadores, foi realizada a validação destes. Ressalta-se que a fiabilidade está relacionada a métodos qualitativos ou quantitativos para redução dos erros aleatórios. Enquanto a validação está direcionada a confirmar se o instrumento mede aquilo que se propõe. Segundo Hora *et al.* (2010), um método pode ter fiabilidade, porém não necessariamente possui validade.

Para realizar a validação, foram considerados quatro Armazéns Verdes localizados no Brasil. Dois dos armazéns considerados são de uma empresa do setor de cosméticos, em que foi realizada uma visita técnica. Os outros armazéns são de uma empresa do setor de alimentos e um de uma empresa do setor petroquímico. Para estes foi considerada os dados fornecidos em seus relatórios de sustentabilidade.

A validação constatou que as práticas verdes aplicadas nesses armazéns são monitoradas por nove dos indicadores selecionados (33,33%), relacionados a quatro atributos: (1) Energia; (2) Consumo de materiais; (3) Consumo de Água; e (4) Geração de Efluentes.

Nota-se que os atributos Gases de Efeito Estufa e Emissão de Poluentes Atmosféricos não foram explicitamente divulgados em nenhum dos armazéns de empresas consideradas, ainda que tenham sido considerados em outras atividades de manufatura ou de logística dessas empresas.

5 CONCLUSÃO

Devido à existência de poucas regulamentações e certificações a respeito de armazéns que apliquem práticas verdes em sua operação e à tendência das empresas em adotar uma gestão que prioriza praticas verdes apenas quando não representam um gasto

econômico, foram levantados indicadores ambientais e, dentre eles, foram selecionados os principais que permitem garantir que a operação do armazém é, de fato, verde.

A seleção destes indicadores foi realizada pelo método do coeficiente alfa de Cronbach, que permite a verificação da fiabilidade e da consistência de variáveis qualitativas, a partir da avaliação destas por um grupo de especialistas desta área de estudo.

Portanto, o grupo de indicadores selecionados é uma proposta para avaliar e monitorar práticas verdes para operação de armazéns. A metodologia empregada permite, ainda, a adição de novos indicadores ao grupo principal proposto neste estudo, que pode ocorrer se necessário, devido às características regionais em que se encontram cada empresa, desde que seus pesos sejam normalizados.

Os indicadores propostos puderam ser validados para quatro dos seis atributos. Os indicadores dos atributos Emissão de GEE e Emissão de Poluentes Atmosféricos não foram explicitados para a operação em armazéns, mesmo que tenham sido considerados em outras atividades das empresas. Isso demonstra que ainda não há uma valorização da importância destes indicadores para o caso específico de armazéns.

A limitação deste estudo consiste no baixo número de especialistas que responderam ao questionário. Desta forma, deve-se considerar uma amostra maior de especialistas em trabalhos futuros. Ainda, propõe-se para trabalhos futuros a consideração dos outros aspectos da sustentabilidade, econômico e social, de maneira a se adotar práticas sustentáveis nas operações de armazéns e garantir a sua avaliação e monitoramento e, assim, garantindo a melhoria contínua da sua operação.

REFERÊNCIAS

- Agyabeng-Mensah, Y., Ahenkorah, E., Afum, E., Dacosta, E., & Tian, Z. (2020). Green warehousing, logistics optimization, social values and ethics and economic performance: the role of supply chain sustainability. *The International Journal of Logistics Management*, ahead-of-print(ahead-of-print). doi:10.1108/ijlm-10-2019-0275.
- Ahi, P., Searcy, C., Jaber, M.Y. Energy-related performance measures employed in sustainable supply chains: A bibliometric analysis. *Sustainable production and consumption*. v. 7. pp. 1 – 15. 2016.
- Ahmad, N., e Mehmood, R. (2015) Enterprise systems: Are we ready for future sustainable cities. *Supply Chain Management*, 20(3), 264–283. doi:10.1108/SCM-11-2014-0370
- Avelar-Sosa, L., García-Alcaraz, J. L., Vergara-Villegas, O. O., Maldonado-Macías, A. A., e Alor-Hernández, G. (2014) Impact of traditional and international logistic policies in supply chain performance. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76(5–8), 913–925. doi:10.1007/s00170-014-6308-3
- Aravindaraj, K., e Rajan Chinna, P. (2022) A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5(June), 100072. doi:https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100072
- Azevedo Filho, M. A. N. de, Pinheiro, A. M. G. S., Serratini, J. A., Macêdo, M. H., e Rodrigues da Silva, A. N. (2011) Disponibilidade e Qualidade dos Dados para Avaliação das Condições de Mobilidade Urbana Sustentável., (2008), 1910–1921.
- Banomyong, R., e Supatn, N. (2011) Selecting logistics providers in Thailand: A shippers' perspective. *European Journal of Marketing*, 45(3), 419–437. doi:10.1108/03090561111107258
- Bartolini, M., Bottani, E., e Grosse, E. H. (2019) Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 226, 242–258. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.055
- Bockstaller, C.; Girardin, P. (2003). How to validate environmental indicators, *Agricultural Systems*, Volume 76, Issue 2, 2003, p. 639-653, doi:1016/S0308-521X(02)00053-7.
- Bueno, C., e Rossignolo, J. A. (2003) Desempenho Ambiental De Edificações: Cenário Atual E Perspectivas Dos Sistemas De Certificação. *Minerva*, 7(1), 45–52.
- Chen, L., Tang, O., e Feldmann, A. (2015) Applying GRI reports for the investigation of environmental management practices and company performance in Sweden, China and India. *Journal of Cleaner Production*, 98, 36–46. doi:10.1016/j.jclepro.2014.02.001

Chen, X., Wang, X., Kumar, V., e Kumar, N. (2016) Low carbon warehouse management under cap-and-trade policy. *Journal of Cleaner Production*, 139, 894–904. doi:10.1016/j.jclepro.2016.08.089

Costa, M.S. Um índice de mobilidade urbana sustentável. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

Dalkmann, H. (2012) Case study of a transport MRV NAMA: TDM Measures in Jakarta, Indonesia Applicability of Post 2012 Climate Instruments to the Transport Sector (CITS) Project., 77.

Egilmez, G., Kucukvar, M., Tatari, O., e Bhutta, M. K. S. (2014) Supply chain sustainability assessment of the

U.S. food manufacturing sectors: A life cycle-based frontier approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 8–20. doi:10.1016/j.resconrec.2013.10.008

Ene, S., Küçükoğlu, İ., Aksoy, A., e Öztürk, N. (2016) A genetic algorithm for minimizing energy consumption in warehouses. *Energy*, 114, 973–980. doi:10.1016/j.energy.2016.08.045

Feitó-Cespón, M., Sarache, W., Piedra-Jimenez, F., e Cespón-Castro, R. (2017) Redesign of a sustainable reverse supply chain under uncertaintyA case study. *Journal of Cleaner Production*, 151, 206–217. doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.057

Fichtinger, J., Ries, J. M., Grosse, E. H., e Baker, P. (2015) Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management. *International Journal of Production Economics*, 170, 717–729. doi:10.1016/j.ijpe.2015.06.025

Fikiin, K., Stankov, B., Evans, J., Maidment, G., Foster, A., Brown, T., Radcliffe, J., Youbi-Idrissi, M., Alford, A., Varga, L., Alvarez, G., Ivanov, I. E., Bond, C., Colombo, I., Garcia-Naveda, G., Ivanov, I., Hattori, K., Umeki, D., Bojkov, T., e Kaloyanov, N. (2017) Refrigerated warehouses as intelligent hubs to integrate renewable energy in industrial food refrigeration and to enhance power grid sustainability. *Trends in Food Science and Technology*, 60, 96–103. doi:10.1016/j.tifs.2016.11.011

García-Alcaraz, J. L., Prieto-Luevano, D. J., Maldonado-Macías, A. A., Blanco-Fernández, J., Jiménez-Macías, E., e Moreno-Jiménez, J. M. (2015) Structural equation modeling to identify the human resource value in the JIT implementation: case maquiladora sector. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(5–8), 1483–1497. doi:10.1007/s00170-014-6561-5

Ge, B., Jiang, D., Gao, Y., e Tsai, S. B. (2016) The influence of legitimacy on a proactive green orientation and green performance: A study based on transitional economy scenarios in China. *Sustainability (Switzerland)*, 8(12), 1–20. doi:10.3390/su8121344

Gimenez, C., e Sierra, V. (2013) Sustainable Supply Chains: Governance Mechanisms to Greening Suppliers.

Journal of Business Ethics, 116(1), 189–203. doi:10.1007/s10551-012-1458-4

Greschner Farkavcova, V., Rieckhof, R., e Guenther, E. (2016) Expanding knowledge on environmental impacts of transport processes for more sustainable supply chain decisions: A case study using life cycle assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. doi:10.1016/j.trd.2017.04.025

Gudmundsson, H. (2000). Indicators and performance measure for transportation, environment and sustainable in North America. Relatório do German Marshall Fund Fellowship.

Haghshenas, H., Vaziri, M., Gholamialam, A. Evaluation of sustainable policy in urban transportation using system dynamics and world cities data: A case study in Isfahan. *Cities*. v. 45. pp. 104–115, 2015.

Hora, H. R. M.; Monteiro, G. T. R.; Arica, J. (2010). Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach. *Produto & Produção*, v.11, n.2, p.85-103.

Hong, J., Zhang, Y., e Ding, M. (2018) Sustainable supply chain management practices, supply chain dynamic capabilities, and enterprise performance. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3508–3519. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.093

Jabbour, A. B. L. D. S., Frascareli, F. C. D. O., e Jabbour, C. J. C. (2015) Green supply chain management and firms' performance: Understanding potential relationships and the role of green sourcing and some other green practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 366–374. doi:10.1016/j.resconrec.2015.07.017

Leite, V. F. (2011) Certificação Ambiental Na Construção Civil – Sistemas Leed E Aqua., 50.

Liu, H., Wei, S., Ke, W., Wei, K. K., e Hua, Z. (2016) The configuration between supply chain integration and information technology competency: A resource orchestration perspective. *Journal of Operations Management*, 44, 13–29. doi:10.1016/j.jom.2016.03.009

Longoni, A., e Cagliano, R. (2016) Human resource and customer benefits through sustainable operations. *International Journal of Operations and Production Management*, 36(12), 1719–1740. doi:10.1108/IJOPM-11-2014-0564

Lord, F.M. and Novick, M.R. (1968) *Statistical Theories of Mental Test Scores*. Addison-Wesley, Menlo Park. Maclaren, V. W. (1996). Urban Sustainability Reporting. *Journal of the American Planning Association*, 62, 2, 184-202.

Marshall, D., McCarthy, L., McGrath, P., e Claudy, M. (2015) Going above and beyond: How sustainability culture and entrepreneurial orientation drive social sustainability supply chain practice adoption. *Supply Chain Management*, 20(4), 434–454. doi:10.1108/SCM-08-2014-0267

Mckinnon, A., Culliinane, S., Browne, M., e Whiteing, A. (2010) *Green Logistics, Improving the environmental sustainability of Logistics*.

Oliveira, C.M.; D'Agosto, M. de A. (2017). Guia de Referências em Sustentabilidade: Boas Práticas para o Transporte de Carga. 1ª Edição, Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), Rio de Janeiro, 2017.

Oliveira, C. M. de, e D'Agosto, M. de A. (2017) *Logística - Guia de Referência de Sustentabilidade*. (Vol. 2).

Ortas, E., M. Moneva, J., e Álvarez, I. (2014) Sustainable supply chain and company performance. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 332–350. doi:10.1108/SCM-12-2013-0444

Paulraj, A. (2009) Environmental Motivations: a Classification Scheme and its Impact on Environmental Strategies and Practices. *Business Strategy and the Environment*, 18(7), 453–468. doi:10.1002/bse.612

Paulraj, A. (2011) Understanding the Relationships Between Internal Resources and Capabilities, Sustainable Supply Management and Organizational Sustainability. *Journal of Business Ethics*, 98(1), 19–37.

Reisi, M., Aye, L., Rajabifard, A., e Ngo, T. (2014) Transport sustainability index: Melbourne case study.

Ecological Indicators, 43, 288–296. doi:10.1016/j.ecolind.2014.03.004

Rogers, W. M.; Schimiti, M.; Mullins, M. E. (2002). Correction for unreliability of multifactor measures: comparison of Alpha and parallel forms approaches. *Organizational Research Methods*. v. 5, p. 184-199.

Rüdiger, D., Schön, A., e Dobers, K. (2016) Managing Greenhouse Gas Emissions from Warehousing and Transshipment with Environmental Performance Indicators. *Transportation Research Procedia*, 14, 886– 895. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.083

Santos, S., Bortolon, K. M., Maria, D., Chirolí, D. G., e Oiko, O. T. (2015) Logística verde: conceituação e direcionamentos para aplicação Green Logistics: conceptualization and directions for practice. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET*, 19, 314–331.

Schoenherr, T.; Talluri, S. (2013). Environmental Sustainability Initiatives: A Comparative Analysis of Plant Efficiencies in Europe and the U.S. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 60, No. 2, pp. 353-365.

Schoenherr, T. (2012) The role of environmental management in sustainable business development: A multi- country investigation. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 116–128. doi:10.1016/j.ijpe.2011.04.009

Silva, A. N. R. da, Azevedo Filho, M. A. N. de, Macêdo, M. H., Serratini, J. A., da Silva, A. F., Lima, J. P., e Pinheiro, A. M. G. S. (2015) A comparative evaluation of mobility conditions in selected cities of the five

Brazilian regions. *Transport Policy*, 37, 147–156. doi:10.1016/j.tranpol.2014.10.017

Schrepp, M. (2020). On the Usage of Cronbach's Alpha to Measure Reliability of UX Scales. *Journal of Usability Studies*, 15(4).

Sijtsma, K. (2009). On the use, the misuse, and the very limited usefulness of Cronbach's Alpha.

Psychometrika, v.74, n.1, p.107-120.

Silva, A. N. R. da, e Miranda, H. de F. (2012) Benchmarking sustainable urban mobility: The case of Curitiba, Brazil. *Transport Policy*, 21, 141–151. doi:10.1016/j.tranpol.2012.03.009

Turi, A., Goncalves, G., e Mocan, M. (2014) Challenges and Competitiveness Indicators for the Sustainable Development of the Supply Chain in Food Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 124, 133– 141. doi:10.1016/j.sbspro.2014.02.469

Vachon, S., e Mao, Z. (2008) Linking supply chain strength to sustainable development: a country-level analysis.

Journal of Cleaner Production, 16(15), 1552–1560. doi:10.1016/j.jclepro.2008.04.012

Wolf, J. (2014) The Relationship Between Sustainable Supply Chain Management, Stakeholder Pressure and Corporate Sustainability Performance. *Journal of Business Ethics*, 119(3), 317–328. doi:10.1007/s10551- 012-1603-0

Wong, S. K. S. (2013) Environmental requirements, knowledge sharing and green innovation: Empirical evidence from the electronics industry in China. *Business Strategy and the Environment*, 22(5), 321–338. doi:10.1002/bse.1746

Yazan, D. M. (2016) Constructing joint production chains: An enterprise input-output approach for alternative energy use. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 38–52. doi:10.1016/j.resconrec.2015.11.012

Zailani, S., Jeyaraman, K., Vengadasan, G., e Premkumar, R. (2012) Sustainable supply chain management (SSCM) in Malaysia: A survey. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 330–340. doi:10.1016/j.ijpe.2012.02.008

Zhang, Q., Shah, N., Wassick, J., Helling, R., e Van Egerschot, P. (2014) Sustainable supply chain optimisation: An industrial case study. *Computers and Industrial Engineering*, 74(1), 68–83. doi:10.1016/j.cie.2014.05.002.